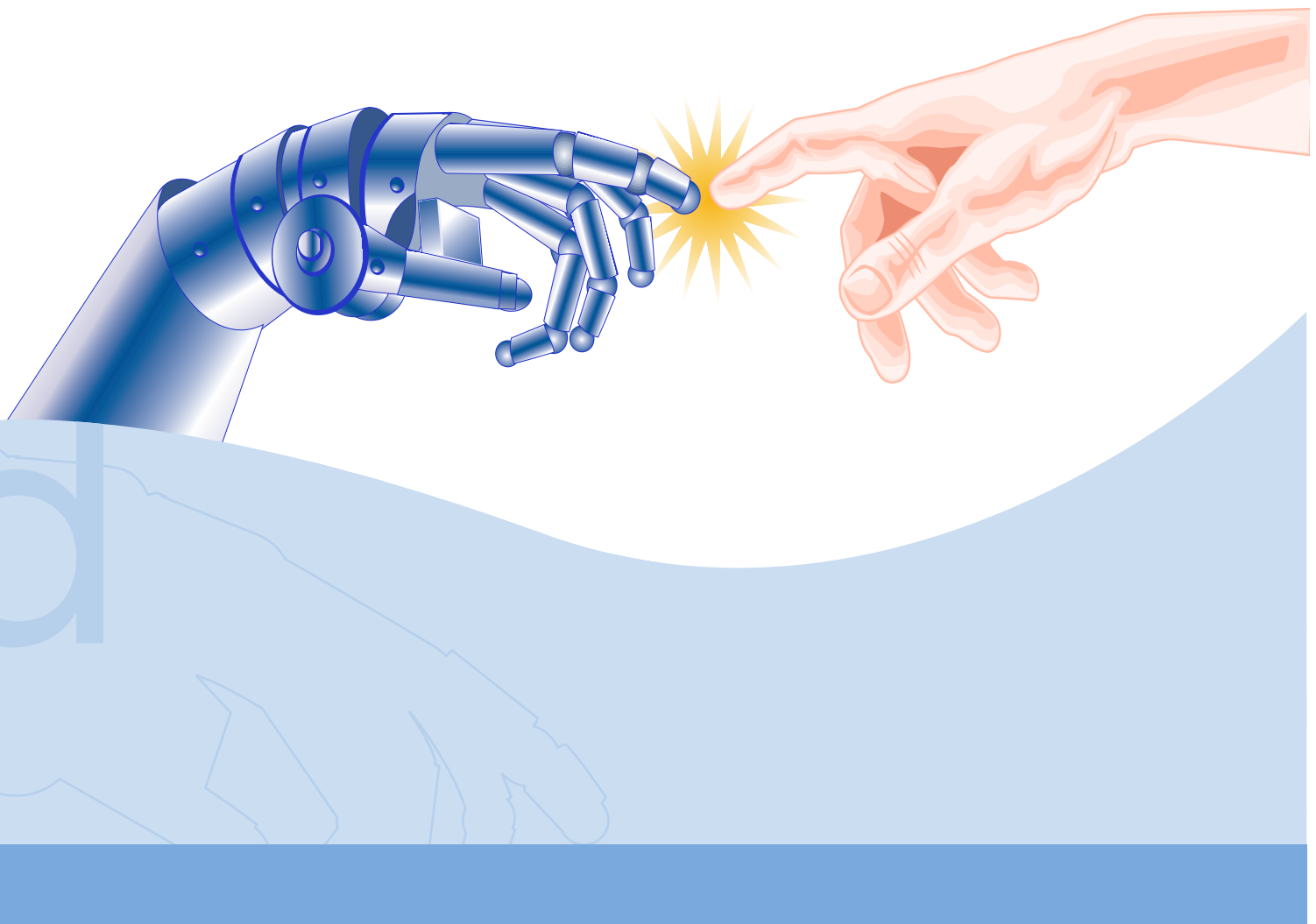


Libro de actas



Libro de ACTAS
III Congreso Internacional
sobre Domótica, Robótica y
Teleasistencia para Todos
DRT4all 2009

© Fundación ONCE para la Cooperación e Integración Social de las Personas con Discapacidad. 2009 .

Edita: Fundación ONCE para la Cooperación e Integración Social de las Personas con Discapacidad.

Supervisión de la edición: Comité Científico DRT4all:

D. Jesús Hernández Galán, Director del Departamento de Accesibilidad Universal de Fundación ONCE.

D. Enrique Varela Couceiro, Jefe del Departamento de Tecnologías Accesibles e I+D de Fundación ONCE.

D. Jaime López Krahe, Catedrático de la Facultad de Matemáticas, Informática y Tecnologías de la Universidad de París 8.

D. Alejandro Rodríguez Ascaso, Departamento de Inteligencia Artificial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

D. Daniel Guasch Murillo, Director Académico de la Cátedra de Accesibilidad, Arquitectura, Diseño y Tecnología para Todos de la Universidad Politécnica de Cataluña.

D. María Satur Torre Calero, Manager de Innovación, Fundación Vodafone España.

D. Carlos Egea García, Director de CEyAS y consultor externo de Fundación ONCE.

D. Miguel Angel Valero Duboy, Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas (DIATEL) de la Universidad Politécnica de Madrid.

D. Lino Ríos Mejías, Coordinador Técnico del Observatorio de Nuevas Tecnologías para el Afiliado del Consejo General de la ONCE.

D. Sergio Arias Álvarez, Experto en Tiflotecnología, Departamento de I+D del CIDAT (Centro de Investigación, Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica de la ONCE).

ISBN: 978-84-88934-39-0

ORGANIZA



ENTIDAD COLABORADORA



PATROCINADORES



ÍNDICE

LIBRO DE ACTAS III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE DOMÓTICA, ROBÓTICA Y TELEASISTENCIA PARA TODOS DRT4ALL 2009	10
INVOX – CONTROL DOMÓTICO POR VOZ MEDIANTE LENGUAJE NATURAL	11
RESUMEN.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO.....	12
3. INVOX: PLATAFORMA PARA EL CONTROL DOMÓTICO A PARTIR DEL HABLA EN LENGUAJE NATURAL	13
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA INVOX	16
5. IMPLANTACIONES Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO.....	16
6. AGRADECIMIENTOS	16
7. REFERENCIAS	16
8. DERECHOS DE AUTOR	17
CIAMI: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL EN APLICACIONES Y SERVICIOS DE INTELIGENCIA AMBIENTAL	18
RESUMEN.....	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. MISIÓN Y OBJETIVOS	19
3. CRITERIOS DE DISEÑO DE LIVING-LAB Y SMART-HOUSE.....	20
4. TRABAJO FUTURO	24
5. CONCLUSIÓN	24
6. REFERENCIAS	25
7. MENCIÓN ESPECIAL	25
INTERFAZ DE SEGUIMIENTO OCULAR BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD	25
RESUMEN.....	26
1. INTRODUCCIÓN.....	26
2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA	26
3. ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO OCULAR	28
4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	32
5. CONCLUSIONES.....	33
6. AGRADECIMIENTOS	33
7. REFERENCIAS	33
INTERFAZ BASADA EN VISIÓN APLICADA A UNA SILLA DE RUEDAS ROBÓTICA	33
RESUMEN.....	34
1. INTRODUCCIÓN.....	34
2. INTERFAZ BASADA EN VISIÓN	35
3. MODELO DE LA SILLA DE RUEDAS ROBÓTICA.....	40
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	42
5. CONCLUSIONES.....	43
6. REFERENCIAS	43
SILLA DE RUEDAS ROBÓTICA MULTI-ACCIONADA INTELIGENTE CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN.....	45
RESUMEN.....	45
1. INTRODUCCIÓN.....	45
2. ESTRUCTURA DE LA INTERFAZ-HOMBRE MÁQUINA	46
3. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO	46

4.	NAVEGACIÓN AUTO-GUIADA	51
5.	SISTEMA DE COMUNICACIÓN	51
6.	CONCLUSIONES	52
7.	REFERENCIAS	52
SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE PERSONAS EN ÁREAS RESIDENCIALES Y SU INTERFAZ GRÁFICA		53
RESUMEN		53
1.	INTRODUCCIÓN	54
2.	SISTEMA DE LOCALIZACIÓN	54
3.	MÓDULO DE LOCALIZACIÓN	56
4.	MÓDULO DE SERVICIOS	59
5.	CONCLUSIONES	62
6.	AGRADECIMIENTOS	62
7.	REFERENCIAS	62
INTERFAZ TELEBIÓNICA		64
RESUMEN		64
1.	INTRODUCCIÓN	64
2.	CONTEXTO	64
3.	NECESIDAD	65
4.	ESTADO DEL ARTE	65
5.	INTERFAZ TELEBIÓNICA. OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN	65
6.	ASPECTOS DIFERENCIALES Y VENTAJAS	67
7.	CONCLUSIONES	67
8.	BIBLIOGRAFÍA	67
MANO ARTIFICIAL CONTROLADA BIOELÉCTRICAMENTE (MAYO 2009)		69
RESUMEN		69
1.	INTRODUCCIÓN	69
2.	CONTENIDO	70
3.	RESULTADOS	73
4.	CONCLUSIONES	74
5.	REFERENCIAS	74
DISEÑANDO CON MARTÍN		74
RESUMEN		75
1.	INTRODUCCIÓN	75
2.	METODOLOGÍA EMPLEADA	77
3.	DISEÑO DEL PROTOTIPO	79
4.	DISEÑANDO CON MARTÍN	81
5.	TRABAJO FUTURO	82
6.	AGRADECIMIENTOS	83
7.	REFERENCIAS	83
JUEGOS COGNITIVOS PARA PERSONAS MAYORES SIN DETERIORO SOBRE UNA MULTITOUCH SCREEN		83
RESUMEN		83
1.	INTRODUCCIÓN	84
2.	ENVEJECIMIENTO COGNITIVO Y SEORIMOTOR	85
3.	JUEGOS COGNITIVOS DEL SISTEMA HERMES	86
4.	IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA DE LA PANTALLA MULTI-TOUCH SCREEN	88
5.	TRABAJO FUTURO	90
6.	AGRADECIMIENTOS	90
7.	REFERENCIAS	90
SOPORTE DE SERVICIOS DE TELEASISTENCIA EN REDES DE NUEVA GENERACIÓN CON TECNOLOGÍA IMS		91
RESUMEN		91
1.	INTRODUCCIÓN	91
2.	ESTADO DEL ARTE	92
3.	MÉTODOS	93

4.	RESULTADOS	96
TECNOLOGÍA PARA LA COMUNICACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE DISCAPACIDAD		99
RESUMEN.....		99
1.	INTRODUCCIÓN.....	100
2.	ESTADO DEL ARTE	100
3.	MÉTODOS Y EXPERIMENTACIÓN	101
4.	RESULTADOS	104
5.	CONCLUSIONES.....	105
6.	REFERENCIAS	106
7.	DERECHOS DE AUTOR	108
CICERONEUA. SISTEMA DE NAVEGACIÓN DE PEATONES DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE PARA USUARIOS Y TECNOLOGÍAS DIVERSAS.....		108
RESUMEN.....		108
1.	INTRODUCCIÓN.....	108
2.	CICERONEUA	109
3.	TRABAJOS ACTUALES Y FUTUROS EN CICERONEUA	111
4.	LOCALIZACIÓN DEL USUARIO MEDIANTE CÓDIGOS QR.....	113
5.	OTROS USOS DE LOS CÓDIGOS QR	114
6.	CONCLUSIONES.....	115
7.	AGRADECIMIENTOS	115
8.	REFERENCIAS	115
INTERFAZ UBICUO ACCESIBLE PARA INTERACCIÓN CON EL HOGAR DIGITAL		116
RESUMEN.....		116
1.	INTRODUCCIÓN.....	116
2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	118
3.	INTERFAZ CON EL USUARIO.....	120
4.	PROTOTIPO	123
5.	CONCLUSIONES.....	123
6.	AGRADECIMIENTOS	123
7.	REFERENCIAS	124
DISPOSITIVOS ROBÓTICOS DE REHABILITACIÓN BASADOS EN INTERFACES CEREBRO-ORDENADOR: SILLA DE RUEDAS Y ROBOT PARA TELEOPERACIÓN.....		124
RESUMEN.....		124
1.	INTRODUCCIÓN.....	124
2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE LA SILLA DE RUEDAS.....	125
3.	METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN	127
4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEOPERACIÓN	129
5.	METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN	131
6.	CONCLUSIONES.....	133
7.	AGRADECIMIENTOS	134
8.	REFERENCIAS	134
AYUDAS FUNCIONALES EN EL HOGAR. POSIBILIDADES DE UNA COCINA ADAPTADA		135
RESUMEN.....		135
1.	INTRODUCCIÓN.....	135
2.	ANTECEDENTES.....	136
3.	ESTRUCTURA DE LA COCINA ADAPTADA CAPDI	136
4.	MÓDULOS FUNCIONALES	137
5.	INTERFAZ DE USUARIO.....	139
6.	ASISTENCIA AL CONTROL DE USUARIO.....	140
7.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	142
8.	REFERENCIAS	143
DISPOSITIVO INALÁMBRICO PARA FACILITAR EL ACCESO AL ORDENADOR		143
RESUMEN.....		143

1.	INTRODUCCIÓN.....	143
2.	MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	144
3.	REQUISITOS DEL DISPOSITIVO	145
4.	DESARROLLO.....	145
5.	PUESTA EN MARCHA	147
6.	CONCLUSIONES.....	148
7.	REFERENCIAS	148
INTERFAZ BASADO EN TELEVISIÓN PARA EL CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DOMÓTICA UTILIZANDO EL ESTÁNDAR MHP.....		149
RESUMEN.....		150
1.	INTRODUCCIÓN.....	150
2.	TRABAJOS RELACIONADOS	150
3.	FUNDAMENTOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL	151
4.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	152
5.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	152
6.	CASO DE USO BASADO EN EL PROTOCOLO BUSING.....	155
7.	CONCLUSIONES.....	156
8.	AGRADECIMIENTOS	156
9.	REFERENCIAS	156
ROBOTS DE COMPAÑÍA PARA ASISTENCIA A PERSONAS MAYORES EN SU DOMICILIO		157
RESUMEN.....		157
1.	INTRODUCCIÓN.....	158
2.	PROYECTOS EN CURSO RELACIONADOS	159
3.	PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	159
4.	PRINCIPALES TAREAS DE TECNALIA-ROBOTIKER	161
5.	IMPACTO ESTRATÉGICO	161
6.	REFERENCIAS	162
ILENA: INTERACCIÓN BASADA EN VOZ CON UN HOGAR DIGITAL		162
RESUMEN.....		163
1.	INTRODUCCIÓN.....	163
2.	METODOLOGÍA	163
3.	RESULTADOS	164
4.	DISCUSIÓN.....	165
5.	CONCLUSIONES.....	165
6.	REFERENCIAS	166
UNA EXPERIENCIA DE HOGAR DIGITAL PARA LA VIDA INDEPENDIENTE		167
RESUMEN.....		167
1.	INTRODUCCIÓN.....	167
2.	DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE VIDA INDEPENDIENTE.....	167
3.	DISEÑO DEL CVI	169
4.	MODELO TEÓRICO DE I+D+I.....	170
5.	MODELO ASISTENCIAL.....	172
6.	IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES.....	172
7.	MODELO ORGANIZATIVO DEL CVI	172
8.	REFERENCIAS	173
SISTEMA DE CONTROL REMOTO INTEGRADO CON INTELIGENCIA AMBIENTAL		174
RESUMEN.....		174
1.	INTRODUCCIÓN.....	174
2.	JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA Y VISIÓN GENERAL	175
3.	PLATAFORMA HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADAS.....	176
4.	ELEMENTOS DEL SISTEMA Y SU FUNCIONALIDAD.....	177
5.	CASOS DE USO	179
6.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	180

7.	REFERENCIAS	180
SERVICIO DE TELE-ASISTENCIA PARA PERSONAS CON DIFICULTADES EN LA COMUNICACIÓN HABLADA BASADO EN UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES		
	RESUMEN.....	181
1.	INTRODUCCIÓN.....	181
2.	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	181
3.	REQUISITOS DEL SISTEMA.....	182
4.	SISTEMA DISEÑADO	182
5.	CONCLUSIONES.....	183
6.	REFERENCIAS	183
NUEVAS OPORTUNIDADES EN SERVICIOS DE TELEASISTENCIA ANTE LA CONVERGENCIA FIJO-MÓVIL		
	RESUMEN.....	184
1.	INTRODUCCIÓN.....	184
2.	ESCENARIO ACTUAL DE LOS SERVICIOS DE TELEASISTENCIA	184
3.	TECNOLOGÍAS DE RED PARA LOS SERVICIOS CONVERGENTES	186
4.	SERVICIOS CONVERGENTES DE TELEASISTENCIA	189
5.	PRUEBA DE CONCEPTO DE SERVICIO DE TELEASISTENCIA CONVERGENTE	191
6.	CONCLUSIONES.....	193
7.	AGRADECIMIENTOS	193
8.	REFERENCIAS	193
EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN NEUROMUSCULAR MEDIANTE ELECTROMIOGRAFÍA MULTICANAL EN PROCESOS DE REHABILITACIÓN MOTORA		
	RESUMEN.....	195
1.	INTRODUCCIÓN.....	195
2.	MATRICES DE ELECTRODOS	196
3.	INTERÉS CLÍNICO.....	196
4.	VARIABLES DE INTERÉS.....	197
5.	APLICACIÓN AL ESTUDIO DE TERAPIAS DE REHABILITACIÓN.....	198
6.	CONCLUSIONES.....	199
7.	AGRADECIMIENTOS	199
8.	REFERENCIAS	199
UTILIZACIÓN DE UN SIMULADOR DE REDES OBS PARA EVALUAR SERVICIOS DE TELE-ASISTENCIA.....		
	RESUMEN.....	201
1.	INTRODUCCIÓN.....	201
2.	DISEÑO DEL SIMULADOR	201
3.	ELEMENTOS DE CONFIGURACIÓN.....	202
4.	ELEMENTOS DE SIMULACIÓN	202
5.	ELEMENTOS DE TRÁFICO.....	203
6.	ELEMENTOS DE TRÁFICO.....	203
7.	ELEMENTOS DE VISUALIZACIÓN	203
8.	RESULTADOS	204
9.	CONCLUSIONES.....	204
10.	AGRADECIMIENTOS	204
11.	REFERENCIAS	204

Libro de ACTAS
III Congreso Internacional
sobre
Domótica, Robótica y
Teleasistencia para Todos
DRT4aII 2009

INVOX – Control domótico por voz mediante lenguaje natural

Pedro José Vivancos Vicente, Juan Salvador Castejón Garrido, David García Gil
VÓCALI Sistemas Inteligentes, S.L.
{pedro.vivancos, juan.castejon, [david.garcia](mailto:david.garcia@vocali.net)}@vocali.net

Resumen

Los seres humanos tenemos en el lenguaje nuestra forma natural de comunicarnos entre nosotros. Sin embargo, existen en la actualidad pocos sistemas o dispositivos que puedan ser controlados por la voz usando un lenguaje flexible y natural, con todas las ventajas que ello conlleva para los usuarios, especialmente aquellos que sufran de alguna discapacidad. En este artículo se presenta un dispositivo que, conectado a una vivienda domotizada, permite al usuario controlar los distintos elementos de la vivienda usando su propia voz y empleando un lenguaje flexible y natural, sin necesidad de realizar tediosos entrenamientos de voz o de memorizar comandos predefinidos.

1. Introducción

Actualmente se puede apreciar cómo continuamente la tecnología va evolucionando mejorando la calidad de vida de las personas. Sin embargo, en demasiadas ocasiones los propios avances tecnológicos pueden provocar que crezca la brecha de oportunidades entre las personas que sufren algún tipo de dependencia o discapacidad y las que no, en un mundo donde se estima que un 10% de la población mundial tiene algún tipo de dependencia, de los cuales un 80% viven en los países en desarrollo.

Según datos del proyecto INREDIS, liderado por la empresa TECHNOSITE del Grupo FUNDOSA, existen tecnologías de interacción persona-máquina que pueden suponer un salto tecnológico en la relación de las personas con discapacidad y la sociedad de la información y, entre ellas, se hace especial atención al procesamiento del habla y al procesamiento de texto, lo que en este artículo se presenta como análisis de lenguaje natural.

VÓCALI Sistemas Inteligentes S.L. es una empresa innovadora que acerca el lenguaje humano a las máquinas, haciendo posible que las personas podamos interactuar con éstas a través del lenguaje.

Los sistemas desarrollados por VÓCALI utilizan tecnologías propias que permiten dotar a los sistemas de “inteligencia” para comprender el lenguaje hablado o escrito y actuar en función de lo que el usuario haya expresado.

VÓCALI nació como idea empresarial en el año 2004 a partir las investigaciones realizadas dentro del campo de la Web Semántica y la Gestión del Conocimiento y empezó a funcionar gracias a la ayuda del CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), entidad dependiente del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas, y que promovió la idea empresarial y a sus emprendedores dentro del programa NEOTEC, apostando por el carácter innovador de las tecnologías desarrolladas por VÓCALI.

En este artículo se presenta la tecnología INVOX para el desarrollo de sistemas de reconocimiento de voz en lenguaje natural y su aplicación a la automatización de viviendas y edificios, lo que se conoce comúnmente como domótica e inmótica, respectivamente.

El sistema INVOX es un dispositivo que ha sido creado teniendo en cuenta los principios del *Diseño Para Todos* y que conectado a una instalación domótica nos permite controlar los dispositivos de dicha instalación mediante la voz, usando siempre un lenguaje abierto y natural, siendo este dispositivo independiente del hablante, es decir, no requiere de entrenamientos para que pueda reconocer nuestra voz, ni de comandos predefinidos, por lo que el usuario no tiene que memorizar qué comandos puede usar sobre el conjunto de dispositivos de nuestra instalación.

Este artículo ha sido estructurado de la siguiente manera: en el apartado 2 se presentan un breve detalle de las tecnologías que se han empleado en el desarrollo de este dispositivo. En el siguiente apartado se presenta el dispositivo, indicando su funcionamiento, para en el siguiente apartado describir brevemente algunas especificaciones técnicas del sistema. Finalmente en el apartado 5 se muestran resultados de

pruebas realizadas para medir el porcentaje de acierto del sistema.

2. Tecnologías utilizadas en el proyecto

El sistema INVOX se apoya principalmente en métodos y procedimientos de: a) Reconocimiento del lenguaje natural e ingeniería lingüística; b) Tecnologías de reconocimiento de voz; c) Web Semántica; d) Tecnologías de representación del conocimiento y e) Extracción de conocimiento a partir de texto (ontology learning).

2.1. Reconocimiento del lenguaje natural e ingeniería lingüística

La ingeniería lingüística y el procesamiento del lenguaje natural es la aplicación del conocimiento de la lengua al desarrollo de sistemas informáticos capaces de reconocer, comprender, interpretar y generar lenguaje humano en todas sus formas.

2.2. Tecnologías de reconocimiento de voz

El reconocimiento de voz permite transcribir lo que el usuario dice en texto, existiendo dos tipos de reconocedores de voz comerciales: los dependientes del hablante (requieren de un entrenamiento para "entender" nuestra voz) y los independientes del hablante (son independientes de la persona que habla y por tanto no requieren de entrenamiento).

Estos sistemas se emplean principalmente en dos tareas: modo de reconocimiento de comandos, que emplea gramáticas predefinidas; y el modo de dictado que obtiene una lista con las palabras más probables que pueda haber dicho el usuario.

2.3. Web Semántica

Tim Berners-Lee en un artículo publicado en el año 2001 en la revista Scientific American define la Web Semántica de la siguiente manera: "La Web Semántica es una extensión de la Web actual donde la información viene dotada de significado bien definido, y permite a las computadoras y a las personas trabajar en cooperación" [3].

En definitiva, el proyecto de la Web Semántica trata de crear un medio universal para el intercambio de información, dotando a los contenidos de los

documentos Web de conocimiento de forma que éste sea comprensible por las máquinas.

Las limitaciones actuales de los contenidos de los documentos Web, es que no disponen de semántica ni significado entendible por una máquina, la cual no podrá automatizar tareas mediante software en sustitución de un humano. La Web Semántica permitiría, por ejemplo, diseñar buscadores Web basados en la "semántica", no en la búsqueda de términos actual, o bien diseñar agentes software que puedan identificar un sitio Web, obtener los servicios e información que pueda proporcionar.

2.4. Tecnologías de representación del conocimiento

Dentro del campo del conocimiento, existen tecnologías que no sólo facilitan la representación del conocimiento, sino que también permiten la reutilización y la compartición de componentes del conocimiento. Una de estas tecnologías son las ontologías, que dan cuenta del conocimiento del dominio en términos estáticos. Dicha tecnología se ha utilizado ya para representar conocimiento en distintos tipos de dominios, como puede ser el caso de dominios clínicos [14], y las memorias organizacionales [5]. Las propiedades de reusabilidad y compartición que poseen las ontologías hacen todavía más interesante su uso al reducir el esfuerzo necesario para realizar el modelado ontológico de dominios complejos. De esta forma, se resuelve en cierta medida el problema planteado en [2], donde se dice que uno de los problemas empresariales que ha de resolver la gestión del conocimiento es que el conocimiento adquirido a través de la experiencia no se reutiliza porque no es compartido de manera formal. Sin embargo, la construcción de ontologías es un proceso complejo, por lo que no existen en la actualidad muchos métodos disponibles. Uno de éstos se basa en un conjunto de funciones para cuantificar el conocimiento. Por medio de estas funciones, se pueden obtener vocabularios ontológicos así como restricciones que deben ser satisfechas por la estructura de la ontología [19]. La tecnología en cuestión se ha aplicado a diferentes dominios médicos [6]. En la actualidad, el lenguaje para expresar ontologías más utilizado es OWL (Ontology Web Language).

2.5. Extracción de conocimiento a partir de texto (Ontology Learning)

Las aproximaciones de ontology learning pueden dividirse en tres grupos principales según el método

utilizado: aproximaciones simbólicas, aproximaciones estadísticas y aproximaciones basadas en machine learning. Las aproximaciones simbólicas se basan en la idea de utilizar patrones léxico-sintácticos en la forma de expresiones regulares para la extracción de relaciones semánticas. Hearst [8] introdujo una aproximación para la obtención de relaciones taxonómicas a partir de estos patrones. Estas aproximaciones se basan en métodos heurísticos que utilizan expresiones regulares que originalmente han sido aplicadas en el área de la extracción de información [17]. Las aproximaciones estadísticas se basan en datos estadísticos sobre la concurrencia de palabras que expresan estos conceptos. La idea principal que tienen en común todas estas aproximaciones es que la identidad semántica de una palabra se refleja en su distribución sobre diferentes contextos, por lo que el significado de una palabra se representa en términos de la concurrencia de palabras con su frecuencia de ocurrencia. La herramienta Mo’K [4] soporta el desarrollo de métodos de clustering conceptual para la construcción de ontologías. Este trabajo se centra en la elaboración de métodos de clustering para realizar la creación de jerarquías de conceptos (Taxonomías) asistidas por los ingenieros de conocimiento. Otro trabajo relacionado con el clustering conceptual es el presentado por Godoy [7] donde se presenta un método automático (no supervisado) para la obtención de perfiles de usuario en la Web. Por último, en las aproximaciones de machine learning se utilizan técnicas de aprendizaje tanto supervisado como no supervisado para el descubrimiento de componentes de las ontologías. Una de las primeras aproximaciones de este tipo se basó en el descubrimiento de relaciones jerárquicas entre clases utilizando Ripple-Down Rules [13]. Actualmente estas técnicas son las que prevalecen y podemos destacar las arquitecturas Text-to-Onto [9], OntoLearn [11], y la

arquitectura KAText creada en nuestro grupo para ontology learning de una manera incremental a partir de texto presentada en [15] y [16].

3. INVOX: Plataforma para el control domótico a partir del habla en lenguaje natural

VÓCALI ha desarrollado el producto INVOX para el control domótico de instalaciones KNX a partir de órdenes en lenguaje natural. INVOX es un dispositivo que nos permite controlar cualquier dispositivo en una instalación domótica o inmótica a través de la voz y usando un lenguaje natural, es decir, sin necesidad de memorizar comandos, sino empleando toda la flexibilidad del lenguaje.

El sistema ha sido desarrollado dentro del marco del *Diseño para Todos* y permite tanto a personas con algún grado de dependencia como no interactuar con su vivienda de la forma más común para los seres humanos: el lenguaje a través de la voz. De esta manera personas con movilidad reducida pueden dar órdenes a su vivienda para que se produzca una determinada acción, como encender una luz o bajar una persiana, e incluso personas con alguna discapacidad sensorial, concretamente visual, pueden realizar tareas sin necesidad de buscar interruptores o manejar dispositivos con displays digitales que entorpecen la rutina de su vida cotidiana.

Actualmente, INVOX se integra con el bus domótico EIB/Konnex, estándar internacional abierto para automatización y que posee una gran gama de dispositivos compatibles, pudiendo controlar todos los dispositivos del bus mediante órdenes en lenguaje natural.

En la figura 1 podemos ver el esquema de funcionamiento del producto INVOX:

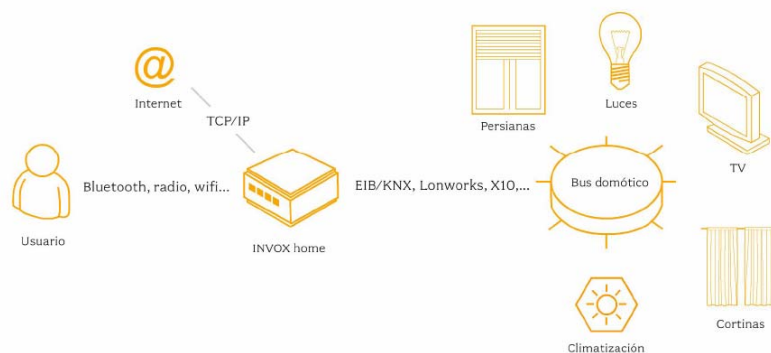


Figura 1. Funcionamiento de INVOX con su entorno.

En el diagrama anterior se pueda apreciar como INVOX es un dispositivo que permite que un usuario pueda conectarse de manera inalámbrica para poder dar órdenes en lenguaje natural mediante su voz y que estos comandos se traduzcan a comandos KNX que se ejecutan finalmente en los dispositivos.

3.1. Arquitectura de INVOX.

INVOX es en realidad una interfaz de comunicación que permite interactuar con una casa, edificio o instalación domótica, mediante habla en lenguaje natural (Figura 2).

Este sistema está formado por cuatro componentes principales: reconocedor de voz (ASR), sistema de procesamiento de órdenes (motor NLP), sistema de comunicación con el bus (interfaz KNX), y sistema de conversión de texto a voz (TTS).

ASR

El Reconocimiento Automático del Habla (ASR “Automatic Speech Recognition”) permite la comunicación entre seres humanos y computadoras electrónicas mediante la voz. Un sistema de ASR obtiene información a partir de la voz de un ser humano.

El sistema ASR empleado en INVOX ha sido desarrollado en función de los siguientes criterios:

Entrenabilidad: determina si el sistema necesita un entrenamiento previo antes de empezar a usarse. INVOX ha sido desarrollado de tal manera que no requiera de ningún entrenamiento por parte del usuario para que el sistema reconozca su voz.

Dependencia del hablante: determina si el sistema debe entrenarse para cada usuario o es independiente del hablante. INVOX es independiente del hablante y puede reconocer cualquier voz que hable con acento castellano-español. El sistema ha sido realizado empleando multitud de muestras de voces donde se han usado variables como edad, el sexo o la localización.

Continuidad: determina si el sistema puede reconocer habla continua o el usuario debe hacer pausas entre palabra y palabra. INVOX permite el reconocimiento de comandos en tiempo real, por lo que el usuario puede hablar al sistema de una manera natural, como si le hablase a otra persona.

Robustez: determina si el sistema está diseñado para usarse con señales poco ruidosas o, por el contrario, puede funcionar aceptablemente en condiciones ruidosas, ya sea ruido de fondo, ruido procedente del canal o la presencia de voces de otras personas. INVOX ha pasado con éxito una batería de pruebas que contenían diversos comandos pronunciados por voces distintas, obteniendo unos resultados nunca inferiores al 85% de éxito con todas las voces con una calidad de audio similar a la que obtenemos cuando empleamos un walkie-talkie no profesional.

El sistema ASR transcribe lo dicho por el usuario a texto con el sólo uso de la voz. Estos comandos son flexibles y no están asociados a ninguna acción pues sería inviable la generación de todas las formas de decir un determinado comando, haciendo que el rendimiento del sistema se viese realmente perjudicado. Una vez transcrito lo que se ha dicho, con mayor o menor precisión, será el sistema de procesamiento de órdenes el encargado de determinar qué ha querido decir el usuario.

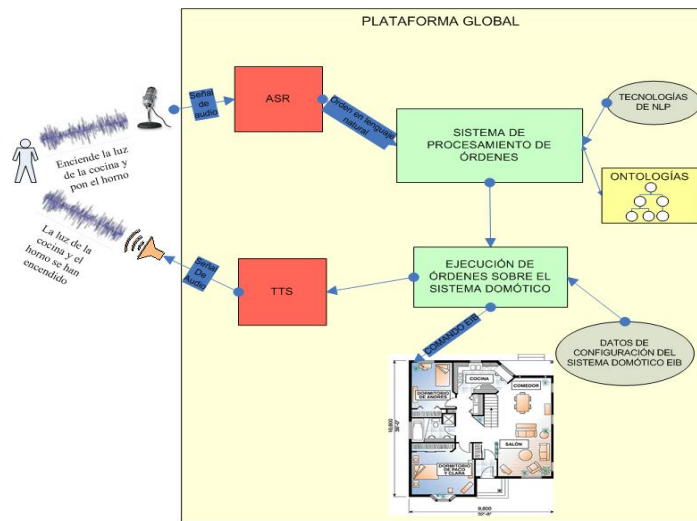


Figura 2. Arquitectura de INVOX Home.

Sistema de procesamiento de órdenes

Este módulo reconoce las órdenes en lenguaje natural obtenidas a través de un sistema de reconocimiento de voz automático. Este módulo utiliza tecnologías de ingeniería ontológica, procesamiento del lenguaje natural e ingeniería lingüística.

Una ontología es una estructura de conocimiento que representa los conceptos y las relaciones de un dominio en particular. Este módulo se basa en una ontología desarrollada para instalaciones domóticas, donde se representa toda la semántica de dicho dominio. En la figura siguiente, aparece un fragmento de la ontología en su entorno de desarrollo.



Figura 3. Ontología del dominio de instalaciones domóticas.

Gracias a esta ontología y a otros recursos de procesamiento del lenguaje natural, este módulo permite extraer el significado de la orden que se quiere ejecutar de tal manera que sea capaz de entender lo que el usuario quiere decir, independientemente de la forma de decirlo (p.e. las órdenes “conecta la luz del salón” y “enciende el salón” son distintas y sin embargo significan lo mismo).

Sistema de comunicación con el bus

Este módulo traduce el comando que se ha interpretado en el módulo anterior a un comando que sigue las especificaciones del estándar domótico

EIB/Konnex. Este módulo se configura a partir del editor de configuración de INVOX, que usando los ficheros estándar de configuración de instalaciones domóticas EIB/Konnex permite extraer la información de los dispositivos que existen en esa instalación y asociarles la configuración necesaria para su correcto funcionamiento.

TTS

La Síntesis de voz (TTS o Text to Speech) es la producción artificial de habla humana. Esta tecnología también cuenta en la actualidad con unos excelentes resultados, planteándose como el mayor reto a conseguir, aumentar la calidad de la voz sintetizada.

En nuestro sistema INVOX la síntesis de voz se usa una vez ejecutado el comando sobre la instalación domótica, de tal modo que se confirme al usuario que la orden se ha ejecutado o bien que ha habido un error al ejecutar la orden (p.e. porque el sistema no esté conectado al bus).

3.2. Herramienta de configuración INVOX

INVOX viene acompañado de un editor de configuración que, a partir de los ficheros estándar de configuración de instalaciones domóticas EIB/Konnex, permite extraer la información de los dispositivos que existen en esa instalación y asociarles la configuración necesaria para su correcto funcionamiento.

Para ello esta herramienta, que se ha implementado en forma de asistente, toma como entrada un fichero ESF con toda la configuración domótica y en unos pocos pasos podemos indicar las estancias de nuestra vivienda y configurar para cada una de ellas todos los dispositivos de la instalación domótica, junto con sus acciones, sus direcciones de grupo KNX y los comandos KNX que se deben enviar para realizar dichas acciones.

En la figura 4 se muestra una ventana del asistente de configuración donde se asignan las direcciones de grupo a las luces del comedor.

Una vez terminada la configuración de INVOX se puede cargar esa configuración conectándonos al dispositivo a través de WIFI en una conexión ad-hoc con el dispositivo. INVOX dispone de una interfaz web donde se puede indicar la configuración domótica de la vivienda, modificar los parámetros del audio y/o actualizar el firmware del sistema para incorporar mejoras y nuevas funcionalidades.

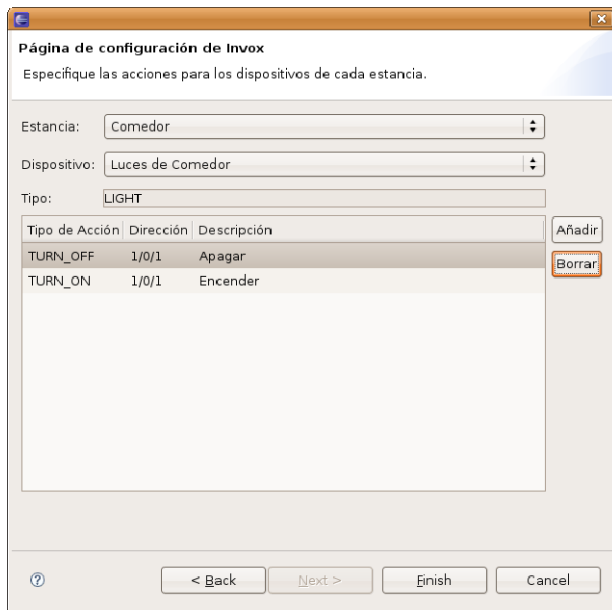


Figura 4. Asistente de configuración de INVOX

4. Especificaciones técnicas del sistema INVOX

INVOX es un PC industrial con carcasa de aluminio y tamaño ultracompacto, que no utiliza ventilador, de tal modo que puede ser instalado en sitios de poca ventilación como falsas paredes o techos, y que dispone de una unidad de acoplamiento al bus KNX integrada, por lo que no es necesaria ninguna interfaz de conexión al bus externa.

El dispositivo tiene unas medidas de 264x162x47 mm que lo hacen compacto y fácil de instalar en sitios que lo mantengan oculto.

INVOX es además un dispositivo independiente del sistema de audio de E/S al que se conecte. De esta manera conseguimos un sistema que se puede adaptar a distintos tipos de instalación, ya sean por el entorno de la instalación (vivienda unifamiliares, hospitales, edificios de oficinas,...) o por las condiciones de los usuarios (p.e. una persona que utilice una silla de ruedas).

5. Implantaciones y evaluación del rendimiento

INVOX ha sido probado utilizando una batería de pruebas de más de 1.900 ficheros de audio grabados por gente de distinto sexo, edad y localización geográfica (siempre dentro de territorio español) y utilizando una calidad de audio similar a la que se obtiene con los sistemas de walkie-talkie domésticos, muy por debajo de la calidad obtenida con sistemas

telefónicos, parámetro de calidad con los que se testean los sistemas de reconocimiento de voz.

Estos ficheros de audio se han agrupado por individuos de tal modo que el criterio de calidad para el lanzamiento comercial de INVOX ha sido que supere el 85% de acierto en todos los casos.

Los archivos de audio empleados en las pruebas contenían comandos vocales para controlar dispositivos comunes en una vivienda y no deben confundirse con las muestras de audio empleadas para el desarrollo del sistema de reconocimiento de voz, que es independiente del dominio (domótica e inmótica en este artículo) y que, por tanto, ha requerido de otros archivos de audio para los tests.

Además, el equipo de desarrollo de INVOX ha desarrollado unas guías de implantación que ayudan al integrador domótico a desarrollar la mejor solución para personas con cierto tipo de discapacidad móvil, de tal modo que el sistema de audio para enviar órdenes a INVOX sea sencillo y cómodo de usar para las dichas personas.

6. Agradecimientos

INVOX ha sido desarrollado gracias a la ayuda del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el proyecto PROFIT FIT-350300-2007-27 y a los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (fondos FEDER).

7. Referencias

- [1] Proyecto INREDIS. <http://www.inredis.es>
- [2] J. Angus, J. Patel, J. Harty, "Knowledge Management: great concept but what is it." *Information Week*. 1998
- [3] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila, (2001). "The Semantic Web". *Scientific American*. Mayo 2001.
- [4] G. Bisson, C. Nedellec, D. Canamero "Designing Clustering Methods for Ontology Building - The Mo'K Workbench". *Proceedings of the Workshop on Ontology Learning, 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI'00*, Ed. S. Staab, A. Maedche, C. Nedellec, P. Wiemer-Hastings, Berlin, Germany, 2000.
- [5] R. Dieng, O. Corby, A. Giboin, M. Ribieres. "Methods and tools for corporate knowledge management" *International Journal of Human-Computer Studies*. 1999. Vol. 51, pp. 567-598.
- [6] J.T. Fernández-Breis, R. Martínez-Béjar. "A Cooperative tool for facilitating Knowledge Management" *Expert Systems with Applications*, 2000, Vol. 18(4), pp. 315-330.

[7] D. Godoy, A. Amandi. "Modelling user interests by conceptual clustering". *Information Systems*, 2006, Vol. 31, pp. 247-265.

[8] M.A. Hearst, (1992) Automatic acquisition of hyponyms from large text corpora. In *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Linguistics*. Nantes, France.

[9] A. Maedche, S. Staab. "Ontology Learning for the Semantic Web", *IEEE Intelligent Systems*, 2001, vol. 16 (2), pp. 72 – 79.

[10] R. Martínez-Béjar, V.R. Benjamins, F. Martín-Rubio. "Operators for Constructing Domain Knowledge Ontologies". *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 1997, vol 1319, pp. 159-173.

[11] R. Navigli, P. Velardi. "Learning Domain Ontologies from Document Warehouses and Dedicated Web Sites". *Computational Linguistics*, 2004, vol. 30(2), pp. 151-179.

[12] S. Schulz, M. Romacker, G. Faggioli, U. Hahn. "From knowledge import to knowledge finishing automatic acquisition and semi-automatic refinement of medical knowledge". *Proceedings of KAW'99*, 1999.

[13] H. Suryanto, P. Compton. "Learning Classification taxonomies from a classification knowledge based system". *Proceedings of the Workshop on Ontology Learning, 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI'00*, Eds: S. Staab, A. Maedche, C. Nedellec, P. Wiemer-Hastings (eds.), 20-25 Agosto de 2000, Berlin, Alemania.

[14] Y. Shahar, M.A. Musen. "Knowledge-Based Temporal Abstraction in Clinical Domains". *Artificial Intelligence in Medicine*, 1996, vol. 8(3), pp. 267-298.

[15] R. Valencia-García, J.M. Ruiz-Sánchez, P.J. Vivancos-Vicente, J.T. Fernández-Breis, R. Martínez-Béjar. "An incremental approach for discovering medical knowledge from texts". *Expert Systems with Applications*. 2003, vol. 26(3), pp. 291-299.

[16] R. Valencia-García, D. Castellanos-Nieves, J.T. Fernández-Breis, P.J. Vivancos-Vicente. "A methodology for extracting ontological knowledge from Spanish documents". *Lecture Notes in Computer Science*, 2006, vol. 3878, pp. 71-80.

[17] J.R. Hobbs, E.A. Douglas, J. Bear, D. Israel, M. Kameyama, M. Tyson. "FASTUS: A System for Extracting Information from Text", *Proceedings Human Language Technology*, Marzo 1993, Princeton, New Jersey, pp. 133-137.

8. Derechos de autor

El autor o los autores de los artículos presentados como soporte documental para sus intervenciones en el Congreso, en el mismo acto de enviarlos para su aprobación, aceptan la cesión de los derechos de autor sobre los mismos para su publicación en el libro de actas del Congreso.

CIAmI: Centro de Investigación Experimental en Aplicaciones y Servicios de Inteligencia Ambiental

Juan Bautista Montalvá Colomer¹, Juan Pablo Lázaro Ramos², Ángel Martínez Cavero², Abelardo León González¹, Sergio Guillén Barrionuevo², María Teresa Arredondo Waldmeyer¹

(1) Grupo Life Supporting Technologies, ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, (2) Grupo Tecnologías para la Salud y el Bienestar, Instituto ITACA

jmontalva@lst.tfo.upm.es; jualara@upvnet.upv.es; anmarca6@itaca.upv.es
aleon@lst.tfo.upm.es; sguillen@itaca.upv.es; mta@lst.tfo.upm.es ;

Resumen

La misión del Centro de Investigación Experimental en Aplicaciones y Servicios de Inteligencia Ambiental (CIAmI) es la de constituir un Grupo de Excelencia de carácter nacional e internacional en la investigación y desarrollo de la Inteligencia Ambiental (AmI) y de los aspectos relacionados con la prevención, el cuidado, la promoción de la salud, el bienestar de las personas, el apoyo a la inclusión social y la vida independiente.

La actividad del centro gira alrededor de la creación de dos laboratorios de referencia en tecnologías AmI en Valencia y Madrid. Ambos laboratorios se proponen como un verdadero banco de pruebas que permita evaluar de manera intensiva nuevas aplicaciones y servicios avanzados que hagan un uso masivo de las TIC.

1. Introducción

Durante los últimos años hemos sido testigos de una revolución sin precedentes en el mundo de la tecnología que ha incrementado sustancialmente nuestra capacidad para crear, acceder y manipular la información. El mayor acceso a la información además ha venido de la mano de una mayor aptitud para comunicarnos como consecuencia de la evolución sufrida por los actuales sistemas de telecomunicación.

Aunque todos estos progresos están posibilitando que muchas personas accedan a diario a la Sociedad de la Información (SI) y utilicen la tecnología de

forma inconsciente y natural, otras tantas carecen de los medios o los conocimientos necesarios para poder hacer un uso adecuado de las mismas y obtener así los beneficios asociados a su utilización.

Se presenta por lo tanto una situación cuanto menos curiosa ya que por un lado existen las herramientas que se podrían aprovechar para comunicar a grupos de personas menos favorecidas y sin embargo lo que está sucediendo es que están apareciendo una nueva serie de problemas que lo que están haciendo es definir nuevos grupos de excluidos.

La mayor parte de la problemática existente a día de hoy [1] que frena el acceso de muchas personas a la SI y que impiden que éstas extraigan beneficios del uso de las TIC podrían ser resueltas si fuéramos capaces de integrar la tecnología en diversos tipos de objetos con los cuales los usuarios estuvieran familiarizados consiguiendo que éstos estuvieran rodeados en todo momento de interfaces intuitivas e inteligentes de forma que el propio entorno fuera capaz de reconocer y responder a su presencia de un modo amigable y no intrusivo. Es en este punto donde aparece el paradigma de la Inteligencia Ambiental.

Este concepto, tal y como lo conocemos hoy en día, es el resultado de la evolución de la idea de computación ubicua concebido por Mark Weiser en 1988 y la visión del grupo ISTAG (*Information Society Technologies Advisory Group*) de la Unión Europea en 2001. Se trata de una visión basada en una nueva relación de los individuos con su entorno que debe ser más amigable, fácil, racional, productiva, sostenible y segura para beneficio de

todos, posibilitando que la vida de sus usuarios sea mucho más cómoda y rica.

Un concepto íntimamente relacionado con el paradigma de la inteligencia ambiental y del cual haremos uso en este proyecto técnico es el concepto del *Living Lab*.

Este concepto tiene su origen en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) de la mano del profesor William Mitchel de la escuela de arquitectura y se presenta como una metodología de investigación para testear, validar, realizar prototipos y ajustar soluciones complejas en entornos reales en constante evolución [4]. La principal ventaja de este tipo de laboratorios reside en que puede simularse con gran nivel de precisión las condiciones de vida de los usuarios objetivo de la investigación y probar con la máxima exactitud las tecnologías desarrolladas (tanto *software* como *hardware*).

2. Misión y objetivos

Dada la necesidad de estudiar e investigar en aspectos relacionados con el bienestar de las personas, el apoyo a la inclusión social y la vida independiente surge la motivación de este trabajo. La actividad del mismo gira alrededor de la creación de dos laboratorios de referencia (*Living Lab* en Valencia y *Smart-House* en Madrid) que sirvan como un verdadero banco de pruebas donde poder testear las nuevas aplicaciones de inteligencia ambiental que hacen un uso masivo de las TIC y que están dirigidas a todo el colectivo de personas menos favorecidas que, por unos motivos u otros, están siendo excluidas de la SI.

En la actualidad, disponer de un laboratorio de estas características completamente aislado no tiene ningún sentido ya que lo que en realidad aporta un verdadero valor añadido a este tipo de infraestructuras es la posibilidad de compartir experiencias, resultados y conclusiones con el fin de mejorar el proceso de investigación y desarrollo en los mismos. Por este motivo tanto el *Living-Lab* de Valencia como la vivienda *Smart-House* de Madrid han pasado a formar parte de la Red Europea de *Living Labs* (*European Network of Living Labs*, ENoLL) desde la tercera convocatoria (2008).



Ilustración 1. Logo de pertenencia a *European Network of Living Labs* (ENoLL)

La principal ventaja de pertenecer a este tipo de redes es que la principal actividad, es decir, el intercambio de experiencias relacionadas con el testeo y uso tecnológico en entornos reales, enriquece enormemente el bagaje técnico y de metodologías de extracción de requisitos de usuarios de ambos laboratorios.

Por otro lado, conviene mencionar que este trabajo de investigación se enmarca dentro de una de las líneas estratégicas perseguidas por el Plan Avanza de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. En concreto, forma parte de la línea de actuación de centros de referencia en el ámbito de los servicios digitales y se trata de un proyecto de colaboración a largo plazo entre dos centros tecnológicos con amplia experiencia en el campo de las aplicaciones avanzadas de TIC para la salud, la inclusión social y el bienestar de los ciudadanos: el grupo de Tecnologías para la Salud y el Bienestar (TSB) del instituto ITACA (Instituto de Aplicaciones de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones Avanzadas) y el grupo *Life Supporting Technologies* (LST) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

A continuación se muestra un listado con las principales tareas y objetivos de las que se encargará cada uno de los laboratorios implementados:

2.1. Laboratorio Living-Lab Valencia

El CIAMl *Living Lab* se trata de una vivienda convencional a la vista y percepción de sus habitantes aunque totalmente modificada con el objetivo de dotarla de cierta inteligencia y conseguir que ésta sea capaz de capturar el uso y las interacciones que hacen sus habitantes de todos los dispositivos y elementos que tienen distribuidos a su alrededor.

Este laboratorio dispone de los recursos tecnológicos necesarios con los que componer un gran número de aplicaciones y servicios de distinta naturaleza que cubran necesidades concretas de los usuarios objetivo.

Este centro se ha diseñado para implementar las siguientes acciones de investigación y desarrollo:

- Desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles a necesidades concretas relacionadas con el cuidado de la salud, los cuidados sociales y los servicios en el hogar para todos los ciudadanos en general.
- Evaluación tecnológica de aplicaciones (propias, de empresas u otros centros de investigación) pudiendo utilizar para ello usuarios reales que permitan validar su instalación y puesta en marcha.

- Estudiar y analizar las necesidades de los usuarios haciendo especial hincapié en las personas mayores y aquellas que padecen alguna discapacidad acorde a los siguientes criterios: integración social y soporte para las actividades de la vida diaria.
- Evaluación intensiva durante períodos extensos de tiempo de las aplicaciones desarrolladas con el objetivo de prepararlas para un pre-lanzamiento comercial.

2.2. Laboratorio Smart-House Madrid

Los principales objetivos a desarrollar en el laboratorio *Smart-House*, se basan principalmente en los objetivos del diseño centrado en el usuario [10], ya que el laboratorio tiene como eje fundamental al usuario y su implicación en el diseño y evaluación de la interacción con el entorno. Además, como veremos más adelante el diseño del laboratorio ha sido pensado teniendo en cuenta al mayor espectro de la población incluyendo tanto personas mayores como personas con discapacidad. Esto ha sido posible al contemplar los principios del Diseño para Todos o Diseño Universal [11] desde la etapa inicial del proyecto.

De este modo se han llegado a definir los siguientes objetivos y funcionalidades del laboratorio *Smart-House*:

- Definición de los indicadores de evaluación tanto tecnológicos como de experiencia de usuario necesarios para la correcta definición final de estos servicios y aplicaciones de manera que se obtengan prototipo pre-industriales totalmente validados por los usuarios, y por lo tanto próximos a ser explotados e instalado en entornos reales.
- Estudio sistemático de las necesidades de los usuarios diana de las aplicaciones y servicios: ancianos, personas con discapacidad y personas con limitaciones cognitivas y personas que sufren enfermedades crónicas.
- Potenciar la colaboración activa con organizaciones de usuarios finales susceptibles de verse claramente beneficiadas por este tipo de aplicaciones con el objetivo de conocer con la mayor cercanía posible las características de las necesidades y las capacidades propias de estos usuarios finales.
- Generación y análisis de nuevos paradigmas de interacción hombre-máquina.

2.3. Complementariedad

Llegados a este punto, es importante destacar que ambos laboratorios ofrecen capacidades complementarias. Mientras que *Living-Lab* genera transferencia puramente tecnológica (Investigación, Desarrollo e Innovación) con el objetivo de cubrir necesidades concretas de los usuarios, *Smart-House* investiga la visión y experiencia de los usuarios con respecto a las aplicaciones y servicios tecnológicos AmI.

El trabajo coordinado entre ambos laboratorios permitirá realizar en su total magnitud y alcance un proceso iterativo de enriquecimiento que lleve al éxito al producto tecnológico orientado a un grupo o grupos concretos de usuarios. Una ventaja decisiva y relevante respecto al modo en el que la investigación aplicada se ha estado realizando hasta ahora en este ámbito, es que CIAMI permitirá cubrir con el proceso de diseño y desarrollo orientado al usuario, en todas las fases de la cadena de valor.



Ilustración 2. Complementariedad de los laboratorios Smart House Madrid y Living Lab Valencia.

3. Criterios de diseño de Living-Lab y Smart-House

Para conseguir satisfacer los objetivos marcados para la realización de los dos laboratorios de que consta el Centro CIAMI fue necesario definir un plan de trabajo adecuado donde se especificó de forma clara y unívoca la línea a seguir. Analizando la solución completa se puede percibir que para el diseño de una infraestructura de este tipo es necesario tener en cuenta dos puntos de vista claramente diferenciados aunque influyen el uno en el otro: arquitectura y tecnología.

Es por ello que se abordaron dos tipos de proyectos: por un lado el desarrollo del proyecto arquitectónico, tratando de prever qué necesidades van a tener los potenciales usuarios del hogar, al menos durante los primeros años de vida de los laboratorios. Por otro lado, se puso en marcha el proyecto tecnológico cuales son los requisitos tecnológicos básicos para poder abordar aplicaciones y servicios de inteligencia ambiental y de control

inteligente del entorno. En este caso, se pretende dotar a los laboratorios de una serie de tecnologías de base sobre las que poder seguir creciendo. En el caso del Living-Lab Valencia, se ha puesto especial hincapié en adquirir también herramientas de desarrollo de dispositivos y de programas informáticos. Además, los propios laboratorios implementan una serie de herramientas que les permitirán actualizarse en cada uno de los campos de conocimiento en los que son especialistas: observatorios tecnológicos y observatorios de cambios que afecten al entorno social de los usuarios potenciales o de nuevas metodologías universales de diseño. Esto permitirá una constante evolución a lo largo de los años más allá de la definición inicial que se describe en este artículo.

De manera genérica se planteó como un requisito de enorme relevancia la inclusión de criterios de Diseño para Todos dentro de los criterios generales de diseño de los laboratorios.

3.1. Criterios Diseño para Todos

El desarrollo del proyecto global, tanto arquitectónico como tecnológico, ha tenido en cuenta los 7 principios del Diseño para Todos o Diseño Universal [11], definidos por el Centro para el Diseño Universal de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, para hacer posible el uso del laboratorio por cualquier persona, ya tenga una discapacidad o no. Para cada uno de los principios del Diseño para Todos se han establecido una serie de criterios que mejoran la usabilidad de laboratorio para su uso por cualquier persona.

A continuación se detallan algunos ejemplos de los criterios en cuanto a accesibilidad que se han seguido acorde a los diferentes principios del Diseño para Todos, y algunas de las soluciones elegidas para hacer realidad dichos criterios en la fase de diseño:

Uno: uso equitativo

El diseño debe ser útil y comercializable para personas de distintas capacidades.

- Los pasillos y espacios se han diseñado lo suficientemente anchos para que pueda circular cualquier persona incluyendo aquellas que utilizan una silla de ruedas u otros productos de apoyo.

Dos: flexibilidad en el uso

El diseño debe adaptarse a una amplia variedad de preferencias y capacidades individuales.

- Las diferentes tecnologías domóticas del hogar se pueden utilizar empleando la voz, elementos táctiles y otros productos de apoyo.
- Los grifos son monomando para permitir su uso por personas tanto diestras como zurdas.

Tres: uso sencillo e intuitivo

El diseño debe ser fácil de entender, independientemente de la experiencia, los conocimientos, las habilidades lingüísticas o el nivel de concentración del usuario.

- Las interfaces para el control de los dispositivos domóticos están diseñadas de tal modo que son fáciles de entender y sencillas de utilizar, al emplear iconografía que identifica claramente los diferentes elementos y dispositivos.
- Las salidas de agua tienen de forma clara señalizada la salida del agua caliente y del agua fría.

Cuatro: información perceptible

El diseño debe comunicar al usuario la información necesaria de manera eficaz, sin importar las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales del usuario.

- La información del estado de los dispositivos se da tanto verbalmente como por modo gráfico, dependiendo de las capacidades y preferencias de los usuarios.
- El sistema de interacción con los dispositivos es compatible con diversos productos de apoyo que faciliten la percepción de la información, como por ejemplo magnificadores y revisores de pantalla.

Cinco: tolerancia al error

El diseño debe reducir al mínimo los riesgos y las consecuencias adversas de acciones accidentales o realizadas sin intención.

- Se han señalado y organizado los elementos de interacción del laboratorio para minimizar los riesgos y errores.

Seis: esfuerzo físico reducido

El diseño puede ser usado de manera eficiente y confortable, y con un mínimo de fatiga.

- Las manivelas de apertura de las puertas requieren un mínimo esfuerzo para ser utilizadas.

Siete: tamaño y espacio para acercarse y usar

Se debe proporcionar un tamaño y un espacio adecuados para acercarse, alcanzar, manipular y usar, sin que importe el tamaño corporal del usuario, su postura o su movilidad.

- Los pulsadores e interruptores, tienen el suficiente tamaño para poder utilizarlos con los dedos, el puño u otras partes del cuerpo y se han situado en lugares con suficiente espacio a una altura adecuada para su alcance por cualquier usuario ya se encuentre sentado o de pie.

3.2. Proyecto arquitectónico

En el campo de la arquitectura, un proyecto arquitectónico engloba el desarrollo del diseño de la vivienda, la distribución de sus estancias y espacios así como la manera de utilizar los materiales y las tecnologías de la forma más eficiente posible. Para ambas infraestructuras se ha seguido el mismo planteamiento y los mismos criterios aunque el resultado final es diferente debido a las condiciones de entorno del lugar de instalación.

Además de la aplicación de los principios de Diseño para Todos planteados se han tenido en cuenta otros criterios de enorme relevancia en el diseño arquitectónico de las dos soluciones.

Atendiendo a la definición básica que debe satisfacer cualquier entorno de pruebas como los planteados es imprescindible que su estructura sea lo menos fija posible de forma que en un momento dado se pueda llegar a modificar prácticamente por completo su distribución interior en función de las particularidades concretas de un proyecto determinado.

Asimismo, debemos garantizar que los laboratorios sean capaces de capturar el uso y las interacciones que los usuarios invitados hagan de la tecnología distribuida que tengan repartida por toda la vivienda sin que éstos sean conscientes de su presencia. Por este motivo nos aprovecharemos tanto de un suelo técnico elevado como de un falso techo que nos permitan ocultar a la vista de los habitantes cualquier conjunto de sensores y elementos que pretendamos esconder en el interior del hogar inteligente.

A continuación se presenta una imagen que muestra una vista en alzado de la cocina y del baño del *Living Lab* instalado en Valencia donde se puede apreciar la existencia del suelo técnico y del falso techo. La principal ventaja de disponer de este tipo de estructuras es que cualquier zona de la vivienda es susceptible de albergar cualquier dispositivo electrónico.

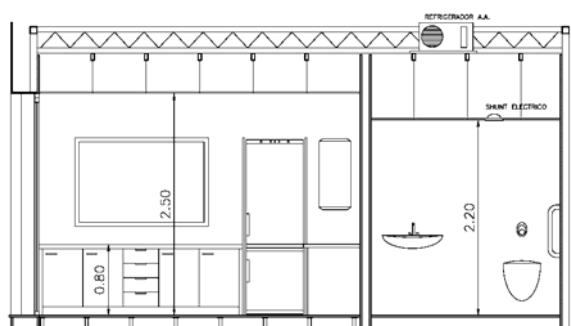


Ilustración 3. Vista en alzado de la cocina y baño del *Living-Lab Valencia*, con detalle técnico de suelo y falso techo.

Por último, otra peculiaridad que hace que el estos laboratorios se diferencien por completo de cualquier otro laboratorio convencional es la existencia de una “sala de máquinas”. Se trata de una estancia dedicada a poder controlar exhaustivamente de todos los elementos instalados en la vivienda. Esta sala equivale al cerebro de todo el conjunto y desde la misma se tendrá una visión directa de la mayor parte de las habitaciones pues tiene instalado un espejo unidireccional que posibilitará a los operadores técnicos de la sala, el hecho de ver sin ser vistos.

En lo que respecta a la accesibilidad y la reducción de las barreras arquitectónicas el diseño de la vivienda está hecho de forma que en todo el recinto se garantiza la autonomía, la seguridad y el confort de las personas que la habitan atendiendo a los principios de Diseño para Todos ya mencionados.

El resultado final se muestra en las dos siguientes ilustraciones donde se reflejan algunos de los criterios seguidos y ya descritos.



Ilustración 4. Vista en planta del *Living-Lab Valencia*



Ilustración 5. Vista en planta del diseño de *Smart-House Madrid*.

3.3. Proyecto tecnológico

En lo que respecta al proyecto tecnológico debemos tener en cuenta que una vez se instale en la vivienda toda la infraestructura necesaria es imprescindible que el usuario no sea capaz de percibir la existencia de la misma aunque ésta se

encuentre masivamente distribuida a su alrededor. Sin lugar a dudas, esta es una condición indispensable que todo laboratorio de inteligencia ambiental debe satisfacer.

Así pues, tras realizar un estudio detallado acerca del estado del arte de las tecnologías disponibles hoy en día en el mercado y ver las que mejor se adaptaban a nuestras necesidades estamos en condiciones de realizar un listado con los dispositivos instalados agrupados por funcionalidad.

En este punto es importante hacer notar que esta lista de dispositivos no está ni mucho menos cerrada ni puede considerarse como definitiva pues no es aceptable que un laboratorio de inteligencia ambiental no sea capaz de incorporar nuevas tecnologías emergentes u otras que no se hayan tenido en cuenta en las primeras fases del proyecto.

Por lo tanto, uno de los puntos fuertes de este tipo de centros experimentales está en la posibilidad de favorecer la integración de tecnologías externas que vayan apareciendo con el paso del tiempo.

- Conjuntos de herramientas y kits de desarrollo (*Software Development Kit*, SDK) que nos permitan desarrollar aplicaciones con el objetivo de aumentar el número de servicios disponibles en el laboratorio así como posibilitar la integración entre los diversos elementos *hardware* distribuidos por la vivienda. Desarrollos entorno a tecnologías tan dispares como son las aplicaciones interactivas para televisión digital terrestre según la norma MHP (*Multimedia Home Platform*), aplicaciones en base a los protocolos de comunicación inalámbrica como NFC (*Near Field Communication*) o Zigbee así como el control de una serie de sensores y actuadores que forman parte de un determinado sistema domótico serán viables al disponer de los SDK correspondientes
- Conjunto de sistemas domóticos. La idea de adquirir este tipo de sistemas es el de evaluar un tipo de tecnología que ya incorpora mecanismos de comunicación y que dispone de multitud de elementos (sensores y actuadores) de altas prestaciones que llevan tiempo posicionados en el mercado. De los estándares domóticos disponibles en la actualidad que gozan de mayor aceptación entre la totalidad de instaladores, integradores de sistemas y clientes finales nos decantamos por emplear los protocolos KNX (emplea un bus dedicado de cuatro hilos para realizar la comunicación entre sus elementos) y X10 (lleva a cabo la comunicación mediante corrientes portadoras). Aunque no es en absoluto nada frecuente encontrar una instalación que combine sendos protocolos, dada la

naturaleza de este proyecto hemos optado por no descartar ninguno de ellos con el fin de conocer la mayor parte de dispositivos y sistemas.

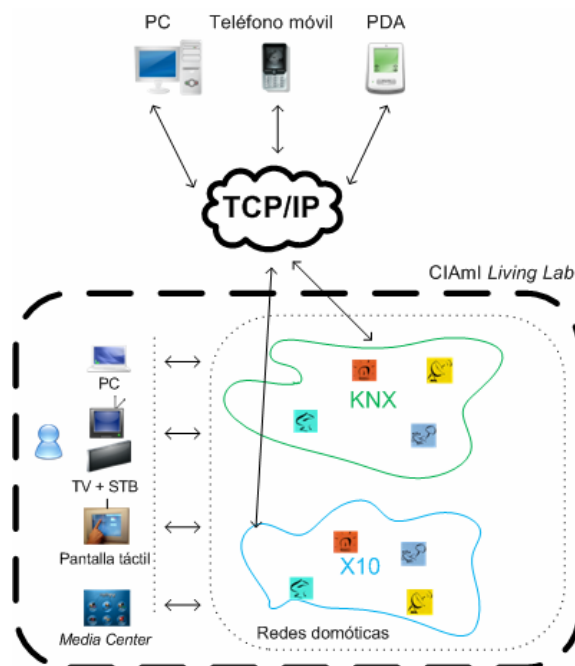


Ilustración 6. Diagrama de tecnologías de instalación básica común en Living Lab y Smart Houses

- Sistema de control de entorno por voz que nos permita interactuar con multitud de dispositivos que forman parte de la instalación domótica KNX con el fin de dotar a los habitantes del *Living Lab* de una mayor autonomía y comodidad. Con este sistema las personas que padezcan algún grado de diversidad funcional estarán en condiciones de controlar la mayor parte de los elementos de la vivienda de una forma flexible, natural y sin limitaciones.
- Sistema de evaluación de la experiencia del usuario consistente en la instalación de una cueva de realidad virtual (*Virtual Reality Cave*, VRC). La VRC consiste en una habitación cuyas paredes y suelo son pantallas donde se proyectan imágenes en tres dimensiones generadas por ordenador combinadas con un completo equipo de sonido. El objetivo es disponer al usuario en el centro de dicho sistema para captar su comportamiento y ver su reacción frente a determinadas situaciones.
- Textiles inteligentes. Por textiles inteligentes entendemos aquellos textiles que albergan en su interior algún elemento de tipo sensor, bien por características intrínsecas del propio material o bien porque se integra entre sus fibras algún elemento adicional con el

objetivo de realizar alguna medida particular o simplemente dotar de capacidades avanzadas a dicho textil. Se prevé la adquisición de una serie de textiles inteligentes que tengan estas capacidades descritas y con el que poder realizar interfaces de usuario usables y cómodos.

- Conjunto de cámaras IP de interior y micrófonos ambientales de altas prestaciones distribuidos por toda la vivienda con el fin de monitorizar y registrar cualquier actividad que suceda en cualquier parte del laboratorio habitable. Entre sus mayores virtudes destacan su facilidad de instalación en cualquier ubicación, la posibilidad de pasar prácticamente inadvertidas gracias a su reducido tamaño y la posibilidad de acceder de forma remota al vídeo en vivo en cualquier momento y desde cualquier lugar (accesibilidad remota a través de Internet). Este sistema se complementa con un grabador de vídeo digital de alta capacidad y un concentrador de audio y se distribuye mediante un circuito cerrado de televisión. Su uso está destinado a la monitorización y estudio antropológico de factores de la vida diaria, y siempre se utilizarán con el consentimiento expreso del usuario tal y como recoge el manual ético del Centro CIAMI.
- Ambos centros experimentales dispondrán de una cocina completamente equipada con electrodomésticos domóticos de última generación que son controlables de forma remota y son capaces de enviar informes de estado a sus propietarios.
- En lo que respecta a los dispositivos convencionales que forman parte de la electrónica de consumo tradicional de cualquier vivienda destacan televisores de alta definición con multitud de conectores, reproductores digitales con disco duro integrado de alta capacidad, marcos digitales con compatibilidad Wi-Fi, Bluetooth y NFC, ordenadores portátiles y de sobremesa, pantallas táctiles o sistemas de telefonía DECT con posibilidad de realizar llamadas mediante IP.

4. Trabajo futuro

Tal y como vimos en la introducción del segundo apartado del documento (Misión y objetivos) uno de los objetivos principales perseguidos por estos laboratorios es que se compongan de una serie de infraestructuras que permita a terceras organizaciones (Empresas, centros de investigación y asociaciones de usuarios) realizar pruebas de productos o desarrollos específicos que no puedan cubrir en sus laboratorios de origen.

En la actualidad, existen multitud de empresas y grupos de investigación españoles que participan de forma activa en proyectos relacionados con el hogar digital, el ambiente asistido y la inteligencia ambiental.

A continuación se presentan algunos de los más influyentes:

- Proyecto PERSONA [12] (*PERceptive Spaces prOmoting iNdependent Aging*) bajo el sexto programa Marco de investigación europeo FP6 que tiene como objetivo desarrollar una plataforma para el acceso ubicuo, instantáneo y transparente a servicios dirigidos a personas mayores de forma que éstas estén el mayor tiempo posible en el entorno en el que habitualmente viven.
- Proyecto nacional AmI-VITAL [13] enmarcado en el programa CENIT financiado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo cuyo cometido es desarrollar una nueva generación de tecnologías y herramientas de información para el modelado, diseño, implementación y funcionamiento de sistemas de AmI.
- Proyecto VAALID [14] que tiene como objetivo desarrollar nuevas herramientas y métodos que faciliten el proceso de creación, diseño, construcción e implementación de soluciones tecnológicas en el contexto de la vida asistida por el entorno.
- Proyecto OASIS [15] que tiene como objetivo crear una arquitectura de referencia, abierta e innovadora que permita la interconexión de servicios nuevos o existentes. La interconexión de estos servicios tiene el fin de mejorar la calidad de vida de las personas mayores y promover su vida independiente.

Proyectos europeos tan importantes como PERSONA o VAALID tienen previsto hacer uso de las instalaciones del *Living Lab* en Valencia para probar sus desarrollos y extraer conclusiones a partir del primer trimestre del año 2009.

5. Conclusión

En el presente artículo se ha tratado de poner sobre la mesa el complejo proceso de crear dos entornos con fuerte presencia tecnológica y gran prioridad en la relativa comodidad de sus habitantes. La recogida de requisitos elaborada por los equipos de UPM-LST e ITACA-TSB ha supuesto un verdadero reto multidisciplinar, ya que la solución final no solo debe satisfacer necesidades que ya se es capaz de identificar sino que pretende que sea válido ante potenciales nuevas aplicaciones que se deseen implementar en dichas infraestructuras.

Con la puesta en marcha de estos dos centros experimentales, los usuarios con necesidades

específicas pasarán de ser meros receptores de la tecnología a formar parte activa en el equipo de desarrollo junto con los propios investigadores. La implicación del entorno familiar y del propio afectado en el proceso de diseño es un factor decisivo y crucial para el éxito del proyecto. El desarrollo tecnológico relacionado con las tecnologías de inteligencia ambiental así como el nuevo paradigma de innovación abierta y colaborativa característico de los Living Labs, permitirán ofrecer soluciones en los ámbitos de la salud y de los servicios sociales para la mejora de la calidad de vida de este tipo de personas en particular.

En el desarrollo de este tipo de proyectos se da lugar a la participación de profesionales e investigadores de muy diversos ámbitos, lo que supone un esfuerzo muy grande por cada uno de ellos para entender la coherencia de los requisitos planteados por cada uno de ellos. Que se haya sobredimensionado la infraestructura de canalizaciones y registros atiende a un requisitos de escalabilidad tecnológica, mientras que la colocación estratégica de los mismos y su ocultación atienden a criterios de hacer invisible la tecnología a los usuarios.

El resultado final son dos laboratorios cuya complementariedad va a permitir la convergencia de dos visiones diferentes: la tecnológica más preocupada por el desarrollo e integración, y que plantea nuevos retos tecnológicos, frente a la centrada en el usuario que pone a disposición una serie de herramientas para analizar y descubrir necesidades y requisitos. Ambos buscarán soluciones en el otro, de manera que de ambas visiones surgirán soluciones que realmente logren ser rompedoras desde el punto de vista de la innovación.

6. Referencias

[1] A. Serrano y E. Martínez, *La brecha digital: mitos y realidades*, Departamento Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Baja California, México (2003)

[2] Abowd, G., Atkeson, C., Bobick, A., “*Living Laboratories: The Future Computing Environments Group at the Georgia Institute of Technology*”, CHI 2000 Extended Abstracts, Conference on Human Factors in Computing Systems, The Netherlands, 215-216 (2000)

[3] Almirall, E., “*Europa i2010 – Innovación y Living Labs*”, <http://citolab.eu/actualitat/opinio/europa-i2010-innovacion-y-living-labs>, (consulta: diciembre 2008)

[4] Eriksson, M., Niitamo, V., Kulkki, S., “*State-of-the-art in utilizing Living Labs approach to user-centric ICT innovation – a European approach*”, White Paper, Centre for Knowledge and Innovation Research at Helsinki School of Economics, Finland (2005)

[5] <http://www.openlivinglabs.eu/>

[5] Kidd, C., Orr, Robert., Abowd, G. “*The aware home: a living laboratory for ubiquitous computing research*”, Cooperative Buildings: Integrating Information, Organizations and Architecture, Berlin, 191-198

[6] Markopoulos, P., Rauterberg, G.W.M., “*Living Lab: A white paper*”, IPO – Annual Progress Report, 35 (2000)

[7] Guía técnica de accesibilidad en la edificación. Ministerio de Vivienda. Gobierno de España (2001)

[8] ¡Pregúntame sobre accesibilidad y ayudas técnicas!. Instituto de Mayores y Servicios Sociales (2005)

[9] Cerezuela, J.B., Moreno, M.J., “*Los mayores y la vivienda*”, Unidad de autonomía personal (CEPAT)

[10] User Centered Design in Practice - Problems and Possibilities" Jan Gulliksen, Ann Lantz and Inger Boivie. Technical report TRITA-NA-D9813, CID-40. http://www.nada.kth.se/cid/pdf/cid_40.pdf Royal Institute of Technology, Numeric Analysis and Computing Science. Centre for User Oriented IT Design.

[11] The Principles of Universal Design
Version 2.0 - 4/1/97, Bettye R. Connell, M. Jones, R. Mace, J. Mueller, A. Mullick, E. Ostroff, J. Sanford, Ed Steinfeld, Molly Story, and Gregg Vanderheiden, NC State University, The Center for Universal Design

[12] <http://www.aal-persona.org/>

[13] <http://amivital.ugr.es/index.php>

[14] <http://www.vaalid-project.org/>

[15] <http://www.oasis-project.eu/>

7. Mención especial

El proyecto CIAMI ha sido financiado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el marco del Plan Avanza, convocatoria de 2007 para Centros de Conocimiento.

Living Lab Valencia y Smart-House Madrid pertenecen a la Red Europea de Living Labs (European Network of Living Labs, ENoLL) desde la tercera convocatoria (2008).

Interfaz de Seguimiento Ocular Basado en Visión Artificial para Personas con Discapacidad

Andrés Úbeda, José M. Azorín, Eduardo Iáñez, José M. Sabater
Virtual Reality and Robotics Lab, Universidad Miguel Hernández de Elche
a.ubeda.cast@gmail.com, jm.azorin@umh.es, eiandez@umh.es, j.sabater@umh.es

Resumen

Este artículo trata sobre el desarrollo de un sistema de visión que permite, a partir de la identificación efectiva de la posición de los ojos, establecer la dirección en la cual el usuario está mirando (eye-tracking). Para ello se emplea una cámara CCD que enfoca el rostro y mediante el tratamiento adecuado de la imagen captada se identifica la dirección del ojo. Para el desarrollo del sistema se ha programado una aplicación gráfica en C++ mediante bibliotecas específicas de tratamiento de imágenes de Matrox (MIL). El uso de una única cámara supone un método no intrusivo de reconocimiento ocular de gran utilidad en personas discapacitadas que sólo puedan mover los ojos o con un movimiento de la cabeza muy limitado. Configurando de manera adecuada el sistema de reconocimiento ocular, la dirección en la que mira el usuario discapacitado puede identificarse de manera robusta. En el artículo se describen los resultados obtenidos.

1. Introducción

En la actualidad existen numerosos sistemas de reconocimiento ocular. Estos sistemas se pueden dividir mayoritariamente en dos grupos:

- **Cabeza montada:** son sistemas intrusivos de seguimiento ocular, donde el sistema de medida (cámara) está acoplado a la cabeza del usuario [1].
- **Mesa montada:** son sistemas no intrusivos que emplean luz infrarroja que se refleja desde la córnea a un sensor óptico que mide el ángulo de visión (*gaze-tracking*) [2].

Existen aplicaciones del eye-tracking como interfaz ocular cada vez en mayor número. En muchos casos, las aplicaciones de eye-tracking están más orientadas a la ampliación, sustitución o mejora de interfaces clásicos ya existentes que a la creación de una nueva forma de comunicación para personas discapacitadas [3-6]. El seguimiento ocular se ha empleado como sustituto del puntero del ratón o modificación de la velocidad de scroll vertical u

horizontal. Otra de sus aplicaciones es la ayuda a personas discapacitadas, que es la utilidad principal que se pretende cubrir en este caso. Además, se ha usado en escritura directa, selección de objetivos en pantalla y otras muchas aplicaciones.

El presente artículo describe una solución distinta a las citadas anteriormente que combina las características más ventajosas de ambas. Para ello, se emplea una cámara CCD que enfoca al usuario. La imagen de la cara se trata en tiempo real extrayendo de ella las características y puntos de interés necesarios para identificar la posición del ojo y su correspondiente dirección. De este modo, se dispone de un método que no resulta incómodo para la persona como es el caso de los sistemas de cabeza montada, ni emplea señales infrarrojas sobre los ojos del usuario. En el artículo se enumeran las distintas alternativas que se han estudiado a la hora de hacer una identificación efectiva de la dirección del ojo y se estudia cual de ellas es la más eficiente y presenta el mayor porcentaje de acierto. La aplicación se ha programado en un individuo de raza blanca. El algoritmo será distinto para otros tipos de usuario como se explicará más adelante.

El artículo se estructura del siguiente modo. En primer lugar se describe la arquitectura del sistema tanto a nivel hardware como nivel software, es decir, la cámara y sus elementos, las librerías empleadas (MIL) y el software usado en la creación de la aplicación en C++. A continuación, en la sección 3, se describe el algoritmo de identificación de la posición del ojo, las distintas alternativas de las que se dispone y se evalúa la solución más adecuada. En la sección 4 se presentan los resultados obtenidos para la solución adoptada y el porcentaje de éxito del algoritmo. Por último, en la sección 5 se exponen las conclusiones a las que se ha llegado.

2. Arquitectura del Sistema

El seguimiento ocular mediante una cámara CCD consiste en tomar imágenes del rostro humano y tratarlas con un computador para obtener la información que resulte de interés. En este caso, la dirección del ojo.

El sistema está formado por la cámara propiamente dicha y todos los elementos necesarios para comunicar el dispositivo con el computador empleado. Además de este hardware, uno de los elementos más importantes del conjunto es la iluminación, que debe ser constante y adecuada durante el período de tiempo en el que se utilice la aplicación.

Una vez obtenidas las imágenes, éstas son tratadas por una aplicación en C++ que se ha programado mediante la utilización de las librerías MIL [7], específicas para las tareas de visión artificial. En la Figura 1 se muestra un esquema de bloques del sistema con todos los elementos que lo componen y que se detallarán de forma breve a continuación. En la Figura 2 se puede ver un ejemplo de utilización del sistema en el entorno real.

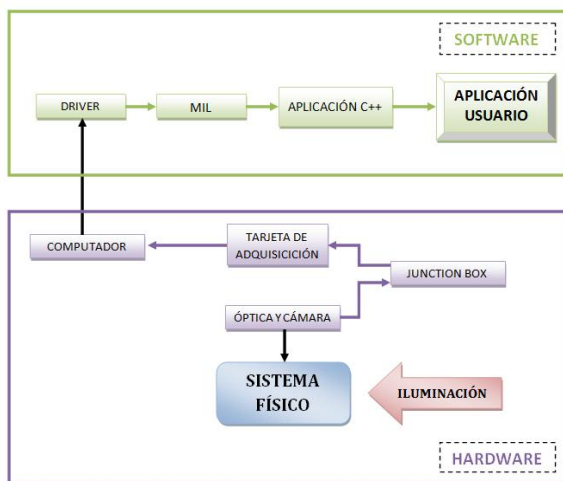


Figura 1: Arquitectura del sistema

2.1. Óptica y cámara

Una cámara de video es un dispositivo capaz de captar información lumínica de una escena para transformarla en una señal eléctrica. Para la aplicación se ha empleado el modelo de cámara Sony XC-56. Se trata de un modelo progresivo, es decir, realiza una transmisión analógica de los campos pares e impares. Es por ello, un modelo de cámara ideal para la captación de imágenes en movimiento.

En cuanto a la óptica, se emplea un objetivo (montura en C) acoplable en función de las necesidades. En este caso, se emplea una lente con una distancia focal de 8 mm.

2.2. Iluminación

La iluminación es un aspecto muy importante en cualquier aplicación de visión artificial. Es necesario disponer de un sistema de iluminación adecuado.

La lámpara fluorescente empleada (TL-D 18W/54-765 SLV de la marca Philips) funciona con corriente alterna (AC) a baja frecuencia (50 Hz). El balastro usado es el HF-Performer 258 TL-D EII 220-240V 50/60Hz de la marca Philips, cuya principal función es la de mantener la misma intensidad de luz con independencia de las variaciones de la red eléctrica. También se dispone de un regulador de 0-10V que permite controlar la intensidad de la luz. En este caso, se sitúa el regulador en su posición máxima, ya que una mayor intensidad de la luz beneficia la detección del movimiento del ojo.

2.3. Otros elementos

Además de la cámara y la iluminación, el sistema físico se completa con la Junction Box, la tarjeta de adquisición y el cableado.

La **Junction Box** se emplea para alimentar la cámara (12V) y obtener una salida de vídeo.

La **tarjeta de adquisición** es un elemento convertidor de la señal analógica procedente de la cámara a la señal digital tratable por el computador. Se utiliza la tarjeta Matrox Meteor II / MC (Multi-Channel) que dispone de 6 canales de entrada.

Por último, se utiliza un **cable de conexiones** formado por un cable macho de alta densidad DB-44 con 44 pines de conexión a la tarjeta de adquisición y en el otro extremo 8 conectores BNC macho para las señales de vídeo y otras señales, como el trigger o la sincronización.

2.4. Software

Los elementos correspondientes al software son los que gestionan el sistema de reconocimiento ocular. Se utiliza un PC (con Windows-XP). Se ha desarrollado una aplicación gráfica para Windows en C++.

La aplicación programada en C++ hace uso de la biblioteca MIL (*Matrox Imaging Library*) de visión por computador que permite realizar todas las operaciones, con la cámara y sobre la imagen, necesarias para detectar el movimiento del ojo. La librería MIL dispone de todos los módulos imprescindibles para el algoritmo que ha sido implementado.

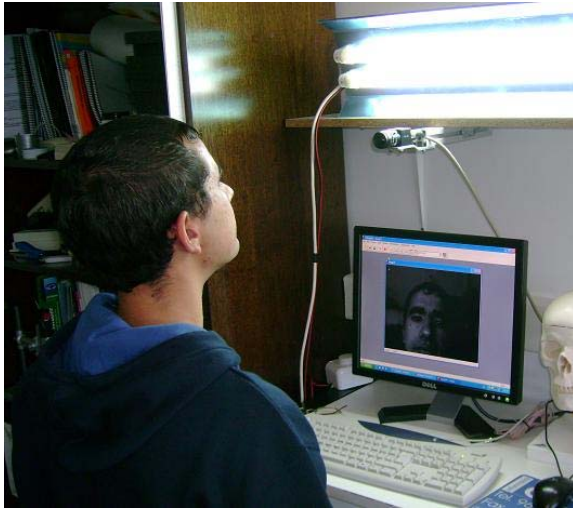


Figura 2: Imagen real del entorno

3. Algoritmo de Reconocimiento Ocular

El objetivo de la aplicación es detectar el movimiento del ojo de una manera robusta. En primer lugar hay que analizar el tipo de imagen con la que se va a trabajar para conocer qué características de la misma pueden ser de utilidad a la hora de implementar el algoritmo. En este caso se trata de la imagen de una cara, luego habrá que tener en cuenta, además de la posición del ojo, que otros puntos pueden servir de referencia a la hora de detectar el movimiento ocular. En este caso, lo que se trata de obtener, es un movimiento relativo del ojo frente a la cabeza, por tanto, es imprescindible disponer de puntos fijos dentro de la cara que servirán de referencia para medir ese desplazamiento del ojo.

Una vez analizados los puntos de interés de la imagen, la manera más adecuada de separarlos y detectarlos dentro de la imagen es mediante un análisis de blobs. Un blob es una región formada por píxeles interconectados (ojos, cejas, etc).

A continuación, se hará un estudio de cual es el método más efectivo para detectar el desplazamiento del ojo respecto a la cabeza para cada una de las referencias. Además, se estudian otros factores que afectan al algoritmo, como la distancia del usuario a la cámara o la iluminación.

El la Figura 3 se puede ver un diagrama de bloques de la ejecución del algoritmo. Cada imagen recibida en tiempo real se procesa instantáneamente.

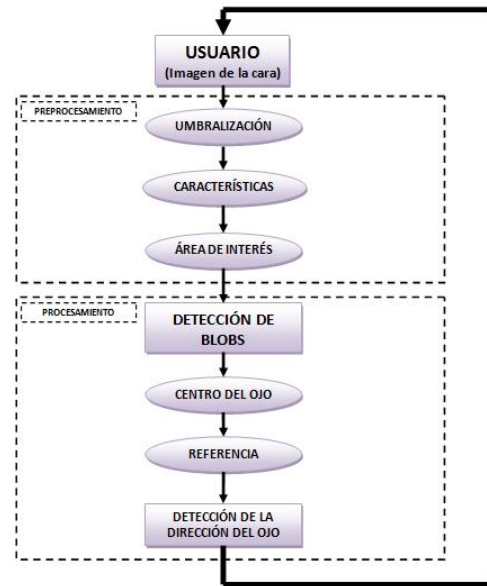


Figura 3: Algoritmo de detección

3.1. Análisis inicial

El modelo de cara que se va a emplear en la programación de la aplicación es la de un individuo de raza blanca y ojos oscuros. Es importante resaltar este hecho, ya que, para otro tipo de características del usuario, el algoritmo será distinto. Al utilizar operaciones de binarización sobre la imagen, los elementos resaltados varían completamente en función del tono de piel con el que se trabaje.

En este caso se estudiará el algoritmo sobre una imagen con características similares a la de la Figura 4. Se trata de una imagen en escala de grises (la información de color no es de utilidad).

El algoritmo funciona del siguiente modo. En un primer paso se detecta la posición del centro del ojo y de la referencia. En un segundo y último paso se mide el desplazamiento relativo entre los dos puntos y a partir de esa distancia se calcula la dirección en que se ha movido el ojo.

Los puntos de referencia que se han estudiado han sido las cejas, los orificios de la nariz y el propio ojo en su conjunto (pestañas, extremos, etc). Otros puntos de referencia, como el pelo o los labios no se han tenido en cuenta desde el principio. El primero por ser una característica muy variable en función del usuario y de una forma irregular de difícil tratamiento, y el segundo porque la intensidad del nivel de gris es demasiado alta y muy separada del color negro.

Otra opción sería emplear puntos de referencia artificiales como pueden ser pegatinas o marcas en la cara, pero al disponer de elementos naturales se facilita al usuario el manejo del sistema.

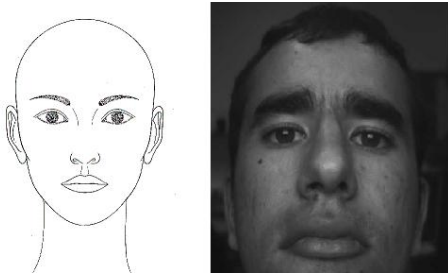


Figura 4: Imagen modelo

Antes de realizar cualquier tipo de procesamiento en visión artificial es muy importante disponer de una imagen adecuada. En concreto, es necesario eliminar el ruido que pueda tener, porque provoca errores, y dejarla en las condiciones adecuadas para su procesamiento. En este caso, no ha sido necesario emplear ningún filtro puesto que la imagen es lo suficientemente limpia.

3.2. Elección del umbral de binarización

Antes de realizar la detección de blobs es necesario binarizar la imagen. Una vez obtenida la imagen binaria se han aplicado dos operaciones seguidas, una de *opening* y otra de *closing* que eliminan cualquier tipo de pequeño defecto que pueda producirse en el proceso.

Para binarizar la imagen se debe elegir el valor del umbral de binarización, que es uno de los factores más importantes y que afectará a todo el proceso. El umbral es una magnitud que depende en gran medida de la iluminación de la que se disponga. Se debe elegir un umbral que permita separar de manera efectiva las diferentes zonas del rostro, de tal manera que los ojos, las cejas y los orificios nasales, que son los puntos de interés elegidos, permanezcan como entidades independientes y no se solapen.

Si la iluminación es baja, el umbral será menor que con una iluminación alta. Por tanto, la magnitud vendrá dada a partir de las pruebas que se realicen en el lugar en que esté el sistema. En la Figura 5 se puede ver el efecto de una buena y una mala umbralización.



Figura 5: Efecto de la umbralización

Como se puede observar, si se toma un umbral demasiado alto (70), los elementos de la cara se confunden. En el caso contrario, si el umbral es muy bajo (20), los elementos de la cara no se aprecian. Se ha elegido un umbral de 50 para obtener una correcta umbralización.

3.3. Elección de características de los blobs

Dentro del módulo de análisis de blobs, la biblioteca MIL ofrece una gran cantidad de parámetros mediante los cuales se puede discriminar el blob que se desea detectar. En este caso, el objetivo es separar correctamente tres tipos de objetos principales: los ojos, las cejas y los orificios de la nariz. Para ello se van a tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Área del blob:** permite conocer el número de píxeles de un blob con valor 1 sin tener en cuenta los píxeles de islas o agujeros.
- **Centro de gravedad del blob:** es el punto más representativo del blob. Por tanto, se tomará como la posición del blob. Hay que tener en cuenta que el centro de gravedad del blob no coincide con el centro geométrico del mismo, sino que viene dado por la densidad de píxeles del blob. Esta característica es útil a la hora de detectar la posición de la pupila dentro del blob ojo, puesto que el centro de gravedad se desplazará con ella.
- **Compacidad:** es una medida de la cercanía de los puntos dentro de un blob. Su valor es 1 cuando el blob es un círculo. Permite separar blobs excesivamente alargados que no resulten útiles.
- **Diámetros del feret:** es la longitud de los diámetros del blob en diferentes ángulos.
- **Caja del blob:** permite conocer todos los parámetros relacionados con la caja rectangular circunscrita que rodea al blob. Incluye el centro de gravedad ya comentado. Estos valores permitirán conocer la posición de algunos de los puntos de referencia usados en el algoritmo.

3.4. Área de interés

La aplicación está orientada a un usuario con una discapacidad severa. La posición de la cabeza frente a la cámara será en muchos casos constante, pero al ser posible cierto movimiento, el algoritmo tiene que tenerlo en cuenta.

La selección de un área de trabajo dentro de la imagen objetivo de la cara permite eliminar blobs que no interesan en el algoritmo y hacer posible la identificación (Figura 6, zona 1). Se va a partir del supuesto de que el usuario sólo es capaz de mover ligeramente la cabeza.

Además, para el correcto funcionamiento del sistema no es necesaria la detección de ambos ojos, ya que la cara es simétrica y el movimiento de los ojos idéntico.

En el caso de los orificios de la nariz se seleccionará otra área de interés (Figura 6, zona 2), que sí comprende los dos blobs detectados, puesto que es imposible separar ambos lados de la cara con precisión al suponerse que el usuario puede efectuar ligeros movimientos.

Para establecer las dos áreas de interés se utilizará la posición del centro de gravedad de los blobs detectados, no teniendo en cuenta los blobs que estén fuera del área marcada. La biblioteca MIL permite seleccionar áreas de interés, sin embargo, el uso del centro de gravedad proporciona más libertad a la hora de modificar las áreas de interés de una forma más rápida.



Figura 6: Áreas de interés

3.5. Detección de los blobs

Una vez descritos los parámetros útiles para obtener los blobs que más interesan, hay que aplicarlos de manera adecuada.

La imagen fuente tiene una resolución de 640x480 píxeles. Con la óptica utilizada (8mm) y la distancia al objetivo que resulta más cómoda, el área de los blobs ceja y ojo no supera los 4000 píxeles. Se han detectado todos los blobs de la primera región de interés limitando el área entre 100 y 5000. De este modo se eliminan los pequeños blobs producto de errores o regiones inconexas y los grandes blobs correspondientes al pelo o el fondo que han quedado dentro del área de interés.

Para la segundo región de interés, se han detectado los blobs entre 100 y 500. De esta forma, se identifican sólo los orificios de la nariz.

Estos límites son lo suficientemente amplios y robustos como para no verse afectados por pequeñas variaciones de posición (horizontal y distancia al objetivo) y orientación de la cara.

Como última operación, se aplican otras limitaciones como la compacidad o los diámetros de feret. Se emplean márgenes muy altos como medida de precaución, de manera que no se detecten blobs muy largos pero cuya área esté dentro de los límites de detección.

Una vez obtenidos todos los blobs deseados se estudiarán sus características para determinar el modo de detectar el movimiento ocular.

3.6. Puntos de referencia

La aplicación detecta el centro del ojo en cada instante. Si la posición de la cabeza del usuario fuera constante se podría medir el centro de gravedad del ojo en la posición de reposo (mirando al centro) y a partir de esa distancia se podría conocer el desplazamiento relativo del mismo cuando el usuario mirara en una determinada dirección. Sin embargo, este algoritmo pretende utilizarse cuando exista un ligero movimiento de la cabeza por lo que es imprescindible el uso de una referencia que no varíe su posición relativa respecto al ojo.

Como ya se ha comentado, se han elegido tres tipos de referencias: cejas, orificios de la nariz y el propio ojo. En la Figura 7 se puede ver la variación de la posición del ojo al mirar en las cuatro direcciones: arriba, abajo, derecha e izquierda. Como se observa, el centro de gravedad varía en cada caso.

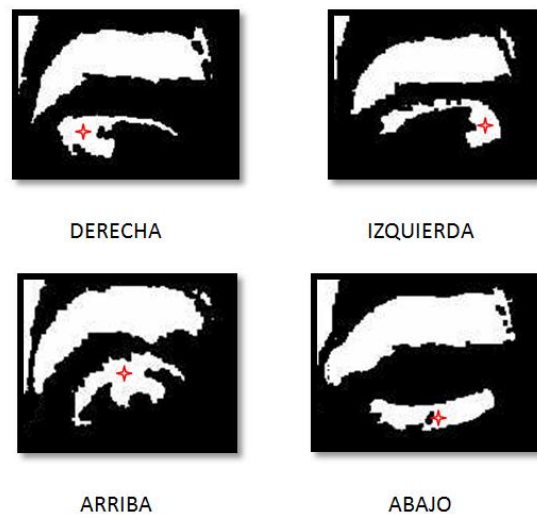


Figura 7: Variación de la posición del ojo

3.7. Referencia ceja y referencia nariz

Se debe tomar un solo punto de referencia. El blob **ceja** está formado por un área de píxeles conectados. Se han detectado los elementos de la caja del blob y como punto de referencia se ha tomado el extremo superior derecho de esa caja. La elección es totalmente al azar. Se puede tomar cualquiera de los puntos significativos del blob. No es recomendable elegir el centro de gravedad porque puede ser demasiado variable al ser la forma de la ceja muy irregular.

En el caso de los orificios de la nariz, se selecciona uno de ellos como punto de referencia. Como ya se ha dicho, el área de interés afecta a ambos orificios. Para elegir uno (por ejemplo el izquierdo) basta con hacer una comparación de la posición de su centro de gravedad. En este caso, el centro de gravedad es el punto más significativo y más estable.

3.8. Referencia ojo

Además del iris y la pupila, el conjunto del ojo está formado por pestañas que rodean todo el blob. Se ha seleccionado el centro de gravedad del blob como punto significativo para detectar su posición. El resto de puntos del blob, en particular los extremos del ojo, pueden emplearse como referencias. Los extremos del ojo cambian su posición relativa al centro de gravedad en gran medida una vez el ojo se ha movido. En la Figura 8 se muestra la variación de estas distancias en función del movimiento del ojo. Con una estrella se representa el centro detectado del ojo. Con un rombo se representa la referencia tomada en cada caso.

En todos los casos se compara con el extremo izquierdo del ojo, salvo cuando se mira abajo. En ese caso, se ha elegido el otro extremo porque la distancia varía mucho más y posibilita una mejor detección.



Figura 8: Referencia extremo del ojo

3.9. Obtención de la posición del ojo

Una vez se han obtenido las respectivas distancias entre el centro del ojo y el punto de referencia hay que utilizarlas para detectar el movimiento ocular. Para ello, se tomará la distancia entre ambos puntos cuando el usuario mire al centro. Si la referencia es estable esta distancia debería ser más o menos constante. Esta distancia se guardará como dato de calibración (depende del usuario).

Utilizando esa distancia (mediante ensayos de prueba para las distintas posiciones) se obtendrán unos márgenes de variación (tanto en X como en Y) de las distintas posiciones. Esos márgenes se compararán con las distancias obtenidas en cada imagen para determinar la dirección en que el usuario está mirando.

El algoritmo funciona de tal manera que al ejecutarse se obtiene la posición del ojo en cada instante. En ocasiones, se pueden producir errores del algoritmo como la no detección de blobs o la detección de demasiados blobs. Para evitar esos errores se limita la detección al número de blobs adecuados y si se detecta otro número se considera que el usuario mira el centro (no detección).

3.10. Funcionamiento de la aplicación

Se ha programado una aplicación en tiempo real. La cámara toma imágenes a 30 frames por segundo. Por cada imagen tomada de la cara se aplica el algoritmo devolviendo la posición en la que está

mirando el usuario: 0 – centro, 1 – derecha, 2 – izquierda, 3 – arriba y 4 – abajo.

La cámara Sony XC-56 es una cámara para la toma de imágenes en movimiento por lo que no se ve afectada por el movimiento de los ojos. La imagen siempre es nítida. De otra manera el algoritmo no funcionaría.

El sistema está orientado a emplearse en alguna aplicación útil como puede ser el movimiento de un puntero en pantalla. Se han planteado dos modos de utilización del sistema:

- **Detección instantánea:** el algoritmo se ejecuta en cada frame grabado y detecta la posición del ojo. El usuario mira en la dirección que desea actuar, por ejemplo derecha. Si se aplica a un puntero, éste se moverá hacia la derecha siempre que el usuario mire a la derecha, actuando igual para el resto de posiciones.
- **Detección con vuelta al centro:** el algoritmo detectará una posición en la que el usuario mire. El usuario volverá a mirar al centro y mientras no señale a otra posición, el puntero se mantendrá en la posición señalada. Para parar el movimiento se debe mirar al lado opuesto durante un instante y volver al centro, y el algoritmo entiende que se desea parar y señala la posición central. Supone un modo de uso más cómodo para el usuario, ya que el usuario puede tener su mirada centrada en la pantalla del computador. Además, soluciona los problemas de no detección. Si ocurre alguna vez, el resultado no se ve afectado.

4. Resultados Obtenidos

Después de identificar todos los puntos significativos de la imagen, se van a estudiar los resultados obtenidos para las distintas referencias elegidas analizando las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

4.1. Resultados para la referencia ceja

Tras hacer varias pruebas se ha comprobado que el blob ceja no es una referencia demasiado estable. Los resultados para las posiciones derecha e izquierda son aceptables, pero en las otras dos posiciones la detección es defectuosa, confundiendo unas posiciones con otras. La forma irregular de la ceja provoca que la distancia entre la referencia tomada (extremo superior derecho) y el centro del ojo en su posición central cambie ante pequeñas variaciones de la posición de la cara o de la

iluminación. No se dispone entonces de una distancia de referencia fija. Las posiciones más extremas (derecha e izquierda) se ven menos afectadas porque la variación de píxeles es muy alta, pero las posiciones de menor variación (arriba y abajo) requieren una mayor precisión.

Además, la forma del blob ceja cambia al mirar hacia arriba y hacia abajo lo que provoca muchos errores.

4.2. Resultados para la referencia nariz

Se ha probado la aplicación tomando como referencia el orificio de la nariz. Este punto es menos variable que la ceja y debe dar mejores resultados. Los resultados obtenidos son aceptables si se dispone de una imagen modelo totalmente fija en el espacio. Como ya se ha dicho, el sistema debe funcionar ante pequeños movimientos de la cara. En este caso, la referencia nariz no es robusta debido a que la resolución de la imagen es baja y una ligera rotación de la cabeza descalibra el sistema. Esto se debe a que la nariz es un elemento muy afectado por el movimiento. Este punto de referencia se ha desechado pero puede ser útil en personas de movilidad nula.

4.3. Resultados para la referencia ojo

Finalmente se ha optado por la solución más eficiente. El blob ojo es un elemento que nos permite emplear más de un punto de referencia para la detección del movimiento. Además, al ser estos puntos de referencia elementos del propio ojo, no se ven afectados por los movimientos de la cabeza. Las variaciones tomadas entre la posición central y las posiciones periféricas son lo suficientemente grandes como para construir un algoritmo robusto de seguimiento ocular.

Como se ha comentado anteriormente, se ha tomado como referencia el extremo derecho del ojo para las posiciones arriba, derecha e izquierda y el extremo izquierdo para la posición abajo (por ser la variación mayor que en el extremo derecho). De este modo, todas las posiciones se detectan adecuadamente (Tabla 1).

Tabla 1: Referencia ojo (detección instantánea)

Posición	Centro	Derecha	Izquierda	Arriba	Abajo
%Acierto	100%	80%	70%	96%	97%
No detección	0%	17%	29%	1%	3%
Errores	0%	3%	1%	3%	0%

Los resultados son muy buenos para tres posiciones: centro, arriba y abajo. En los otros casos se producen muchas no detecciones. Se ha observado que cuando utilizábamos las otras referencias los mejores resultados se daban precisamente en esas dos posiciones. Esta variación en los aciertos de las posiciones que antes eran menos sensibles se debe a un cambio de iluminación. En un principio se trabajaba con una iluminación demasiado potente y se disminuyó para detectar mejor las posiciones de arriba y de abajo, lo que produjo que las otras dos posiciones fueran menos detectables.

La solución que se propone para evitar las no detecciones es implementar un sistema de vuelta al centro como se explicó en la sección 3.10. De este modo se soluciona el problema de la no detección. En la Tabla 2 se presentan los nuevos resultados para el caso de vuelta al centro. Como se puede comprobar, el porcentaje de error es lo suficientemente bajo como para no afectar al algoritmo en esas condiciones. Si el usuario está mirando en una determinada dirección y se produce un error, éste será absorbido por una nueva detección correcta y no afectará al funcionamiento del sistema.

Tabla 2: Referencia ojo (vuelta al centro)

Posición	Centro	Derecha	Izquierda	Arriba	Abajo
%Acierto	100%	97%	99%	97%	100%
No detección	0%	0%	0%	0%	0%
Errores	0%	3%	1%	3%	0%

Como se puede observar, el modo de funcionamiento óptimo de la aplicación es el de vuelta al centro. En el modo de detección absoluta se producen los mismos errores, pero las no detecciones provocan un funcionamiento discontinuo de la aplicación cuando se mira a izquierda y derecha. Si se utiliza un algoritmo con vuelta al centro el funcionamiento sólo tiene un pequeño porcentaje de errores que apenas afectan al resultado final.

5. Conclusiones

Se ha implementado un algoritmo de reconocimiento ocular lo suficientemente robusto como para usarlo de manera fiable. Se trata de un sistema no intrusivo que no necesita marcas artificiales ni otro tipo de elementos por lo que resulta más cómodo para el usuario.

Una vez escogidos los parámetros correctos, el sistema se puede emplear de nuevo sin necesidad de recalibración, aunque depende en gran medida de que la iluminación sea constante.

El sistema de reconocimiento ocular está diseñado para un usuario de piel blanca. Como futura ampliación se pueden implementar los algoritmos adecuados para otros modelos de usuario.

El sistema se puede emplear en multitud de aplicaciones, desde el control del puntero del ratón hasta el manejo de un brazo robótico. Estas aplicaciones pueden ser objeto de futuros trabajos.

La conclusión principal del presente trabajo es que se ha obtenido un sistema de reconocimiento ocular que puede ser utilizado por personas discapacitadas permitiéndoles una comunicación alternativa que se ajusta a sus minusvalías.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el proyecto "Control de sistemas telerobóticos mediante interfaces avanzadas para personas discapacitadas" de referencia DPI2008-06875-C03-03.

7. Referencias

- [1] "<http://www.polhemus.com>", Visiontrak de Polhemus
- [2] "<http://www.tobii.com>", Tobii: Eye-Tracking System
- [3] F. Li, S.M. Kowalowski y J. Pelz, "Using Structured Illumination to Enhance Video-Based Eye Tracking", ICIP (1), pp. 373-376, 2007
- [4] L.E. Sibert y R.J.K. Jacob, "Evaluation of Eye Gaze Interaction", ACM CHI'00, 2000
- [5] O.K. Oyekoya y F.W.M. Stentiford, "Eye tracking - a new interface for visual exploration", BT Technology Journal (Vol 24 No 3), Julio 2006
- [6] M.A. Cruz, "Herramienta de software para el manejo del ratón orientada a discapacitados motóricos", Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, 5, pp. 379-384, 2006
- [7] "Matrox Imaging Library 8: User Guide", Matrox Electronic Systems Ltd., 2005

Elisa Perez
*Gabinete de Tecnología
Médica*
Facultad de Ingeniería- UNSJ
San Juan- Argentina
eperez@gateme.unsj.edu.ar

Carlos Soria, Vicente Mut,
Oscar Nasisi
*Instituto de Automática
Facultad de Ingeniería- UNSJ*
San Juan- Argentina
csoria@inaut.unsj.edu.ar

Teodiano Freire Bastos
*Departamento de Engenharia
Elétrica*
Universidade Federal do
Espírito Santo- Vitoria, Brasil
teodiano@ele.ufes.br

Resumen

En este trabajo se presenta una interfaz basada en visión para comandar una silla de ruedas robótica. La interfaz extrae los ángulos de orientación de la cabeza del usuario y los transmite como entradas de velocidades de referencia para comandar una silla de ruedas robótica. Se implementa una arquitectura de control cinemático y dinámico para lograr una navegación más segura. Se presentan resultados experimentales del desempeño de la interfaz y de la navegación de la silla de ruedas robótica.

1. Introducción

Las sillas de ruedas robóticas representan una importante área de la robótica móvil aplicada en tareas de asistencia y de servicios, ya que poseen un diseño muy similar a los robots móviles autónomos. La robótica aplicada a la asistencia ha evolucionado en las últimas décadas en las diferentes áreas de rehabilitación debido a que se generan cambios sociales que exigen dispositivos que satisfagan sus necesidades. Estos cambios se deben a diferentes factores: la evolución tecnológica de los dispositivos de asistencia; el crecimiento en la población mundial de personas que poseen discapacidades motoras; y el cambio en el modelo médico de rehabilitación que busca orientar la rehabilitación de la persona para que logre autonomía, mejorando su calidad de vida.

En el caso puntual de las personas con discapacidades motoras severas, requieren dispositivos específicos y complejos que satisfagan sus necesidades. Las sillas de ruedas robóticas satisfacen las necesidades de este sector de la sociedad por sus características de navegación autónoma, seguridad y maniobrabilidad, mejorando su calidad de vida.

Existen varios trabajos en la literatura dónde se desarrollan diferentes modos de control para sillas de ruedas robóticas. En [1], se propone una arquitectura de control agent-based que comanda una silla de ruedas robóticas en ambientes interiores. El sistema de navegación de la silla de ruedas robótica es desarrollado por un grupo de agentes inteligentes, que incluyen la planificación de trayectoria, control de movimiento basado en lógica Fuzzy y evasión de obstáculos, sin embargo solo se presentan resultados en simulación. En [2], se presenta una silla de ruedas adaptada para niños con problemas cognitivos. Posee un sistema de navegación autónoma que detecta obstáculos con un sensor laser. El trabajo muestra un buen desempeño de la interfaz, en personas con problemas cognitivos. La desventaja de este trabajo es que no muestra una ley de control que garantice que la silla de ruedas alcanza la velocidad de referencia establecida por la interface, y no se establece cuales son los comandos de entrada a la silla de ruedas. En la silla de ruedas utilizada en este trabajo [3]; una interfaz hombre máquina permite controlar la silla por parpadeos, movimiento del globo ocular y por señales cerebrales. El sistema de navegación de la silla permite conducirse de varias formas: punto a punto, entre localizaciones del ambiente o de forma auto-guiada (siguiendo un camino formado por láminas metálicas y utilizando sensores magnéticos para detectarlas).

En este trabajo se presenta una interfaz hombre máquina basada en visión artificial (VBI) para comandar la silla de ruedas robótica desarrollada en [3]. La interfaz basada en visión que se ha desarrollado detecta y sigue los movimientos de la cabeza del usuario y con ellos genera las entradas de referencia de velocidad para comandar la navegación de la silla de ruedas en entornos reales de trabajo. Se proponen dos técnicas de procesamiento de imágenes de cara que

trabajan en paralelo, las cuales se fusionan para mejorar el desempeño en la estimación de uno de los parámetros que ingresan como comando de referencia a la silla. El motivo por el cual se implementa fusión, es mejorar el desempeño de la interfaz hombre máquina. De esta manera se logra que la interfaz presente menos errores en la estimación de los parámetros, debido a que si alguna de las técnicas falla, la interfaz puede trabajar con los parámetros estimados por la otra técnica y seguir enviando entradas de referencia a la silla. La arquitectura de control desarrollada presenta un controlador cinemático y dinámico. El control dinámico se implementa brindando mayor seguridad para los usuarios durante la navegación.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la interfaz basada en visión desarrollada, en la Sección 3 se describe el diseño del controlador propuesto, luego los resultados experimentales son dados en la Sección 4 y en la Sección 5 se dan las conclusiones al respecto.

2. Interfaz Basada en Visión

Una interfaz es el medio a través del cual un usuario puede intercambiar un alto nivel de mensajes con algún dispositivo que tenga la potencialidad necesaria para procesar este flujo de mensajes.

En este trabajo se desarrolla una interfaz usuario-perceptual. Este tipo de interfaz provee a la computadora capacidades perceptivas, transmitiéndole a la misma información acerca del usuario y de su entorno.

La interfaz desarrollada obtiene dos parámetros de la cabeza de la persona con los cuales se generan las dos señales de referencia para comandar la navegación de la silla de ruedas. Los parámetros que se eligen son el ángulo α de orientación de la cabeza en el espacio respecto al eje X y el ángulo β de orientación de la cabeza en el espacio respecto del eje Y. El desarrollo de la interfaz consiste en la implementación de dos algoritmos de procesamiento de imágenes para estimar el ángulo β . Los algoritmos trabajan en paralelo y sus resultados se fusionan para obtener un mejor desempeño de la interfaz en cuanto a la estimación de este ángulo. El ángulo β será el que genere la señal de referencia de velocidad angular de la silla. El ángulo α es obtenido con la implementación de una técnica de procesamiento de imágenes, y el mismo genera la señal de referencia de velocidad lineal de la silla.

A continuación se describirán las técnicas de procesamiento de imágenes de cara que se han

implementado para obtener los parámetros y la etapa de fusión de las mismas.

2.1. Detección y Seguimiento de características faciales para estimar la postura de la cabeza de una persona

La detección de la cara determina la presencia o no de ésta y su localización en la escena [4]. Un método para la detección de la cara es el que se basa en la extracción de las características de la imagen y en el seguimiento de sus movimientos de una imagen a otra. Las características en una imagen son descriptores tales como: regiones, piel, contornos y puntos fiduciales (o de interés). Para detectar y localizar la cara en este trabajo se eligió la detección por color de la piel.

El primer paso del algoritmo de detección consiste en la compensación de la iluminación, en la misma se realiza una ecualización de histograma en el espacio RGB, el cual compensa cambios en la iluminación con un bajo costo computacional. De esta manera se logra una densidad más uniforme en los niveles deseados y mejora la calidad de la imagen debido a que se incrementa el rango dinámico de los píxeles.

Luego, se procede con la detección de la piel. La misma se realiza mediante un proceso de segmentación en el espacio de color YCbCr, para lo cual se transforma la imagen original entregada por la cámara de visión en formato RGB mediante,

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B \\ Cb &= 0,169 R - 0,332 G + 0,500 B \\ Cr &= 0,500 R - 0,419 G - 0,081 B \end{aligned} \quad (1)$$

donde Y, Cb y Cr representan el valor de un pixel en cada uno de los canales del espacio de color YCbCr; y R, G y B representan el valor del mismo pixel en cada uno de los canales del espacio de color RGB.

Se trabaja en el espacio de color YCbCr debido a que sus componentes no varían con los diferentes tonos de la piel [5]. Esto brinda flexibilidad al algoritmo. La segmentación se lleva a cabo mediante un proceso de umbralización de los canales Cb, y Cr [6]. El rango de valores obtenidos experimentalmente para la umbralización es, $130 < Cr < 170$ y $70 < Cb < 127$

Posteriormente, se eliminan los posibles ruidos de fondo descartando cualquier conjunto de píxeles que no pertenezca a la mayor región conectada. Los

resultados del proceso de segmentación de la piel se observa en la Fig. 1b.

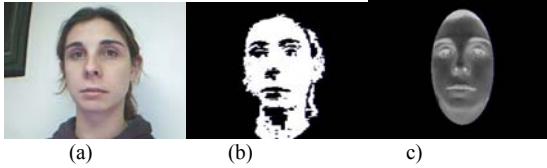


Figura 1: a) Imagen original. b) Detección de piel. c) Imagen de luminancia con elipse.

Una vez realizada la detección de la piel, se calcula una región con forma de elipse cuyo centro coincide con el centro de masa de la imagen segmentada y sus ejes se calculan utilizando los momentos descritos por [7]. Dicha elipse limitará la zona de búsqueda de las características faciales en la componente de luminancia Y del espacio YCbCr (Fig. 2c). Se considera una elipse debido a la forma de la cara, la cual es similar a esta forma geométrica.

A continuación se debe realizar la extracción y el seguimiento de las características faciales. Entre las distintas características faciales, se elijen los ojos para estimar el ángulo de interés de la cabeza. Para incrementar el desempeño del sistema de extracción y seguimiento de características por color, se propone la integración de dos métodos distintos: a) Algoritmo K-mean para la determinación del centroide de un conjunto de puntos característicos [8]; b) Correlación normalizada de la región de los ojos, con una plantilla de los ojos. La técnica propuesta se subdivide en tres etapas bien definidas: Etapa 1) Extracción de puntos característicos y cálculo del centroide de las características faciales en la imagen; Etapa 2) Correlación normalizada; Etapa 3) Combinación de los resultados obtenidos en las etapas anteriores y seguimiento de las características faciales.

Etapa1- Las características faciales que se observan en la Fig. 2c, presentan contornos bien definidos y más claros que sus alrededores. Esto permite utilizar el método de los puntos característicos [9], donde la detección y localización se realiza de manera rápida y sencilla. Los puntos elegidos son aquellos que pertenecen a contornos o esquinas.

Si se considera un punto p y una región alrededor del mismo de 5x5 píxeles, denominada Q, se puede calcular la matriz C_p , la cual se define como:

$$C_p = \begin{bmatrix} \frac{\sum E_{px}^2}{Q} & \frac{\sum E_{px} E_{py}}{Q} \\ \frac{\sum E_{px} E_{py}}{Q} & \frac{\sum E_{py}^2}{Q} \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde E_{px} y E_{py} representan el gradiente de cada píxel de la región Q en los ejes x e y respectivamente. Como

C_p es una matriz simétrica puede ser diagonalizada de la siguiente manera:

$$C_p = \begin{bmatrix} \lambda_{p1} & 0 \\ 0 & \lambda_{p2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde λ_{p1} y λ_{p2} son los autovalores de la matriz C_p .

Mediante la interpretación geométrica de los autovalores de C_p se puede determinar si un píxel representa una esquina o no. Como una esquina está formada por la intersección de dos contornos fuertes, todos aquellos píxeles que posean un valor de intensidad mayor al menor autovalor, pertenecen a una esquina. De esta manera se obtienen los puntos característicos de la imagen, los cuales coinciden con las regiones de la cara que poseen contornos fuertes (ojos, boca, narinas, cejas, etc.). En la Fig. 2 a) se pueden observar los puntos calculados.

Una vez que se calcularon los puntos característicos se deben determinar los centroides de las dos regiones de interés (ojos), para lo cual es necesario agrupar cada punto característico en su respectiva clase y descartar los puntos que no estén asociados a dichas características faciales de interés. La clasificación en clases y cálculo del centroide de cada región se realiza mediante el algoritmo *K-mean*, el cual es un método rápido y simple que se utiliza para agrupar clases.

Etapa 2)- En esta segunda etapa se realiza la correlación normalizada de la región de los ojos, a los fines de optimizar la extracción de características.

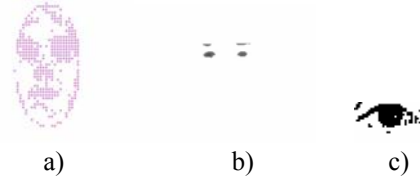


Figura 2: a) Imagen con puntos característicos; b) Imagen que se obtiene luego de la correlación. b) Máscara de ojo

Se utiliza una subimagen de un ojo de 50x36 píxeles, tomada en una escena de cara de vista frontal, como se muestra en la Fig. 2 c). Comparando esta plantilla alrededor de la zona de los ojos en la imagen de luminancia se realiza una rápida correlación. El valor máximo de correlación indica la localización de los ojos. En la Fig. 2 b) se muestra la correlación realizada.

Etapa 3)- Los centroides de las regiones asociadas a cada uno de los ojos, obtenidos mediante las técnicas explicadas anteriormente se promedian para obtener un único centro para cada ojo. Estos centroides correspondientes a los ojos se introducen en un filtro de Kalman [10], en el que se consideró un modelo

cinemático de primer orden cuyos estados corresponden a las medidas de los centroides. Los valores de las matrices de covarianza del filtro de Kalman \mathbf{Q}_{Kalman} y \mathbf{R}_{Kalman} son $\mathbf{I}_{2 \times 2}$ y $5 * \mathbf{I}_{2 \times 2}$ respectivamente. En la Fig. 3 se muestra los centroides estimados de los ojos.



Figura 3: Imagen con los centroides de las características faciales estimadas.

2.1.1. Estimación de la orientación y posición de la cabeza

Considerando que la variación de la postura de la cabeza satisface los patrones de movimiento rígido, las imágenes de cara bajo diferentes posturas pueden considerarse como distintas proyecciones en el plano de la imagen (2-D) para distintas rotaciones alrededor del centro de la cabeza.

En este trabajo se usa la transformación de homografía para obtener el ángulo de rotación de la cabeza a partir de la proyección de los centros de los ojos en el plano de la imagen.

Una transformación de homografía se define como la relación que existe entre las coordenadas proyectadas en los planos de la imagen cuando un plano en el espacio se mueve con movimiento rígido del instante de tiempo t a t' , por lo tanto, es necesario considerar también que los ojos se encuentran ubicados en un mismo plano en el espacio.

El desplazamiento 3-D de un objeto rígido en coordenadas cartesianas se modela con la Ec. (5):

$$\mathbf{X}' = \mathbf{R}\mathbf{X} + \mathbf{T} \quad (5)$$

donde \mathbf{R} es la matriz de rotación 3×3 , \mathbf{T} es un vector de traslación 3×1 , \mathbf{X} y \mathbf{X}' son las coordenadas en los tiempos t y t' respectivamente con respecto al centro de rotación. La matriz de rotación \mathbf{R} se expresa en función de los ángulos α , β y γ , los mismos son los ángulos de orientación de la cabeza en el espacio, Fig 4.

Dado que se ha considerado que los puntos de interés se encuentran en el mismo plano del espacio 3-D, la Ec. (4) se convierte en:

$$\mathbf{X}' = \mathbf{H}\mathbf{X} \quad (6)$$

Donde la matriz \mathbf{H} representa la transformación de homografía y es función de la matriz de rotación \mathbf{R} y el vector de traslación \mathbf{T} .

En este trabajo solo se necesita calcular el ángulo β , por lo tanto la matriz de homografía que se obtiene posee cuatro incógnitas, las cuales se pueden resolver con dos puntos en el espacio 3D y sus respectivas proyecciones en el plano de la imagen. Los puntos que se utilizan son los centroides de los ojos para plantear la transformación de homografía y obtener el ángulo β .

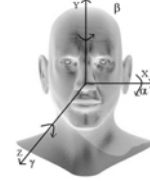


Figura 4: Angulos de rotación de la cabeza

Usando el centroide de uno de los ojos, la transformación de homografía que lleva del plano en el espacio al plano de la imagen se expresa en coordenadas homogéneas de la siguiente manera;

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_2 \mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_\varphi & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{\beta p} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_\varphi \mathbf{R}_{\beta p} & \mathbf{R}_\varphi \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

En donde $\mathbf{R}_{\beta p}$ es la matriz que representa la rotación de la cara respecto al plano de la imagen cuando la cabeza ha rotado respecto del eje Y. La matriz \mathbf{R}_φ representa la orientación de la cámara en el espacio respecto al eje Y.

Por lo tanto, utilizando la matriz \mathbf{H} definida en Ec. (7), se pueden obtener las coordenadas del punto referidas al sistema de coordenadas asociado a la cámara de la siguiente manera,

$$\begin{bmatrix} x_{cam} \\ y_{cam} \\ z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_p + \varphi) & 0 & -\sin(\beta_p + \varphi) & -\sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\beta_p + \varphi) & 0 & \cos(\beta_p + \varphi) & d \cos(\varphi) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Considerando el modelo de transformación de perspectiva (modelo *pin-hole*) de la cámara;

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \mathbf{R}_\varphi \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{\beta p} & \mathbf{T} \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad (9)$$

es posible obtener las coordenadas del punto en el plano de la imagen. En la Ec. (9), \mathbf{X} es el vector de coordenadas del punto en el mundo; \mathbf{x} es el vector de coordenadas del punto en el plano de la imagen; \mathbf{R}_β y \mathbf{T} son matrices que contienen información sobre la orientación y posición de la cámara respecto al sistema de coordenadas del espacio real (X , Y , Z), llamados

parámetros externos de la cámara y \mathbf{K} es la matriz que contiene información sobre los parámetros intrínsecos de la cámara, donde δ_x y δ_y representan la distancia focal de la cámara expresadas en píxeles; x_0 e y_0 son las coordenadas del centro de la imagen.

Luego, las coordenadas en el plano de la imagen son:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_x & 0 & x_0 \\ 0 & \delta_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{cam} \\ y_{cam} \\ z_{cam} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Entonces de las ecuaciones (8) y (10) se obtienen las coordenadas de un punto proyectado en el plano de la imagen. Como los ojos se consideran que se encuentran en el mismo plano, entonces $Z = 0$.

Considerando los dos puntos en el espacio (ojo derecho y ojo izquierdo en el presente trabajo) y sus respectivas proyecciones en el plano de la imagen, se obtiene un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, las cuales son funciones de los parámetros: d (distancia que separa la cara de la cámara), φ y β_p de la siguiente forma,

$$\begin{bmatrix} X_1(x_{1i} - x_0) & -\delta_x X_1 & (x_{1i} - x_0) & \delta_x & \begin{bmatrix} \sin(\beta_p + \varphi) \\ \cos(\beta_p + \varphi) \end{bmatrix} \\ X_1(y_{1i} - y_0) & 0 & (y_{1i} - y_0) & 0 & \begin{bmatrix} \cos(\beta_p + \varphi) \\ \sin(\beta_p + \varphi) \end{bmatrix} \\ X_2(x_{2i} - x_0) & -\delta_x X_2 & (x_{2i} - x_0) & \delta_x & \begin{bmatrix} d \cos(\varphi) \\ d \sin(\varphi) \end{bmatrix} \\ X_2(y_{2i} - y_0) & 0 & (y_{2i} - y_0) & 0 & \begin{bmatrix} d \sin(\varphi) \\ d \cos(\varphi) \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\delta_y Y_1 \\ 0 \\ -\delta_y Y_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

donde (X_1, Y_1) son las coordenadas del ojo derecho en el mundo y (X_2, Y_2) son las coordenadas del ojo izquierdo en el mundo; (x_{1i}, y_{1i}) y (x_{2i}, y_{2i}) son las coordenadas de los centroides en el plano de la imagen de los ojos derecho e izquierdo, respectivamente.

Por lo que la solución del sistema de ecuaciones (11) será,

$$\begin{aligned} \sin(\beta_p + \varphi) &= \delta_y \frac{Y_2(y_{1i} - y_0) - Y_1(y_{2i} - y_0)}{(y_{1i} - y_0)(y_{2i} - y_0)(X_1 - X_2)} \\ \cos(\beta_p + \varphi) &= -\frac{\delta_y}{\delta_x} \frac{Y_1(y_{2i} - y_0)(x_{1i} - x_0) - Y_2(y_{1i} - y_0)(x_{2i} - x_0)}{(y_{1i} - y_0)(y_{2i} - y_0)(X_1 - X_2)} \\ d \cos(\varphi) &= \frac{\delta_y (Y_1 X_2 (y_{2i} - y_0) - Y_2 X_1 (y_{1i} - y_0))}{(y_{1i} - y_0)(y_{2i} - y_0)(X_1 - X_2)} \\ d \sin(\varphi) &= \frac{\delta_y (Y_2 X_1 (y_{1i} - y_0)(x_{2i} - x_0) - Y_1 X_2 (y_{2i} - y_0)(x_{1i} - x_0))}{\delta_x (y_{1i} - y_0)(y_{2i} - y_0)(X_1 - X_2)} \end{aligned} \quad (12)$$

De esta manera se obtiene el ángulo de rotación β_p que es el ángulo de orientación de la cabeza, φ y d . De estos 3 parámetros solo se utiliza el ángulo β_p el cual se fusionará en una etapa posterior. Para mayor detalle del desarrollo matemático se puede consultar [11].

2.2. Estimación de los movimientos de la cabeza por flujo óptico

La proyección del movimiento 3D de un objeto rígido en el tiempo forma un campo de movimiento en la imagen.

Se puede pensar el campo de movimiento, como la proyección del campo de velocidad 3D en el plano de la imagen. Para visualizar este vector de campo, se debe analizar la relación entre el vector de velocidad 3D cuando es proyectado en el plano de la imagen. Entonces podemos decir que: El campo de movimiento es un vector 2D de velocidades de los puntos de la imagen inducido por el movimiento relativo entre la cámara y la escena observada [9]. Para obtener las ecuaciones del campo de movimiento se proyecta un punto P móvil del espacio 3D en el plano de la imagen. El sistema de coordenadas utilizado para la proyección del punto en el plano de la imagen se define de forma tal que los ejes X e Y forman una base para el plano de la imagen y cuyo origen de coordenadas coincide con el centro óptico de la cámara de visión.

Sea $\mathbf{P} = [X \ Y \ Z]^T$, un punto en el espacio 3D, la proyección del mismo en el plano de la imagen está dada por:

$$x = f \frac{X}{Z}; \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad (13)$$

donde f es la distancia focal de la cámara.

El movimiento relativo entre el punto \mathbf{P} en el espacio y la cámara se describe por:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} = -\mathbf{T} - \boldsymbol{\omega}_f \times \mathbf{P} \quad (14)$$

donde $\mathbf{T} = [T_x \ T_y \ T_z]^T$ es la componente traslacional, y $\boldsymbol{\omega}_f = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ es la componente rotacional. Debido a que el movimiento es rígido, \mathbf{T} y $\boldsymbol{\omega}$ son los mismos para cualquier punto \mathbf{P} .

Reescribiendo (14), en función de las componentes:

$$\begin{aligned} V_x &= -T_x - \omega_y Z + \omega_z Y \\ V_y &= -T_y - \omega_z X + \omega_x Z \\ V_z &= -T_z - \omega_x Y + \omega_y X \end{aligned} \quad (15)$$

La relación entre la velocidad de \mathbf{P} en el espacio del mundo y la correspondiente velocidad p en el plano de la imagen, se obtiene derivando en ambos miembros de (15), teniendo en cuenta que la proyección de $\mathbf{P} = [X \ Y \ Z]^T$ en el plano de la imagen se denota por $\mathbf{p} = (x, y)$. El campo de movimiento en el plano de la imagen queda:

$$\mathbf{v} = f \frac{Z^* \mathbf{V} - V_z^* \mathbf{P}}{Z^2} \quad (16)$$

Para obtener las componentes de velocidades instantáneas, $\mathbf{v} = (u_f, v_f)$, en el plano de la imagen se deben combinar (15) y (16):

$$\begin{bmatrix} u_f(x, y) \\ v_f(x, y) \end{bmatrix} = \frac{1}{Z(x, y)} \begin{bmatrix} -f & 0 & x \\ 0 & -f & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{xy}{f} & -f - \frac{x^2}{f} & y \\ f + \frac{y^2}{f} & -\frac{xy}{f} & -x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (17)$$

En la ecuación (17) el primero describe la componente del campo de movimiento de la imagen debido a la traslación del objeto, y es inversamente proporcional a la profundidad en cada punto; y el segundo término es la componente del campo de movimiento debido a la rotación del objeto, el cual es independiente de la profundidad.

El flujo óptico es el campo de movimiento bidimensional de velocidades aparentes en el plano de la imagen relacionado a las variaciones de brillo de la misma, las cuales son producidos cuando: un objeto se mueve en el espacio 3D a medida que transcurre el tiempo. Para obtener los valores de flujo óptico se deben calcular las relaciones entre las variaciones en la intensidad del brillo y el movimiento del campo.

Entonces, si se denomina $I = (x, y, t)$ al brillo de la imagen en el punto (x, y) del plano de la imagen en el instante t , y además se supone que este permanece constante bajo el movimiento, es decir:

$$\frac{dI}{dt} = 0 \quad (18)$$

se obtiene la ecuación fundamental de flujo óptico A partir de la Ec. (18), en donde las derivadas espaciales parciales del brillo de la imagen son simplemente el gradiente espacial de la imagen ∇I y las derivadas

temporales, dx/dt y dy/dt , son las componentes del campo de movimiento \mathbf{v} , y se obtiene:

$$I_x u_f + I_y v_f + I_t = 0 \quad (19)$$

En la Ec. (19) hay dos parámetros desconocidos (u_f y v_f) y sólo una ecuación de restricción por cada punto en la imagen, por tanto se concluye que sólo se puede determinar la velocidad de la componente en la dirección del gradiente del brillo.

El flujo óptico es estimado en n puntos que pertenecen a contornos fuertes de la cara. El cálculo de los puntos se realiza con la técnica explicada en la sección 2.1. En la Fig. 5a se muestran los puntos característicos obtenidos. El flujo óptico se calcula implementando el método de [12]. Este utiliza un filtro de Kalman en una etapa de fusión de datos para calcular en forma robusta el flujo óptico. Los resultados del proceso de cálculo del flujo óptico se muestran en la Fig 5b. La estimación se realiza entre dos imágenes sucesivas, I_t y I_{t+1} .

La estimación del movimiento 3D se obtiene calculando los parámetros de traslación y rotación sucesivos entre dos imágenes usando el campo de movimiento 2D.



Figura 5. a) Puntos característicos ; b) Flujo óptico estimado

A continuación se explicará cómo se obtienen los parámetros de la postura de la cabeza a partir de los vectores de flujo calculados.

Mediante la Ec (18) se obtuvieron las relaciones de la proyección del movimiento 3D en el campo de movimiento 2D. Asumiendo que sólo existe movimiento de la cabeza en la imagen (todo el fondo aparece estático), y que el movimiento de la cabeza entre dos imágenes es infinitesimal, lo cual es válido debido a que la webcam captura dos imágenes cada 100 ms, esto produce pequeñas variaciones en las velocidades angulares y puede sustituirse velocidades angulares por los ángulos de rotación de la cabeza en

el espacio [13]. Teniendo en cuenta que: $t_x = \frac{T_x}{Z}$,

$t_y = \frac{T_y}{Z}$ y $t_z = \frac{T_z}{Z}$, y reordenando la Ec (17), queda

formado un sistema de ecuaciones de la siguiente manera;

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \quad (20)$$

donde,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f & 0 & -x_i & -\frac{x_i y_i}{f} & \frac{f + x_i^2}{f} & -y_i \\ 0 & f & -y_i & \frac{f + y_i^2}{f} & \frac{x_i y_i}{f} & x_i \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} u_{fi} \\ v_{fi} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = [t_x \quad t_y \quad t_z \quad \alpha_f \quad \beta_f \quad \gamma_f]$$

Donde α_f es el ángulo de rotación respecto al eje X, β_f es el ángulo de rotación respecto al eje Y y γ_f es el ángulo de rotación respecto al eje Z.

El sistema se resuelve usando el método de mínimos cuadrados recursivos, minimizando el error:

$$\|\mathbf{Ax} - \mathbf{b}\| = E \quad (21)$$

De esta forma, se obtiene la estimación de la postura de la cabeza. Para mayor detalle matemático ver [14]. Con esta técnica se obtienen los tres ángulos de orientación de la cabeza, de los cuales solo se utilizan los ángulos β_f y α_f para comandar la navegación de la silla de ruedas. El ángulo β_f se fusionará con el ángulo β_p obtenido con la técnica explicada en la Sección 2.1., y el ángulo α ingresa directamente a los controladores de la silla de ruedas.

2.3. Fusión

Los valores angulares β_p y β_f obtenidos por ambas técnicas se introducen en un Filtro de Kalman, el cual realiza la fusión de los mismos. La fusión es una de las técnicas que se puede aplicar cuando se tiene información redundante. Esta técnica disminuye la variancia en forma óptima de los ángulos estimados permitiendo mejorar el desempeño de la interfaz.

La razón por la cual se realiza la fusión de estos ángulos es que el ángulo β_p estimado por homografía depende de que siempre se detecten los dos centroides de los ojos, lo cual no es siempre posible por problemas en cambios bruscos de la iluminación o por giros amplios de la cabeza. Estos problemas que se presentan hacen que el cálculo por homografía falle. La ventaja de esta técnica es que el valor estimado del ángulo es el valor absoluto de la orientación, lo cual brinda la orientación global de la cabeza respecto al eje Y en el espacio.

Por otro lado, la técnica de flujo óptico presenta como ventaja un tiempo menor de cálculo y puede soportar cambios de iluminación y movimientos amplios de la cabeza debido a que el cálculo del ángulo no depende de puntos geométricos en el espacio como en la técnica anterior, sino de la velocidad de giro de la cabeza. El problema de esta última técnica es que el valor obtenido del ángulo β_f es relativo, esto hace que se produzca un error de acumulación en el tiempo el cual se soluciona poniendo este ángulo a cero cuando se detecta que el otro ángulo calculado con homografía hace un cruce por cero.

3. Modelo de la silla de ruedas robótica

La silla de rueda robótica, utilizada en este trabajo [3] descrita por el diagrama en bloques de la Fig. 6. En este trabajo la arquitectura de control de la silla de ruedas contempla tanto el modelo cinemático como el dinámico.

El modelo de la silla de ruedas se presenta en la Fig. 7, donde u y ω son las velocidades lineal y angular respectivamente, G es el centro de masa, c es la posición del punto medio entre un eje virtual entre las dos ruedas delanteras, E es la localización del centro de masas de la personas, h es el punto de interés con coordenadas x, y en el plano XY, ψ es la orientación de la silla, a es la distancia entre el punto de interés y punto central del eje virtual entre las dos ruedas traseras que son las que le dan la tracción a la silla.

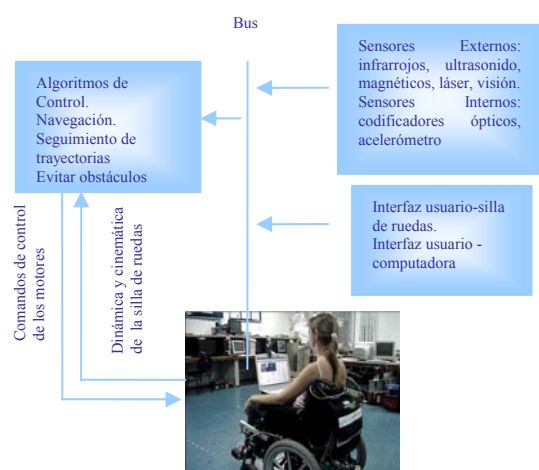


Figura 6. Diagrama en bloques de la silla de ruedas eléctrica.

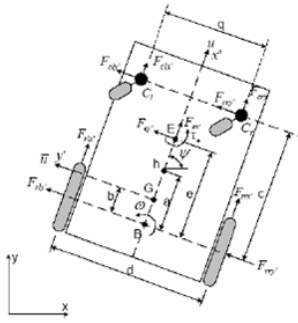


Figura 7. Modelo de la silla de ruedas eléctrica.

El modelo de la silla de ruedas se puede plantear en forma análoga al de los robots móviles no-holonomicos, dada por [15]:

Modelo Cinemático:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -a \sin \psi \\ \sin \psi & a \cos \psi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Modelo Dinámico:

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{g_3}{g_1} \omega^2 & -\frac{g_4}{g_1} u \\ \frac{g_5}{g_2} u \omega & -\frac{g_6}{g_2} \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\theta_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\theta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_u \\ \delta_\omega \end{bmatrix} \quad (23)$$

El vector de parámetros a identificar y el vector de perturbaciones asociadas a la silla de ruedas son respectivamente:

$$\theta^0 = [\theta_1^0 \quad \theta_2^0 \quad \theta_3^0 \quad \theta_4^0 \quad \theta_5^0 \quad \theta_6^0]$$

$$\delta = [\delta_x \quad \delta_y \quad 0 \quad \delta_u \quad \delta_\omega]$$

Se implementan dos controladores, uno para controlar la parte cinemática y otro para controlar la parte dinámica, con sus respectivas leyes de control en base a los modelos mencionados.

3.1. Diseño del controlador cinemático

Para comandar la velocidad angular a través del controlador cinemático, se utiliza el ángulo β de la cabeza, obtenido luego de la fusión y la velocidad lineal del controlador cinemático es comandada por el ángulo α estimado con la técnica de procesamiento de imágenes de flujo óptico.

3.1.1. Control de velocidad angular

La ley de control no lineal (comando de velocidad angular) estable [16] propuesta para cambiar la orientación del la silla de ruedas es:

$$\omega = -k \tanh(\tilde{\psi}) \quad (24)$$

donde k es una constante positiva, ψ es la orientación del de la silla, β es el ángulo de referencia, $\tilde{\psi} = \beta - \psi$ es el error en la orientación de la silla. La $\tanh(\cdot)$ se utiliza para prevenir la saturación de los comandos ya que existe una cota en la velocidad angular del de la silla.

3.1.2. Control de velocidad lineal

La otra variable que se desea controlar es la velocidad lineal v_{silla} , la cual debe disminuir cuando la silla robótica está maniobrando para orientarse en la dirección correcta, (cuando $\tilde{\psi}$ no es nulo). La ley de control propuesta es la siguiente;

$$v_{silla} = V \cos(\tilde{\psi}) \alpha \quad \text{si } \alpha > 0 \quad (25)$$

$$v_{silla} = 0 \quad \text{si } \alpha \leq 0$$

V debe ser definido teniendo en cuenta los límites físicos de la silla de ruedas. De esta manera la máxima velocidad lineal que puede alcanzar la silla es: $V\alpha_{max}$, donde α_{max} es el límite superior del ángulo de rotación de la cabeza.

3.2. Diseño del controlador Dinámico

El controlador cinemático recibe las señales de referencias de la interfaz (ángulos β y α), y genera la velocidad lineal y angular de referencia, que ingresan como entradas al controlador dinámico, el cual genera otro par de comandos velocidades lineal y angular que son enviados a los servos de la silla.

El controlador dinámico es diseñado basado en la dinámica nominal de la silla de ruedas. La dinámica nominal representa las dinámicas medias estimadas de la silla de ruedas. La dinámica inversa de la silla es obtenida de la Ec. (23) y sin considerar las incertidumbres puede ser parametrizada como sigue;

$$\begin{bmatrix} u_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{u} & 0 & -\omega^2 & u & 0 & 0 \\ 0 & \dot{\omega} & 0 & 0 & u\omega & \omega \end{bmatrix} [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4 \quad \theta_5 \quad \theta_6]^T \quad (26)$$

La cual puede reescribirse como;

$$\begin{bmatrix} u_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 & 0 \\ 0 & \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\omega^2 & u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & u\omega & \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 & \theta_2 & \theta_3 & \theta_4 & \theta_5 & \theta_6 \end{bmatrix}^T \quad (27)$$

La ley de control de dinámica inversa es;

$$v_{ref} = G(u, \omega, u_{ref}^c, \omega_{ref}^c, \dot{u}_{ref}^c, \dot{\omega}_{ref}^c) \theta \quad (28)$$

donde;

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & -\omega^2 & u & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 & u\omega & \omega \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\sigma_1 = \dot{u}_{ref}^c + k_u (\dot{u}_{ref}^c - u) \quad (29)$$

$$\sigma_2 = \dot{\omega}_{ref}^c + k_w (\dot{\omega}_{ref}^c - \omega)$$

$$y \theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6]^T \quad (30)$$

θ es un vector de parámetros constantes.

4. Resultados experimentales

Los experimentos fueron realizados con secuencias de imágenes de 320x240 píxeles capturadas a 10 fps, utilizando una webcam convencional cuya longitud focal es de 565 píxeles. La interfaz envía las referencias de velocidades vía puerto serie a la silla de ruedas motorizada fabricada por Freedom Ltda. Dicha silla posee un sistema de control de accionamiento de sus motores, [3], [16], [17]. En la Fig 8 se observa una secuencia de imágenes de la cara, donde se muestra el desempeño de ambas técnicas de estimación de la postura de la cara con diferentes orientaciones de la misma.

En el controlador cinemático y el de compensación dinámica, se utilizó un valor de $k=4$, $V=400mm/s$, $\alpha_{max}=15$ grados y los valores de los parámetros de la silla son:

$$\theta_1 = 0.4087, \theta_2 = 0.1925, \theta_3 = 0.0047, \theta_4 = 1.0042, \theta_5 = 0.0044, \theta_6 = 0.8744$$

Los experimentos se realizaron comandando la navegación de la silla de ruedas con los giros de cabeza respecto del eje X (ángulo α) y respecto del eje Y (ángulo β). La silla avanza cuando el ángulo α es positivo (la cabeza rota hacia delante), la silla debe detenerse si la cabeza rota hacia atrás. Los giros de la silla son comandados con el ángulo de rotación β , si la cabeza rota hacia la izquierda, la silla debe girar a la izquierda y si la cabeza rota hacia la derecha, la silla gira a la derecha. En la Fig. 9 se muestran los resultados de la fusión de los ángulos de rotación estimados por las dos técnicas de procesamiento de imágenes, β_p y β_f . En la gráfica se puede observar que el ángulo estimado por la fusión es el que posee la menor varianza. Esto provee una entrada de referencia suave, lo que permite una navegación confortable para

el usuario. En la Fig. 10 se observa el ángulo alfa estimado con flujo óptico, el cual comanda la velocidad lineal de la silla. En la Fig. 11 se puede observar la velocidad angular y la velocidad lineal de la silla de ruedas.

Por último la Fig. 12 muestra la trayectoria realizada por la silla de ruedas robóticas en el laboratorio de trabajo.



Figura 8. Secuencia de imágenes con las técnicas de procesamiento de imágenes.

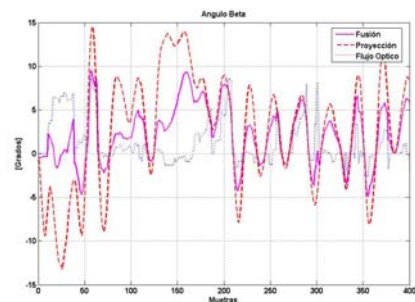


Figura 9. Angulo beta.

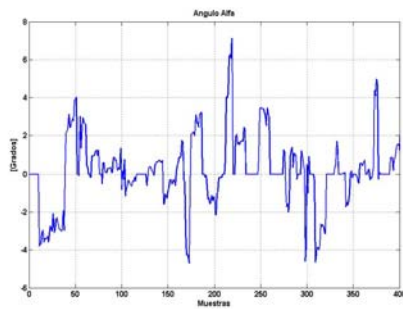


Figura 10. Angulo alfa

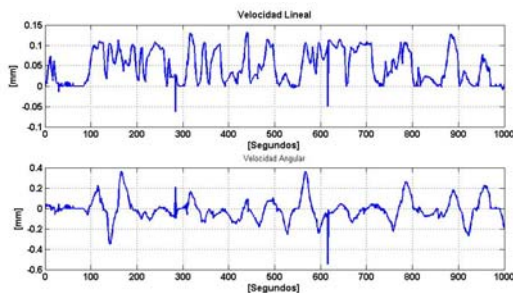


Figura 11. Velocidad angular y lineal de la silla de ruedas.

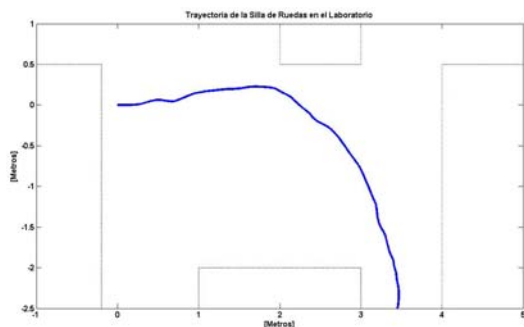


Figura 12. Trayectoria de la silla de ruedas robótica.

5. Conclusiones

Se ha presentado el desarrollo de una interfaz hombre máquina para comandar la navegación de una silla de ruedas robótica a través de los movimientos de la cabeza de una persona. Se han realizado experimentos con la silla de ruedas en entornos reales de trabajo.

Los ángulos estimados por la interfaz, se corresponden con la orientación de la cabeza del usuario en el espacio.

El controlador no lineal cinemático implementado garantiza los cambios necesarios en la orientación y

velocidad lineal de la silla de ruedas, de tal manera que se pueda realizar la navegación a través de entornos reales de acuerdo a los requerimientos realizados por el usuario.

El controlador dinámico implementado mejora la navegación de la silla realizando desplazamientos suaves y sin movimientos abruptos.

Se presentaron resultados experimentales que muestran el buen desempeño de la interfaz hombre máquina, por lo cual este sistema puede ser utilizado por personas con discapacidades motoras severas.

La fusión de las técnicas mejoró el desempeño de la interfaz, brindando una mejor estima del ángulo β y tiene menos probabilidades de falla, cuando por alguna eventualidad una de las técnicas deja de funcionar. Ya que la técnica que trabaja con imágenes color es más propenso a fallas debido a cambios bruscos en la iluminación.

Todos los experimentos fueron realizados en ambientes de trabajo reales (laboratorio), en donde no hubo restricciones en la iluminación, pero no se produjeron cambios bruscos en la misma.

Se realizó una etapa de entrenamiento, en donde el usuario practica comandar la navegación de la silla en un entorno virtual de simulación de pasillos. De esta manera el usuario se familiariza y se entrena en la interacción con la interfaz.

6. Referencias

- [1] C.H. Kuo, H.L. Hunag y M.Y. Lee. "Development of agent-based autonomous robotic wheelchair control systems". Biomed Eng Appl Basis Comm, 2003 (December); 15: 223-234.
- [2] L. Montesano, J. Minguéz, J.M. Alcubierre, y L. Montano. "Towards the adaptation of a robotic wheelchair for cognitive disabled children". Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2006. Beijing, China.
- [3] A. Ferreira,; D. Cavalieri,; R. Silva,; T. Bastos, y M. Sarcinelli. "A versatile robotic wheelchair commanded by brain signals or eye blinks". In: International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies- BIODEVICES/BIOSTEC 2008, Funchal. Proceedings of the International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies - BIOSTEC 2008. Portugal : INSTICC, 2008. v. 2. p. 62-67.
- [4] S. Gong, MacKenna S.J. and A. Psarrou. "Dynamic Vision from Images to Face Recognition", Imperial Collage Press, Londres, (2000).

- [5] S.Z. Li. and A.K. Jain, Handbook of Face Recognition, Springer Science+Business Media. USA, (2005).
- [6] M.A Berbar,., H.M. Kelash and A.A. Kandeel (2006). Face and facial features detection in color images. INFOS2006 fourth Conference International, Cairo, Egipt.
- [7] B. K P. Horn (1986). Robot Vision. MIT Press, McGraw-Hill.
- [8] S.Z. Selim and M.A. Ismail. "K-means-type algo-rithms: A generalized convergence theorem and characteri-zation of local optimality". IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, (1984)Vol6, pp. 81-86.
- [9] Trucco E. y Verri A. (1998). "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Prentice-Hall. New Jersey.
- [10] Brown R., P. Hwang. Introduction to Randon Signals and Applied Kalman Filtering, (1997) 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, USA.
- [11] E. Perez, C. Soria, V. Mut y O. Nasisi. "Detección y Estimación de la Postura de la Cabeza de una Persona". AADECA-XXIº Congreso Argentino de Control Automático, Septiembre de 2008 – Buenos Aires, Argentina.
- [12] Soria C. M., R. Carelli and M. Sarcinelli-Filho, Optical Flow Estimation Using Data Fusion, VI Simposio Brasileiro de Automacao Inteligente. Bauru, pp. 259-264, 2003.
- [13] Y. Zhu, and Fujimora,K. " 3D Head Pose Estimation with Optical Flow and Depth Constraints", Proceedings of the Fourth Intenational Conference on 3D Digital Imaging an Modeling, Computer Society IEEE 2003.
- [14] E. Perez, C. Soria, O. Nasisi y V. Mut."Tridimensional Pose Estimation of Person Head". Memorias del XVICongreso Argentino de Bioingeniería, V Jornadas de Ingeniería Clínica. Setiembre de 2007.ISBN: 978-950-605-505-9, San Juan, Argentina.
- [15] R. Carelli and C. De La Cruz. "Dynamic Modeling and Centralizad Formation Control of Mobile Robots", 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society IECON, Paris, 2006.
- [16] C. Soria, R. Carelli and M. Sarcinelli-Filho. "Using Panoramic Images and Optical Flow to Avoid Obstacles in Mobile Robot Navigation". ISIE International Symposium on Industrial Electronics, Canada, 2006.
- [16] A Ferreira,.; W. Celeste,; F. Cheein,; T. Bastos,; M. Sarcinelli, y R. Carelli. "Human-machine interfaces based on EMG and EEG applied to robotic systems". Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, v. 5, p. 1-15, 2008.
- [17] T. Bastos, ; M .Sarcinelli, ; , A. Ferreira; W. Celeste,; R. Silva,; V. Martins,; D. Cavalieri,; P. Filgueira y I. Arantes,. "Case Study: Cognitive Control of a Robotic Wheelchair". In: J. L. Pons. (Org.). Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons. Ch 9, Section 9.6: Wiley, 2008, p. 315-319.

Silla de Ruedas Robótica Multi-Accionada Inteligente con Capacidad de Comunicación

Teodiano Freire Bastos, André Ferreira, Wanderley Cardoso Celeste, Daniel Cruz Cavalieri,
Mário Sarcinelli Filho, Celso De La Cruz

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, Brasil
{teodiano, andrefer, wanderley, daniel, sarcinel@ele.ufes.br, celsodelacruz@gmail.com}

Carlos Soria, Elisa Pérez

Instituto de Automática, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
{csoria, eperez@inaut.unsj.edu.ar}

Dinesh Kant Kumar

RMIT University, Melbourne, Australia
dinesh@rmit.edu.au

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una silla de ruedas robótica que puede navegar de forma auto-guiada o autónoma, comandada por parpadeos (señales electromiográficas), movimientos del globo ocular (por videooculograma), movimientos de cabeza (por acelerómetro o por cámara de video), e incluso por señales cerebrales (señales EEG). Dicha silla posee además un sistema de comunicación de bordo que permite al usuario de la silla comunicarse con personas a su alrededor.

1. Introducción

Personas con discapacidad motora enfrentan diversos problemas en lo que se refiere a la movilidad en instalaciones públicas y domiciliarias. Cuando el usuario posee la capacidad de manipulación intacta, puede utilizar un joystick para controlar una silla de ruedas eléctrica.

Sin embargo, cuando dicho individuo posee movilidad muy reducida o nula, debido a cuadriplegia o tumores en la médula espinal, dicho individuo puede pasar el resto de su vida en completo estado de dependencia social [1].

Cuando la discapacidad se debe a neuropatías motoras en especial Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) los problemas van mucho más allá de la falta de movilidad y dependencia social: el individuo atrofia de forma gradual su capacidad de comunicación y de expresar cualquier deseo, sentimiento o necesidad. En este caso, aunque la medicina actual sea capaz de alargar la vida de dichas personas, utilizando drogas avanzadas, el

paciente permanece prisionero de su propio cuerpo, puesto que no posee ninguna calidad de vida. Frustración, ansiedad y depresión son sentimientos normalmente incorporados al día a día de dichas personas [2].

Los sistemas robóticos pueden mejorar la autonomía personal de las personas con limitaciones funcionales, a través del desarrollo de dispositivos que permitan el desplazamiento y comunicación de esas personas. Para el desplazamiento se pueden incorporar sensores en una silla de ruedas eléctrica que permitan tanto seguir un camino predeterminado como detectar y desviar de obstáculos presentes en ese camino. Para comandar la silla se pueden utilizar señales biológicas producidas por parpadeos, movimientos del globo ocular, movimientos de cabeza e incluso señales cerebrales (este último caso es fundamental para personas con ELA, las cuales presentan deformación y degeneración de células musculares [3]).

Cuando la persona posee un buen control de los movimientos de cabeza, se puede utilizar un acelerómetro adaptado a la cabeza, o una cámara de video para capturar dichos movimientos. Caso la persona no posea dichos movimientos de cabeza, pero pueda parpadear, la señal de comando se puede generar a través de parpadeos (señales electromiográficas – EMG).

Para personas con ELA, o con otro tipo de enfermedad, que no puedan controlar confiablemente sus parpadeos, se puede utilizar los movimientos de los ojos (capturados con una cámara de video, técnica denominada videooculografía). En niveles avanzados de la enfermedad, se puede utilizar señales cerebrales

(señales electroencefalográficas – EEG) como señales de comando, las cuales se capturan en la superficie de la corteza cerebral y se utilizan patrones para asociarlos a determinadas acciones [4-6].

En este trabajo se ha desarrollado una silla de ruedas robótica que se puede comandar a través de parpadeos, movimientos del globo ocular, movimientos de cabeza y señales cerebrales. Dicha silla posee una Interfaz Hombre-Máquina (IHM) capaz de interpretar las señales de comando e interactuar con una PDA (del inglés, Personal Digital Assistant) para seleccionar el comando deseado para la silla. Dicha interfaz posibilita además un canal de comunicación entre el usuario de la silla y personas a su alrededor.

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma: en la Sección II se muestra la Interfaz Hombre-Máquina. La Sección III muestra detalles del sistema de adquisición y de procesamiento. La Sección IV trata de los experimentos realizados y, por fin, en la Sección V se presentan conclusiones del trabajo.

2. Estructura de la Interfaz-Hombre Máquina

La estructura de la Interfaz Hombre-Máquina utilizada a bordo de la silla de ruedas se muestra en la Fig. 1. Como se puede ver en dicha figura, hay un sistema de adquisición que captura las señales biológicas y las procesa (las filtra en la banda de frecuencia requerida y las amplifica). A continuación, dichas señales se digitalizan y se envían a una computadora que hace el preprocesamiento necesario, la extracción de características y, por fin, la clasificación con base en las características extraídas de dichas señales. Luego, se verifica si la señal enviada es o no un comando válido a la silla de ruedas. Además, la computadora hace la interfaz de comunicación con una PDA (Fig. 1), la cual presenta opción de barrido automático de símbolos de movimiento (flechas) y de comunicación (letras y figuras). Así, una vez reconocida una señal de comando emitida por el usuario de la silla, se genera un comando de movimiento para silla, o una señal acústica asociada con el símbolo de comunicación seleccionado.

3. Adquisición y Procesamiento

Para la adquisición de las señales de comando por parpadeos (señales EMG), lo primero que se hace es la colocación de electrodos de superficie sobre las regiones donde se encuentran los

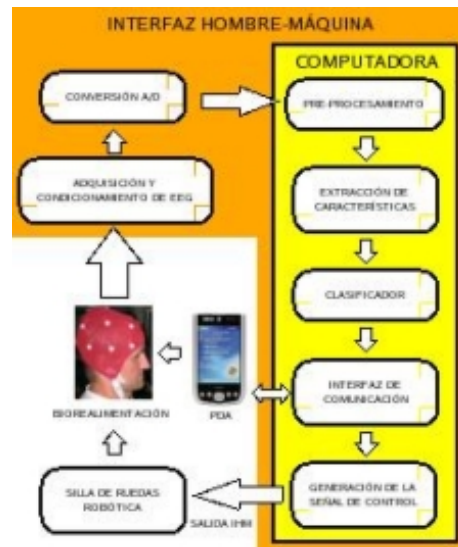


Figura 1: Estructura de la IHM desarrollada, con ejemplo de uso por comando a través de señales cerebrales.

músculos que generan movimientos voluntarios (músculos temporales), los cuales van a servir como vía de comunicación. Para el caso de comandos por movimiento de los ojos, se utiliza una minicámara de video adaptada a unas gafas, conformando la captura por videooculografía. Comandos por movimiento de cabeza se capturan con un acelerómetro adaptado a una gorra o cualquier otro dispositivo atado a la cabeza, o a través de una cámara de video instalada frente al usuario de la silla. En el caso del comando de la silla por señales cerebrales (señales EEG), se utilizan electrodos de superficie, los cuales se deben ubicar sobre las regiones de la corteza cerebral donde las señales poseen mayor energía en la realización de la actividad cerebral.

3.1. Comando por Parpadeos

En el caso de comando por parpadeos, se utilizan señales EMG generadas por los músculos temporales, que producen el parpadeo de los ojos. Se ubican los electrodos tal como se muestra en la Fig. 2, los cuales generan señales que se muestran en la misma figura. Como se puede ver en dicha figura, se utiliza un canal para la adquisición de la señal del músculo del ojo derecho y otro para el músculo del ojo izquierdo. Las señales presentadas son la diferencia entre un canal y el otro, y la referencia se ubica en la parte de la oreja donde no hay músculos.

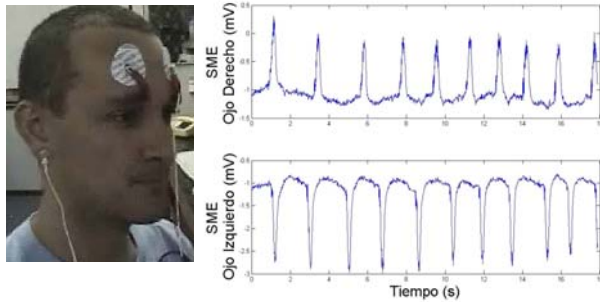


Figura 2: Adquisición de señales EMG (parpadeos).

Para la detección del pico del parpadeo se ha desarrollado un algoritmo que busca el punto máximo y su respectiva posición en el vector de muestras de señales EMG preprocesadas. El umbral de detección establecido considera como válidos únicamente señales con valores de pico por encima de 35% del mayor valor detectado, lo que se ha utilizado para evitar la detección incorrecta de los parpadeos naturales [8].

Una vez realizada la detección de los picos, se hace necesario determinar los respectivos intervalos de duración del parpadeo. Así, se ha desarrollado un algoritmo basado en la variación angular de cada punto. Esto consiste en calcular la tangente de los puntos a la derecha y a la izquierda del pico, a partir de la derivada de la señal EMG preprocesada. Caso el valor de la tangente del punto alcance un valor menor que un umbral determinado empíricamente (0,0025 se ha mostrado satisfactorio), este es considerado como inicio o final del intervalo.

El algoritmo desarrollado se ha mostrado bastante eficiente, identificando correctamente, para varios individuos, la casi totalidad de intervalos referentes a parpadeos del ojo derecho e izquierdo.

Tras la etapa de procesamiento de las señales EMG, se utilizan Redes Neuronales Artificiales (RNAs) para el reconocimiento de los parpadeos. Para ello, se ha realizado inicialmente un sub-muestreo del intervalo de duración de los parpadeos, reduciendo el vector de entrada para 20 muestras. Enseguida, se ha hecho la normalización de las señales, con el objetivo de conseguir una convergencia más rápida en la etapa de entrenamiento de las RNAs.

Se han utilizado 252 señales de prueba, o sea, 84 parpadeos referentes al ojo izquierdo, 84 referentes al ojo derecho y 84 ruidos generados de forma aleatoria, todos no utilizados en la etapa de validación o entrenamiento. Se han evaluado varios algoritmos, con el mejor resultado para el algoritmo Resilient Backpropagation (RP), que utiliza 4 neuronas en la capa oculta y 3 neuronas en

la capa de salida, con el cual se ha obtenido un acierto de 99,6% en la detección de parpadeos. La Fig. 3 muestra la silla de ruedas comandada por parpadeos.



Figura 3: Silla de ruedas comandada por parpadeos.

3.2. Comando por Movimientos de Cabeza

Para el comando de la silla de ruedas por movimiento de cabeza, hay dos opciones: utilizar un sensor de inclinación basado en acelerómetros, el cual se adapta a un gorro o cualquier otro dispositivo atado a la cabeza, o utilizar una cámara de vídeo para captura de movimientos de la cara.

3.2.1. Utilizando Acelerómetro

En este caso se utiliza un acelerómetro de dos ejes que aporta una tensión proporcional a la inclinación de la cabeza. La señal capturada se procesa con un microcontrolador PIC y su resultado se envía de forma inalámbrica por bluetooth al computador de bordo de la silla de ruedas. Una batería de pequeñas dimensiones alimenta a todo el circuito del sensor. La Fig. 4 muestra el sensor adaptado a un gorro y a un arco de pelo. El sistema se ha diseñado de forma que el usuario necesite de poco entrenamiento para utilizar el sistema. Los comandos son muy intuitivos, ya que una pequeña inclinación de la cabeza hacia adelante, hacia la derecha y hacia la izquierda hace que la silla se desplace, respectivamente, en la dirección deseada. Una inclinación de la cabeza hacia atrás hace que la silla pare su movimiento.



Figura 4: Sensor de inclinación basado en acelerómetro adaptado a un gorro y a un arco de pelo.

La detección del ángulo de inclinación de la cabeza se puede obtener a través de las componentes de la aceleración de la gravedad en cada eje. La Fig. 5 muestra la obtención de uno de los ángulos (ángulo α) de inclinación de la cabeza (hacia adelante y hacia atrás), dado por:

$$\alpha = \cos^{-1}(G_y/G)$$

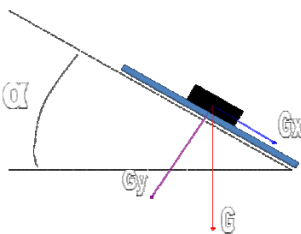


Figura 5: Obtención del ángulo de inclinación α .

El otro ángulo de movimiento de la cabeza (hacia la derecha y hacia la izquierda), β , se obtiene de forma análoga. La Fig. 6 muestra la silla de ruedas comandada por movimientos de cabeza (capturados por acelerómetro).



Figura 6: Silla de ruedas comandada por movimientos de cabeza (capturados por acelerómetro).

3.2.2. Utilizando Cámara de Video

Para detectar los movimientos de cabeza utilizando cámara de video, esta es adaptada a la silla de ruedas con el fin de tomar imágenes de la

cara del usuario (Fig. 7). Se utilizan algoritmos para extraer características de la cara para hacer posible su seguimiento. La posición y orientación de la cabeza se determina, en tiempo real, en base a las características obtenidas de la cara. Para ello se utiliza la geometría proyectiva para, a partir de tres puntos referentes a la ubicación de los ojos y boca del usuario, estimar la posición y orientación de la cabeza.

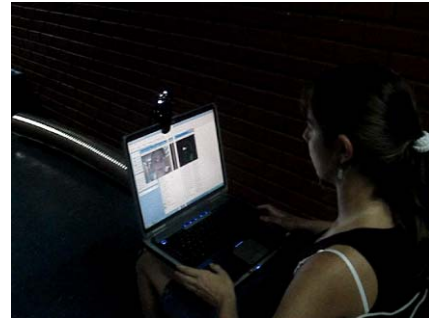


Figura 7: Silla de ruedas comandada por movimientos de cabeza (capturados por cámara de video).

La imagen original de la cara (en formato RGB) se captura con una webcam. Se realiza la equalización de la imagen en base a su histograma. Se realiza entonces su transformación para el espacio YCbCr, con el fin de detectar el color de la piel. Enseguida se realiza la segmentación de la piel, de acuerdo a umbrales definidos para Cb y Cr, y finalmente se extrae la región de interés, a través de la generación de una elipse (que se adapta al formato de la cara). Para ello, se utiliza el espacio de momento con centro en el centroide de la región de la piel. Se realiza entonces una operación AND entre la elipse generada y el negativo de la componente Y.

Los centroides de las regiones asociadas a cada ojo y a la boca se filtran a través del filtro de Kalman, con el fin de obtenerse una buena estimación y seguimiento de sus posiciones. Los tres puntos no-colineales en las coordenadas de la cámara definen un triángulo en el plano de la imagen (Fig. 8). Los cambios en los puntos del espacio, debido a movimientos de la cara, se proyectan sobre el plano de imagen, cambiando los puntos en la imagen.

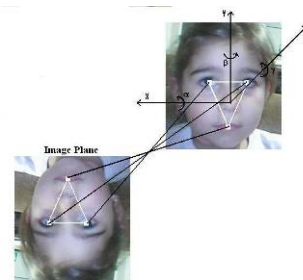


Figura 8: Características faciales de interés.

A partir de la proyección de los puntos en la imagen, se pueden obtener los diferentes ángulos de movimiento de la cabeza: rotación sobre el eje Z, rotación sobre el eje Y y rotación sobre el eje X, dados, respectivamente, por las expresiones:

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{yr - yl}{xr - xl} \right)$$

$$\beta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - f^2(a_1^2/a_0^2 - 1)}}{f(a_1/a_0 + 1)} \right)$$

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{c_1 \pm \sqrt{c_1^2 - f^2(c_1^2/c_0^2 - 1)}}{f(c_1/c_0 + 1)} \right)$$

3.3. Comando por Movimientos del Globo Ocular

Para el comando de la silla de ruedas robótica por movimientos del globo ocular, se utiliza una webcam adaptada a unas gafas. A las imágenes obtenidas se aplican algoritmos de procesamiento para realizar el rastreo de los movimientos del globo ocular. La estructura de dicha Interfaz se muestra en la Fig. 9.



Figura 9: Estructura general de la interfaz hombre-máquina basada en el movimiento de los ojos.

Para la detección del globo ocular, inicialmente se aplica un umbral a la imagen del ojo, con la intención de separar el iris de otras partes de la cara. Sin embargo, esta técnica simple sufre interferencia de las cejas y pestañas. Por dicha razón se aplica la Transformada Aleatoria Circular de Hough y el filtro de Canny, con vista a la detección del iris. El paso siguiente es encontrar una región del interés alrededor del ojo para posibilitar el seguimiento de los movimientos del ojo. Debido a influencias de la iluminación en el procesamiento de imagen, se aplica un filtro de Kalman para reducir el error cometido durante el cálculo del centro del ojo. De esta forma, se aumenta la resolución y la precisión del sistema de rastreo del movimiento del globo ocular. Caso el usuario desee seleccionar un icono en la PDA para comandar la silla de ruedas, éste tendrá que fijar la mirada en la opción deseada. Por ejemplo, para comandar la silla de ruedas el usuario de la silla debe fijar la mirada en la flecha que indica el movimiento de la silla hacia adelante. Así, tras unos segundos, una señal de control será enviada por la PDA a la silla de ruedas, para que ésta ejecute el movimiento deseado por el usuario. La Fig. 10 muestra los pasos seguidos para la detección del movimiento del globo ocular, y la Fig. 11 muestra el sistema adaptado a la silla de ruedas.

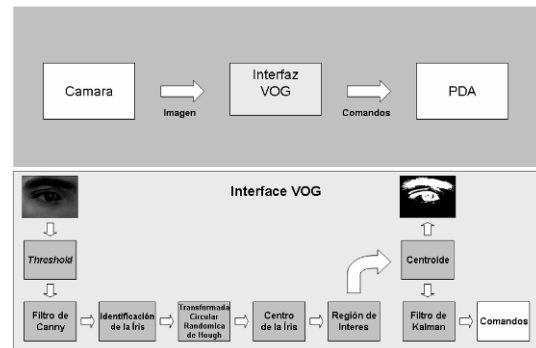


Fig. 10: Diagrama general de la Interfaz desarrollada.



Figura 11: Silla de ruedas comandada por movimientos del globo ocular.

3.4. Comando por Señales Cerebrales

Para el comando de la silla de ruedas robótica por señales cerebrales, lo primero que se hace es la colocación de los electrodos de superficie sobre las regiones de la corteza cerebral donde las señales poseen mayor energía en la realización de la actividad cerebral. Los electrodos se ubican en la región visual, posiciones O1 y O2, de acuerdo con el patrón internacional 10-20 (Fig. 12).

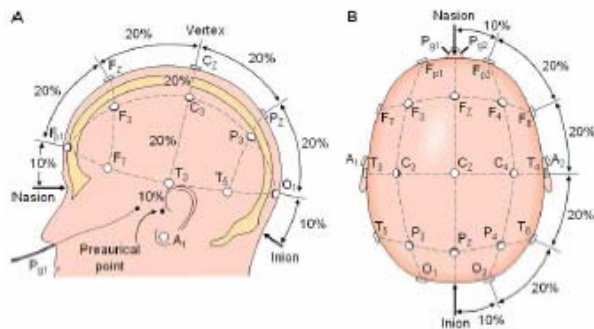


Figura 12: Patrón internacional 10-20 de ubicación de electrodos.

Los patrones cerebrales que se utilizan son la supresión y la activación del ritmo alfa, los cuales están relacionados a la concentración o excitación visual (que es más intensa cuando los ojos están abiertos), y relajación visual (que se hace más evidente cuando los ojos se encuentran cerrados) [7].

La Fig. 13 muestra como se ubican los electrodos en la región occipital de la corteza y las señales cerebrales generadas cuando una persona tiene excitación visual (supresión del ritmo alfa) o relajación visual (activación del ritmo alfa).

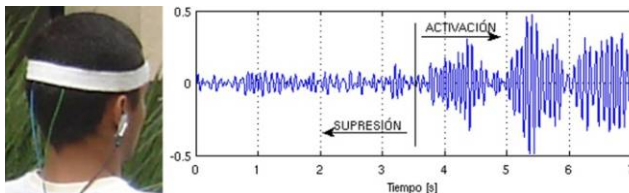


Figura 13: Adquisición de señales de EEG de la región occipital.

El sistema de adquisición de señales cuenta con una etapa de acondicionamiento, donde las señales son filtradas, amplificadas y digitalizadas. Las señales adquiridas son preprocesadas con el fin de extraer el nivel CC, el ruido de 60 Hz de la red eléctrica y otras señales que producen interferencia,

tales como artefactos musculares, cardíacos, o inclusive ruidos debido a una mala colocación de los electrodos. El filtrado se hace en la banda alfa (8-13Hz).

Tras el preprocesamiento, se hace la extracción de características. La característica utilizada en este trabajo es la variancia de la señal, dada por

$$s = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \mu)^2$$

donde N es el número de muestras de la señal observada, x_k es la k-ésima muestra de la señal y μ es el promedio de las muestras, dado por

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$$

La Fig. 13 presenta una señal que contiene los patrones de activación y supresión. Para generarlos, el individuo se mantiene con los ojos abiertos, para generar la supresión, y cierra sus ojos, para generar la activación. La variación en la señal es bastante visible, como se puede verificar en dicha Figura. En la parte inferior de la figura se presenta la variancia de la señal, la cual sirve como característica para el clasificador.

La clasificación se hace en base a dos umbrales: un mínimo y un máximo, los cuales son preestablecidos durante la fase de entrenamiento del usuario del sistema. Cuando la variancia es menor que el umbral mínimo, el sistema no identifica una selección. Por otro lado, cuando la variancia es mayor que el umbral máximo, el sistema identifica una selección. Por fin, si la señal se queda entre los umbrales establecidos, el sistema no cambia el estado, o sea, la señal se encuentra en una zona muerta.

La Fig. 14 muestra la silla de ruedas robótica comandada por señales cerebrales. Dicha silla está equipada con *encoders*, para determinar su localización; sensores de ultrasonidos, para detección de obstáculos; sensores magnéticos para detección de bandas metálicas (en caso de funcionamiento de forma auto-guiada); y altavoces, para emisión acústica de comandos de voz pregrabados.

Para el control de los movimientos de la silla de ruedas robótica, se utiliza una arquitectura de control que contempla tanto el modelo cinemático como el dinámico, Fig. 15 [10], [11].

El controlador cinemático recibe las señales de referencias asociadas a los comandos de movimiento, y genera la velocidad lineal y angular de referencia, que ingresan como entradas al controlador dinámico, el cual genera otro par de

comandos de velocidades lineal y angular que son enviados al controlador de bajo nivel e la silla de ruedas. El controlador de bajo nivel (conformado por un controlador PID) se encarga de controlar las velocidades lineal y angular, enviando voltages a los motores de la silla.

El controlador dinámico es diseñado en base a la dinámica nominal de la silla de ruedas. La dinámica nominal representa las dinámicas medias estimadas de la silla de ruedas.

El controlador no lineal cinemático implementado garantiza los cambios necesarios en la orientación y velocidad lineal de la silla de ruedas, de tal manera que se pueda realizar la navegación a través de entornos reales de acuerdo a los requerimientos realizados por el usuario. Por otro lado, el controlador dinámico implementado mejora la navegación de la silla de ruedas, realizando desplazamientos suaves y sin movimientos abruptos.

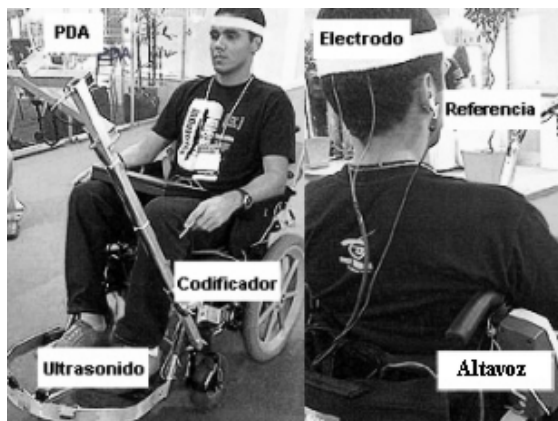


Figura 14: Comando de la silla de ruedas robótica por señales cerebrales.

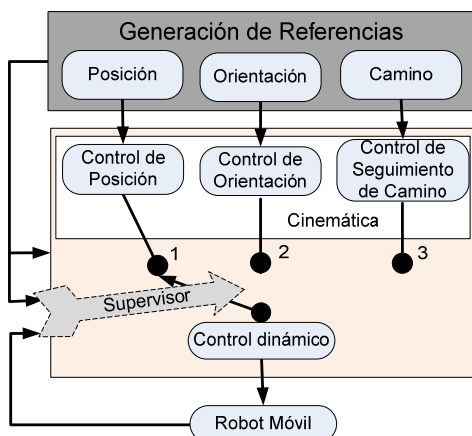


Figura 15: Diagrama de bloques del sistema de navegación de la silla de ruedas robótica.

4. Navegación Auto-Guiada

Además de poder navegar de forma autónoma, a partir de la emisión de las diferentes señales de

comando, la silla de ruedas robótica puede realizar su navegación de forma auto-guiada.

Para ese modo de operación, se debe instalar en el ambiente de operación de la silla de ruedas unas bandas metálicas que definirán los caminos, especialmente en pasos estrechos, por donde la silla pueda desplazarse. Inicialmente, la silla de ruedas puede estar ubicada en cualquier parte de una habitación. Se asume que se conoce la postura inicial de la silla. Utilizando la información de la postura inicial, la postura final elegida por el usuario y un mapa del ambiente, se realiza la planificación de la trayectoria en el computador de bordo. Luego, se ejecuta el control de seguimiento de caminos o seguimiento de trayectoria [10]-[11] utilizando solamente la odometría como sensor de localización. Así, una vez que los sensores magnéticos detectan la banda metálica, se producirá un cambio de controlador, puesto que la silla pasará entonces a seguir un camino predefinido. En el ambiente también se deben instalar tarjetas RFID (Radio Frequency Identification) que definen los distintos ambientes y sirven tanto para que los altavoces de la silla informen, de forma acústica, el ambiente en donde se encuentra la silla, como también sirven para calibrar la odometría de la silla de ruedas.

La Fig. 16 muestra el detalle del sensor magnético instalado en la silla de ruedas e indicación de la localización del lector RFID.



Figura 16: Detalle del sensor magnético (izquierda) y localización del sensor, del lector RFID y banda metálica.

5. Sistema de Comunicación

La PDA a bordo de la silla de ruedas robótica, además de contener símbolos de movimientos, también contiene símbolos de comunicación (letras y figuras), Fig. 17. Así, una vez reconocida cualquiera de las señales de comando emitidas por el usuario de la silla, se genera una señal acústica asociada con el símbolo de comunicación seleccionado o con la palabra o frase construida. Se resalta que la PDA posee un sistema de barrido automático que permite que todos los símbolos sean destacados. Si el usuario desea seleccionar cualquiera de los símbolos, basta emitir una señal de comando para seleccionar dicho símbolo.



Figura 17: Opciones de comunicación y movimiento presentadas en la PDA.

6. Conclusiones

Se ha presentado una silla de ruedas robótica que se puede comandar por parpadeos, movimiento del globo ocular, movimiento de cabeza y señales cerebrales. Con dichas señales se puede tanto emitir comandos de movimiento para la silla como seleccionar símbolos que representen necesidades o sentimientos, o seleccionar letras, para formar palabras o frases. La selección de símbolos, palabras o frases son emitidas de forma acústica, a través de los altavoces existentes en la silla de ruedas.

La silla puede desplazarse de forma autónoma, seleccionando flechas de comando, o de forma auto-guiada (siguiendo bandas metálicas).

La silla cuenta con un controlador cinemático y un dinámico, con vista a mejorar su navegación, realizando desplazamientos suaves y sin movimientos abruptos.

Se han hecho diversos experimentos, con las distintas formas de comando. Además, la silla de ruedas robótica ha sido evaluada de forma satisfactoria por diversas personas con discapacidad.

Actualmente se está trabajando con la adquisición de señales cerebrales en la región motora (localización C_3 , C_4 y C_z de la corteza, Fig. 12), con vista a comandar la silla de ruedas a través de la intención de movimiento (imaginación de

movimientos de la mano izquierda y derecha). Resultados preliminares han alcanzado aciertos de 98% utilizando Densidad Espectral de Potencia (PSD - Power Spectral Density) y parámetros Autoregresivos Adaptativos (Adaptive Autoregressive), como características de entrada para un clasificador basado en Máquina de Vector Soporte (SVM – Support Vector Machine).

7. Referencias

- [1] Casseiro, C. R. y Arce, C.G., “Comunicación visual por computador en la esclerosis lateral amiotrófica” (en portugués), *Archivos Brasileños de Oftalmología*, 2004, Vol. 67, No. 2, pp. 295.300.
- [2] Borges, C.F., “Dependencia y muerte de la "madre de familia": la solidaridad familiar y comunitaria en los cuidados con la paciente de esclerosis lateral amiotrófica”, (en portugués), *Psicología en Estudio*, 2003, Vol. 8, pp. 21.29.
- [3] Hori, J., Sakano, K. y Saitoh, Y., “Development of communication supporting device controlled by eye movements and voluntary eye blink”, *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, 2004.
- [4] Wolpaw, J.R., Birbaumer, N., McFarland D.J., Pfurtscheller, G. y Vaughan, T.M., “Brain computer interfaces for communication and control”, *Clinical Neurophysiology*, 2002, Vol. 113, No. 6, pp. 767.791.
- [5] Millán, J.R., Renkens, F. Mouriño, J., y Gerstner, W., “Non-invasive brain-actuated control of a mobile robot”, *Proceedings of the 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Acapulco, México, 2003.
- [6] Bastos, T.F., Sarcinelli-Filho, M., Ferreira, A., Celeste, W.C, Silva, R.L., Martins, V.R., Cavalieri, D.C., Figueira, P.S., Arantes, I. B., “Case study: Cognitive control of a robotic wheelchair”, *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*, Ed. Pons, J.L., Wiley, 2008, Ch. 9, Sec. 9.6, pp. 315-319.
- [7] Ferreira, A. Celeste, W.C., Cheein, F.A., Bastos, T.F., Sarcinelli-Filho, M. y Carelli, R., “Human-machine interfaces based on EMG and EEG applied to robotic systems”, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2008, Vol. 5, pp. 1-15
- [8] Cavalieri, D.C., Brandão, A.S., Ferreira, A., Benevides, A.B., Bastos, T.F., Sarcinelli-Filho, M., “Redes neuronales artificiales aplicadas a la detección de parpadeos de ojos”, *XII Reunión de Trabajo en Procesamiento y Control*, Río Gallegos, Argentina, 2007.
- [9] A. Ferreira, R.L Silva, W.C. Celeste, T.F. Bastos, y M. Sarcinelli Filho, “Human-Machine Interface Based on EMG and EEG Signals Applied to a Robotic Wheelchair,” *Journal of Physics. Conference Series*, v. 1, 2007, p. 1/012094-8.

[10] F.N. Martins, W.C. Celeste, R. Carelli, M. Sarcinelli Filho, T.F. Bastos, "An Adaptive Dynamic Controller for Autonomous Mobile Robot Trajectory Tracking," *Control Engineering Practice*, v. 16, p. 1354-1363, 2008.

[11] C. De La Cruz, R. Carelli and T. F. Bastos, "Switching Adaptive Control of Mobile Robots", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics – ISIE08*, Cambridge, UK, 2008.

Sistema de Localización de Personas en Áreas Residenciales y su Interfaz Gráfica

Francisco Javier Ferrández-Pastor, Juan Manuel García-Chamizo, Rafael Jesús Valdivieso-Sarabia, Jorge Azorín-López

Departamento Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante, España

fferran@dtic.ua.es , juanma@dtic.ua.es , rvaldivieso@dtic.ua.es , jazorin@dtic.ua.es

Resumen

Localización y seguimiento de sistemas móviles, como por ejemplo: personas, vehículos y sistemas donde los sistemas de posicionamiento global no son viables se hace necesario el uso de técnicas ad-hoc. Existe un amplio número de aplicaciones de uso, entre las que destacamos: centros de cuidados de personas mayores y niños, localización de especialistas en hospitales e industrias y sistemas de seguridad, etc. Nuestro trabajo propone una nueva técnica de localización, software de control y de adquisición de

datos para ofrecer servicios de localización y seguimiento. En este trabajo presentamos un nuevo método que está basado en la transmisión de ondas electromagnéticas con distintas frecuencia para determinar la distancia entre el emisor y el receptor y su interfaz gráfica para simular, administrar y monitorizar a personas mayores dentro de un edificio. La interfaz gráfica propuesta está basada en el patrón de diseño, Modelo-Vista-Controlador y la implementación se ha desarrollado en Java.

1. Introducción

Las sociedades desarrolladas están experimentando un envejecimiento generalizado. La oficina estadística de la Unión Europea, EUROSTAT, señala que las personas mayores a 65 años suponen el 17% de la población total de la Unión Europea en 2005. Las estimaciones predicen que se alcanzará un 30% en 2050, el doble que en 1995 [6]. Esta situación nos lleva a contribuir mediante propuestas tecnológicas capaces de disminuir los costes de los servicios.

Los gobiernos están prestando especial atención a las personas dependientes en los últimos años, que suponían el 9% de la población española en 1999 [12]. La ley aprobada recientemente, “Ley 39/2006 de la Promoción de la Autonomía Personal y Atención a Personas en Situación de Dependencia” [15] nos da el marco legal para el desarrollo de servicios para personas dependientes y de edad avanzada.

Los niños menores de 9 años suponía el 9.39% en 2002 y el 9.85% en 2007. Eso muestra un ligero incremento en los últimos años. La seguridad de los niños es uno de los objetivos principales de los familiares y de las autoridades. Una muestra de ello es que los niños cada vez usan teléfonos móviles a una edad más temprana.

Los servicios para personas dependientes, de edad avanzada y niños, requiere de personal cualificado ya sea sanitario, de asistencia social o profesorado, o incluso la utilización de tecnología de ayuda. La solución basada en personal cualificado requiere un alto número de personas, esto conlleva un coste elevado debido al alto número de potenciales usuarios. La solución basada en ayudas tecnológicas combinada con personal cualificado puede ser más factible y económica que la solución anterior. En este caso nos estamos refiriendo a servicios de localización en interiores.

Los sistemas de localización pueden ser utilizados en muchos contextos como pueden ser: geriátricos, asilos, hospitales para localizar a doctores o pacientes, centros comerciales o de ocio, parques de atracciones para localizar niños y así sucesivamente. Un aspecto importante a tener en cuenta son las cuestiones éticas derivadas del conocimiento en todo momento de la posición de las personas, ya que la privacidad de las personas podría estar siendo vulnerada en algunas situaciones por el personal a cargo del sistema. Una solución sería añadir mecanismos para asegurar el buen uso del sistema, así como un consentimiento legal por parte del paciente para estar localizado.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una interfaz visual para simular, monitorizar y administrar instalaciones orientadas a localizar y monitorizar personas y objetos móviles.

Esta herramienta debe ser amigable para satisfacer los requerimientos de monitorización, precisa para la experimentación y potente para configurar las instalaciones de una forma sencilla.

A continuación, la segunda sección describe las generalidades del sistema de localización y un recorrido sobre los principales sistemas de localización en exteriores e interiores. La sección tercera, describe el módulo de instalaciones orientadas a personas dependientes y capturas de pantalla para mostrar al lector el potencial, aunque no se haya prestado especial atención en los detalles. Para concluir indicamos los principales objetivos así como las líneas futuras.

2. Sistema de localización

El sistema de localización se encarga de verificar la posición de las personas u objetivos móviles para monitorizarlos. A partir de aquí, hay que desarrollar servicios derivados de la localización en función de los requerimientos del lugar en el que vaya a ser instalado.

El sistema de localización puede ser utilizado principalmente en edificios donde la posición de las personas deba ser conocida en tiempo real. Esta información puede ser útil, por ejemplo para incrementar la seguridad de personas hospitalizadas, o para mejorar el tiempo de respuesta de servicios críticos como pueden ser servicios de urgencias, clínicas, etc.

La estructura del sistema de localización está determinada por la división funcional que puede ser observada en la figura 1.

El módulo de localización se encarga de obtener la posición de cada una de las personas. El módulo de servicios proporciona servicios de más alto nivel derivados de la posición. La independencia entre módulos permite reemplazar cada uno de los módulos, por ejemplo cambiando el módulo de localización se podría determinar cual ofrece mejores resultados

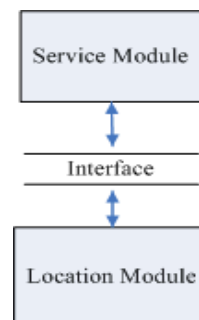


Figura 1: Esquema básico del sistema de localización

El módulo de localización se encarga de determinar la posición del transmisor respecto a una antena

receptora. De esta forma conociendo la posición de la antena en un plano, se puede averiguar la posición de cada una de las personas que portan los transmisores. Es importante elegir adecuadamente el lugar en el que las personas van a llevar el transmisor. Es una cuestión relevante porque determinará el éxito o el fracaso del sistema en diversos entornos. Actualmente existen dispositivos situados en la muñeca o en el cuello, etc, aunque la mayor parte de las veces son visibles. Esto obliga a las personas a ser conscientes de que llevan el transmisor encima. Para evitar esta situación creemos que existen mejores lugares donde integrar el dispositivo emisor, como por ejemplo: en sillas de ruedas, ya sean autónomas o no, bastones o incluso zapatos, más concretamente dentro del talón. Así conseguimos que el sistema sea totalmente transparente para el usuario y permitir que no sean conscientes de que lo llevan encima. Situarlo dentro de estos objetos conlleva solucionar el problema de la alimentación energética, ya que es posible que la recarga de la batería no sea trivial en algunas situaciones. En el caso de la silla de ruedas autónoma puede no sea tan determinante como en el resto de ubicaciones, ya que se podría alimentar de la propia silla de ruedas. Por lo tanto la elección del sistema de localización estará determinada por el consumo energético, por las dimensiones, el peso y el contexto de implantación., ya que será el que determine la ubicación más adecuada para el emisor.

A continuación vamos a analizar distintas tecnologías de localización. Podemos clasificarlas en dos grandes grupos: sistemas de localización en exteriores y en interiores.

El máximo representante de los sistemas de localización en exteriores es el Sistema de Posicionamiento Global [16]. Uno de los principios en los que está basado es en la medida del tiempo que transcurre desde que la onda electromagnética es enviada por el satélite y la recoge el receptor gps. Inicialmente fue considerado que la velocidad de propagación era la velocidad de propagación de la onda electromagnética en el vacío. Esto produce errores en la estimación de la distancia ya que la señal atraviesa distintas capas en la atmósfera y mientras las atraviesa se producen retrasos en función de su composición o estado [13]. El sistema de posicionamiento global coexiste con el sistema incompleto GLONASS [14], y en el futuro lo hará con GALILEAN [5]. Estos sistemas de posicionamiento presentan poca cobertura dentro de edificios así que la localización en este contexto no siempre es posible.

Existen diversas tecnologías destinadas a la localización en interiores. Todas ellas están basadas en alguna característica de las tecnologías de comunicación inalámbrica. En primer lugar vamos

nombrar la tecnología inalámbrica bluetooth [11], llamada Bluetooth Indoor Positioning System [3]. El sistema está coordinado por un computador central. El núcleo del sistema es una red de puntos de acceso Bluetooth, distribuidos dentro del edificio cada 10 metros. El sistema es apropiado para pequeños edificios debido a la reducida cobertura de cada nodo, lo que repercute en la necesidad de un gran número de nodos. El posicionamiento es realizado por medio de la triangulación de la señal, lo que implica la necesidad de sincronización de los puntos de acceso.

RADAR [2] es una tecnología basada en el estándar IEEE 802.11 Wireless LAN [10]. Ha sido desarrollada por Microsoft Research Group. Combina mediciones empíricas con modelos de propagación de señales para determinar la posición. Este sistema, como el anterior, necesita varias antenas para realizar la triangulación de la señal. El sistema proporciona resultados más precisos que el anterior aunque también presenta un coste mayor.

La tecnología llamada Transmission Error Approximation [18], determina la distancia entre dos dispositivos zigbee mediante mediciones y análisis estadísticos de la información de los paquetes que no han alcanzado el destino. El emisor envía varios paquetes, cada uno con distinto nivel energético, de forma que observando el nivel energético utilizado en los paquetes que no han alcanzado el destino se puede estimar la distancia. Esto repercute en un consumo energético más alto, por lo que esta tecnología no está adaptada a sistemas que necesiten una alta autonomía.

Una vez analizadas diversas tecnologías wireless vamos a describir el sistema llamado GETA Sandals [19]. Está compuesto por dos sandalias equipadas con sensores de fuerza, ultrasonidos, orientación, RFID y acelerómetros. Permiten determinar la posición desde un punto inicial al que se le van sumando vectores de desplazamiento que se generan al caminar. El sistema necesita pocas infraestructuras, aunque presenta dos problemas: el error que se genera en cada movimiento se va acumulando. Para solucionarlo es necesario utilizar varios puntos de control para eliminar periódicamente el error acumulado. El segundo problema surge al subir escaleras o cuando un obstáculo interrumpe la comunicación entre las dos sandalias.

Cada una de las tecnologías anteriores presenta una serie de ventajas y desventajas para nuestro objetivo. El camino de propagación de la señal en sistemas wireless pueden variar en tiempo real cuando está en un rango cercano, inmóvil, la línea de visión al objeto móvil se encuentra obstruida por un objeto pesado o en movimiento [1].

Estamos desarrollando tecnología alternativa de localización en interiores. Propone un tratamiento

diferenciar de la recepción de señales electromagnéticas y la aplicación derivada de ello. El fenómeno de interacción producida durante la transmisión de la señal electromagnética se utilice para medir distancias y analizar las características del medio por el cual está pasando la señal. Está basado en la deriva que sufre la señal multi-frecuencial cuando pasa a través de un medio conocido [7]. El funcionamiento es el siguiente, en primer lugar se emite una onda electromagnética con varias frecuencias y posteriormente se mide el retraso producido entre cada una de las frecuencias al atravesar el medio. Por medio de esta técnica se puede determinar la distancia con una única antena receptora, evitando la sincronización que hay que realizar cuando se utilizan varias antenas para triangular la posición. El retraso que sufre cada una de las frecuencias es del orden de nanosegundos. El coste del equipamiento capaz de realizar mediciones de esta magnitud es hoy por hoy elevado. El sistema descrito anteriormente fue considerado para un posible aventura empresarial realizando un plan de empresa. El trabajo [8] creado para “Premios Nuevas Ideas Empresariales” ganó el “premio al mejor proyecto I+D+I aplicado al calzado” otorgado por FUNDEUN.

La elección de la tecnología que implemente el módulo de localización no es trivial. Nos decantamos por la última, ya que presenta un bajo consume energético, necesita desplegar poca infraestructuras y porque el coste del equipamiento necesario bajará con el paso del tiempo.

El modulo de servicios es una aplicación que simula servicios derivados de la localización, gestiona las personas a localizar y monitoriza a las personas con el paso del tiempo.

Esta aplicación está pensada para que sea utilizada por el usuario final, todo lo contrario a lo que ocurre con el otro módulo. Por ello es necesario cuidar la interfaz gráfica, y la usabilidad con el fin de ofrecer mejores experiencias de usuario.

Proponemos por tanto el desarrollo de una aplicación común utilizable en los diversos contextos en los que puede ser utilizada. Utilizándola como base, podremos añadir aquellas características que sean demandadas por los usuarios finales. Independientemente del área de aplicación del modulo de servicios, este mostrará un plano del edificio mostrando de forma gráfica las posición actual de las personas. Pensando en centros de cuidado, de personas dependientes, clínicas, hospitales, colegios, el sistema nos mostrará cuando las personas entren o salgan de ciertas zonas. También sería deseable el uso de un sistema de aprendizaje de conductas de cada una de las personas, y así como la detección de conductas que se salgan del patrón. Pensando en un centro de personas dependientes, el servicio avisaría de forma automática

a la persona de asistencia más cercana a la urgencia detectada a través del patrón de conductas. Finalmente el sistema deber ser accesible a través de Internet y teléfonos móviles.

3. Módulo de localización

El método propuesto utiliza técnicas diferenciales en ondas multi-frecuenciales en el receptor contrasta con sistemas actuales de recepción basado en frecuencias de trabajo. Las mediciones diferenciales suponen un nuevo tratamiento de la señal que proporciona ventajas para sincronizar dispositivos, los cuales simplifican la instalación y el mantenimiento de los sistemas de referencias. Un ejemplo de este uso son escenarios en los que la velocidad de la propagación de la señal es una función de su frecuencia. Su uso es especificado en la caracterización del medio para aplicaciones de sensorización remotas y medición de distancias para sistemas de posicionamiento.

La onda electromagnética a lo largo de su propagación interactúa con el medio sobre el que está atravesando. El resultado de esta interacción puede ser interpretado en el receptor y depende de dos parámetros, E_i , que caracteriza la señal, E , (frecuencia, amplitud, polarización, etc.) y aquellos que permiten determinar la distancia entre el transmisor y el receptor [4][9].

De forma general, basado en los parámetros, P_i , representados por el medio, M , (permitividad, conductividad, permeabilidad, etc) y en los parámetros los cuales definen la onda electromagnética utilizada (frecuencia, amplitud, fase, polarización, etc).

$$\Psi = \Psi(E, M) \quad (1)$$

Donde Ψ representa la variable obtenida en el receptor el cual puede ser el tiempo de llegada t , la velocidad de propagación v_p , la potencia recibida P_r u otro tipo de parámetro de la onda que pueda ser medida. E es el campo eléctrico y M es el campo magnético.

El modelo de la señal recogida a una frecuencia de trabajo específica (f_0) y un tiempo común base al modelo de mediciones diferencial es propuesto para varias frecuencias. Ver figura 3. En este caso las magnitudes medidas en el receptor (tiempo de llegada, amplitud de la señal, etc.) son relativas porque el receptor mide diferencias Ψ . Este hecho permite trabajar con independencia de la referencia temporal del tiempo de base y, en algunos escenarios, habilita la

aplicación de soluciones con sistemas de posicionamiento de referencia independientes.

El principal argumento del modelo de tratamiento multi-frecuencial está basado en: si la interacción onda-medio depende de la frecuencia y del medio, diferentes frecuencias obtendrás diferentes mediciones en el receptor para el mismo medio y para el mismo enlace radio-eléctrico. La hipótesis de trabajo propone el uso de diferencias medidas en el receptor para estimar los parámetros del modelo representando el medio analizado. Como se ha mencionado este tipo de tratamiento de la señal introduce una serie de ventajas operativas sobre el tratamiento convencional: consigue independencia de la necesidad de los sistemas de referencia temporal y espacial. Por un lado el tratamiento con diferentes frecuencias permite obtener datos sobre la interacción con el medio útil en los sistemas que analizan y parametrizan el medio. Además, el hecho de medir la diferencia podría compensar las interferencias o ruidos comunes a todas las frecuencias de trabajo.

Con el fin de explicar cómo esta independencia se puede alcanzar en sistemas de referencia, partimos de la base de un sistema de medida de los tiempos de llegada a un receptor. Si el sistema incluye varios transmisores y receptores que serían necesarios para mantener a todos en la misma referencia temporal, a fin de poder estimar el tiempo de llegada. Mediante un transmisor y un receptor sincronizado, es posible medir el tiempo transcurrido desde la transmisión a la recepción de la señal. Véase la figura 2. Con esa información se podría determinar la distancia d .

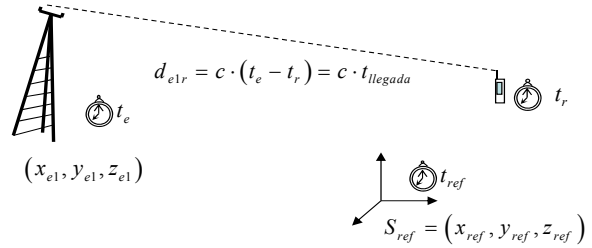


Figura 2. Determinación de la distancia utilizando el tiempo transcurrido. Sistemas convencionales basados en sincronización de dispositivos.

En el caso de nuestro sistema de tratamiento multi-frecuencial, la sincronización no es necesaria, ya que el tiempo de referencia está integrado en la relación entre los retrasos de señales de frecuencia diferentes. Si consideramos que la interacción de la onda y el medio provocan retrasos en la creación de la señal y que esto depende de la frecuencia de trabajo, las velocidades de propagación son diferentes para cada frecuencia. En este escenario, si conocemos la relación de la velocidad para cada uno de ellos, será suficiente para medir los retrasos en el receptor con el fin de estimar la distancia. La Figura 4 muestra un ejemplo de dos frecuencias en un escenario donde la velocidad de propagación depende de la frecuencia de los coeficientes del tipo $v_{pi} = k_{pi} \cdot c$, con v_{pi} siendo la velocidad de propagación para la frecuencia i .

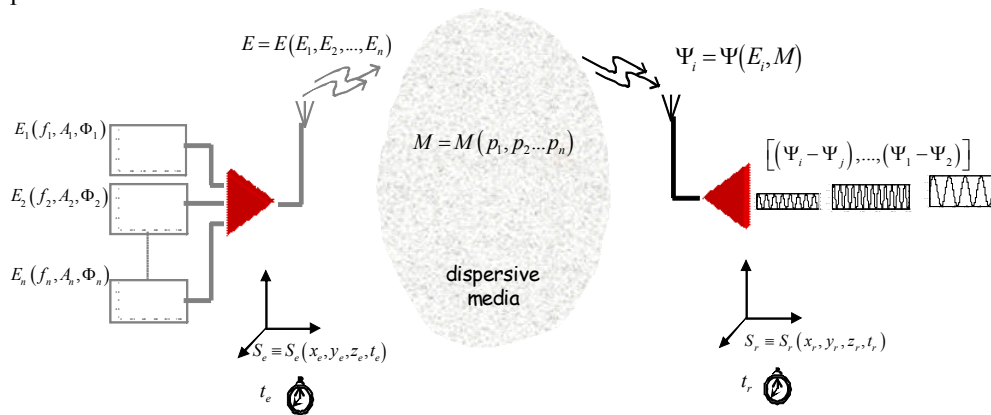


Figure 3. Método de tratamiento multi-frecuencial. Las mediciones diferenciales en el receptor incorpora información la cual habilita a los dispositivos para ser calibrados y/o sincronizados. Como resultado la gestión del sistema de referencia temporal-espacial de la aplicación se simplifica

En estas condiciones, la distancia se calcula por la ecuación del sistema que se propone en (2). Habría un sistema de tres ecuaciones con tres parámetros desconocidos (d, t_{p1}, t_{p2}) donde k_{p1}, k_{p2} son conocidos. Mediciones en el receptor son relativas al retraso Δt_{p12} que permitirá que tanto la distancia de transmisión, así como los valores de cada uno de los tiempos empleados para cada una de las señales.

$$\begin{cases} d = v_{p1} \cdot t_{p1} = k_{p1} \cdot c \cdot t_{p1} \\ d = v_{p2} \cdot t_{p2} = k_{p2} \cdot c \cdot t_{p2} \\ t_{p1} - t_{p2} = \Delta t_{p12} \end{cases} \quad (2)$$

Este tipo de medida también en los entornos locales permite la eliminación de la referencia posicional debido al hecho de que en relación con la medición del tiempo y la distancia se integran en la misma medida relativa. Es la interacción con el medio la que permitirá la extracción indirecta de la información que ofrecen los sistemas de referencia en aplicaciones convencionales.

El método multi-frecuencial es complementario a la aplicación mostrada en la figura 4, dado que, en el caso de que la distancia d entre el transmisor y el receptor es conocida, vamos a ser capaces de determinar las velocidades de propagación de esta manera la estimación de los parámetros del medio por el que pasan (k_{p1}, k_{p2}) . Este caso podría ser empleado en aplicaciones en las que un medio desconocido es determinado.

Por lo tanto, se propone utilizar las diferencias en el comportamiento (medido en el receptor) para diferentes frecuencias de los dos tipos de aplicaciones complementarias: Conociendo la interacción onda-medio se puede estimar la distancia del enlace. Conociendo la distancia de la relación se puede estimar el tipo de interacción onda-medio como resultado del análisis del medio.

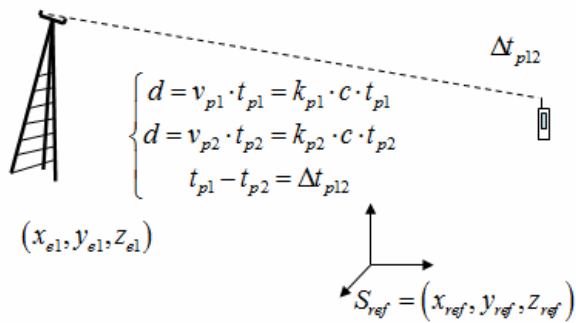


Figura 4. Mediciones de la distancia por medio del retraso de dos señales con diferentes frecuencias con diferentes velocidades de propagación. Método multi-frecuencial.

En ambos casos, el sistema de referencia es simplificado por la posibilidad de utilizar las referencias con tiempos bases independientes.

Si Ψ es la variable física que representa la interacción de la onda con el medio que está atravesando mediante $\Psi = \Psi(E, M)$ es el coeficiente que representa la interacción como una función que depende de la onda electromagnética (representada por la frecuencia o frecuencias utilizadas) y la composición del medio actual (caracterizado por un grupo de parámetros) los enlaces a diferentes frecuencias y la medición de las diferencias en el comportamiento en el receptor se dan los siguientes tipos de información:

$$\begin{aligned} \Psi_i - \Psi_j &= \Psi_i(E_i, M) - \Psi_j(E_j, M) \\ \varphi_{ij} &= \varphi_{ij}(\Delta \Psi_{ij}) \end{aligned} \quad (3)$$

φ_{ij} son los datos obtenidos en el receptor (mediciones relativas al cambio de fase, la diferencia obtenida en la amplitud, o el retraso de la señal en relación con el resto), Ψ es la variables considerada (tiempo, velocidad, amplitud).

Habiendo obtenido los valores de estas diferencias posteriormente se proponen sistemas de ecuaciones para estimar los parámetros desconocidos del medio, M . Si incluimos la distancia como un parámetro más dentro de los parámetros que caracterizan el medio, en el momento de la transmisión se pueden unir los dos tipos de aplicaciones complementarias en una sola, lo que facilita su estudio y resolución.

Si el medio, tal y como hemos dicho es representado por n parámetros, $M = M(p_1, p_2, \dots, p_n)$, se requieren $n + 1$ señales con el fin de establecer un sistema de n ecuaciones con n factores desconocidos.

$$\begin{aligned} \varphi_{ij} &= \Psi_i(t_i, p_1, p_2, \dots, p_n) - \Psi_j(t_j, p_1, p_2, \dots, p_n) \\ \text{with } [i &= 1 \vee 2 \vee \dots \vee (n+1)] \wedge [j = 1, 2, \dots, (n+1)] \end{aligned} \quad (4)$$

Las diferencias $\Psi_i - \Psi_j$ medidas en el receptor pueden ser diferencias de velocidad de propagación, tiempo de llegada, amplitud, polarización, ángulo de recepción u otra variable que represente la interacción de la onda electromagnética con el medio que está atravesando.

El objetivo es obtener en el receptor las diferencias en el rendimiento, y con ello completar los parámetros desconocidos de la función de transferencia, que se expresa la interacción onda-medio analizada. La función de transferencia describe el problema de la interacción onda-medio, y contiene por lo tanto, los parámetros que deben ser estimados.

Los parámetros que caracterizan el modo de propagación de la función de transferencia pueden variar, desde los elementos que constituyen el medio (conductividad σ , permitividad ϵ , permeabilidad μ , etc.).

El modelo representa la interacción onda-medio, determina los parámetros que deben ser considerados. Ver figura 5. El modelo en sí dará lugar a la diferencia de tipo de magnitud que pueden utilizarse, así como su uso, el hecho que marca las diferencias de comportamiento de cada frecuencia está predefinido.

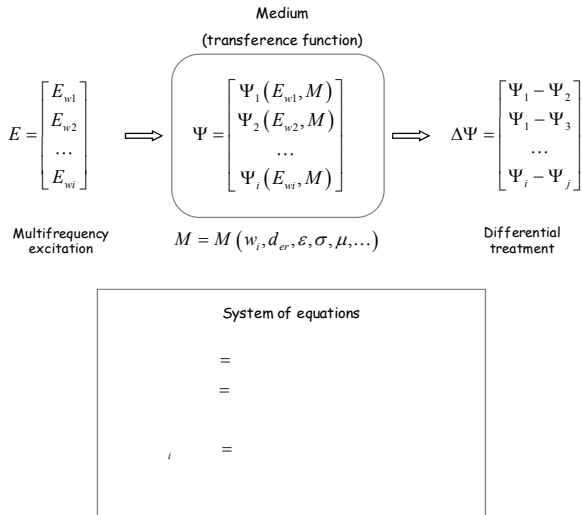


Figura 5. Tratamiento diferencial multi-frecuencial

4. Módulo de Servicios

El entorno de visualización se corresponde con el prototipo del módulo de servicios. Proporciona mecanismos para gestionar, monitorizar y simular servicios derivados de la localización de personas en un centro. La figura 6 muestra el aspecto del entorno al lanzarlo.

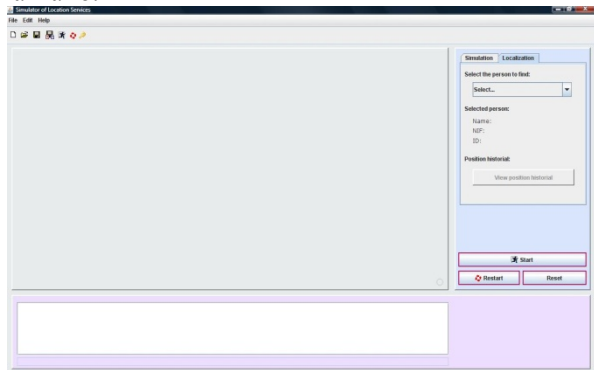


Figura 6: Aspecto del entorno al lanzarlo

Está dividido en tres áreas. A1 es el área de visualización principal y muestra las posiciones instantáneas en tiempo real. A2 es el área de visualización secundaria que muestra información más

elaborada. A3 es la tercera área, que se encarga de controlar el entorno. Ver figura 7.

Los servicios implementados son: S1, conocer en qué parte del edificio se encuentran cada una de las personas en todo momento; S2, conocer donde se encuentra una persona concreta en un instante determinado; S3, obtener información de la persona que se está localizando; S4 conocer el historial de posiciones de la persona seleccionada en modo texto; S5, conocer donde han estado las personas durante todo el tiempo. Guardando y analizando estas posiciones podremos obtener patrones de comportamiento; S6, avisar por medio de mensajes de texto o de forma visual del suceso de algún incidente; S7, avisar cuando una persona entre en alguna de las zonas marcadas como zonas seguras. El entorno proporciona los servicios previamente descritos por medio de una serie de elementos de interfaz gráfica de usuario. Permiten utilizar cualquier servicio realizando un máximo de dos pulsaciones de ratón. En la figura 8 podemos identificar los principales controles.

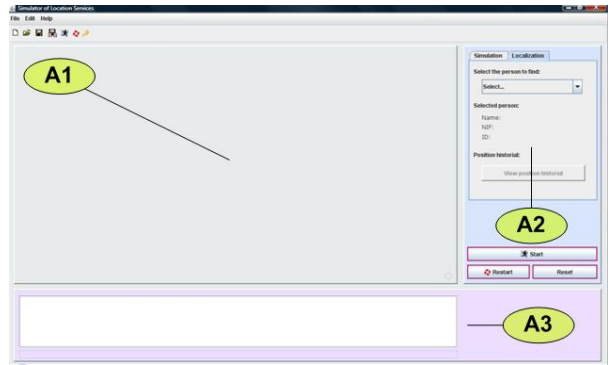


Figura 7: Áreas del entorno

La visualización gráfica principal, F1, se encarga de representar las instalaciones del edificio y las posiciones de cada una de las personas en cada instante. Permite seleccionar a cada una de las personas y desplazarla sobre el plano, incluso cuando la simulación está detenida. El desplazamiento de personas permite simular el movimiento de las personas. Permite seleccionar zonas o habitaciones para establecerlas en modo seguro o en modo normal. La posición se muestra por medio de la cara del paciente situada dentro del plano del edificio o de la planta.

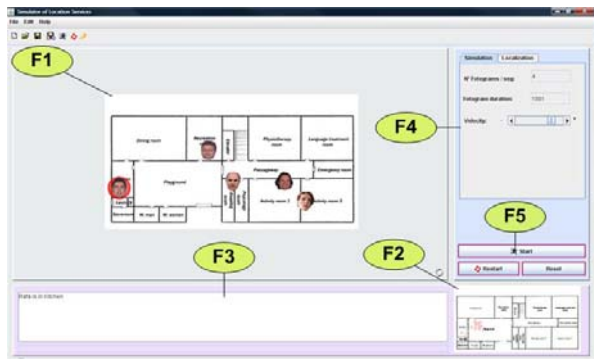


Figura 8: La ventana contiene los principales controles de la aplicación.

El elemento secundario de visualización gráfica, F2, representa el plano del edificio a escala pequeña y refleja las posiciones en las que ha estado durante el tiempo de simulación el paciente que está siendo monitorizado.

La visualización en modo texto, F3, muestra las incidencias y las posiciones de cada una de las personas, excepto cuando una persona ha sido seleccionada, en cuyo caso solo se muestra la información relativa a esa persona.

Es posible modificar la frecuencia a la que se ejecuta la simulación, F4. Para ello la frecuencia se especifica en milisegundos. En cada periodo se calcula la nueva posición de las personas y los cambios se reflejan en el entorno.

Existe un conjunto de controles, F5, que permiten iniciar, parar o restablecer la simulación.

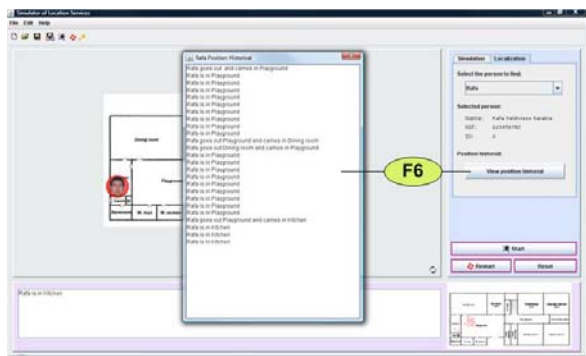


Figura 9: Más controles de la aplicación.

La figura 9 muestra el control F6. Permite ver el historial en modo texto con las posiciones de la persona seleccionada. Para hacer esto debemos seleccionar la persona, pulsando el botón “View Historical Position” y entonces aparece una ventana mostrando mensajes de texto ordenados indicando las zonas en las que ha estado durante la simulación.

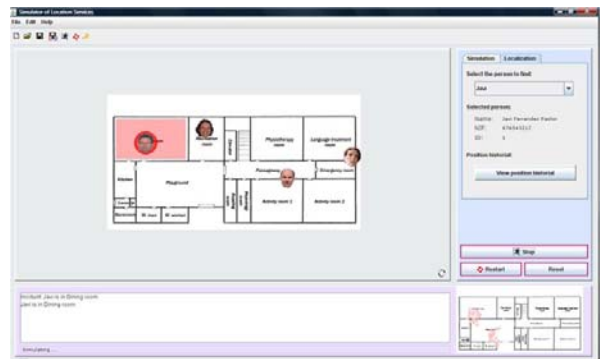


Figura 10: Estado del entorno cuando una persona entra en una zona segura

Activando el modo seguro, el sistema nos avisará cuando una persona entre dentro de una habitación segura. La figura 10 muestra el entorno informando sobre un incidente. El incidente muestra a una persona dentro de una habitación segura. La notificación se realiza mediante una sombra en la zona segura y por medio de un mensaje de texto.

4.1. Estructura

El entorno ha sido diseñado de forma estructurada facilitando el mantenimiento, la reutilización del código fuente, detección de errores y la legibilidad por terceras personas.

La división modular ha sido realizada para facilitar la incorporación de nuevos servicios. Hemos utilizado el patrón de diseño Modelo Vista Controlador, MVC, [17].

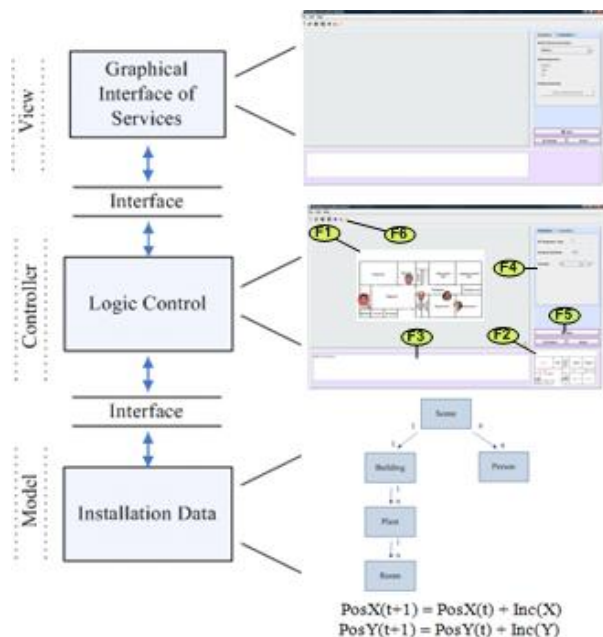


Figura 11: Correspondencia del patrón MVC con las capas del entorno y sus elementos

El entorno está compuesto por tres capas: interfaz gráfica de servicios, lógica de control y datos de instalación. Es posible observar en la figura 11 la correspondencia entre el patrón MVC, las capas del entorno y los elementos que lo constituyen. La interfaz gráfica de servicios se corresponde con la capa Vista del patrón MVC. Define la interfaz gráfica de usuario.

El controlador se corresponde con la capa lógica de control. Representa la lógica del entorno. Se encarga de gestionar el tiempo, los eventos de representación, la visualización de los objetos que conforman la escena, el inicio y el fin de la simulación. Utiliza eventos de usuario. El usuario puede interactuar de forma asíncrona con los elementos de control: F1, F2, F3, F4, F5 and F6.

El modelo es representado por la capa datos de instalación. Se encarga de almacenar la información necesaria para representar el edificio, las instalaciones, las personas que se encuentran internadas en el edificio aunque por otro lado define los eventos de representación. La información está elaborada mediante una jerarquía de entidades agrupadas bajo la entidad Scene.

Scene contiene una lista de entidades Person, que representan a las personas que se encuentran internadas en el centro. La entidad Scene también incluye a la entidad Building. Building representa el edificio y contiene un conjunto de entidades Plant. Estas entidades representan a cada una de las plantas que forma el edificio, y cada una de ellas contiene una lista de entidades Room. La entidad Room hace referencia a las habitaciones o zonas en las que está dividida la planta. Esta jerarquía se puede observar en el diagrama entidad-relación que se muestra en la figura 12.

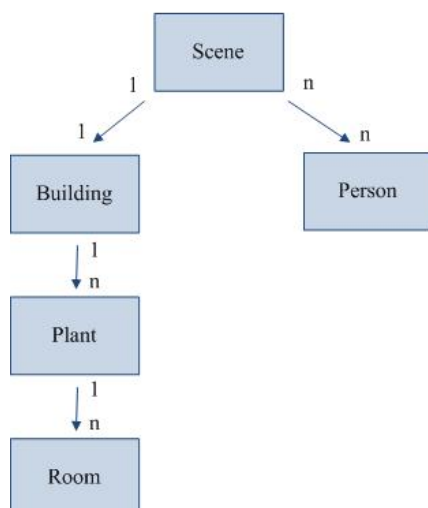


Figura 12: Diagrama entidad relación de la escena.

Los eventos de representación son ejecutados cuando es necesario actualizar la posición de las personas. Posteriormente el estado general de escena

es determinado y los cambios se representan en todas las vistas. No utilizamos información real sobre la posición de las personas en esta fase de prototipado. En esta situación simulamos el movimiento de las personas, en cada paso de la simulación. En primer lugar hemos de establecer de forma manual la posición inicial de cada una de las personas y posteriormente cuando la simulación comience cada una de las personas comenzaran a moverse de forma aleatoria. El movimiento aleatorio ha sido implementado a partir de la posición actual, $PosX(t)$, a la que se le añade un desplazamiento aleatorio, $Inc(X)$, obteniendo por tanto la nueva posición para el siguiente instante, $PosX(t+1)$. Este cálculo se realiza para cada una de las coordenadas en las que se mueven las personas. Las ecuaciones 5 y 6 muestran cómo se calcula las coordenadas X e Y respectivamente.

$$PosX(t+1) = PosX(t) + Inc(X) \quad (5)$$

$$PosY(t+1) = PosY(t) + Inc(Y) \quad (6)$$

4.2. Implementación

El lenguaje de programación ha sido elegido para facilitar el proceso de diseño e implementación. Por este motivo hemos elegido Java. Es multiplataforma, orientado a objetos y porque presenta una gran integración en entornos web.

El entorno está formado por una serie de capas. Cada capa está implementada por un conjunto de clases. La figura 13 muestra el correspondiente diagrama de clases.

La interfaz gráfica de servicios está compuesta por 5 clases. GraphicInterface se encarga de administrar todos los elementos de la interfaz gráfica de usuario. PictureArea realiza la representación en el elemento de visualización principal, F1. MiniPictureArea es una subclase de la anterior y sobrescribe el método de representación, para mostrar distinta información sobre el elemento de visualización secundaria, F2. HistoryText es otra vista de los datos que muestra el seguimiento de la persona seleccionada en modo texto. ProgressCircle se ocupa de dibujar el círculo de animación que indica que la animación está en progreso.

La capa de lógica de control está formada por una única clase llamada Application. Contiene el motor de simulación, los servicios que ofrece al usuario, la comunicación con la interfaz gráfica de servicios y con la capa de datos de instalación. La base del motor de simulación es que está implementado mediante un hilo. El hilo representa al reloj, que es configurado con una frecuencia en milisegundos. La frecuencia es el tiempo que transcurre entre cada evento de representación. En cada evento, se obtiene la nueva posición de cada

persona, el modelo es modificado y el nuevo estado de la escena es visualizado.

La capa de datos de instalación está formada por 5 clases, que representan la escena a simular y contienen la información definida en el diagrama entidad relación de la figura 12. La representación de la escena se encarga de actualizar el estado de los objetos, y determinando las interacciones entre ellos. En primer lugar se dibuja el plano de la planta del edificio. Posteriormente las habitaciones seguras son mostradas mediante una sombra de color amarillo. En el caso de que una persona entre en una zona segura, ésta será marcada mediante una sombra roja. Si el usuario ha seleccionado a alguna persona entonces un círculo rojo será dibujado en la posición de la persona seleccionada. Y por último se dibujan las caras de cada una de las personas en su respectiva posición.

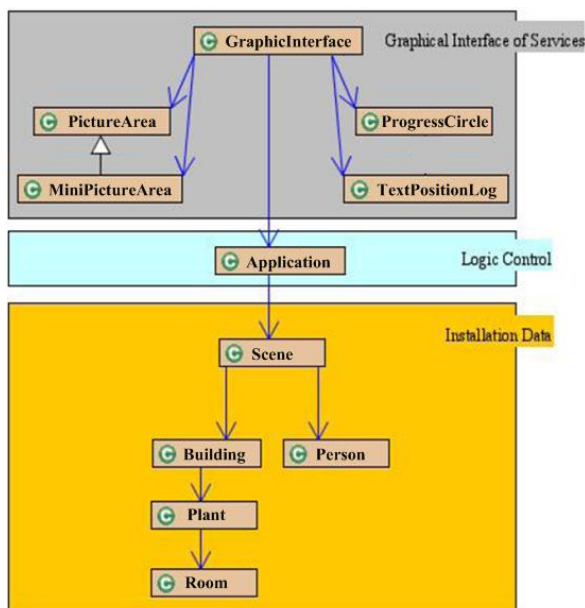


Figura 13: Diagrama de clase para cada una de las capas que conforman el modulo de servicios.

5. Conclusiones

En este trabajo, hemos presentado un sistema de localización y seguimiento que soluciona el problema que no son capaces de solucionar los sistemas de posicionamiento globales. Hemos mostrado la potencia de este tipo de servicios para satisfacer las necesidades de centros de personas dependientes, de edad avanzada, hospitales, escuelas, entornos industriales, etc. Hemos introducido una herramienta de simulación que puede ser utilizada como interfaz y para configurar el sistema.

Hemos realizado una implementación software en Java, porque es independiente de la plataforma, permite la integración en entornos web y porque permite la construcción de entornos distribuidos, por ejemplo de adquisición remota de datos mediante

sensores. Hemos presentado una técnica de localización diferencial multi-frecuencial, que se encuentra en un estado básico y requiere esfuerzos importantes para ser operativa. Este método contrasta con tecnologías de localización como bluetooth, wifi, zigbee, etc, que pueden ser utilizadas en una implementación real.

Como trabajo futuro proponemos una evaluación exhaustiva de las principales tecnologías de localización en interiores, y añadir nuevos servicios al entorno.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente desarrollado gracias al gobierno español como proyecto de “I+D+i” Desarrollo de herramientas CAD/CAM para el prototipado virtual en el sector calzado. DPI2005-09215-C02-01.

7. Referencias

- [1] Anderson, J. B., Rappaport, T. S. and Yosida, S. 1994. Propagation Measurements and Models for Wireless Communication Channels, *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 11, pp. 56-62, November 1994.
- [2] Bahl, P. and Padmanabhan, V., 2000. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. Proceedings of the IEEE Infocom 2000, March 2000, Tel-Aviv, Israel. 775–784.
- [3] Bruno, R. and Delmastro, F., 2003. Design and Analysis of a Bluetooth-Based Indoor Localization System. In: Springer Berlin / Heidelberg eds. Personal Wireless Communications. Berlin: Springer, 711-725.
- [4] Campbell J.C., 2003. Introduction to remote sensing. 3rd. Ed. Taylor and Francis. 552 p.
- [5] European Comision, 1999. Galileo Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services. Brussels: European Comision.
- [6] European Comision Eurostat, 2006. EU25 population aged 65 and over expected to double between 1995 and 2050. Luxembourg: European Comision Eurostat.
- [7] Ferrández, F.J., 2007. Deriva frecuencial de la transmisión electromagnética por efecto del medio. Thesis (PhD). Alicante University.
- [8] Ferrández, F.J., Valdivieso, R.J and Albert M.M. 2007. FootLose, zapatos para la localización de personas. FUNDEUN, University of Alicante.
- [9] Golio, M., 2001. The RF and Microwave Handbook. CRC Press.
- [10] IEEE, 1999. IEEE Standard for Wireless LAN. Medium Access Control and Physical Layer Specification. P802.11. Piscataway: IEEE.
- [11] IEEE Standard Association, 2001. Bluetooth SIG. Specification of the Bluetooth System, Volume 1–Core. Version 1.1, New York: IEEE.
- [12] Instituto nacional de estadística de España, 1999. Encuesta sobre Discapacidades Deficiencias y Estado de Salud. 1999. Madrid, Spain.
- [13] Kursinski E.R., Hajj G.A., Schofield J.T., Linfield R.P., Hardy K.R., 1997. Observing earth’s atmosphere with

radio occultation measurements of the ionosphere. *Geophys. Res.* 102, D19, 23, 429-23, 465.

[14] Langley, R. B. 1997. GLONASS: Review and update. *GPS World*, July, Vol. 8, No. 7, 46-51.

[15] Ministerio de Trabajo y Asuntos Social, 2005. Atención a las personas en situación de dependencia en España, libro blanco. Madrid: Instituto de mayores y servicios sociales.

[16] Nord, G., Jabon, D., Nord, J., 1998. The global positioning system and the implicit function theorem. In: R. Sincovec, ed. *SIAM Review*, v.40 n.3. 692-696.

[17] Sommerville, I. 2004. *Software Engineering*, 7th ed. Boston: Addison-Wesley.

[18] Xiao, W., Sun, Y., Liu, Y., Yang, Q., 2006. TEA: Transmission Error Approximation for Distance Estimation between Two Zigbee Devices. *International Workshop on Networking, Architecture, and Storages*, 2006, Shenyang, CHINA, 15-22.

[19] Yeh, S., Chang, K., Wu, C., Chu, H., Hsu, J.Y., 2007. GETA sandals: a footstep location tracking system. In: Springer London eds. *Personal and Ubiquitous Computing*. London: Springer, 451-463.

Interfaz Telebiónica

© 2008

Manuel de Entrambasaguas¹, Vicente Rodilla² y Javier Sanchís³

*Doctor en Medicina, especialista en Neurofisiología Clínica¹. Ingeniero Industrial². Ingeniero Electrónico³
Titularidad del expediente de la patente de invención registrada en la OEPM.*

CYS BIONICS, s.l.

www.cysbionics.com

Resumen

La interfaz telebiónica es un mando a distancia en contacto con la superficie del cuerpo humano, diseñado para la gestión remota en entornos de inteligencia ambiental, la intercomunicación y el uso de dispositivos portátiles. Su funcionamiento se basa en las señales electromiográficas generadas voluntariamente por el usuario, mediante un nuevo código de comunicación que denominamos 'lenguaje miogénico'. Está constituido por una interfaz y un 'módulo nexa'. La interfaz incluye elementos para el registro y tratamiento de la señal electromiográfica, un transmisor/receptor inalámbrico, y un sistema de realimentación auditiva o visual que permite acceder a un menú de tareas, tener confirmación de la realización de las órdenes, recibir información de cualquier incidencia y facilitar la expresión del lenguaje miogénico. El módulo nexa incluye un transmisor/receptor inalámbrico, y es una estación base bidireccional, cuya entrada es la interfaz y cuya salida se comunica con un sistema de gestión (autómata-actuador) o de telecomunicación.

1. Introducción

La salud no es solo la ausencia de afecciones y enfermedades, sino un estado de completo bienestar físico, mental y social [1], y de adaptación de cada individuo al entorno en que se encuentra [2]. La medicina, como disciplina integrante de las ciencias de la salud, no se limita al diagnóstico, tratamiento y prevención de las enfermedades, sino que busca colaborar activamente para conseguir este estado así definido por las organizaciones internacionales. La ingeniería, por su parte, aplica de manera creativa los principios científicos para diseñar sistemas que permitan realizar las funciones previstas con

criterios de economía y de seguridad [3]. El sistema presentado en este artículo parte de una visión multidisciplinar y complementaria de la salud aplicada a la diversidad de la condición humana, con el objetivo de facilitar a las personas los medios para alcanzar ese estado de bienestar y adaptación.

2. Contexto

En el diseño de esta interfaz confluyen tres áreas tecnológicas donde la relación entre medicina e ingeniería sigue el enfoque holístico planteado en la introducción, con el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas. Estas tres áreas se definen a continuación:

2.1. Biónica

Es una ciencia emergente aplicada al desarrollo de implantes electrónicos que puedan sustituir o mejorar funciones habitualmente realizadas por elementos competentes del cuerpo humano, o incluir otras nuevas. Los implantes cocleares son el aparato biónico más extendido en la actualidad. Sustituyen parcialmente la función de la cóclea, que es el órgano de la audición en el oído interno, cuando está dañada [4]. También existen prototipos en distintos estadios de investigación y desarrollo de implantes o prótesis biónicas visuales y motoras [5-7]. En CYS BIONICS hemos introducido el concepto de *Telebiónica* para describir la capacidad de realizar acciones a distancia por parte de un usuario portador de un dispositivo biónico.

2.2. Computación fisiológica

Es el uso de señales fisiológicas como interfaz de entrada a un ordenador en tiempo real para enriquecer la interactividad. Entre los usos

propuestos figuran su empleo en las artes escénicas y la monitorización médica de constantes [8], pero en CYS BIONICS nos interesa su aplicación como interfaz de usuario. Este uso permite conectar el cuerpo humano de manera directa a un ordenador, máquina o dispositivo, y prescindir así de elementos intermedios como teclados, palancas, botones y pantallas. Las señales más eficaces y utilizadas son de tipo bioeléctrico, es decir, generadas por diferencias de potencial en membranas celulares, e incluyen la electroencefalografía (EEG), electrooculografía (EOG) y electromiografía (EMG). La EEG recoge la actividad bioeléctrica cerebral, la EOG, la diferencia de potencial entre retina y córnea, y la EMG, la actividad de las fibras musculares. La señal EMG es superior a las otras dos en sus posibilidades de control y modulación voluntaria, resistencia a interferencias procedentes de otras señales biológicas y sencillez de los elementos de monitorización. Por todos estos motivos, es la señal con la que funciona la interfaz de CYS BIONICS.

2.3. Inteligencia ambiental

Describe un entorno capaz de detectar la presencia del usuario y responder ante sus necesidades, facilitando tanto la realización de tareas como la comunicación entre el usuario y el propio entorno [9].

3. Necesidad

La práctica totalidad de los dispositivos existentes para gestionar un entorno automatizado, y aquellos que son portátiles, incluyendo sistemas informáticos, reproductores multimedia o telefonía móvil, actúan mediante teclados, interruptores, mandos a distancia o pantallas táctiles. En estos dispositivos es necesario el empleo de las manos, y con frecuencia de la vista. Ello supone un problema importante en aquellas situaciones en que el usuario necesita las manos para realizar la actividad que está desarrollando, como por ejemplo en la conducción de vehículos, la práctica de algunos deportes, en misiones de seguridad o en entornos estériles en los que no debe existir contacto físico directo. Los sistemas que funcionan mediante gestión por voz están limitados a entornos en los que no existan interferencias por el ruido ambiental o cuando por motivos de seguridad no es posible emplear la voz. Todos estos sistemas también plantean problemas de privacidad en situaciones en que el usuario pueda ser observado o escuchado por terceros. Por último, las personas con discapacidades físicas que dificulten o imposibiliten el uso de sus manos, o con una discapacidad visual que limite el uso de esta vía de

información, también pueden presentar problemas a la hora de manejar estos dispositivos. Por tanto, existe un número de situaciones y usuarios que se beneficiarían de un sistema que solventara los problemas descritos.

4. Estado del arte

La computación fisiológica es una oportunidad para resolver algunos de los problemas descritos en el apartado anterior, ya que plantea utilizar diferentes señales generadas por el cuerpo humano como interfaz de entrada a sistemas de las tecnologías de la información y comunicación. Para ser efectivas, las señales empleadas para gestionar el entorno o manejar dispositivos se deben poder modificar por la acción voluntaria e intencional del usuario. Esta vía se ha aplicado ya a distintos campos, con distintos objetivos y resultados. El más desarrollado corresponde al sector biomédico. La mayoría de los productos de este sector van dirigidos a personas con discapacidad motora grave, y su objetivo es facilitarles la comunicación, el ocio o una gestión limitada de tareas [10,11]. La otra diana es el desarrollo de prótesis biónicas de brazos o manos con control muscular [12,13] o neural [14,15], e incluso exoesqueletos que permitan la deambulación a usuarios parapléjicos [16]. La mayoría de estos productos son prototipos o se hallan en fase de investigación o desarrollo, siendo pocos los comercializados.

Otros sectores en los que existen propuestas de dispositivos basados en señales bioeléctricas o fisiológicas son el de los videojuegos [17], el deportivo [18], las artes escénicas [19,20], el uso de exoesqueletos con posibles fines industriales [21] y el control de dispositivos portátiles [22]. También se ha planteado el uso de señales no fisiológicas para interactuar a distancia con el medio, usando, por ejemplo, sensores de posición [23].

5. Interfaz telebiónica. Objetivos y descripción.

El objetivo general de la interfaz telebiónica [24] es dotar al ser humano de un 'mando a distancia' acoplado a la superficie de su propio cuerpo, que responda a la actividad muscular voluntaria e intencional generada por el usuario. Este sistema permite gestionar de forma remota el entorno automatizado, la telecomunicación bidireccional y el control de dispositivos portátiles usando exclusivamente la señal EMG.

El sistema está constituido por una interfaz y un 'módulo nexa' (Figura 1).

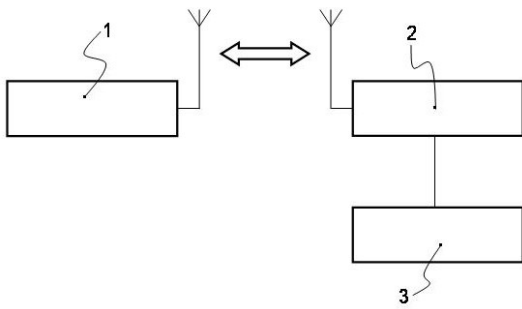


Figura 1. Esquema de la interfaz telebiónica.
(1) Interfaz. (2) Módulo nexa. (3) Actuador.

5.1. Interfaz

Es el elemento que va acoplado al cuerpo del usuario. Su diseño externo depende del lugar donde vaya a ubicarse, y se basa en criterios de ergonomía, seguridad y discreción. Las localizaciones más pertinentes son la cabeza (retroauricular o integrado en unas gafas), antebrazo, pierna distal, o integrado en indumentaria. La interfaz consta de varios elementos.

Electrodos. Recogen la señal EMG preferentemente desde la superficie cutánea, aunque pueden adaptarse para hacerlo a nivel subcutáneo, a través de piercings. El registro se realiza desde músculos específicos que denominamos '*músculos gatillo*'. El sistema permite escoger entre varios músculos gatillo según la habilidad, preferencias o posibilidades del usuario, lo que incluye tanto a personas sin discapacidad motora como discapacitadas pero con control al menos de sus músculos faciales o craneales. Esta versatilidad del sistema también permite rotaciones entre músculos gatillo para prevenir la fatiga o el sobreesfuerzo. El sistema presenta un nuevo código de comunicación, que denominamos '*lenguaje miogénico*'. Este código es personalizable, y se basa en tres parámetros de la señal EMG intencional y voluntaria: amplitud (pequeña o grande), duración (corta o larga) e intervalo o pausas entre señales consecutivas. De esta manera, el lenguaje miogénico posee hasta cuatro consignas o letras básicas por cada uno de los músculos empleados, incluyendo los de cada lado del cuerpo. Estas letras se corresponden con los cuatro tipos posibles de contracción muscular en función de la mayor o menor intensidad y duración de la misma. De este modo, se pueden generar cuatro señales EMG que el sistema es capaz de reconocer como diferentes entre sí, y que describimos como: AP/DC, AP/DL, AG/DC y AG/DL (A = amplitud, P = pequeña, G = grande; D

= duración, L = larga, C = corta). La combinación de estas letras, junto al empleo de distintos intervalos entre ellas, permite crear las órdenes necesarias para interactuar o gestionar a voluntad cualquier clase de entorno inteligente (Figura 2).

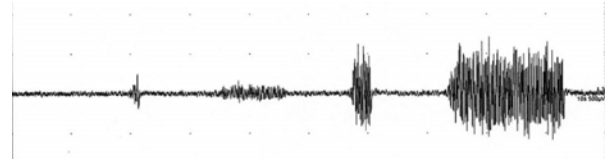


Figura 2. Lenguaje miogénico.
Señal EMG cruda, barrido libre de 10 seg, sensibilidad 500 $\mu\text{V}/\text{div}$. Músculo masetero. De izquierda a derecha: AP/DC, AP/DL, AG/DC y AG/DL.

Medios para la codificación e interpretación de la señal EMG. Se trata del software que permite el tratamiento de la señal cruda y su codificación para poder ser transmitida. El análisis de la señal permite, entre otras cosas, distinguir unos músculos de otros gracias a su diferente PSD (power spectral density) [25].

Transmisor/receptor inalámbrico. Permite la gestión e interrelación con el entorno a distancia, así como la intercomunicación.

Sistema de realimentación. Constituido por un auricular (realimentación auditiva) o microproyector orientado hacia el interior de las gafas (realimentación visual). Permite al usuario acceder a un menú de tareas, tener confirmación de la realización de los comandos ordenados, recibir información de cualquier incidencia en el sistema y facilitarle la expresión del lenguaje miogénico, incluyendo un tutorial.

Fuente de energía.

5.2. Módulo nexa

Funciona como una estación base bidireccional, cuya entrada es la interfaz, y cuya salida se comunica con un sistema de gestión (autómata-actuador) o de telecomunicación. Su función es transmitir las órdenes generadas por el usuario hasta un autómata-actuador, confirmar la realización de la tarea e informarle del estado del sistema en tiempo real. Consta de tres elementos, de los cuales los dos últimos ya son parte del entorno inteligente.

Transmisor/receptor inalámbrico. Permite la comunicación y realimentación con la interfaz que el usuario lleva consigo.

Microcontrolador.

Conexión al sistema actuador o de gestión.

El sistema actúa de forma bidireccional, permitiendo que el entorno se comunique con el

propio usuario por medio de mensajes auditivos y visuales, ofreciéndole y confirmándole la realización de las tareas y el estado en tiempo real de todo el sistema. La interfaz se comporta, por lo tanto, como un auténtico ‘mando a distancia’ e intercomunicador remoto, acoplado en el propio cuerpo del usuario.

6. Aspectos diferenciales y ventajas

‘Manos libres’ y ergonómico. Deja obsoleto a los mandos a distancia convencionales.

Autonomía y movilidad. No se precisa estar ante un teclado o una pantalla para enviar órdenes o recibir información.

Privacidad y discreción. Aplicado a la gestión de tareas y maniobras, incluida la intercomunicación sin voz.

Versatilidad. Permite realizar cualquier tarea vinculada a un entorno inteligente, ordenador o dispositivo portátil.

Seguridad e inmediatez. Las prestaciones están disponibles en el lugar y momento en que se requieren.

Universalidad. Puede ser utilizado tanto por personas capacitadas como discapacitadas motoras con control de la musculatura facial o craneal, y personas con déficit visual o déficit auditivo.

Carácter bidireccional. Con realimentación e intercomunicación.

Entornos. Aplicación a entornos de inteligencia ambiental o uso con dispositivos portátiles.

Lenguaje miogénico. Desarrollo de un nuevo código de comunicación.

Campos de aplicación. Numerosos, como el sector social (discapacitados y tercera edad), automoción, electrónica, telecomunicaciones, domótica e inmótica, seguridad, construcción o industria, etc.

7. Conclusiones

La interfaz telebiónica es un discreto mando a distancia e intercomunicador acoplado al cuerpo que transmite comandos de órdenes basados en la codificación de la contracción muscular voluntaria e intencional (señal EMG, lenguaje miogénico) a una estación base (módulo nexa) que las transmite a un actuador. El sistema es bidireccional, lo que facilita la intercomunicación con el entorno (Figura 3). Este sistema es ‘manos libres’ y ‘sin voz’, y puede ser especialmente útil para personas con discapacidad motora o visual, aunque puede ser empleado por cualquier tipo de usuario en numerosos campos.

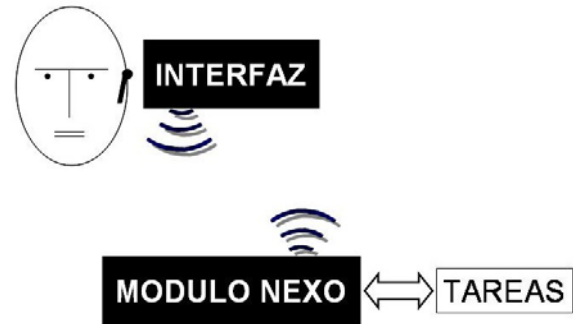


Figura 3. Interfaz telebiónica.
Figuración esquemática: Interfaz con electrodo EMG sobre músculo masetero.

8. Bibliografía

[1] Organización Mundial de la Salud. Constitución de la Organización Mundial de la Salud. Documentos básicos, suplemento de la 45ª edición, octubre de 2006 (Accedido a través de www.who.int/governance/eb/who_constitution_sp.pdf)

[2] Organización Mundial de la Salud. Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud, noviembre de 1986 (Accedido a través de www.who.int/hpr/NPH/docs/ottawa_charter_hp.pdf)

[3] The Engineers' Council for Professional Development. Science, 11/1941, Volume 94, Issue 2446, pp. 456.

[4] National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. Cochlear implants. NIH Publication No. 00-4798, mayo de 2007 (Accedido a través de www.nidcd.nih.gov/health/hearing/coch.asp)

[5] Craelius W. The bionic man: restoring mobility. Science 2002;295(5557):1018-21.

[6] Stieglitz T. Neural prostheses in clinical practice: biomedical microsystems in neurological rehabilitation. Acta Neurochir Suppl. 2007;97(Pt 1):411-8.

[7] Alteheld N, Roessler G, Walter P. Towards the bionic eye – the retina implant: surgical, ophthalmological and hystopathological perspectives. Acta Neurochir Suppl. 2007;97(Pt 2):487-93.

[8] Physiological Computing. Burlison W, ed. Interacting with computers 2004;16(5):851-1016

[9] European Conference on Ambient Intelligence. Tema de la conferencia. Darmstadt, Alemania, 2007 (Accedido a través de www.ami-07.org)

[10] Cyberlink Brainfingers. Brain Actuated Technologies, Inc. Yellow Springs, Ohio, Estados Unidos de América

- [11] Chin CA, Barreto A, Cremades JG, Adjouadi M. Integrated electromyogram and eye-gaze tracking cursor control system for computer users with motor disabilities. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45(1):161-74
- [12] Pons JL, Ceres R, Rocon E, Levin S, Markovitz I, Saro B, Reynaerts B, W. Van Moorleghem W, Bueno L. Virtual reality training and EMG control of the MANUS hand prosthesis. *Robotica* 2005; 23(3):311-7
- [13] Hijjawi JB, Kuiken TA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA, Dumanian GA. Improved myoelectric prosthesis control accomplished using multiple nerve transfers. *Plast Reconstr Surg*. 2006;118(7):1573-8
- [14] Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, Mukand JA, Saleh M, Caplan AH, Branner A, Chen D, Penn RD, Donoghue JP. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 2006 Jul 13;442(7099):164-71
- [15] Santhanam G, Ryu SI, Yu BM, Afshar A, Shenoy KV. A high-performance brain-computer interface. *Nature* 2006 Jul 13;442(7099):195-8
- [16] Cyberdine Inc. Tsukuba, Japón
- [17] Emotiv Systems. Emotiv Brain Research Lab, Sydney, Australia
- [18] Chokshi N, Kalke A, Patel N. Bluetooth Fitness Trainer. Proyecto. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois, 2006. Illinois, Estados Unidos de América
- [19] Dubost G, Tanaka A. A Wireless, Network-based Biosensor Interface for Music. Sony, Japón
- [20] Biocontrol Systems, Brownsville, California, Estados Unidos de América
- [21] C Fleischer. Controlling exoskeletons with EMG signals and a biomechanical body model. Tesis doctoral. Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik Technische Universität Berlin, 2007. Berlín, Alemania
- [22] Taniguchi K. KomeKami Switch. Osaka University's Graduate School of Engineering Science, Osaka, Japón.
- [23] Control Glove. Engineered Fibre Structures Ltd, Manchester, Reino Unido
- [24] Sistema para la gestión remota en entornos de inteligencia ambiental mediante señales electromiográficas. OEPM. N° de solicitud P200703149. Noviembre de 2007
- [25] Barreto AB, Scargle SD, Adjouadi M. A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities. *J Rehabil Res Dev* 2000;37(1):53-63

Mano Artificial

Controlada Mioeléctricamente

(Mayo 2009)

Ramírez V. José Orlando
BIO INGENIERÍA & ROBÓTICA C.A.

Edo. Táchira, Venezuela

jkaizen1@yahoo.com, tamashi01@hotmail.com

Resumen

La mano artificial está diseñada para ser utilizada por personas que hayan sufrido discapacidad por amputación traumática o congénita por debajo del codo y que aún conserven actividad eléctrica-muscular. La prótesis cuenta con veinte grados de libertad (GDL) y sensores electromiográficos, que capturan los potenciales mioeléctricos del músculo residual del paciente, siendo amplificados y filtrados en un circuito electrónico, encargado de adecuar dicha señal electromiográfica (EMG). Se emplea un microcontrolador PIC para gobernar la rotación y velocidad de un servomotor alojado en el elemento terminal (mano), el cual controla los movimientos de apertura y cierre de la misma, permitiéndole al paciente desempeñar algunas funciones similares a la mano humana perdida. Se emplean herramientas de Diseño Asistido por Computador (CAD) para el diseño y construcción de los componentes de la mano, tomando en consideración la antropometría del paciente. El prototipo de mano artificial fue probado en un paciente, arrojando resultados satisfactorios en cuanto a la destreza, adaptación en el agarre y tiempo de entrenamiento.

Palabras Claves —Prótesis mioeléctrica, Electromiografía, Microcontrolador PIC, Diseño Asistido por Computadora.

I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento del número de personas con deficiencia física de los miembros superiores, el área de diseño y mejora de los equipos de rehabilitación es cuestión de máxima importancia en el ámbito de la bioingeniería.

En el caso de pacientes con algún tipo de discapacidad congénita o amputación de los miembros superiores, se puede hacer la recuperación utilizando prótesis, sustituyendo así los miembros dañados o perdidos. Sin embargo, dicha sustitución no es satisfactoria en la mayoría de los casos. Uno de los principales problemas mencionados por los usuarios de prótesis de miembros superiores, es la poca similitud de éstas en relación con el miembro natural.

Conforme aumenta la severidad de la amputación, el miembro pierde más funciones y al mismo tiempo se pierden músculos de los cuales se podrían extraer señales mioeléctricas. Considerando este aspecto, el trabajo tiene como principal objetivo desarrollar una prótesis de miembro superior dotada de sensores electromiográficos, sensor de presión, con amplio número de grados de libertad, permitiendo así mejorar la capacidad funcional de la prótesis.

La prótesis utiliza un servo motor como elemento actuador electrónico y un microcontrolador PIC para procesar la información

sensorial y controlar tanto el sentido de giro del servo motor como su velocidad. En este trabajo se contempla la antropometría de la mano para la construcción del sistema mecánico de la prótesis a fin de lograr mayor similitud con la mano humana natural.

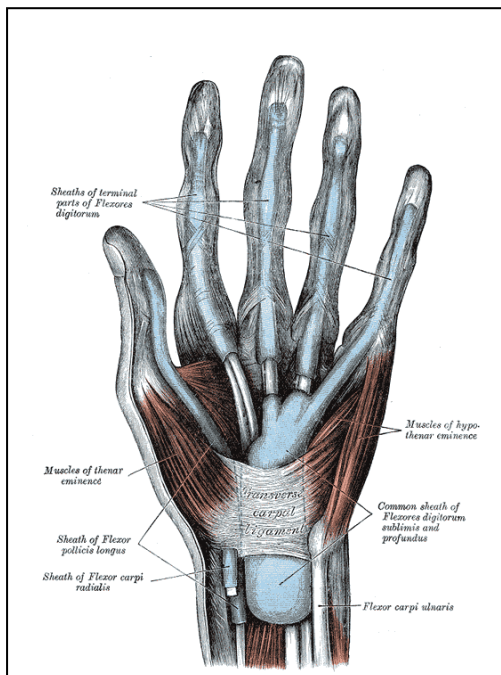
Todo el diseño de la prótesis se ha realizado en CAD bajo los principios del Diseño para Manufactura (DPM), y se han designado espacios específicos en la prótesis para los sensores, los circuitos electrónicos y el elemento de potencia de la misma. Dada las características de dicha prótesis se pretende que este estudio contribuya en primer lugar a mejorar las capacidades físicas y de interacción del individuo con el medio que le rodea; y en segundo lugar, a disminuir el nivel de rechazo de las prótesis mioeléctricas, principalmente aquel relacionado con la poca interacción que el paciente tiene con el ambiente y a la poca similitud de las prótesis con la mano natural.

II. CONTENIDO

A. Punto de Referencia: La Mano humana

La relevancia de la mano humana como referencia de diseño se basa en que el ser humano utiliza su mano como primer contacto con el mundo para conocerlo y desenvolverse en él. La mano es el elemento más común en el que se piensa para realizar la manipulación o aprehensión de objetos. La Figura 1 muestra una mano humana y su complejo sistema estructural [1].

Fig. 1. La mano humana.



La mano humana tiene un número alto de grados de libertad, alta relación fuerza / peso (incluida la fuente de energía), bajo factor de forma (compacta) y un sistema sensorial complejo [2]. La mano humana cuenta con más de 25 GDL, que permiten múltiples configuraciones de aprehensión y manipulación con los dedos y la palma. Cada dedo cuenta con dos articulaciones tipo bisagra (rotación en un solo plano) y una articulación en la base con dos GDL, donde uno de los ejes de rotación es paralelo a los ejes de rotación de las articulaciones tipo bisagra y el segundo es perpendicular a este y normal a la palma.

B. Sensores Electromiográficos

Son utilizados para la detección de la contracción y distensión muscular [3]. Se han utilizado electrodos superficiales, comerciales y desechables, sobre los músculos del antebrazo y conectados directamente a dos entradas del circuito amplificador- acondicionador EMG, (ver Fig. 2).

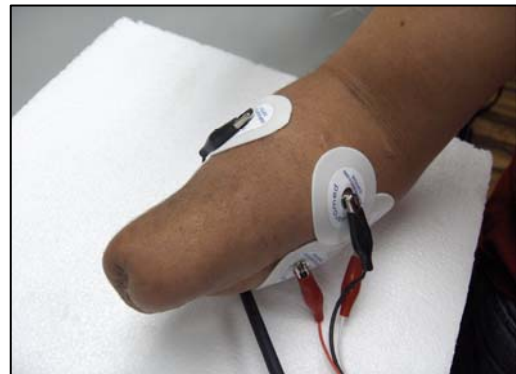


Fig. 2. Electrodoes superficiales desechables sobre el músculo residual del paciente.

C. Circuito Electrónico EMG, para la adecuación de la señal mioeléctrica.

Se ha diseñado y desarrollado un circuito electrónico que permite la captura y adecuación de la señal mioeléctrica proveniente de los músculos residuales del miembro superior del paciente. El tamaño del circuito fue considerado de vital importancia procurando en todo momento la reducción de las dimensiones de dicho circuito, puesto que éste aspecto es de vital importancia así como el consumo de energía, la cual tiene gran influencia en la autonomía de la prótesis (ver Fig. 3).

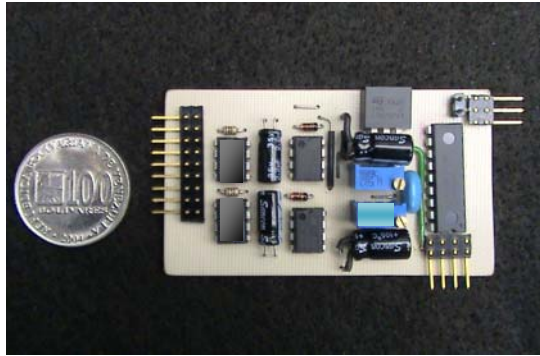


Fig. 3. Circuito electrónico EMG

D. Microcontrolador PIC

Considerando las diversas señales a controlar, tales como, las procedentes de los canales musculares, señales de sensores, y cualquier otra que permita información sensorial, se ha elegido un microcontrolador programable PIC de la familia 16F8X (Fig.4), el cual posee 8 entradas y 5 salidas digitales, el cual es adecuado para el número de sensores presentes en la prótesis (mioeléctrico, presión, nivel de batería, interruptores de final de carrera). Además dicho microcontrolador dispone de salida PWM (Pulse Wide Module).

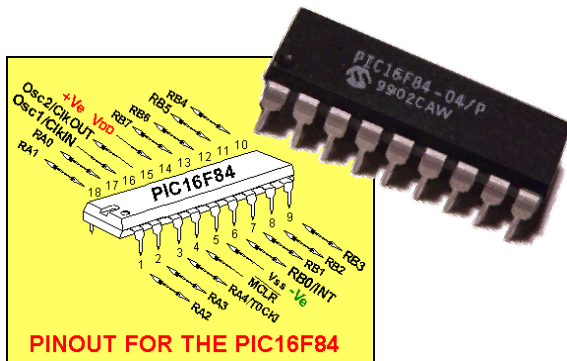


Fig. 4. Microcontrolador PIC 16F8XX

Para posibilitar la apertura y cierre de la prótesis, se ha desarrollado un circuito electrónico capaz de accionar el servo motor de pequeñas dimensiones, el cual está acoplado a la palma de la mano artificial. Dicho circuito es comandado por señales PWM enviadas por el microcontrolador PIC, lo que permite girar el motor en los dos sentidos y controlar su velocidad. En La Figura 3 se muestra la tarjeta EMG incluyendo el circuito de control mioeléctrico desarrollado como parte de este proyecto.

E. Sensor de presión

Para la detección de la acción de apriete del objeto siendo agarrado, se empleará un sensor de presión adosado a la mano artificial cuya salida se conecta directamente a una entrada del PIC. (ver Fig. 5).

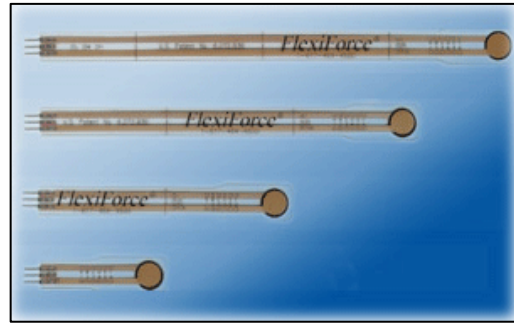


Fig. 5. Sensor de Presión.

F. Programación del Microcontrolador PIC

Se ha desarrollado un programa para el microcontrolador capaz de procesar la información procedente de los sensores y controlar los elementos de potencia presentes en la prótesis. Por ejemplo, para que el usuario pueda cerrar la mano artificial es necesario que se cumplan dos condiciones: Primero, se debe ejecutar una determinada contracción o distensión muscular (captada por los sensores electromiográficos y procesada por el microcontrolador como indicativo de necesidad de cerrar la mano); la segunda condición establece que la presión ejercida por la mano no haya llegado a su límite (detectado a través del sensor de presión). En caso contrario acepta únicamente comandos para abrir la mano.

G. Guante Cosmético

Un factor importante para reducir el impacto psicológico al paciente con el uso de una prótesis de miembro superior, es el aspecto exterior que la misma ofrezca, es decir que la mano artificial debe presentar un aspecto lo mas parecido a la mano real, y esto se logra empleando un guante cosmético de látex, con características similares a la piel humana. La Fig. 6 muestra un guante de látex desarrollado y fabricado para este proyecto.



Fig. 6. Guante Cosmético desarrollado.

H. Diseño de la Prótesis utilizando CAD

Se han utilizado programas CAD para la realización del diseño de la prótesis de mano, considerando que esta debe ser lo más parecida posible a una mano humana, basada en la antropometría del paciente, esta debe tener suficiente espacio interno para alojar todo el hardware compuesto de sensores, microcontrolador, placas de circuitos electrónicos, servo motor, y baterías. El diseño de una falange proximal de dedo, empleando Solid Edge se muestra en la Fig. 7.

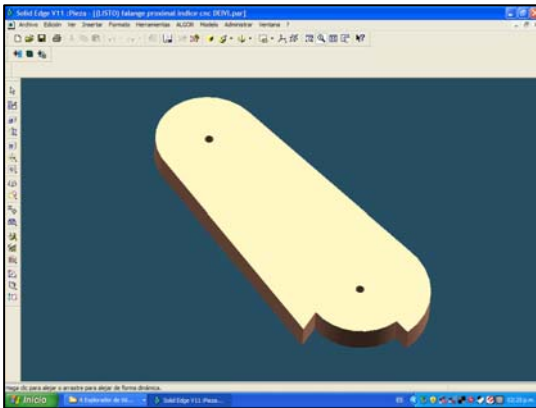


Fig. 7. Falange proximal realizado en Solid Edge.

En la Fig. 8 puede observarse no solo los diversos componentes que constituyen el proyecto, sino además, la parte estructural del brazo. Este componente es de vital importancia porque es allí en donde se deben alojar todos los componentes del hardware de la mano artificial.

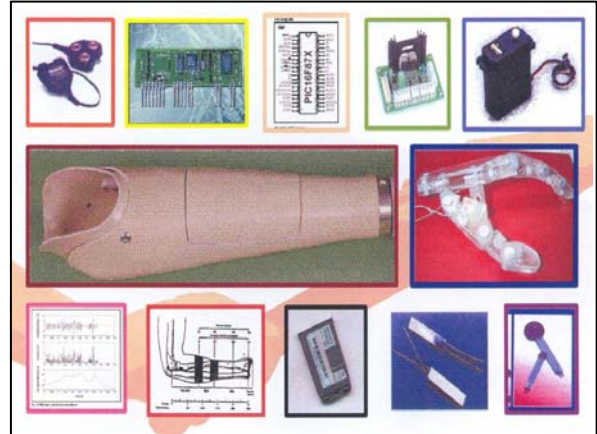


Fig. 8. Diseño Conceptual del proyecto

I. Especificaciones de diseño

El proyecto se ha desarrollado considerando diversos factores que permiten brindar una alternativa funcional al paciente en el uso de una prótesis de miembro superior. A fin de determinar las especificaciones de diseño se utilizó la técnica conocida como “La Voz del Cliente”, mediante la cual fue posible establecer las prioridades de los potenciales usuarios [5].

Las especificaciones de diseño más relevantes son:

- 20 grados de libertad en la mano.
- Mano completamente funcional.
- Exterior con apariencia natural.
- Forma estructural humana.
- Mínimo impacto psicológico en el paciente discapacitado.
- Controlada a voluntad por la actividad eléctrica muscular.
- Uso del espacio de trabajo físico similar al brazo humano.
- Auto adaptación en el agarre.
- Basada en la Antropometría del paciente

J. Diseño Mecánico de los dedos de la mano

La estructura que conforma cada uno de los dedos se basa directamente en la existencia de las falanges y articulaciones de los dedos de la mano humana, las cuales permite cuatro (4) GDL en las acciones de flexión y extensión así como movimientos de aducción – abducción de los dedos [4], tal como se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9. Diseño mecánico de los dedos.



Fig. 11. Servomotor actuador electrónico.

K. Dedo Pulgar de la mano artificial

El diseño desarrollado permite que el dedo pulgar realice un movimiento de flexión – extensión así como la aducción – abducción con oposición del mismo frente a los dedos índice y medio, lo que permite la acción funcional de la mano y su apariencia más natural, tal como se observa en la Fig. 10.

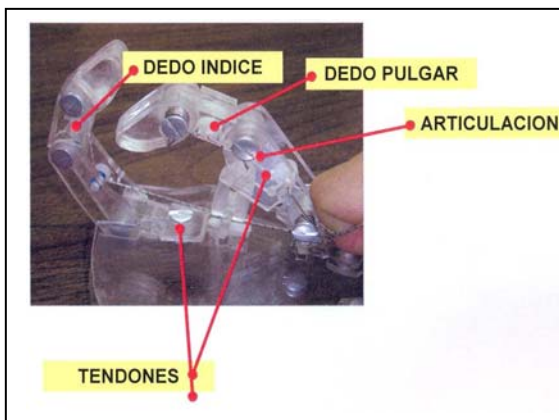


Fig. 10. Pulgar en flexión.

El sistema de accionamiento mecánico emplea el principio natural de la mano humana, basándose en la presencia de “tendones artificiales” los cuales permiten la flexión y extensión de los dedos de la mano artificial con un movimiento similar a los dedos humanos.

La integración de todos los elementos que componen la mano artificial puede ser observada de manera conceptual en la Fig. 12.

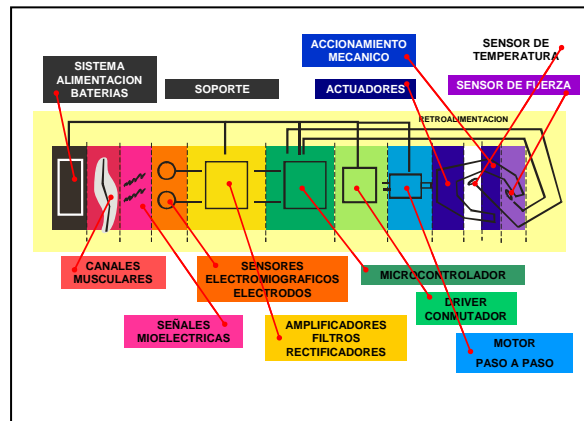


Fig. 12. Componentes de la prótesis mioeléctrica.

L. Elemento de potencia y Sistema de Accionamiento Mecánico

Se emplea un servo motor de última generación, específico para el uso en proyectos de robótica, que lo hacen adecuado al proyecto y cuyas principales características son: elevado momento de torsión, reducidas dimensiones, y bajo consumo de potencia (ver Fig. 11).

III. RESULTADOS

El resultado obtenido es una prótesis de miembro superior, específicamente una mano artificial controlada mioeléctricamente, con 20 grados de libertad, dotada de sensores electromiográficos, completamente funcional, de aspecto anatómico similar a la mano humana natural (ver Fig. 13), y se presenta como una alternativa de prótesis mejorada en comparación a los modelos comerciales existentes. Las características de diseño de esta prótesis brindan al paciente un mayor grado de adaptabilidad y uso de la prótesis, reduciendo el rechazo psicológico que experimentan otros modelos (ver Fig. 14).

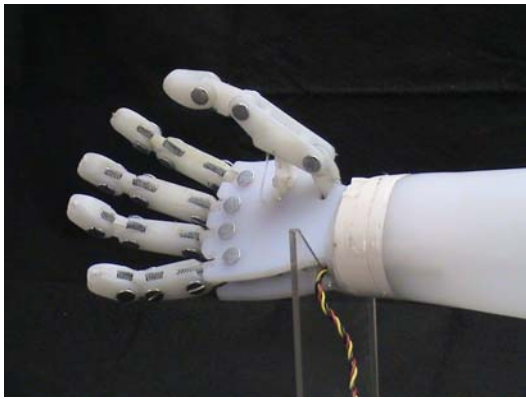


Fig. 13. Mano Artificial Controlada Mioelectricamente.



Fig. 14. Paciente empleando la prótesis y realizando movimientos funcionales.

IV. CONCLUSIONES

A fin de satisfacer el principal objetivo de este proyecto, el cual es el desarrollo de un prototipo funcional de una mano artificial controlada mioeléctricamente, fue necesario considerar tanto las características antropométricas como las funcionales de la mano humana.

Se logró el diseño de una mano artificial con características y especificaciones favorables, que hacen de este proyecto una alternativa de prótesis para pacientes discapacitados de miembro superior.

El sistema mecánico desarrollado de los dedos de la mano artificial, permite su adaptación en el momento del agarre con el objeto.

En vista de la necesidad de cubrir la demanda de prótesis de mano artificial existente en el mercado nacional y competir con los elevados costos de prótesis importadas, se justifica este proyecto a fin de desarrollar un diseño alternativo de mano mioeléctrica que satisfaga de manera satisfactoria las funciones básicas perdidas de la mano humana.

REFERENCIAS

- [1] R.M.H. McMinn. R.T. Hutchings. (1996). **Gran Atlas De Anatomía Humana**. España. Interamericana.
- [2] C. M. Light, P. H. Chappell, B. Hudgins, K. Engelhart. (2002). **Intelligent multifunction myoelectric control of hand prostheses**. Journal of Engineering & Technology, Volume 26, Number 4, pp. 139-146.
- [3] Philipp Kampas. (2001). **The optimal use of myoelectrodes**. Otto Bock, Austria GmbH, Wien.
- [4] F. Lotti, G. Vassura. (2002). **A Novel Approach to Mechanical Design of Articulated Fingers for Robotic Hands**. DIEM, Mechanical Engineering Dept. University of Bologna, Italy.
- [5] A. Page, R. Porcar. (S/F). **Nuevas Técnicas para el Desarrollo de Productos Innovadores Orientados al Usuario**. Instituto de Biomecánica de Valencia, España.

Diseñando con Martín

Patricia Casla¹, Iñaki Mautua¹, Olatz Zubillaga², Ana Viso², Andoni Rekondo², Antxon Jaular², Victor Bonilla², Martín García²
(1)Tekniker; (2) Grupo Gureak (1) pcasla;imautua@tekniker.es (2) ozubillaga;aviso; arekondo.talleres@grupogureak.com

Resumen

A lo largo de los dos últimos años la Unidad de Tecnología Social del centro tecnológico Tekniker, conjuntamente con los técnicos y trabajadores de Gureak ha llevado a cabo un proceso de diseño y desarrollo de un sistema de soporte a las actividades de los trabajadores del taller de Tolosa basado en los principios de diseño centrado en el usuario y la aplicación de las tecnologías de Inteligencia Ambiental. Martín es uno de los trabajadores que desarrollan su actividad en ese Taller y que nos ha servido de guía y estímulo en el diseño de la solución. En este documento se resume la metodología adoptada y los resultados obtenidos, haciendo hincapié en la participación de los trabajadores a lo largo de todo el proceso.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En los últimos años el concepto de Inteligencia Ambiental, AmI, ha sido objeto de interés entre la comunidad científica consiguiendo despertar el interés de diferentes colectivos. La visión que se transmite bajo ese concepto – un entorno que nos reconoce, se adapta y con el que interactuamos de forma natural -, ha dado lugar a diferentes experimentos en forma de ‘living labs’ y numerosos proyectos de investigación que abordaban parcialmente algunas de las tecnologías disponibles: reconocimiento del contexto, interfaces multimodales, computación ubicua, etc. Tekniker ha investigado en esta área centrándose en las posibilidades que ofrece en su aplicación en el mundo laboral.

Desde 1975 el Grupo Gureak trabaja en su objetivo de conseguir la plena integración social de las personas discapacitadas a través de la inserción laboral. Las diferentes empresas que la engloban se encuadran en 4 grandes divisiones: industrial, servicios, servicios asistenciales y Gupost. Pese a su objetivo de compromiso social la gestión de Gureak se rige por criterios estrictamente empresariales buscando una optimización de los recursos productivos que le permiten competir en un mercado afectado por una fuerte competitividad que busca productos de elevada calidad a un coste ajustado.

Tradicionalmente la división industrial de Gureak ha conseguido una importante penetración en el mercado mediante la implantación de líneas de montaje donde los operarios realizaban operaciones de montaje de componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos etc. El diseño de las líneas se realiza teniendo en cuenta las capacidades de los potenciales operarios desglosando el proceso de montaje en operaciones muy sencillas que son realizadas de forma repetitiva tras un período mínimo de aprendizaje. Esta **Metodología de Secuenciación** se resume en:

1. Cada actividad se **desglosa** en el mayor número de tareas posible.
2. Estas tareas se **secuencian** y se crea un proceso de trabajo
3. Cada persona realiza **una tarea sencilla y se especializa** (se reducen elementos de decisión en cada puesto).
4. **Entre todos** realizan el proceso completo.

Desde Talleres Protegidos Gureak se ha observado que es necesario evolucionar hacia nuevas formas de trabajo ya que el método de secuenciación va asociado a series largas (tiempos de cambio de modelo elevados), genera inflexibilidad en el proceso y puede hacer que las personas con mayores capacidades intelectuales vean limitadas sus posibilidades de progresión laboral.

Gureak ha comenzado a hacer frente a esos retos mediante unos proyectos piloto en los que un único operario debe realizar el montaje completo de un conjunto. El proceso supone un cambio radical:

- El operario debe ser capaz de realizar una secuencia de actividades de forma autónoma
- Se debe mantener la atención durante el proceso de montaje que puede durar más de 30 minutos

Aunque **cada una de las tareas a realizar no sea complejas por sí mismas**, el hecho de que se trate de una secuencia larga, realizada por una única persona, hace que el grupo de personas que pueden llevarlo a cabo corresponda a la personas de mayor perfil competencial, que presentan

menores dificultades en aspectos claves como Aprendizaje de Tareas, Ritmo, Autonomía, Iniciativa, Flexibilidad, etc.

Como consecuencia, sólo un reducido número de operarios es susceptible de incorporarse a estas nuevas formas de organización del trabajo.

En esas circunstancias Gureak planteó a Tekniker la posibilidad de aplicar las tecnologías AmI para facilitar la incorporación de un colectivo más amplio a esta experiencia. En este informe se resume el proceso de diseño seguido a lo largo del proyecto.

1.2. Descripción del escenario piloto

La selección del escenario piloto se llevó a cabo mediante un ejercicio de brainstorming en el que participaron más de 40 trabajadores de Gureak con diferentes perfiles: responsables de unidades de negocio, técnicos de apoyo y encargados de talleres. Tras una exposición de los conceptos de AmI se procedió a realizar la tormenta de ideas, su agrupación en categorías y finalmente la priorización de las mismas de acuerdo a los beneficios potenciales que podían reportar y su viabilidad técnico-económica. Como resultado de ese ejercicio se seleccionaron las dos características a abordar en el marco de este proyecto en el taller de Tolosa:

- Ayudar al trabajador en la realización de su actividad
- Garantizar la calidad del trabajo realizado

Para el escenario piloto se ha seleccionado el montaje de un armario eléctrico empleado en los generadores eólicos. El proceso implica la manipulación y montaje de diferentes componentes mecánicos, la dispensación de adhesivo y el marcado permanente de algunos elementos. Ello supone una secuencia de 20 operaciones –muchas de ellas compuestas por repeticiones- a realizar en un tiempo aproximado de 30 minutos.

El proceso a seguir por el operario se resume de la siguiente forma:

- Manipulación de la envolvente metálica del armario. Se utiliza una pequeña grúa manual mediante la cual se coloca sobre la mesa de trabajo.
- Aplicación de un adhesivo de contacto en el interior de unas juntas de goma que son posteriormente fijadas en el borde de dos pletinas colocadas en el interior del armario.

- Atornillado de 6 subconjuntos de borna y aislantes eléctricos sobre dichas pletinas, aplicando un par de apriete de 20 Nm a los tornillos de métrica M10
- Atornillado de la tapa lateral de soporte de los prensaestopas que permitirán el paso de los conductores eléctricos. Se debe aplicar un par de apriete de 20 Nm a cada uno de los 10 tornillos de métrica M8
- Ensamblado de los 4 prensaestopas sobre la tapa anterior, asegurando la correcta alineación de las pletinas.
- Marcado de los seis bornes con los símbolos adecuados, U1, U2, V1, V2, W1 y W2.
- Enmarcado de la parte posterior del armario mediante cuatro cintas adhesivas generando un rectángulo alrededor de la ventana posterior del armario. Tras la adhesión, se debe perforar dos agujeros sobre dicha cinta mediante un punzón o similar.



Ilustración 7: Armario eléctrico utilizado para el prototipo del proyecto

1.3. Objetivos del proyecto

Debe ayudar a los operarios a **realizar tareas más complejas** (secuencia larga).

- Simplificar el proceso de aprendizaje.
- Apoyar al trabajador durante la realización de sus tareas cuando resulte necesario.
- Garantizar que el trabajador ha realizado correctamente la secuencia de trabajo completa.

- Aportar retroalimentación: todos los pasos completados.
- Permitir interactuar con el sistema amigablemente utilizando diferentes interfaces (E.j. voz, etc.).
- Debe permitir realizar la recogida de datos (defectuosos, asistencia, cantidades, trazabilidad, control de presencia...), de forma sencilla.
- La tecnología utilizada debe de ser no intrusiva y ser aceptada por los trabajadores que deben de sentirse cómodos con su utilización.
- Los resultados del demostrador deben de ser fácilmente trasladables a diferentes procesos para garantizar un importante impacto.
- El coste de las tecnologías incluidas en el demostrador tiene ser tal que su utilización haga viable el proceso.

El objetivo es permitir a personas de régimen ocupacional realizar tareas de mayor complejidad (en este caso la complejidad viene dada por la duración y el número de tareas), evitando la necesidad de reducir el proceso a las tareas más básicas (se pretende que un único operario pueda ser capaz de realizar el montaje en su totalidad, incluyendo las actividades de control de calidad que puedan ser necesarias), eliminar al máximo las posibilidades de error y reducir el tiempo de aprendizaje.

Al mismo tiempo se liberará a personas de régimen especial de empleo con alto nivel competencial para la realización de tareas de mayor valor añadido, potenciando así sus posibilidades de progresión laboral hacia el empleo ordinario (aunque el demostrador se va a centrar especialmente en las personas de menor nivel competencial las mismas tecnologías implicadas podrían servir de apoyo a estas personas con mayor nivel competencial en la realización de tareas más complejas).

El mayor reto del proyecto es permitir a personas de un perfil competencial bajo, 1RO, realizar tareas que con las actuales formas de trabajo sólo pueden ser realizadas por personas de un nivel competencial alto, 1.55 REE.

2. Metodología empleada

La norma ISO-13407 [1] define el proceso de diseño centrado en usuario adoptado en el proyecto. Se trata de un proceso interactivo e iterativo en el que la participación del usuario debe contemplarse desde las primeras fases de diseño. Tekniker viene aplicando esta metodología en el

desarrollo de sistemas con resultados muy positivos [2].

A lo largo del proyecto y dada las especiales características del colectivo de usuarios, el equipo de trabajo ha adaptado el estándar.

2.1. Conociendo el proceso

Se ha realizado un análisis en detalle del proceso tal y como se desarrollaba en la situación de partida. Para ello:

- Se recogió información del proceso: secuencia de tareas, instrucciones de proceso, plan de control, pautas de control final, hoja registro control final, AMFE de proceso, información de no conformidades (internas y de cliente).
- Se realizaron grabaciones y fotos del proceso in situ, recogiendo los comentarios de las personas que realizan dicho proceso sobre las dificultades planteadas, tiempos y formas de aprendizaje, etc.
- Los propios investigadores realizaron las operaciones de montaje para obtener una percepción directa de las características del proceso.

Se analizó en detalle toda la información obtenida como input para el diseño del escenario piloto y se identificaron las posibles mejoras.

2.2. Conociendo a los usuarios

El Grupo Gureak dispone de una **Metodología de Evaluación de Competencias** que les permite adecuar los puestos de trabajo de acuerdo a las características particulares de cada trabajador. Los parámetros que se consideran son múltiples: ritmo, aprendizaje de tareas, calidad en la ejecución, autonomía, iniciativa, flexibilidad o tolerancia a los cambios, motivación o disposición al trabajo, autocontrol emocional y comportamiento, relaciones interpersonales, puntualidad, asistencia, orientación espacial, conocimiento numérico, lenguaje expresivo, lenguaje comprensivo, organización, conocimiento de la lectura, audición, habla, conocimiento de escritura, atención, seguridad y repetitividad.

Cada uno de los trabajadores tiene un perfil en el que se cuantifican los parámetros anteriores. La aplicación de esta herramienta permite, por tanto, establecer el nivel competencial mínimo y máximo de las personas atendidas en régimen ocupacional (RO) y Régimen especial de empleo (REE).

A su vez cada puesto de trabajo es evaluado conforme a cada uno de los criterios anteriores. A

partir de esa información es posible definir cuales son los trabajadores más adecuados a cada puesto de trabajo.

La evaluación individual en Talleres Protegidos Gureak se concibe como un medio para conocer y cuantificar los avances, progresos o regresiones de las personas en el desarrollo de sus capacidades y competencias socio-laborales, constituyendo el punto de partida para la adecuación de la atención que se presta a las mismas, para la identificación y análisis de las necesidades individuales y para el establecimiento de los recursos, apoyos y actuaciones conducentes al avance en su desarrollo personal y profesional.

Para la realización del escenario piloto se consideraron especialmente relevantes una serie de competencias algunas de las cuales no estaban inicialmente contempladas en la clasificación anterior por lo que fue necesario adaptar los cuestionarios de evaluación existentes, para lo que se tuvo en cuenta [3] y se incluyó un nuevo cuestionario que permitiera identificar la relación del grupo piloto con las tecnologías AmI.

Teniendo en cuenta las exigencias de partida del puesto de trabajo objeto del demostrador, las diferencias competenciales más relevantes son las mostradas en la figura siguiente.

Como se puede observar en la tabla comparativa entre los valores medios correspondientes a los perfiles 1RO y 1,55REE, existe un “gap” entre las exigencias actuales del puesto de trabajo y el perfil competencial objetivo. El **objetivo es crear entornos capacitantes**, es decir que las tecnologías incluidas en el demostrador rebajen las exigencias de partida del puesto (Montaje de Caja de Bornas Principal) para que pueda ser realizado por personas de menor perfil competencial.

Las principales diferencias entre los perfiles de partida y objetivo son las relacionadas con aspectos tales como: Aprendizaje, Iniciativa, Autonomía y Flexibilidad. En el gráfico se muestran esas diferencias.

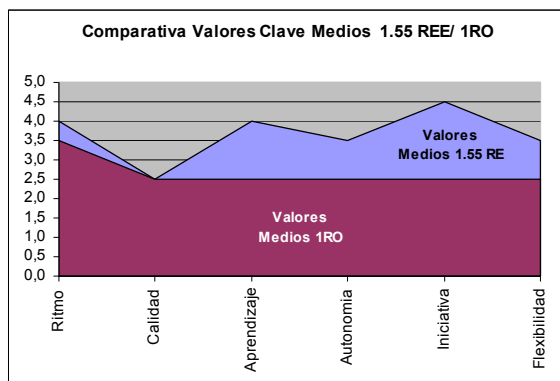


Ilustración 8: Comparativa de valores clave entre los perfiles 1RO y 1,55REE

En el aprendizaje de nuevas tareas, las personas en RO aprenden tareas sencillas y muy sencillas, pudiendo presentar, algunas personas, dificultades incluso en estas últimas; por el contrario en el REE se amplía la gama en la adquisición de nuevas tareas, que pueden ir desde tareas sencillas hasta tareas complejas, mejorando esta competencia a medida que ascendemos en las categorías de REE.

En las categorías más bajas del RO tenemos personas que toman iniciativas inadecuadas o personas que no toman ninguna iniciativa. En la categoría más alta del RO las personas no muestran iniciativas inadecuadas, algunas pueden no mostrar iniciativa alguna mientras que otras toman pequeñas iniciativas habitualmente eficaces. En el perfil de desempeño del REE las personas no muestran iniciativas erróneas o inadecuadas, éstas se desarrollan en un continuo que va desde la ausencia de iniciativas, en las categorías más bajas hasta las más eficaces en las categorías más altas.

En el perfil del RO la autonomía se mueve desde un nivel bajo con necesidad de supervisión casi constante, en las categorías más bajas del R.O. hacia un nivel medio donde manteniéndose las rutinas de trabajo, no se requiere prácticamente supervisión. Las personas en REE muestran mayor autonomía, fluctuando esta desde una necesidad puntual de supervisión en las rutinas de trabajo en las categorías iniciales del REE, hacia una autonomía elevada en que las personas pueden tomar decisiones y resolver problemas dentro de su ámbito de responsabilidad.

Las personas en RO se adaptan bien a las rutinas, aunque algunas no toleran los cambios, otras sin embargo lo hacen si reciben apoyo y supervisión. Por el contrario las personas en REE indican toleran mejor los cambios, aunque algunos requieren apoyo para afrontarlos mientras otros se valen por sí mismos.

El grupo piloto seleccionado inicialmente entre el colectivo de trabajadores del Taller Protegido de Gureak situado en Tolosa para tomar parte en el escenario está compuesto por 14 personas de las cuales:

- 13 personas pertenecientes al colectivo de personas con nivel competencial 1 RO de los Talleres Protegidos Gureak de Tolosa.
- 1 persona perteneciente al grupo 1.55 REE como persona de control del experimento.

Como ya se ha indicado, se realizó una evaluación del conocimiento y familiaridad de los participantes con respecto a diferentes tecnologías que por su potencial uso directo en el prototipo o bien por su similitud con formas de interacción aplicables eran de gran interés para el diseño final.

Los datos más relevantes obtenidos a partir de dicho cuestionario fueron los siguientes:

- Ordenador. 8 de los participantes no están familiarizados con el uso del ordenador.
- Teléfono móvil. Únicamente 7 de los participantes son capaces de utilizar un teléfono móvil para realizar y recibir llamadas, siendo destacable que la mayoría es capaz de utilizar funcionalidades más avanzadas como oír música o consultar en la agenda.
- Dispositivos tipo MP3, MP4. Únicamente lo utilizan cuatro de los participantes.
- Consolas de juegos. Únicamente 5 de los participantes los utilizan.
- Mando a distancia de la televisión. Todos los participantes, salvo dos, lo conocen y utilizan.
- Equipo de música. 11 de los participantes son capaces de utilizarlo
- Videos y DVD. La mitad de los participantes los utilizan.

2.3. Un proceso iterativo e interactivo

El proceso de diseño basado en el usuario es un proceso iterativo e interactivo.

Iterativo, el ciclo diseño-desarrollo-evaluación se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar los resultados deseados. Es fundamental que en cada iteración se testeen un número limitado de funcionalidades y características, de esa forma se permite que las fases de desarrollo no se dilaten en el tiempo y que la evaluación sea más sencilla.

Interactivo. Los usuarios deben participar en el proceso de diseño desde las primeras fases. Esa participación permite que la solución final responda realmente a las necesidades de los usuarios tanto desde el punto de vista de las funciones implementadas como en las formas de interacción con el prototipo.

En el proyecto se han puesto en práctica estos principios con resultados muy positivos:

Iteración: se han llevado a cabo 4 ciclos completos diseño-desarrollo-evaluación, además de experimentos más sencillos y de alcance limitado para evaluar alguna característica específica, como la viabilidad del sistema de reconocimiento de voz.

Interacción: tal y como se describe más adelante, Martín ha tomado parte en el proceso, proporcionando su opinión en la fase de diseño y participando en las fases de evaluación de cada nuevo prototipo.

3. Diseño del prototipo

El diseño actual es el resultado de las iteraciones anteriormente mencionadas. Como característica fundamental debemos destacar que permite su adecuación a las diferentes características del grupo de usuarios.

El prototipo está diseñado para proporcionar al usuario la información necesaria para llevar a cabo el montaje completo del armario eléctrico, los materiales necesarios y la secuencia a seguir.

Los elementos que componen el prototipo son los siguientes:

- Hardware de cómputo e interacción. Ordenador personal en el que se ejecuta la aplicación y conjunto de periféricos de interacción: un teclado inalámbrico, headphone para la interacción mediante voz y una pantalla para acceder a la información visual. Se evaluó el uso de otros elementos como HMD o guantes sensorizados pero fueron descartados por diversas razones.
- Hardware para control de calidad. Permite establecer diferentes mecanismos para garantizar la correcta ejecución de las operaciones de montaje. El elemento más importante es una llave dinamométrica con salida de información que permite asegurar que el apriete de los tornillos se ha llevado a cabo conforme al par prefijado. El resto de dispositivos están en fase de definición pero se puede adelantar que se están evaluando una plataforma basada en visión artificial y un utilaje versátil basado en detectores de proximidad inductivos.
- Software. Desarrollado mediante la herramienta Windows Presentation Foundation se compone de dos módulos:

Gestión. Permite a los responsables del taller definir el procedimiento o secuencia de actividades necesarias para la realización de un montaje. Para ello podrá asociar a cada una de esas actividades primarias información de ayuda en cualquiera de los formatos aceptados: texto, fotos y videos. Igualmente se permite seleccionar aquel formato que se presentará por defecto.

Ejecución. Es el que se utiliza en el taller a pie de puesto de montaje. Ofrece la información establecida por el responsable de acuerdo al perfil de cada operario. Monitoriza el tiempo empleado en cada secuencia al objeto de detectar cualquier problema en los contenidos o en el procedimiento seguido por el operario de forma que puede adaptarse y mejorar su eficacia.

La aplicación está diseñada para que pueda utilizarse en la fase de entrenamiento donde la necesidad de información es más importante o bien en la fase de ejecución normal donde el usuario va adquiriendo la sistemática del montaje y las consultas pueden llegar a ser más esporádicas. En esta forma de trabajo sigue siendo fundamental la monitorización de la calidad de las operaciones de montaje.

3.1. Diseño de la interfase de acceso a la información

El diseño responde a los criterios de claridad y acceso multicanal.

Claridad. Únicamente se muestra la información relevante en cada caso, utilizándose unos códigos de colores y símbolos de fácil comprensión por parte de los usuarios. Para ello se llevaron a cabo varios experimentos con Martín en los que se evaluaba cada propuesta. Por ejemplo para el acceso a opción de ‘escuchar ayuda’ se seleccionaron diferentes iconos, cercanos a los utilizados en diferentes dispositivos que habían sido identificados en el cuestionario de tecnologías. Con la ayuda de Martín se determinó la que resultaba más fácilmente identificable con la acción propuesta. En la selección de colores se ha tenido en cuenta los criterios establecidos internamente en Gureak y asimilados por los trabajadores que asigna unos significados específicos al color verde (pieza/proceso correcto) y rojo (pieza/proceso incorrecto).



Ilustración 9: Algunos de los símbolos propuestos para el icono de activación de audio

La ventana a la que accede el usuario se divide en dos zonas fundamentales:

- Zona central en la que se presenta la información específica del montaje. Se divide a su vez en dos zonas claramente diferenciadas: una izquierda en la que el operario puede ver los elementos necesarios para el montaje (piezas y herramientas) así como los elementos de protección individual de uso obligado o recomendado. La zona derecha donde se presenta la información del proceso de montaje propiamente dicha, mediante texto, imágenes o vídeo.

- Zona periférica en la que se presentan opciones de navegación (adelante, atrás, audio, ayuda, llamar al encargado) y de información del grado de avance del montaje (una barra de avance numerada, que Martín rápidamente la asoció con la barra de estado de la batería de su teléfono móvil)



Ilustración 4: Pantalla tipo de la aplicación

Multicanal. La información se presenta de forma que personas con diferentes perfiles puedan acceder a la información. Así, la barra de avance utiliza el concepto de llenado jugando con colores pero también un valor numérico, las actividades se describen mediante ilustraciones (estáticas o videos) pero simultáneamente se puede escuchar una voz que describe el proceso, utilizándose para ello un sintetizador de voz (TTS de Loquendo) cuyos parámetros pueden parametrizarse de acuerdo a los perfiles de usuario (voz masculina o femenina, velocidad de lectura, etc.). Se evaluó la posibilidad que el sonido se transmitiera por medio de altavoces ambiente (y evitar así el uso de auriculares) pero se descartó por la necesidad de compartir el espacio de trabajo con otros trabajadores.

3.2. Interacción con la aplicación

Una de las bases sobre las que se asienta el concepto de Inteligencia Ambiental es la interacción natural. En el marco de este proyecto se han seleccionado tres mecanismos de interacción que no son excluyentes y pueden ser utilizados indistintamente por el usuario:

- **Teclado inalámbrico.** Es un teclado comercial, de los conocidos como numpad, con conexión bluetooth. Se ha personalizado el significado de cada una de las teclas de forma que se correspondan

con los botones de interacción presentes en la pantalla



Ilustración 5: Teclado inalámbrico personalizado

- En el proceso de diseño se evaluaron otras soluciones como la existencia de botones de navegación en la zona de trabajo o la utilización de pantallas tipo touchscreen, que finalmente fueron descartadas.
- **Comandos de voz.** La utilización de la voz como forma de interacción es considerada como la forma ‘más natural’. Durante el proceso de diseño se plantearon numerosas incógnitas sobre la viabilidad de su uso. Por un lado es bien sabido que los sistemas comerciales actualmente existentes no ofrecen un 100% de garantía de reconocimiento; por otro lado algunas de las personas que pertenecen al colectivo objetivo de nuestro escenario presentan ciertas dificultades en el habla. Ello nos llevó a definir un test específico en el que se midió la eficacia en el reconocimiento utilizando un conjunto limitado de comandos. Tras diferentes ajustes se llegó a un grado de acierto muy elevado, reduciéndose el número de falsos negativos mediante la utilización de comandos compuestos por al menos dos términos: ‘ver película’ en lugar de ‘ver’, ‘siguiente paso’ en lugar de ‘siguiente’, etc. En el transcurso del test se definió la terminología que resultaba más familiar para Martín, incorporándose al diccionario de comandos de la aplicación (cada comando puede llevar asociado un número indefinido de locuciones sinónimas).
- **Interacción implícita.** Es sin duda la forma de interacción natural más ambiciosa. Se basa en que el sistema reconoce las actividades del usuario y automáticamente ejecuta las acciones correspondientes: si detecta que se ha finalizado una tarea muestra la siguiente, si detecta un error muestra un mensaje de aviso, etc. Como se comprenderá es la que presenta un grado de dificultad y reto científico mayor no siendo alcanzable en la

actualidad un sistema basado en esta modalidad.

3.3. Monitorización del proceso

En el momento en el que se escribe este documento nos encontramos inmersos en la definición de esta funcionalidad.

El reto planteado es extremadamente ambicioso: se pretende garantizar que el proceso realizado por parte del operario se ha realizado de acuerdo a las pautas establecidas sin la necesidad de una inspección por parte de una tercera persona tal y como se realiza actualmente.

Se han seleccionado tres tecnologías que permiten abordar parcialmente la verificación en línea de la calidad del proceso y se va a proceder a su evaluación técnico-económica. Baste como ejemplo de la complejidad del problema la verificación del par de apriete de los cuatro tornillos de la tapa del armario.

Para este fin, se ha seleccionado un equipo consistente en una llave dinamométrica y un receptor inalámbrico que permiten recibir una señal cada vez que se ha alcanzado el par de apriete establecido en la pauta. Sin embargo quedan por dar respuesta a diferentes preguntas que nos podemos plantear: ¿Cómo sabemos que cada vez que se recibe la señal corresponde a un tornillo diferente?, ¿Qué ocurre si el tornillo no ha sido orientado correctamente, ha quedado torcido, pero se alcanza el par de apriete?, ¿Cómo garantizar que se ha colocado la arandela?.

4. Diseñando con Martín

La experiencia de trabajar directamente con los trabajadores es siempre enriquecedora. Trabajar con Martín ha sido especialmente motivadora en lo profesional y en lo humano. Cada vez que los miembros del equipo de investigación nos acercamos al taller, Martín nos transmite una pregunta que desvela la motivación y la ilusión en el proyecto: ¿Cuándo voy a empezar a montar armarios? (en la actualidad Martín trabaja en una línea de montaje convencional realizando tareas sencillas y repetitivas).

Las técnicas utilizadas en el proceso de diseño han sido las siguientes:

- Observación. Se han grabado en video la mayor parte de las labores de montaje utilizando los prototipos parciales.
- Mago de Oz [5]. Esta técnica la hemos utilizado para evaluar funcionalidades que no habían sido implementadas. Es una técnica conceptualmente muy simple: una

persona oculta (el Mago de Oz) simula la funcionalidad de forma que para el usuario final, el resultado es como si realmente existiese. Se utilizó para testear varias funcionalidades y conceptos de diseño:

- Simulación de la aplicación. Los primeros prototipos fueron realizados sobre powerpoint, que permitía realizar diferentes configuraciones de layout de pantalla sin necesidad de escribir código. Desde el punto de vista de usuario no existe diferencia ya que el Mago de Oz introduce remotamente la lógica de la aplicación.
- Interacción con una pantalla de Touch-Screen. Martín pulsaba sobre el monitor en los botones de la aplicación y el Mago remotamente ejecutaba la acción correspondiente
- Interacción con voz. Cada vez que Martín daba una orden con su voz, el Mago lo interpretaba y ejecutaba remotamente la misma acción
- Botones en la zona de montaje. Se construyeron sobre papel botones de gran tamaño. Al pulsarlos Martín se desencadenaba la misma acción de forma remota.
- Interacción implícita. Cada vez que Martín finalizaba una tarea, el Mago de Oz simulaba que el sistema había reconocido esa acción y presentaba la información correspondiente a la siguiente tarea.

En el proceso de diseño se han detectado mejoras en el proceso de montaje que han dado lugar a modificaciones en los procedimientos. Por ejemplo el proceso de marcado de los bornes de cobre se realizaba mediante unos punzones que al ser golpeados con un martillo marcan una huella sobre el material. El procedimiento no es válido para el colectivo de usuario objetivo dado el elevado riesgo de lesión por un golpeo incorrecto de los citados punzones. Además puede dar lugar a un incorrecto posicionamiento sobre el borne que obligue a rechazar la borna así marcada.

La propuesta ha consistido en utilizar unas plantillas que una vez ajustadas sobre el borne, permiten la utilización de un marcador eléctrico, tal y como se observa en la figura.



Ilustración 6: plantillas para marcado de aisladores y marcador eléctrico

En el proceso de diseño se ha tenido muy en cuenta la economía de recursos, sin penalizar la validez del proceso científico empleado. Eso se ha traducido en la utilización de técnicas como Mago de Oz ya mencionados y en prototipos de utillajes realizados sobre cartón como la bandeja portaplantillas de la imagen anterior o un dispositivo que facilita la dispensación de adhesivo en el interior de la cantonera de goma, para el que se utilizó una tira de cartón con dos pinzas en los extremos y unas marcas que son utilizadas para referenciar la zona en la que debe administrarse el pegamento (en la actualidad se realiza al libre criterio de los operarios).



Ilustración 7: Economía de medios; prototipo de útil para facilitar la aplicación de pegamento en el interior de la cantonera de goma

5. Trabajo futuro

A lo largo de los próximos meses se llevarán a cabo las pruebas finales con el conjunto de trabajadores seleccionados. Para ello se ha definido el procedimiento de evaluación mediante cuestionarios y mediciones objetivas. Se está trabajando en la adaptación de la prueba de TLX definido por la NASA [6] para medir la carga mental de los usuarios.

Previamente será necesario seguir trabajando con Martín en los aspectos finales ya mencionados en este artículo:

- Monitorización de la calidad del montaje
- Información de errores
- Soporte por parte del encargado

6. Agradecimientos

El proyecto al que hace referencia la presente ponencia ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el marco del programa Plan Avanza: Ayudas para Discapacitados y Personas Mayores (2007).

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a Martín por su entusiasta colaboración a lo largo de todo el proyecto.

7. Referencias

[1]International Organization for Standardization, "ISO 13407:1999(E), Human-centred design processes for interactive systems"

[2]I. Maurtua, Pierre T. Kirisci, Thomas Stiefmeier, Marco Luca Sbodio, Hendrik Witt, "A Wearable Computing Prototype for supporting training activities in Automotive Production", IFAWC - The Fourth International Forum on Applied Wearable Computing, Tel Aviv, 2007

[4] Fundación Lantegi Batuak, "Método Perfiles Lantegi Batuak: adecuación de la tarea a la persona". 2ª Edición Revisada.. 2005.

[5] Jakob Nielsen, "The usability Engineering Lifecycle", Ed. Academic Press, San Diego, 1993

[6] <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>

Juegos cognitivos para personas mayores sin deterioro sobre una multitouch screen

David Facal
Fundación INGEMA
dfacal@fmatia.net

Mari Feli González
Fundación INGEMA
fgonzalez@fmatia.net

Valeria Martínez
Fundación INGEMA
vmartinez@fmatia.net

Cristina Buiza
Fundación INGEMA
cbuiza@fmatia.net

Fotis Talantzis
*Athens Information
Technology – AIT*
fota@ait.edu.gr

Theodore Petsatodis
*Athens Information
Technology- AIT*
tpet@ait.edu.gr

John Soldatos
*Athens Information
Technology-AIT*
jsol@ait.edu.gr

Elena Urdaneta
Fundación INGEMA
eurdaneta@fmatia.net

José Javier Yanguas
Fundación INGEMA
fyanguas@fmatia.net

Resumen

Este documento muestra el trabajo llevado a cabo para desarrollar juegos de entrenamiento cognitivo para personas mayores sin deterioro

cognitivo basados en el uso de un sistema integrado de cuidado cognitivo. La edad produce cambios en diferentes procesos cognitivos, como por ejemplo en la memoria prospectiva, la atención visual y la coordinación bimanual, entre otras funciones cognitivas. Por esta razón, el proyecto HERMES busca reducir o retrasar el declive cognitivo que se debe al proceso normal de envejecimiento a través de la estimulación activa de la memoria. Además, este sistema ha sido desarrollado teniendo en cuenta las necesidades de las personas mayores. Estas necesidades han sido recogidas a través de un amplio rango de cuestionarios, entrevistas y pruebas culturales entre otros métodos.

Los juegos cognitivos del proyecto HERMES se han desarrollado para promocionar la autonomía y la independencia del usuario, el sentimiento de control y el "flow" en los juegos. Para estos juegos se ha utilizado, un interfaz "multitouch" novedoso, ergonómico y motivador, en línea con las recientes oleadas de aplicaciones de informática sobre la superficie.

1. Introducción.

El aumento y la expansión de las tecnologías de la comunicación que ha tenido lugar en los años recientes han dado lugar a una serie de nuevas oportunidades para las actividades de tiempo libre y sociales de las personas mayores. De hecho, hay un gran número de estudios que tratan de encontrar estas aplicaciones y la relevancia de estas oportunidades en la vida diaria [1,2].

El incremento en la esperanza de vida ofrece la posibilidad de encontrar desafíos y oportunidades que traten de incrementar el grado de participación social y de calidad de vida a lo largo de todo el ciclo vital [3]. Las personas mayores presentan una serie de necesidades específicas, las cuáles se desarrollarán en profundidad en la sección 2, y que incluyen la relevancia que tiene para ellos una conducta activa en lo que se refiere a su salud y bienestar [4]. La actividad intelectual ha sido un tópico relevante en la investigación científica sobre el envejecimiento activo y la estimulación cognitiva. De hecho, uno de los resultados encontrados en este estudio, tal y como ya se ha encontrado en la investigación previa, es que las personas mayores informan de que para ellos el preservar las funciones cognitivas es el requerimiento más necesario para poder llevar una vida independiente y para mantener la seguridad en sus hogares [5].

El proyecto HERMES se ha desarrollado para proveer asistencia y apoyo a las personas mayores sin deterioro, y su objetivo es reducir el declive cognitivo asociado a la edad y, de este modo,

reducir también la necesidad de cuidado. Se trata de dar ayuda para promocionar la autonomía e independencia de los usuarios.

En este proyecto se pueden distinguir cinco objetivos:

- a) *Facilitación de la memoria episódica:* en el deterioro cognitivo asociado a la edad, la memoria episódica puede mostrar algunos fallos, y se pueden perder algunos detalles de eventos pasados. HERMES será capaz de capturar información en audio y vídeo, incluyendo conversaciones, imágenes y la información que sucede en un determinado contexto.
- b) *Entrenamiento cognitivo:* varios estudios han probado que el entrenamiento cognitivo es eficaz a la hora de mantener y promocionar las habilidades cognitivas en las personas mayores. Los ejercicios cognitivos en HERMES están basados en material extraído de la propia vida diaria del usuario.
- c) *Recordatorio de actividades avanzado:* la memoria prospectiva es la habilidad para recordar cosas que deben hacerse en el futuro. HERMES provee recordatorios a través de pistas auditivas y visuales, que pueden usarse de forma conjunta o separada, de acuerdo con el contexto.
- d) *Apoyo en la conversación:* el deterioro en la memoria a corto plazo puede causar dificultades en la comunicación con otras personas. Este sistema analiza la conversación, graba los momentos importantes de la vida diaria y esa información se puede usar en el futuro para apoyar en el momento en el que el usuario está teniendo una conversación.
- e) *Apoyo en la movilidad:* HERMES está compuesto por dos componentes de hardware independientes, uno de ellos representado por un dispositivo móvil y el otro por un ordenador doméstico que da apoyo en la movilidad.

Tal y como se puede ver en los objetivos, un aspecto crucial del proyecto es que los materiales que dan contenido a las diferentes tareas y actividades de los juegos cognitivos serán tomados de la propia vida diaria del usuario.

HERMES utilizará tecnología persuasiva con el objetivo de desarrollar un sistema de asistencia que sea lo menos molesto posible. Para poder alcanzar estos cinco objetivos, el primer paso que se dio en el proyecto HERMES fue el de recoger cuáles eran las necesidades de las personas mayores en su vida

diaria, y cuáles eran sus preferencias sobre el uso y la apariencia de las nuevas tecnologías. El objetivo de este primer paso fue el de garantizar que el sistema final cubriera sus necesidades y que fuera utilizado por el grupo de usuarios al que va dirigido por su accesibilidad y por su facilidad de uso. Para cumplir este propósito, se ha administrado una extensa metodología de recolección de requerimientos, a un gran número de personas mayores en España, Grecia y Austria. Esta metodología estaba compuesta de cuestionarios, entrevistas, pruebas culturales, diarios, focus group y una evaluación de memoria tanto objetiva como subjetiva. En esta metodología se combinó la metodología cualitativa con la cuantitativa. Después de su administración, se extrajeron algunas conclusiones que ayudaron a establecer la base del sistema. Respecto a los juegos cognitivos las más importantes fueron las siguientes:

- Las personas mayores son reacias a cualquier tecnología que intente reducir su autonomía o minimizar sus esfuerzos cognitivos o funcionales porque esto podría significar hacerles dependientes [5]. Por esta razón HERMES utilizará entrenamiento cognitivo para reforzar su autonomía más que para hacerles dependientes de la tecnología. Los juegos cognitivos les ofrecerán trabajar con su información personal, en vez de darles recordatorios que no supongan hacer algún esfuerzo cognitivo.
- Las personas mayores aprecian y necesitan interacción con otras personas, por lo que HERMES debería suponer una manera de poder jugar entre diferentes personas y compartir información on-line. Esta recomendación no es aplicable para el primer juego pero será seguida en los próximos juegos que se desarrollen.
- En la evaluación de la memoria, se encontró que la memoria de trabajo era la capacidad que mostraba las puntuaciones más bajas. Esta capacidad está relacionada con los procesos auditivos inmediatos, lo que significa que la información que han de recordar inmediatamente después de su presentación es peor recordada que aquella información que tienen que recordar un tiempo después. Cualquier material debe permitir a las personas mayores tener el tiempo suficiente para procesar y elaborar la información que reciben, tal y como sugiere la mejor puntuación en la mayoría de los índices diferidos cuando se comparan con los inmediatos.
- En la evaluación mnésica, se encuentra que la peor ejecución se da en los procesos

atencionales. Por lo que cualquier tarea o material que se presente debe dar apoyo a dichos procesos.

En la segunda sección, se discutirán las características específicas de las personas mayores, prestando especial atención al envejecimiento cognitivo. En la tercera, se describe el desarrollo de los juegos cognitivos basados en el sistema HERMES. En el cuarto punto, se ilustra la implementación de la interfaz multi-touch desde una perspectiva tecnológica. Finalmente, la última sección está dirigida a las conclusiones y al trabajo que se desarrollará en el futuro.

2. Envejecimiento Cognitivo y sensoriomotor.

El envejecimiento produce cambios en el funcionamiento cognitivo, asociado con los cambios que se producen en el Sistema Nervioso Central y en las funciones sensoriomotoras [6]. En relación con el envejecimiento cognitivo, probablemente los cambios relacionados con la edad más conocidos son aquellos producidos en la memoria. El concepto general de memoria incluye la capacidad para almacenar, retener y posteriormente recuperar la información, es un sistema general que abarca diversos subsistemas a los que los efectos relacionados con la edad afectan de manera diferente. Teniendo en cuenta la organización temporal de la información, en investigación científica se ha utilizado con frecuencia la división entre memoria retrospectiva y prospectiva.

Comúnmente la memoria retrospectiva se divide en memoria semántica y episódica, teniendo en cuenta la información que será almacenada y recuperada. Existe una fuerte evidencia acerca de la conservación de la memoria semántica en el envejecimiento, esto significa, la conservación del conocimiento general adquirido a través del aprendizaje a lo largo de la vida [7]. En la dirección opuesta, la memoria episódica, que implica la memoria de acontecimientos que pueden ser indicados explícitamente en un determinado momento o lugar, declina con la edad [8].

Por otro lado, el concepto de memoria prospectiva va más allá de la idea tradicional de memoria. Se refiere a la capacidad de ser consciente de los planes anteriores y ejecutarlos en el momento y lugar adecuados [9]. Las investigaciones y revisiones recientes señalan la variabilidad del decline relacionado con la edad en la memoria prospectiva respecto a pruebas de ajuste y sub-dominios [10]. Utilizando meta-análisis Uttl en 2008 observó el declive significativo relacionado con la edad en a) la memoria prospectiva, la cuál implica, como se

mencionó más arriba, la conciencia de los planes previos, y también en b) la vigilancia, en la cuál los planes permanecen en la conciencia; las diferencias significativas no se encuentran en; c) memoria prospectiva habitual, en la cuál el plan es traído a la conciencia en repetidas ocasiones siempre que se presente la señal.

En escenarios naturales el decline relacionado con la edad es más débil que en situaciones de laboratorio, probablemente porque la información del contexto se encuentra disponible en las rutinas diarias [10]. Los adultos mayores pueden compensar el decline en el procesamiento utilizando la información disponible en el contexto de un modo más explícito y eficaz. Es común también el aumento del uso de ayudas externa como calendarios o agendas [5].

Acerca de las funciones sensoriales, en el envejecimiento normal se producen cambios en la visión, los cuáles incluyen reducción de la agudeza -disminuye la capacidad para ver bien-, se reduce el tamaño y agilidad de las pupilas -como resultado la respuesta a la luz es más lenta-, aumenta el espesor de las corneas -exigiendo mejores condiciones de iluminación- y también se reduce la sensibilidad de la retina [11]. Estos cambios en la visión relacionados con la edad hacen que sea dificultoso leer en las pantallas de ordenadores o televisión. En este sentido, la reducción en la sensibilidad al contraste -diferencias claro/oscuro- y la percepción al color son especialmente relevantes

Los adultos mayores son más lentos que los jóvenes realizando búsquedas visuales, lo cuál afecta a los resultados relacionados con el uso de la pantalla. El concepto de atención visual es el mecanismo por el cuál algunos elementos del campo visual son seleccionados mientras que otros son ignorados [12]. Los adultos mayores suelen mostrar un declive en la ejecución de tareas simples de búsquedas visual; en procesos más complejos de arriba-abajo la diferencia entre el tiempo de reacción y complejidad de los estímulos no es tan alta para los adultos mayores en comparación con los más jóvenes [13].

Aparte de la disminución en la velocidad y en la percepción, algunos de estos cambios en la atención están relacionados con el declive del procesamiento ejecutivo, incluyendo la capacidad de establecer objetivos claros y de inhibir la información irrelevante [14]. Utilizando técnicas meta-analíticas, los autores de este estudio observaron que el procesamiento ejecutivo no implica directamente el aumento de la carga computacional comparado con tareas simples, sino que añade pasos o etapas en la cadena de procesamiento. Para los adultos mayores el coste

de incrementar pasos es más alto, pero sólo para aquellas tareas que activan múltiples estímulos.

Con respecto a las funciones motrices, es bien sabido que estas habilidades declinan con la edad debido a cambios tanto en las capacidades osteomusculares como en el control cognitivo. Los adultos mayores realizan tareas complejas de forma más lenta y en algunos casos con menor precisión. Es decir, se llevan a cabo de un modo cualitativamente diferente y necesitan practicar más y reaprender algunas habilidades motoras como parte del entrenamiento en nuevas tareas [15]. Se encontraron diferencias significativas entre las habilidades motrices finas y gruesas, con pequeñas ganancias de las personas mayores en las tareas motrices finas.

Curiosamente la coordinación bimanual se mantiene en los adultos mayores comparados con adultos jóvenes, particularmente para movimientos simultáneos en espejo [16]. Los adultos mayores mantienen estos niveles de coordinación bimanual aumentando el acceso a los recursos atencionales.

3. Juegos cognitivos del sistema HERMES.

Los programas de estimulación cognitiva, juegos, puzzles, programas de ordenador, grupos de entrenamiento de memoria y juegos de entretenimiento en estas áreas están incrementando en las vidas diarias de las personas mayores. Todos ellos tienen la ventaja de que el juego en sí representa enganchar a los usuarios mayores desde un punto de vista cognitivo y social [17]. Para alcanzar un desarrollo exitoso de los juegos cognitivos de HERMES, se ha realizado un trabajo exhaustivo que incluye: a) una amplia revisión del estado del arte hecha para detectar: a1) información científica sobre el conocimiento en pedagogía, cognición, emoción y juego dentro del estudio de los juegos cognitivos; y a2) juegos comerciales disponibles y dirigidos, o al menos un parte de ellos, a las personas mayores; y también b) un estudio empírico de las preferencias de los potenciales usuarios mayores [5]¹.

Los juegos cognitivos deben estar basados en las teorías del “Aprendizaje sin Error”, y se debe adaptar el juego al nivel cognitivo de los usuarios. El Aprendizaje sin Error favorece la eliminación o reducción de respuestas incorrectas o inapropiadas cuando los usuarios están recibiendo entrenamiento en memoria, evitando así la frustración y la interferencia de los materiales que tienen que aprender [18]. El hecho de que se produzcan errores mientras se está aprendiendo nueva información episódica interfiere con la codificación de la información exacta, resultando en una ejecución mnésica disminuida tanto en personas

jóvenes como en mayores. Por el contrario, la eliminación de los errores durante el aprendizaje es una forma efectiva de mejorar las funciones mnésicas en los sujetos sin deterioro cognitivo en general, incluyendo a las personas mayores [19].

Los programas de rehabilitación cognitiva han experimentado un desarrollo importante [20], que ha concluido en su aplicación a personas mayores sin deterioro cognitivo. Sin embargo, esta clase de programas no están directamente dirigidos a su adaptación para la población de personas mayores sin deterioro cognitivo, ya que el objetivo de los juegos en ordenador con esta población es más de entretenimiento que terapéutico. En concreto, en el software de la rehabilitación cognitiva revisado no se encuentran sugerencias de cómo promover el “flow” en los jugadores mayores [17]. Una excepción en esta rehabilitación cognitiva serían aquellos programas que están dirigidos a la atención, como Cogmed Working Memory Training [21]. Esta clase de entrenamiento podría ser adaptada de forma exitosa a juegos en ordenador para personas mayores, manteniendo los objetivos de la estimulación, y el atractivo de los juegos clásicos de puzzles.

Por otro lado, los juegos comerciales que podrían estar dirigidos a los mayores – especialmente aquellos que entrenan el cerebro y los juegos de puzzle- tienen importantes déficits en cuanto a su accesibilidad y usabilidad. Algunos problemas comunes de los mayores cuando juegan con pequeñas plataformas portátiles son el tamaño de los estímulos y el contraste de los colores y también el uso de stylus en forma de lápices y demasiado pequeños. Adicionalmente, el empleo de los sonidos en los juegos de las plataformas portátiles no está bien adaptado a las capacidades sensoriales de las personas mayores. Estos parámetros se podrían utilizar exitosamente en plataformas domésticas, teniendo en cuenta los cambios debidos al desarrollo vital y a las experiencias acumuladas a lo largo del mismo.

Finalmente, las propias personas mayores han enfatizado que el apoyo al entrenamiento cognitivo es más que bienvenido, en el sentido de que incrementa su sentimiento de ser una persona activa e independiente, así como su control percibido [5]. La mayoría de las personas mayores están haciendo alguna forma de entrenamiento cognitivo –cursos de entrenamiento de memoria, crucigramas, puzzles, Sudoku, ajedrez, juegos de cartas, etc- y están interesados en la tecnología siempre que el hacer uso de ella no suponga reducir su autonomía ni minimizar su esfuerzo cognitivo.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el concepto de juego cognitivo de HERMES es:

1. Tener una base empírica basada en la investigación científica, especialmente

en los intereses y motivaciones que tienen las personas mayores en los juegos informatizados.

2. Que resulte fácil de utilizar, siendo a la vez simple, y que se haya diseñado teniendo en cuenta los cambios cognitivos que ocurren con la edad [22].
3. Promover el “flow” y la inmersión de los usuarios [23] a través de la concentración y de la sensación de control.
4. Fomentar la autonomía y el sentimiento de independencia a través de la estimulación de la memoria prospectiva, tratando directamente con eventos de la vida diaria.
5. Estimular la memoria prospectiva, usando citas de la vida diaria que previamente se han introducido en el sistema HERMES, como estímulos para los juegos cognitivos.
6. Estimular la atención visual y la coordinación bimanual.

El primer juego que se ha desarrollado ha sido el Laberinto HERMES (Figura 1). El objetivo de este juego es juntar las pistas de las citas (por ejemplo, visita con el doctor) con las pistas del tiempo (por ejemplo, a las 10:00 h.) desde dos puntos de partida diferentes en una lista de citas, que está dentro de un laberinto y sirve como punto de llegada. Los usuarios tiene que mover las “pistas” a través del laberinto, cada pista han de moverla con una mano (ver la figura 1). Si el usuario levanta una mano, la pista vuelve al punto de partida. En una variante de este juego, una tarjeta con la cita completa (incluyendo los detalles de tiempo, contenido, lugar y acompañante de la cita) aparece en un lado de la pantalla y el usuario tiene que llevarla hasta el Horario. Aunque el jugador pueda utilizar cualquier mano, el lado de la pantalla en el que aparece el estímulo determinará la mano utilizada para cada una de ellas. Considerando la lateralización (persona diestra o zurda), el hecho de pedirle que utilice una u otra mano puede utilizarse como un factor para incrementar la dificultad.

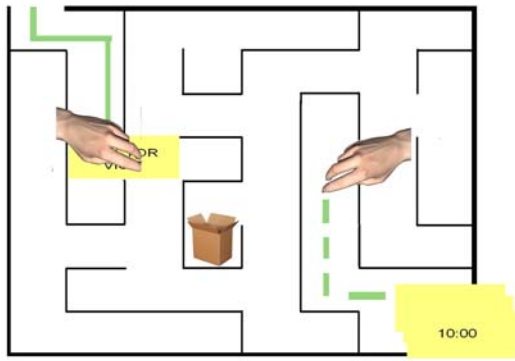


Figura 1: Juego del laberinto de HERMES

Este mismo juego se puede complicar con una especie de “demonio” u “ogro” que se acerca poco a poco desde el centro del laberinto hacia la cita. El usuario tiene que conducir al “Monstruo” lejos del laberinto arrastrándolo con la otra mano. El objetivo extra de este juego es trabajar la atención sostenida. En la figura 2 se puede ver una imagen que resume la idea de este juego.

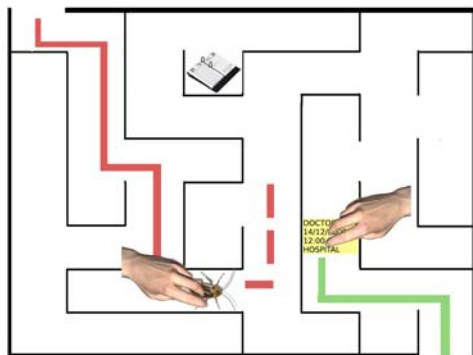


Figura 2: Juego del laberinto del “monstruo” de HERMES

4. Implementación técnica de la pantalla multi-touch screen.

Los juegos del sistema HERMES aprovechan sensores y otras tecnologías informáticas ubicuas para el desarrollo de aplicaciones de soporte cognitivo [24]. El sistema HERMES tiene en cuenta los requerimientos de las personas mayores en términos de ergonomía y facilidad de uso. Por lo tanto, HERMES remedia los típicos problemas de los interfaces, que provienen del hecho de que los interfaces convencionales tienen dos limitaciones principales para las personas mayores, que son los botones pequeños que además son duros de

presionar y las pantallas pequeñas en las que resulta difícil de leer. Específicamente, las aplicaciones de HERMES ofrecen nuevos interfaces ergonómicos, que proveen a los usuarios mayores confort, flexibilidad y una forma de interacción natural. En particular los interfaces de HERMES incluyen botones grandes y se implementan en superficies multi-touch, ofreciendo una experiencia de realidad mixta.

Se reconoce que las pantallas multi-touch y los interfaces relacionados son entornos motivadores para ejecutar el entrenamiento con juegos cognitivos (ver, por ejemplo, [17]). Dichos interfaces se sitúan dentro de la gama más amplia de superficies informáticas [25, 26], que gradualmente se está asociando con interfaces más ergonómicos y con una interacción *human-computer* más natural [27]. Para aprovechar la superficie multi-touch en juegos cognitivos del sistema HERMES, se evaluaron tres opciones viables, incluyendo:

1. Aprovechar los marcos disponibles para la informática multi-touch sobre la superficie (por ejemplo, <http://www.nuigroup.com/touchlib/>) y por consiguiente utilizarlo para construir los juegos de entrenamiento cognitivo. Esta opción implica usar APIs (disponibles como una parte de esos marcos) para aprovechar los eventos multi-touch y por consiguiente hacer que se adhieran a esas aplicaciones.
2. Conseguir la licencia y/o utilizar marcos Commercial-off-the-self (COTS) para informática multi-touch sobre la superficie. Esta opción implica conseguir la licencia de marcos comerciales para informática multi-touch sobre la superficie, que típicamente proveen más funcionalidad que los marcos con código abierto. El más popular de estos marcos es el producto Microsoft's Microsoft Surface, que representa el estado del arte en informática sobre la superficie. Éste provee funcionalidad multi-touch muy robusta, junto con la posibilidad de identificación de objetos (basada en etiquetas).
3. Construir un entorno de juegos desde el principio y aplicarlo a la pantalla de la superficie multi-touch. Tal desarrollo requiere bibliotecas para el rastreo de los dedos, así como middleware especializado en mapear eventos de bajo nivel desde el rastreo hasta eventos

de aplicaciones de alto nivel adecuadas para desarrollar juegos.

En el ámbito del proyecto HERMES se ha optado por la tercera opción, que provee control y flexibilidad máximas sobre el desarrollo de la plataforma de juegos cognitivos de HERMES. Además, esta opción ha permitido situarse en la vanguardia de la tecnología de seguimiento de dedos, que es provista por uno de los socios del proyecto (a saber AIT, ver figura 3).

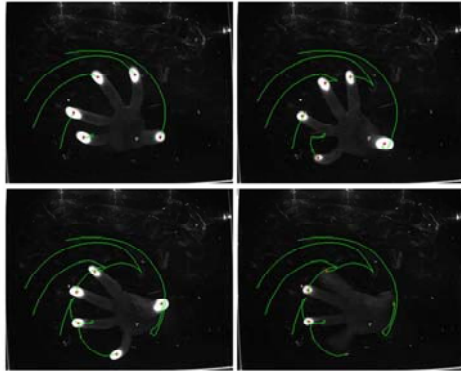


Figura 3: Rastreo de dedos

Concretamente, se ha diseñado una superficie multi-touch especial, que opera basándose en los movimientos de las yemas de los dedos, los cuáles son muy familiares para los humanos. Esta superficie aumenta la simplicidad de la interacción hace que las aplicaciones de apoyo a la memoria y los juegos de entrenamiento cognitivo sean atractivos para las personas mayores. Una superficie con potencial multi-touch también permite a los desarrolladores implementar juegos con requerimientos complejos.

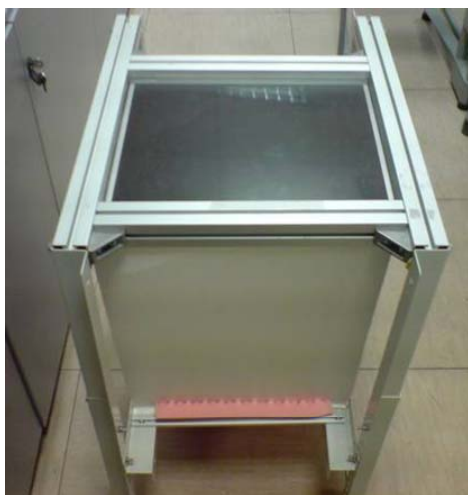


Figura 4: Tabla de la superficie multi-touch

Se ha diseñado una superficie que se pueda integrar en una mesa corriente (como se muestra en

la figura 4). Esto aumenta la calidad de la interacción del usuario con el dispositivo y las aplicaciones de apoyo cognitivo. Al mismo tiempo, es preferible a otros interfaces que requieren que los usuarios se familiaricen con varios dispositivos (por ejemplo, la combinación de un teclado, ratón y la pantalla de un ordenador), que normalmente resulta en confusión e implica una curva de aprendizaje exigente. La superficie interactiva implementada puede integrar dicho diseño en el mismo dispositivo físico. Debido a este requerimiento, se ha modificado un monitor de ordenador TFT para que funcione tanto como sistema de input como de output. Se han separado las capas de los monitores para que se pueda aprovechar la ventaja de la transparencia de los paneles TFT cuando están sometidos a iluminación infrarroja. En la figura 5 se representan los componentes de la pantalla interactiva.

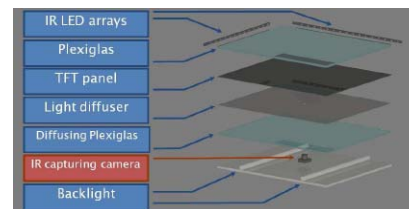


Figura 5: Componentes de una superficie multi-touch ergonómica

Se sitúa un panel acrílico en la parte superior del panel TFT, los bordes del cual están iluminados por cuatro rayos de diodos de emisión de luz infrarroja (rayos LED). Esto se debe a que el índice de refracción de la piel es mayor que el del aire. La posición de las manchas de intentan penetrar el panel TFT es capturada por la cámara USB a través de un filtro óptico Ultravioleta /Visual (UV/VIS) a 790nm. Las capturas de la cámara se integran en los algoritmos de rastreo visual. La descripción de estos algoritmos está fuera de los límites de este documento. Los lectores interesados pueden consultar esta a los autores Anagnostopoulos y Pnevmatikakis [28]. Es importante destacar también que la cantidad de iluminación IR emitida por las lámparas fluorescentes de TFT a menudo oculta las manchas de dedos. Para superar este problema, la luz de fondo se ha remplazado por LEDs cool-white cuya emisión de IR no cubre la intensidad de las manchas. Además, se han utilizado varias capas de luz difuminada para generar un fondo suave de iluminación para el panel de TFT. La superficie multi-touch está apoyada informáticamente por una workstation y por consiguiente puede llegar a estar directamente integrada con el resto de componentes del sistema HERMES.

5. Trabajo futuro.

El primer juego ya se ha desarrollado y el siguiente paso será el de testarlo con un número significativo de personas mayores representativas del grupo al que se dirige este proyecto. Actualmente, la definición del plan de evaluación ya se ha terminado. En esta fase de evaluación se valorarán algunos parámetros como la velocidad de la respuesta, la precisión y la eficacia de los movimientos. Pero también se tendrán en cuenta algunas variables subjetivas como satisfacción con el juego, "flow" y la experiencia de inmersión en él.

Este equipo de investigación está trabajando en paralelo en la definición de otros juegos que estimulen otras funciones cognitivas. Cuando termine esta fase, el feedback obtenido se tendrá en cuenta a la hora de implementar el resto de juegos.

Este proyecto ha sido aprobado por el Comité de Ética en Intervención Social de Matia/Hurkoa/Ingema. Además, en este proyecto se ha dedicado un paquete de trabajo especial que tiene el objetivo de asegurar la validez ética del proyecto así como que la privacidad del usuario es respetada a lo largo de todo el desarrollo del proyecto así como en las actividades de explotación.

6. Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto europeo HERMES (FP7-216709) [29], parcialmente financiado por la Comisión Europea dentro del 7th ICT Framework. Los autores quieren mostrar sus agradecimientos especialmente a CURE por el gran trabajo realizado en la colección de los requerimientos de usuario descrita en este documento.

7. Referencias.

- [1] D. C. Burdick, S. Kwon, *Gerotechnology: Research and practice in technology and aging*, Springer, New York 2004.
- [2] W. IJsselsteijn, H. H. Nap, Y. de Kort, K. Poels, "Digital game design for elderly users", presented at Future Play '07, Toronto, Canada, 2007.
- [3] U. Nations, *Second World Assembly on Ageing*, United Nations, Madrid 2002.
- [4] W. H. Organization, "Active aging. A policy framework", World Health Organization, Geneva 2002.
- [5] C. Buiza, M. F. Gonzalez, A. Etxaniz, E. Urdaneta, J. Yanguas, A. Geven, N. Höller, M. Tscheligi, "Technology Support for Cognitive Decline and Independent Living - Presenting the HERMES Project", presented at Gerontological Society of America Conference, Washington D.C., 2008.
- [6] K. Z. H. Li, U. Lindenberger, "Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions", *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2002, 26, 777.
- [7] P. Verhaeghen, "Aging and vocabulary scores: A meta-analysis", *Psychology and Aging* 2003, 18, 332.
- [8] P. Verhaeghen, A. Marcoen, "Memory aging as a general phenomenon: episodic recall of older adults is a function of episodic recall of young adults", *Psychology and Aging* 1993, 8, 380.
- [9] F. I. M. Craik, "Age-related changes in human memory", in *Cognitive aging*, (Eds: D. C. Park, N. Schwartz), Psychology Press, Philadelphia 2000, 75.
- [10] B. Uttl, "Transparent meta-analysis of prospective memory and aging", *PLoS One* 2008, 3, e1568.
- [11] E. S. Segal, "Common medical problems in geriatric patients", in *The practical handbook of clinical gerontology*, (Eds: L. L. Carstensen, B. A. Edelstein, L. Dornbrand), Sage, London 1996, 451.
- [12] C. S. Green, D. Bavelier, "The cognitive neuroscience of video games", in *Digital media: Transformation in human communication*, (Eds: P. Messaris, L. Humphreys), Peter Lang Publishing, New York 2004, 211.
- [13] D. J. Madden, "Aging and visual attention", *Curr Dir Psychol Sci* 2007, 16, 70.
- [14] P. Verhaeghen, J. Cerella, "Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2002, 26, 849.
- [15] C. Voelcker-Rehage, "Motor-skill learning in older adults - a review of studies on age-related differences", *European Review of Aging and Physical Activity* 2008, 5, 5.
- [16] T. D. Lee, L. R. Wishart, J. E. Murdoch, "Aging, attention, and bimanual coordination", *Canadian Journal on Aging* 2002, 21, 549.
- [17] L. Gamberini, M. Alcaniz, G. Barresi, M. Fabregat, F. Ibanez, L. Prontu, "Cognition, technology and games for the elderly: An introduction to ELDERGAMES project" *PsychNology Journal* 2006, 4, 285.
- [18] E. Grandmaison, M. Simard, "A critical review of Memory Stimulation programs in Alzheimer's Disease", *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience* 2003, 15, 130.
- [19] R. P. C. Kessels, E. H. F. De Haan, "Mnemonic strategies in older people: a comparison of errorless and errorful learning", *Age and Ageing* 2003, 32, 529.
- [20] C. Buiza, M. F. González, J. J. Yanguas, "Programas de psicoestimulación en demencias", in *Psicogerontología aplicada: Evaluación e intervención psicológica en contextos de mayores*, (Ed: R. Fernández-Ballesteros), Pirámide, Madrid 2008, in press.
- [21] H. Westerberg, H. Jacobaeus, T. Hirvikoski, P. Clevberger, M. L. Östensson, A. Bartfai, T. Klingberg, "Computerized working memory training after stroke-A pilot study", *Brain Injury* 2007, 21, 21.
- [22] W. IJsselsteijn, Y. de Kort, K. Poels, A. Jurgelionis, F. Bellotti, "Characterising and measuring user experiences in digital games", presented at ACE Conference '07, Salzburg, Austria, 2007.

- [23] P. Sweetser, P. Wyeth, "GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games", ACM Computers in Entertainment 2005, 3, 3A.
- [24] V. Mylonakis, J. Soldatos, A. Pnevmatikakis, L. Polymenakos, A. Sorin, H. Aronowitz, "Using Robust Audio and Video Processing Technologies to Alleviate the Elderly Cognitive Decline", presented at 1st International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Athens, Greece, 2008.
- [25] T. Moscovich, J. F. Hughes, "Indirect mappings of multi-touch input using one and two hands", presented at 26th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, Italy, 2008.
- [26] R. Murray-Smith, J. Williamson, S. Hughes, T. Quaade, "Stane: synthesized surfaces for tactile input", presented at 26th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, Italy.
- [27] P. O. Kristensson, O. Arnell, A. Björk, N. Dahlbäck, J. Pennerup, E. Prytz, J. Wikman, N. Åström, "InfoTouch: an explorative multi-touch information visualization interface for tagged photo collections." presented at 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI '08), 2008.
- [28] A. Anagnostopoulos, A. Pnevmatikakis, "A realtime mixed reality system for seamless interaction between real and virtual objects", presented at Digital Interactive Media in Arts and Entertainment (DIMEA 2008), Athens, Greece, 2008.
- [29] HERMES EU FP7 Specific Targeted Research Project <http://www.fp7-hermes.eu>.

Soporte de Servicios de Teleasistencia en Redes de Nueva Generación con Tecnología IMS

P.A. Moreno, M.E. Hernando, E.J. Gómez

*Grupo de Bioingeniería y Telemedicina (GBT)-Universidad Politécnica de Madrid
Centro de Investigación Biomédica en Red – Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina
(CIBER-BBN)*

[pmoreno, elena, egomez]@gbt.tfo.upm.es

Resumen

Debido al cambio que están experimentando los servicios de teleasistencia para cubrir las demandas de un nuevo escenario socio-sanitario se propone la utilización de la tecnología IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS haciendo uso del protocolo utilizado en internet IP proporciona una serie de servicios comunes que pueden ser reutilizados en distintas aplicaciones y gracias a la convergencia de redes y servicios que soporta, se puede ofrecer una misma aplicación en cualquier dispositivo, lugar y momento. En este trabajo se

escoge un conjunto de servicios de Inteligencia Ambiental, como representantes de servicios de teleasistencia, y se propone una teórica implementación de estos servicios mediante los servicios genéricos (enablers) que proporciona IMS. De esta manera se quiere mostrar los beneficios que puede aportar IMS para la implementación robusta y rápida de servicios de teleasistencia.

1. Introducción

Actualmente la población mundial está sufriendo un cambio demográfico debido al envejecimiento progresivo de la población. Según un estudio de la ONU [1], en el año 2050 el porcentaje de mayores (personas mayores de 65 años) superará al de niños de 0-14 años, llegando a 2 mayores por niño en los países desarrollados. Además los avances médicos y técnicos están convirtiendo en crónicas las enfermedades que anteriormente eran de elevada mortandad. Estos dos factores, incluyendo la tendencia de los gobiernos hacia la inclusión de personas con discapacidad, promoviendo su autonomía personal, están provocando una demanda de una serie de servicios de asistencia socio-sanitaria. Tales servicios socio-sanitarios están evolucionando en su escenario de gestión de cuidados, trasladándose a las mismas personas afectadas y sus familias; mientras que en el escenario de aplicación se trasladan desde centros de atención especializada a centros de atención primaria y social, o incluso al propio domicilio.

Actualmente la implantación de estos servicios es inviable, debido a dos factores: por un lado el modelo clínico se centra en la gestión de patologías agudas y no en su prevención (seguimiento de patologías crónicas); por otro lado el modelo de atención a ancianos y dependientes actualmente está basado en el cuidado por parte de la familia del paciente, sufriendo un cambio en su modelo por la evolución actual de la estructura familiar (inclusión de la mujer en el mercado laboral, familias monoparentales, etc). Así, aparece una situación propicia para la teleasistencia, definida como un servicio técnico de naturaleza social y/o sanitaria, que permite a las personas usuarias entrar en contacto, a través de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), con un centro de atención atendido por personal cualificado preparado para dar una respuesta adecuada a posibles situaciones de emergencia o necesidad, movilizándolo los recursos pertinentes.

En la actualidad las TICs se están empleando para soportar una amplia variedad de modelos de cuidados personales en la vida cotidiana, aparte de la teleasistencia, como por ejemplo: *hospital a domicilio, telemonitorización domiciliaria, rehabilitación domiciliaria, gestión de la enfermedad, vida independiente saludable*, etc.

En el marco tecnológico de las TIC, actualmente hay una tendencia hacia los servicios basados en la tecnología de Internet (protocolo IP), que permite que éstos sean invocados de manera ubicua y transparente al usuario utilizando la red IP como mera red de transportes. Las redes de nueva generación basan su arquitectura en redes IP, que permiten implementar servicios de valor añadido

en la propia red; siendo IMS una arquitectura basada en los principios de estas redes.

Nuestro objetivo en este trabajo es hacer una propuesta de cómo a través de servicios que nos proporciona IMS se pueden reforzar y construir servicios de teleasistencia.

2. Estado del arte.

2.1. De la teleasistencia hacia la Inteligencia Ambiental.

La evolución en las aplicaciones de teleasistencia se puede clasificar en tres generaciones:

- *1º Generación. Panic-button:* sistema que mediante una pulsación por parte del paciente genera una alarma que se envía a un centro de coordinación de emergencias.
- *2º Generación. Seguridad pasiva y movilidad:* detección de accidentes y situaciones de emergencia en el hogar mediante la monitorización de parámetros de la persona.
- *3º Generación. Detección, prevención y continuidad del servicio:* sistemas de apoyo a la vida independiente mediante la creación de entornos inteligentes que previenen situaciones de riesgo anticipándose a la ocurrencia de las mismas. Estos sistemas se enmarcan en el concepto de Inteligencia Ambiental (Ambient Intelligence AmI) que define un entorno físico en el que la tecnología se adapta al contexto y necesidades de la persona de manera invisible, procesando y gestionando acciones simples del individuo.

2.2. Redes de Nueva Generación.

En la actualidad debido a factores como la globalización o los nuevos patrones de interacción social, se está produciendo un cambio en el comportamiento del usuario en cuanto a la utilización de los servicios, demandándose comodidad, facilidad de uso, fiabilidad, seguridad y soporte suficiente para tener siempre la mejor conexión. El éxito radica en proveer una multitud de nuevos servicios que estén disponibles para un acceso fijo y móvil, y que sean una combinación de servicios de televisión, telefonía e internet. El protocolo Internet (Internet Protocol - IP) posibilita la existencia de estos servicios, y a través de una

interfaz de usuario común el mismo servicio puede estar soportado en un acceso tanto fijo como móvil.

El nuevo escenario que surge es una convergencia en distintos niveles. A nivel de servicios, se ofrecen multitud de servicios a un mismo usuario sobre diferentes accesos y dispositivos. A nivel de dispositivos, un mismo dispositivo soporta varios tipos de acceso a la vez que múltiples aplicaciones. Y a nivel de red, se proporcionan diferentes servicios de usuario para una misma red, con calidad de servicio (QoS), sobre varios tipos de acceso.

Las redes de nueva generación (Next Generation Networks - NGN) son redes de paquetes capaces de proporcionar servicios utilizando múltiples tecnologías de transporte de banda ancha que garantizan una QoS, y en las cuáles las funciones relacionadas con el servicio son independientes de la capa inferior de tecnologías de transporte.

Las NGN permiten utilizar diferentes tecnologías de acceso en diferentes lugares, aunque el usuario y/o el terminal puedan estar en movimiento. Ofrece a los usuarios poder utilizar y gestionar coherentemente sus aplicaciones/servicios de usuario al atravesar fronteras que separan redes de distinta tecnología.

Actualmente se está produciendo una evolución de las redes actuales (PSTN, ISDN, FR, ATM, IPv4, redes móviles, etc) hacia las NGN. Dicha evolución supone una sustitución o actualización hacia los correspondientes componentes NGN, que proporcionan una funcionalidad similar e incluso mejor mientras se mantienen los servicios de la red original.

La convergencia que ofrecen las NGN permite nuevos modelos de servicio, como por ejemplo, entornos colaborativos de servicios de comunicación interactiva para aplicaciones tales como comercio electrónico, telesalud, teleeducación (e-learning), etc. El soporte de esta gran variedad de servicios, en particular servicios multimedia, es una de las características fundamentales de la NGN.

2.3. Subsistema Multimedia IP (IMS)

La tecnología IMS (*IP Multimedia Subsystem*), estandarizada por la ETSI y TISPAN [2], se ha convertido en una implementación de la filosofía de las NGN, ya que es una arquitectura funcional de red, basada en IP, que facilita la creación y desarrollo de servicios multimedia, a la vez que proporciona un soporte de interoperabilidad y convergencia a nivel de red.

IMS promueve un acceso a servicios multimedia interactivos y personalizados, disponibles en cualquier dispositivo y en cualquier lugar. Así, IMS tiene como objetivo converger el mundo de Internet con el de las comunicaciones móviles a fin de enriquecer las comunicaciones multimedia.

Además posibilita una convergencia real y una interoperabilidad a nivel de servicio, control y conectividad. La horizontalidad de su arquitectura proporciona un conjunto de funciones comunes llamados *service enablers* que pueden ser utilizados por varios servicios independientemente del terminal y de la red de acceso. Esto hace que la implementación de los servicios sea más rápida y sencilla, y que la interacción entre dichos servicios sea más estrecha. Lo que supone un progreso apreciable respecto a las arquitecturas tradicionales ya que la implementación de los servicios se realizaba de manera vertical como denota la Figura 1.

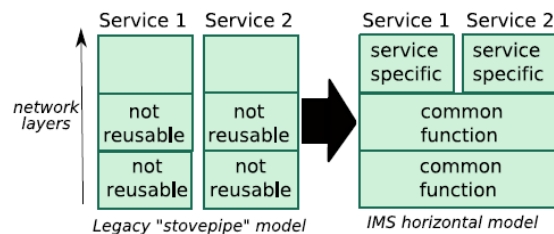


Figura 2: Integración de Servicios Horizontal VS Vertical

Por ello IMS es una solución para que las redes de telecomunicación dejen de ser simples “tuberías de bits”, permitiéndole jugar un papel central en el despliegue de servicios, y combinar atractivos servicios en un acceso básico. Además IMS debe soportar la creación y despliegue de servicios por parte de terceros operadores, y la integración de aplicaciones en tiempo real y no real en una misma sesión.

Otra de las ventajas que presenta, es la gestión de la red de acceso ya que dependiendo de los servicios que se estén solicitando, la red proporcionará el acceso apropiado. También proveerá mecanismos de autenticación única, es decir, una vez se autentique el usuario podrá acceder a cuantos servicios le ofrezca la red.

3. Métodos

En este trabajo proponemos cómo los servicios de teleasistencia pueden ser reforzados y/o desarrollados beneficiándose de la combinación de las distintas funciones comunes (*enablers*) que nos ofrece IMS. Utilizando su versatilidad,

interoperabilidad y reutilización crearemos una base tecnológica a partir de la cual se pueden implementar las aplicaciones de teleasistencia que se expondrán como ejemplo.

El criterio que utilizaremos para realizar la integración de *enablers* en los servicios de teleasistencia propuestos, será escoger aquellos componentes comunes que proporcionen beneficios a las funcionalidades requeridas por dichos servicios.

Por tanto para realizar esta tarea de “mapeado”, expondremos el conjunto de *enablers* que utilizaremos, así como los servicios de teleasistencia propuestos como ejemplo para mostrar las ventajas que aporta la utilidad de las funciones comunes de IMS.

3.1. Servicios Enablers

La evolución que ha supuesto IMS en el dominio de los servicios de usuario podemos apreciarla en la Figura 2, partiendo de las redes de conmutación de circuitos en las que únicamente se ofrecían servicios de voz usuario-a-usuario, a medida que se han ido cumpliendo requisitos de ancho de banda, se han pasado a las redes de paquetes que incluyen servicios de usuario-a-servidor. Finalmente podemos contar con una serie de servicios que se pueden clasificar en servicios multiusuario, servicios usuario-a-usuario, y servicios servidor-a-usuario.

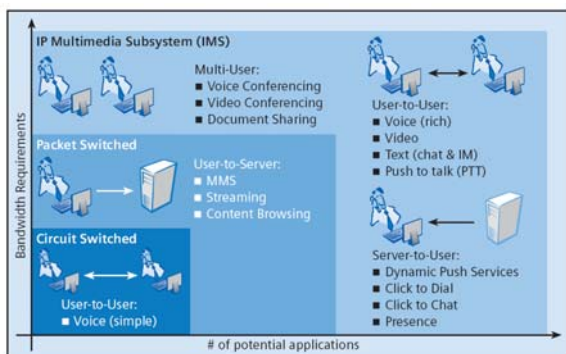


Figura 2: Servicios Habilitados en cada dominio de red

IMS puede controlar las sesiones multimedia que se establecen entre dos entidades (usuario, servidor, etc), haciendo posible varias configuraciones de servicios en relación a las sesiones. Dichas configuraciones son:

- *Múltiples servicios-Sesión simple*: entendido como un control dinámico de medios donde el usuario puede alterar su tipo (audio, video, mensajería) en el

transcurso de una sesión. Este tipo de sesiones permite la convergencia tanto de servicios en tiempo real, como en tiempo diferido.

- *Sincronización de servicio-Múltiples sesiones*: hace referencia a servicios que pueden provocar la ejecución en diferentes sesiones de otros servicios relacionados. Este tipo de servicios son similares a una experiencia web de usuario, de tal manera que están intuitivamente unidos y ofrecen transparencia y facilidad de uso al usuario.
- *Servicios no relacionados-Múltiples sesiones*: El usuario tiene varios servicios ejecutándose en paralelo en sesiones independientes. Es similar a una experiencia-web donde el usuario tiene un número activo de ventanas ejecutándose en paralelo.

Estos servicios mencionados son las funciones comunes, conocidas como *enablers*, que proporciona la arquitectura IMS, y que se integran fácilmente para formar aplicaciones.

Los *enablers* identificados de la bibliografía [3] [4] servirán para mostrar los servicios de teleasistencia compuestos mediante IMS. Son los siguientes:

- *Push-to-talk (PTT)*: Utiliza la característica de conexión continua (always-on) que proporciona IMS. Los usuarios pueden realizar llamadas individuales o a grupos con sólo pulsar un botón. PTT es un medio semi-duplex en el que sólo puede hablar una sola parte mientras las otras escuchan.
- *Enhanced Call Line*: Este servicio ofrece a los usuarios una variedad de “tarjetas de llamada” identificativas (*calling cards*) que se muestran en el terminal del usuario receptor. Se pueden particularizar dependiendo del usuario que va a recibir la llamada.
- *Instant Messaging*: Posibilita a los usuarios el establecimiento de sesiones de comunicación a través de elementos de texto en tiempo real.
- *Mediashare*: Por el cual, en el transcurso de una comunicación, ya sea audiovisual, texto, etc. se pueden compartir elementos multimedia entre los distintos participantes.
- *Multimedia Conferencing*: Ofrece un escenario de conferencia entre dos o más usuarios, en el cual el medio de transmisión es multimedia (audio, video, voz, etc)
- *Reservation & Scheduling*: Donde se pueden reservar un número determinado de recursos para una conferencia a través una

reserva dedicada y programada en un servidor.

- *Conference Control & Monitoring*: Permite monitorizar y controlar los parámetros de una conferencia. Es decir, entre los participantes se podrán ver sus características y datos públicos, y gestionar las actividades que está realizando cada participante dentro de la conferencia.
- *Document Sharing & WhiteBoard Facility*: Permite a los participantes en una conferencia compartir y manipular ficheros (presentaciones Powerpoint, ficheros Word, etc.). Además, los usuarios pueden disponer de una pizarra virtual en la que poder exponer sus ideas y comentarios.
- *Group Chat*: Enriquece la comunicación en tiempo real basada en elementos de texto (*Instant Messaging*) soportando la participación de 3 o más usuarios.
- *Click to Dial*: Elimina el elemento de marcación, posibilitando mediante un “click” que la red IMS negocie automáticamente y establezca una sesión entre el usuario que “clickeó” y los participantes designados.
- *Dynamic Push Service*: Posibilita a los usuarios recibir, sin petición previa, información de utilidad en base a un conjunto de factores personales tales como la situación geográfica, dispositivo utilizado, disponibilidad y preferencias en cuanto a contenidos.
- *Location*: Ofrece información sobre la localización física del usuario en la red. Este *enabler* comprueba periódicamente la localización de la entidad
- *Presence*: Ofrece al resto de los participantes en una aplicación el estado de disponibilidad de un usuario. Pueden existir tantos estados como se definan, pudiéndose particularizar para la aplicación en cuestión
- *Group Management*: Por el cual se pueden clasificar los distintos contactos que tenga un usuario en distintos grupos, y dirigir servicios o aplicaciones a todos los integrantes de dicho grupo.
- *Gaming*: IMS puede proveer la QoS, velocidad, y acceso necesario para ofrecer un adecuado entorno para el desarrollo de juegos interactivos.

3.2. Servicios de Teleasistencia para la Salud y el Bienestar.

Los servicios que hacen uso de las TICs para promover la salud y el bienestar son servicios que se pueden englobar en el concepto de inteligencia ambiental. Tomando al usuario como centro-receptor de los servicios, podemos hacer una clasificación de los escenarios, propuesta en el programa *Ambient Assisted Living (AAL)* [5], en los que situar los servicios y que se muestra en la siguiente figura:

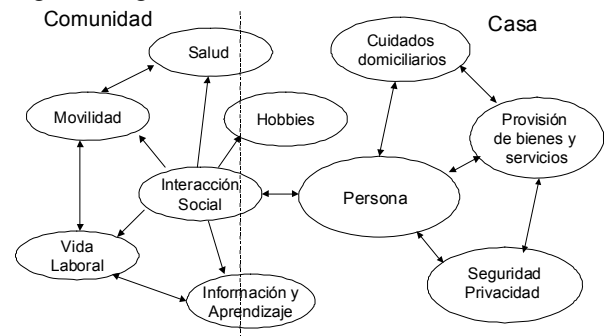


Figura 3: Espacio de aplicaciones de AAL

En el proyecto AmIVital, subvencionado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) [6], se ofrece una clasificación de servicios AmI que se sitúan en los distintos escenarios de aplicación de AAL, y de entre los que podemos destacar los siguientes servicios de teleasistencia:

- Sistemas de teleconsulta médica a domicilio.
- Sistemas de prevención y promoción de cuidados para pacientes.
- Sistemas de comunicación sobre problemas de salud.
- Sistemas de soporte, ayuda y formación al cuidador domiciliario.
- Asistencia y soporte de terapias.
- Programas de formación a colectivos de riesgo (mayores, dependientes, enfermos crónicos, etc).
- Provisión de información de interés al usuario (condiciones externas, estado de las carreteras, etc.).
- Servicios para la integración social en el ámbito local.
- Provisión de juegos on-line de carácter terapéutico, formativo y lúdico.
- Sistemas de realización de trabajo colaborativo

Hemos realizado esta elección de servicios en base a la definición del concepto teleasistencia, en el cual los pacientes pueden establecer una comunicación con un centro de atención

especializado para un fin de asistencia socio-sanitario determinado.

4. Resultados

En este apartado se muestra la relación entre los *enablers* proporcionados por la tecnología IMS, y los servicios de teleasistencia señalados anteriormente. Se justifica cómo dichos *enablers* actúan de soporte para la creación de los servicios de teleasistencia, y mejora de sus prestaciones.

Es muy importante señalar que dada la capacidad de convergencia fijo-móvil que ofrece IMS, todos los servicios de teleasistencia propuestos a construir mediante *enablers* podrán ser soportados en cualquier dispositivo (PC, móvil, TV, PDA, etc.)

Los servicios escogidos se describen a continuación:

- **Sistemas de teleconsulta médica a domicilio:** Sistema que permite realizar una teleconsulta entre el paciente y el personal socio-sanitario. IMS proporciona para este servicio la seguridad y fiabilidad en su transmisión de datos, crucial para compartición de datos médicos. Debido al carácter ubicuo y multidispositivo que permite IMS, se podrá establecer la teleconsulta en entornos fuera del domicilio, lo que convierte a IMS en una tecnología apropiada para la gestión y atención de situaciones y comunicaciones de emergencia. Debe promoverse la comunicación audiovisual entre el personal socio-sanitario y el paciente, ya que otros tipos de comunicación (texto, voz, etc.) pueden provocar rechazo en ciertos colectivos (personas mayores) debido a su “impersonalidad”. Los *enablers* a utilizar son:
 - *Enhanced Call Line:* pueden particularizarse la identificación que aparecen en el momento de realizar una llamada, incluyendo datos relativos al paciente o al personal socio-sanitario, motivo de la consulta, historial de citas relativas a esa consulta, etc
 - *Reservation & Scheduling:* esencial para la gestión y programación de citas, asegurando recursos para que la comunicación entre paciente y personal socio-sanitario sea fiable y segura.
 - *Presence:* que muestre la disponibilidad de los usuarios que participan en la teleconsulta. De esta

manera, por ejemplo, un paciente sabrá si su médico está disponible o no, para poder establecer su consulta.

- *Multimedia Conferencing, Conference Control & Monitoring:* para el establecimiento, control de una videoconferencia y monitorización de las actividades de los pacientes.
- *Mediashare:* compartición de elementos multimedia, principalmente imágenes y vídeos. Es muy importante asegurar la confidencialidad de tales contenidos.
- **Prevención y promoción de cuidados para los pacientes:** Servicios ofrecidos a través de canales formativos o portales donde se proveen de contenidos de prevención de enfermedades, y promoción de cuidados para enfermos crónicos, personas mayores, dependientes etc. Los *enablers* que se pueden utilizar para estos servicios son:
 - *Dynamic Push Service:* que proporciona la información de utilidad a colectivos de pacientes.
 - *Presence y Location:* que condiciona el envío de contenidos al paciente dependiendo de su disponibilidad y su localización geográfica.
 - *Group Management:* posibilidad de que un usuario pueda estar en distintos grupos recibiendo los contenidos asignados para cada uno de ellos.
 - *Mediashare:* Los usuarios podrán compartir contenidos multimedia con el objetivo de prevención y promoción.
 - *Push-to-Talk:* Posibilidad de ofrecer los contenidos de prevención y promoción a través de la voz, ya que es un medio más accesible para el colectivo de personas mayores.
 - *Multimedia Conference, Conference Control & Monitoring:* dentro del canal o portal formativo se puede incluir la opción de mantener una conferencia entre los usuarios. Así, se fomentará la participación de los pacientes en el tratamiento de su condición y la compartición de contenidos entre ellos.
 - *Instant Messaging y Chat Room:* canal alternativo de comunicación multiusuario basado en texto para fomentar la participación entre los pacientes que consideren “intrusiva” la comunicación audiovisual.

- *Document Sharing & WhiteBoard:* soporte de compartición de documentos y pizarra virtual para los distintos medios de comunicación (chat, videoconferencia, etc) donde compartir ideas o contenidos relacionados con la patología entre los participantes.
- *Reservation & Scheduling:* donde los usuarios podrán reservar eventos virtuales en los que establecer una comunicación, compartir contenidos, etc.
- ***Programas de formación a colectivos de riesgo:*** Este servicio se basa en canales o portales formativos en los que se proveen contenidos dirigidos a colectivos de riesgo como ancianos, enfermos crónicos, mujeres víctimas de violencia de género, inmigrantes, dependientes, etc. Dependiendo del colectivo al que vaya dirigido, la formación se particularizarán sus contenidos. Como vemos el servicio es similar a los “sistemas de prevención y promoción de cuidados de pacientes” con la diferencia de los contenidos. Por tanto los *enablers* que se pueden utilizar son los mismos que en el servicio anterior, enfocándolos a la información a proveer. Otro *enabler* que se podría utilizar, por su carácter de aprendizaje, interactividad y capacidad formativa es el *gaming*, con el que varios usuarios podrán participar en juegos que faciliten la comprensión de contenidos.
- ***Provisión de información de interés al usuario:*** En estos servicios se incluyen a parte de los colectivos mencionados hasta ahora (ancianos, enfermos crónicos, mujeres víctimas de violencia de género, inmigrantes, dependientes), a toda la población en general. Cada usuario del servicio podrá elegir según sus preferencias, necesidades y gustos, los temas sobre los que sería convenientemente informado. A parte de ser un servicio de provisión de contenidos se debe hacer hincapié en la opción de comunicación entre distintos usuarios del servicio para reforzar los canales de información, por lo que se utilizarán los mismos *enablers* que el servicio de “sistemas de prevención y promoción de cuidados para los pacientes”.
- ***Sistemas de comunicación sobre problemas de salud:*** Servicio destinado a

colectivos propensos a sufrir enfermedades como personas mayores y enfermos crónicos. Está orientado a proveer contenidos sobre problemas de salud, como enfermedades, problemas comunes asociados, y tratamientos. Los contenidos podrían estar dirigidos a una patología en concreto, por lo que la filosofía de asignación de *enablers* seguiría siendo la de provisión de contenidos de manera similar a los servicios hasta ahora mencionados. Sin embargo, algunos de los *enablers* presentarían ciertas particularidades que describimos a continuación:

- *Group Management:* Debido a las diversas patologías existentes, y a la comorbilidad existente (varias enfermedades presente en un mismo usuario), permite particularizar la información de una determinada patología a sus pacientes. En aquellos escenarios en los que sea importante reforzar la interacción entre usuarios ya que el intercambio de experiencias es muy favorecedor para el progreso y aumento en la calidad de vida de los pacientes. Por lo que se deben utilizar aquellos *enablers* que fomenten la comunicación (*Multimedia Conferencing, Conference Control & monitoring, Document Sharing & WhiteBoard Facility, Instant Messaging, Group Chat*)
- ***Sistemas de soporte, ayuda y formación al cuidador domiciliario:*** Servicios orientados a cuidadores no especializados de personas con algún grado de dependencia, con el fin de aliviar la carga asociada a este cuidado; ya sea mediante ayuda psicológica, consejos, o proporcionándole información acerca de la enfermedad y los cuidados que necesita el paciente. A parte del acceso a contenidos dirigidos al cuidador; se debe tener en cuenta que éste establezca sesiones de comunicación con personal capacitado. Así, debemos contemplar medios de comunicación tanto audiovisuales como otros formatos (texto, voz). Por ello se incluirán aquellos *enablers* que participaban en los servicios dedicados a la provisión de contenidos como “sistemas de prevención y promoción de

cuidados para los pacientes”; y aquellos dedicados a servicios donde primaba la comunicación entre los usuarios por encima del acceso a contenidos como los “sistemas de teleconsulta médica a domicilio”

- **Asistencia y soporte en terapias:** Pretende ser un servicio que agrupe el seguimiento y apoyo de todas las fases que tiene una terapia, desde su prescripción hasta la consecución de objetivos y finalización. Los campos en los que se aplicarán estas terapias irán desde rehabilitación funcional y cognitiva, terapia antitabaco y otras adicciones, hasta terapia contra obesidad, seguimiento de enfermedades crónicas, etc. Pueden existir varias formas de ofrecer soporte a terapias con los servicios que ofrece IMS. Por una parte está el acceso a contenidos relacionados con la terapia a seguir y particularizados para cada uno de sus pacientes. Y por otra, está la opción de monitorizar los ejercicios a seguir en la terapia mediante por ejemplo, un servicio de videoconferencia para rehabilitación funcional, o mediante exploración de los resultados obtenidos en la terapia de manera síncrona o asíncrona. En ambos escenarios los *enablers* que proporciona IMS tienen aplicación, ofreciendo por ejemplo, un módulo de conferencia con compartición de archivos y pizarra virtual (*Multimedia Conferencing, Conference Control & monitoring, Document Sharing & WhiteBoard Facility*), o facilitando el acceso a contenidos (ejercicios de rehabilitación, experiencias, opiniones de los usuarios, etc) mediante los canales adecuados (*Mediashare, Dynamic Push Service, Location, Presence, etc.*). Es importante señalar, al igual que hacíamos con los servicios de “Programas de formación a colectivos de riesgo” que el *enabler gaming* proporciona una herramienta eficiente para conseguir los objetivos propios de una terapia.
- **Provisión de juegos on-line de carácter terapéutico, formativo y lúdico:** Independientemente del carácter, temática u objetivo del juego en cuestión, la arquitectura IMS puede ofrecer además de su *enabler gaming*, otra serie de *enablers* que aporta al juego una herramienta de comunicación entre usuarios (*Multimedia Conferencing, Conference Control &*

monitoring, Document Sharing & WhiteBoard Facility, Instant Messaging, Group Chat). De tal manera que se aumente la interacción entre los jugadores, fomentando su involucración y participación.

- **Sistemas de trabajo colaborativo:** Servicio que facilita el desarrollo de sistemas que permiten la cooperación entre individuos, independientemente de su ubicación y lugar de trabajo; facilitando además la comunicación, y eliminando las barreras entre ellos. Esta definición se adapta perfectamente a las características de IMS ya que sus *enablers* de *Mediashare, Multimedia Conferencing, Document Sharing, Group Chat* y *Group Management* fomentan la participación de los diferentes usuarios en un escenario común, compartiendo contenidos.
- **Servicios para la integración social en el ámbito local:** Servicio que fomenta la comunicación, contacto y participación de los usuarios en su comunidad, mediante el envío de información sobre eventos, foros de discusión, jornadas virtuales temáticas, etc. Al igual que ocurría en el servicio de “Soporte y Ayuda a las terapias”, este servicio puede constar de una parte de acceso a contenidos donde prevalecerían los *enablers Mediashare, Dynamic Push Service, Location, Presence, etc.*; y otra parte de comunicación donde actuarían los *enablers: Multimedia Conferencing, Conference Control & monitoring, Document Sharing & WhiteBoard Facility*. Debemos hacer hincapié en la inclusión del *enabler gaming* debido a su potencial carácter integrador.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado una revisión de la tecnología IMS, situándola en el contexto de las redes de nueva generación y en la tendencia actual de las TIC hacia la convergencia entre redes y servicios. En esta revisión, se han descrito las principales funciones de carácter común de IMS, conocidas como *enablers*, para proporcionar un conjunto de componentes que se han utilizado para construir servicios de teleasistencia.

Podemos concluir que la utilización de los *enablers* que ofrece IMS pueden reforzar los

servicios de teleasistencia, debido a la interoperabilidad de dispositivos, ubicuidad y flexibilidad. Además aporta unas cualidades de valor añadido en el desarrollo e integración de servicios, que actualmente son difíciles de conseguir debido a la integración vertical que en la actualidad requieren los servicios en su implementación.

En un futuro dependiendo de las necesidades que requieran el colectivo de pacientes de los servicios socio-sanitarios se podrán definir nuevos *enablers* que supongan un beneficio en el desarrollo e implementación de los servicios de teleasistencia que den soporte tecnológico a dichas necesidades. De esta manera se contribuye a aumentar el catálogo de servicios comunes que ofrece la tecnología IMS, y que son aplicables a los distintos escenarios en los que actúan las TIC.

6. Agradecimientos

A los participantes del consorcio del Proyecto AmIVital CENIT 2007-1010 subvencionado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) perteneciente al Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

7. Referencias

- [1] "The 2004 Revision Population Database", Population Division, UN, 2004.
- [2] Bertrand, G. "The IP Multimedia Subsystem in Next Generation Networks", 2007

- [3] "Siemens IP Multimedia Subsystem (IMS). The Domain for Services". White Paper, Siemens.
- [4] "IMS. Application Enabler and UMTS/HSPA Growth Catalyst". 3G Americas, 2006
- [5] AAL Programme Information: <http://www.aal-europe.eu/Published/aalflyerv2>
- [6] Home page AmIVital Project CENIT 2007-1010 <http://www.amivital.com/>
- [7] "Evolution towards converged services and networks". White Paper, Ericsson, 2005.
- [8] Knightson, K., Morita, n. y Towle, T., "NGN Architecture: Generic Principles, Functional Architecture, and Implementation", IEEE Communications Magazine, 2005.
- [9] "Introduction to IMS". White Paper, Ericsson, 2007.

Tecnología para la comunicación de personas en situación de discapacidad

Cesar Augusto Hernández Suarez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
cahernandezs@udistrital.edu.co

Luis Alexander Jiménez Hernández
Universidad Manuela Beltrán
alexander.jimenez@umb.edu.co

Resumen

Objetivo: Proporcionar a la población en general, especialmente a las personas en situación de discapacidad, un dispositivo de comunicación que mediante: 1) Un proceso inteligente; 2) Un sistema codificación/decodificación adaptativo y 3)

Unas interfaces accesibles, les permita fomentar unas adecuadas competencias comunicativas, como mecanismo de inclusión social, aportándoles las posibilidades de satisfacer adecuadamente algunas necesidades humanas fundamentales.

Métodos: Se realizó una investigación experimental en la cual se desarrolló un producto

tecnológico que fue validado con personas de distintas situaciones de discapacidad.

Resultados: El principal resultado de este proyecto fue la creación de un dispositivo de comunicación que incrementa el desarrollo de las competencias comunicativas en las personas en situación de discapacidad.

Conclusiones: Se diseñó, implementó y validó el desarrollo de un dispositivo tecnológico denominado como prototipo SCDA, basado en funciones electrónicas que le permiten al usuario el desarrollo de algunas necesidades humanas fundamentales, basadas en el derecho inherente que todo ser humano sin importar su condición física, mental o económica tiene de comunicarse.

1. Introducción

La comunicación es un derecho inherente de todo ser humano sin importar su condición física, mental o económica. En la sociedad colombiana ha sido consagrada en la constitución mediante la obligatoriedad del derecho de todas las personas a tener acceso a la información; no obstante, las prácticas sociales y las dinámicas culturales contemporáneas no han favorecido completamente tal acceso a la información y a los medios comunicativos. (Ley 361 de 1997: Art. 3, Art. 18, Art. 35 y 36, Art. 44 y Art. 66)

Bajo estas dimensiones se establece la necesidad de brindar a las personas en situación de discapacidad medios que le permitan alcanzar mayores niveles de autonomía, productividad y oportunidades a través de la tecnología. El marco teórico y conceptual de esta investigación se sustenta en el contexto social basado en las competencias comunicativas y en el uso de la tecnología empleada en el dispositivo fabricado.

Existen cuatro componentes de competencias comunicativas [1]: primero, la habilidad que posee un hablante para usar un sistema de códigos que le permita expresar de manera efectiva su intención de significar; En segundo lugar, se piensa en la capacidad del hablante para ponerse en la perspectiva del oyente y saber que información es compartida con el interlocutor; Tercero, se piensa en la posibilidad de la persona para participar de manera productiva en intercambios conversacionales; Y finalmente se piensa en el contexto como la dimensión que dinamiza y articula estos tres componentes y determina la actuación comunicativa del individuo en diferentes ambientes físicos, psicológicos, cognoscitivos, sociales y culturales.

El desarrollo de este proyecto se basó en tres enfoques metodológicos: exploratorio; descriptivo y cuasi-experimental, cada uno de estos con tareas

bien definidas y pertinentes a cada competencia comunicativa. Con el primero se busca determinar el estado del arte de la investigación, con el segundo, profundizar en la tecnología desarrollada o aplicada a la inclusión social de las personas en situación de discapacidad.

El prototipo desarrollado en esta investigación ofrece al discapacitado diferentes modos de acceso al proceso comunicativo, como los códigos orales y auditivos que utilizan el canal de audio o el sistema de habla, el código gráfico correspondiente al idioma Español escrito para discapacitados auditivos bilingües y el código táctil utilizando símbolos gráficos individuales o el teclado Braille para personas sordociegas [2].

El presente artículo aborda los aspectos técnicos del proyecto de investigación “Herramienta asertiva de comunicación para la inclusión social de las personas en situación de discapacidad (limitados sensoriales y limitados físicos): S.C.D.A.” desarrollado por los grupos de investigación: Aplicabilidad Tecnológica y Lenguaje Oral y Escrito de la Universidad Manuela Beltrán, el cual conto con la financiación de COLCIENCIAS y el SENA.

2. Estado del arte

Las categorías de comunicación relacionadas con personas discapacitadas se pueden determinar cómo: interrelación de discapacitados con discapacitados, e interrelación entre discapacitados con personas normales. En el primer caso se hace referencia a las maneras en que se pueden comunicar los discapacitados mediante ayudas tecnológicas, como por ejemplo el teléfono móvil para invidentes producido por OWASYS que no necesita pantalla y en su lugar, incluye otras funciones auditivas para dar al usuario esta información (quien llama, las llamadas perdidas, llamadas en espera, fecha, hora, etc.), así como un teclado diseñado también para personas con limitaciones motrices de las manos [3]. Existe una amplia gama de equipos para sordos e hipoacúsicos especializados en comunicación de texto y video combinados con potentes amplificadores de sonido, como los productos ofrecidos por TECNUM [4]. También se ha diseñado un aparato que permite a los usuarios sordos o mudos emplear el lenguaje de señas y convertirlos en mensajes de texto o en animaciones, empleando guantes con sensores que se conectan a un equipo electrónico [5]. Para las limitaciones por discapacidad física se han planteado soluciones como el uso de computadoras modificadas a las cuales se les incorporan teclados y ratones acondicionados, codificadores de voz, pantallas táctiles y software especializado, así como otras mejoras para su manejo [6]. También se

han desarrollado equipos que permiten comunicar personas con diferente discapacidad a través del tacto, empleando equipos traductores de caracteres a señales vibratorias [7] o mediante señales eléctricas aplicadas en la piel [8], que conllevan un proceso de aprendizaje más complejo.

Respecto a la comunicación con personas sin discapacidad, para los sordos existen ayudas ya conocidas como el closed caption o sistema de subtítulos en los programas de televisión [9], donde también participan personas que realizan la traducción simultánea en la pantalla en lenguajes de signos, los cuales serían desplazados por traductores virtuales como los que plantea TELEVIRTUAL [10]. Entre los equipos de comunicación personal se pueden contar principalmente la invención de L. Tolosa [11] (que permite al usuario sordo convertir un texto escrito a voz y viceversa, permitiendo establecer una conversación con personas oyentes-hablantes empleando un solo equipo terminal, pero limitado a un número de palabras almacenadas previamente [12]). Otro sistema de traducción fue desarrollado en conjunto por CELLCOM y SPEECHVIEW [13] y permite que la persona sorda visualice en una pantalla una imagen tridimensional coherente a la señal de voz recibida, empleando un PC y un software con capacidad para conexión a teléfonos móviles y no tiene limitación de idioma o por cantidad de palabras.

En este campo de las ayudas para discapacitados cuentan también las que incluyen servicios, sean o no patrocinados por el estado. En el ámbito internacional se puede citar el de telefonía para sordos en Argentina [14], asociado al alto costo del aparato al que solamente puede acceder el 10% de la población sorda, dato que refleja la demanda de estos sistemas de comunicación para aquellos discapacitados que buscan desarrollar su capacidad afectiva e intelectual. En Colombia también opera un servicio de terminales fijas denominado Chat para sordos ofrecido por ETB [15], como primer ejemplo de gestión social y participación del sector público.

Por medio de la telefonía móvil se ofrecen servicios de mensajes de texto tipo SMS (Short Message Services) que pueden ser leído por los sordos, o pueden ser interpretados por algunos aparatos que los traducen a voz para el caso de los ciegos. En los teléfonos celulares se encuentran guías sencillas como la marca en relieve de la tecla correspondiente al número cinco, hasta ayudas sofisticadas como dispositivos que realizan las funciones de marcado por instrucciones de voz [16], convirtiéndose en una opción útil para los discapacitados físicos. Sin embargo, esta tecnología llega a ser costosa para los usuarios cuando el estado de discapacidad es grave y no pueden

conseguir los recursos para su adquisición, a pesar de la gran importancia que implica el uso de estos equipos o servicios para la educación y para trabajar [17], y en general para desenvolverse en las actividades cotidianas [18].

El interés por las tecnologías de ayudas a discapacitados en Colombia es general. Este es el caso del Proyecto Tecnoayudas [19], premiado en el concurso Ventures 2004. En el ámbito académico se pueden contar proyectos de investigación en esta área, tales como el desarrollado en conjunto entre la Universidad de los Andes [20] y la Universidad Pedagógica Nacional [21] y el trabajo que realizó el Tecnológico de Antioquía para el Ministerio de Educación [22].

En general, es posible apreciar la importancia del problema de comunicación que tienen los discapacitados, al mismo tiempo que la tecnología ha podido mediante diversas propuestas recuperar parte de estas habilidades mediante la investigación y el desarrollo de equipos de ayuda, principalmente basados en adecuaciones de los equipos ya existentes (mensajes de texto, amplificadores de sonido, sistemas de lectura-escritura) así como en la creación de sistemas de codificación y decodificación de la voz, traductores de lenguaje e intérpretes virtuales. La presente investigación tiene por finalidad diseñar un prototipo tecnológico para la comunicación a distancia de personas en situación de discapacidad entre sí, o con personas normales.

3. Métodos y experimentación

La herramienta que se propone, es el diseño e implementación de un dispositivo de comunicación, como un modulo independiente que se conecta a través de dos terminales RJ11, a la línea telefónica y al teléfono, proporcionando además del uso corriente de este, la posibilidad de que una persona en situación de discapacidad inicie una conversación con cualquier otra persona, presente esta o no, una situación de discapacidad diferente (sensorial o física), incluso, permitir de igual modo la comunicación telefónica con personas que no presentan ninguna situación de discapacidad [23], [24]. Ver Tabla 1.

El dispositivo de comunicación, integra:

- 1) Distintas interfaces accesibles y adecuadas a cada discapacidad, permitiéndole a la persona, un fácil acceso al dispositivo;
- 2) Un sistema codificación/decodificación adaptativa, que proporciona la comprensión e identificación de los mensajes entre personas con o sin situación de discapacidad;
- 3) Un proceso inteligente, que regula el correcto funcionamiento del dispositivo; y
- 4) Un sistema de transmisión/recepción, que proporciona

las señales adecuadas para viajar a través de la red telefónica pública conmutada.

Tabla 1. Modalidades de Comunicación

Discapacidad	Población	Código	Modalidad	Recepción	Producción
Sensorial	Sordo Postlingual Bilingüe	Lengua de señas	No oral, Signada	Visual	Manual
		Español escrito	Lenguaje escrito	Visual – Lectura	Escrita Alfabética
	Sordociego Postlingual	Español escrito	Lenguaje escrito	Táctil - Braille	Oral – Habla
					Táctil – Braille
	Ciego	Español escrito	Lenguaje escrito	Táctil - Braille	Oral – Habla
					Táctil – Braille
Motora	Discapacidad Motora	Español Oral	Oral	Auditiva	Oral – Habla
		Español escrito	Lenguaje escrito	Visual – Lectura	Oral – Habla

El desarrollo de las interfaces adecuadas en términos de la discapacidad física o sensorial que presente la persona, tuvo como tarea antecesora, un extenso estudio de los parámetros técnicos y ergonómicos, en los que se enmarcó su realización. El sistema codificación/decodificación adaptativa, se logra con base en el estudio previo de los sistemas de códigos empleados en la construcción de los mensajes, por cada una de las discapacidades sensoriales y físicas, ver Figura 1. El proceso inteligente, encargado de realizar la regulación de las acciones que se llevan a cabo en el sistema, se desarrolló a través de un software, el cual se implementó en un microcontrolador con características relacionadas al sistema de codificación/decodificación que se diseñó.

El usuario obtiene la capacidad de comunicarse con otras personas con diferente condición de discapacidad. Como se describe, se tendrán las siguientes interfaces de usuario para expresar sus mensajes:

- Habla, para usuarios hablantes.
- Escribe, para usuarios sin discapacidad física.

Y las siguientes interfaces de usuario para recibir los mensajes del interlocutor:

- Escucha: para usuarios oyentes.
- Lectura visual: para usuarios videntes.
- Lectura táctil: para usuarios que hacen lectura táctil del Braille.

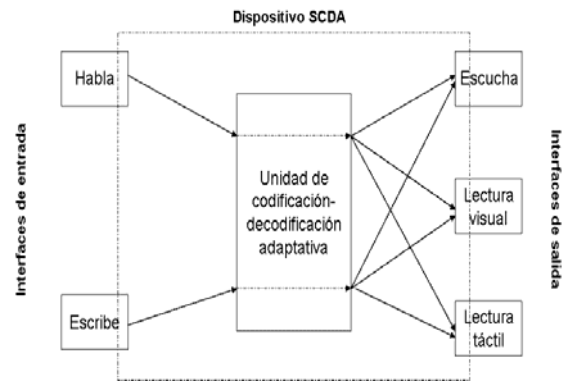


Figura 1. Bloques de sistema según interfaces funcionales con el usuario.

Este documento está organizado por partes que describen el diseño y las características de las diferentes interfaces del prototipo según las cualidades funcionales de cada componente y las cuales se describen a continuación.

3.1. Unidad de procesamiento central

El procesamiento de datos entre dispositivos es realizado por un microcontrolador de gama alta, (MC68HC908GP32CP de Freescale) encargado de las conexiones correspondientes tanto con las interfaces o dispositivos de entrada como con los de salida. Fue seleccionado a partir de su versatilidad para la integración de tecnologías, así como por su bajo costo en comparación con otros dispositivos electrónicos programables, entre otras ventajas (mantenimiento, disponibilidad en el mercado nacional, fácil programación). Como este componente es utilizado para integrar los elementos del sistema electrónico, sus conexiones abarcan las descripciones de todas las interfaces. Las conexiones particulares de entrada / salida de datos se explican en los capítulos posteriores.

3.2. Interfaz de Escritura

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y el decodificador de teclado permiten obtener los códigos binarios de los caracteres que escribe el usuario. El proceso es el siguiente: primero, el usuario digita sobre la matriz de teclado, luego el decodificador de teclado se encarga de recibir la información (matricial) de las teclas y convertirla en una palabra de código de ocho bits, para transmitirla en forma serial a la unidad de procesamiento en donde finalmente, se toma la decisión de realizar una acción, como por

ejemplo, graficar el caracter en el LCD o enviar el mensaje.

3.3. Interfaz de Lectura Visual

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y el display LCD permiten mostrar de forma gráfica al usuario, los caracteres y signos de los mensajes. En el proceso comunicativo se presentan los mensajes que escribe el usuario local, y los mensajes que recibe del usuario remoto; para tal fin, el equipo dispone de dos LCD's, correspondientes a cada tipo de mensajes.

Los procesos son los siguientes: para los mensajes locales, el usuario digita el mensaje y la unidad de procesamiento (interfaz de escritura) envía las instrucciones y los datos al LCD1 para mostrar los caracteres; para los mensajes remotos, la unidad de procesamiento recibe los datos enviados desde el equipo remoto (interfaz de comunicaciones) y envía las instrucciones y los datos al LCD2 para mostrar los caracteres.

3.4. Interfaz de Reconocimiento de Comandos por Habla

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y el módulo de reconocimiento de comandos permiten al usuario ingresar comandos utilizando el habla, convirtiendo los mensajes a código binario, a través del módulo VR Stamp, ver Figura 2. El proceso es el siguiente: primero, el usuario pronuncia un comando de activación y luego pronuncia un mensaje predeterminado del proceso comunicativo, el módulo reconoce el comando (si es válido) y se encarga de convertirlo en una palabra de código de ocho bits, para transmitirla en forma serial a la unidad de procesamiento en donde finalmente, se toma la decisión de realizar una acción, como por ejemplo, enviar un mensaje al equipo remoto.

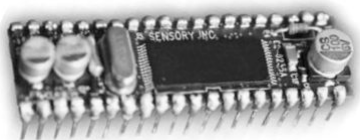


Figura 2. Modulo VR Stamp. Fuente: Sensory Inc. Catálogo del Módulo VR Stamp. Product Brief 80-0281-D.

3.5. Interfaz de Voz Sintética

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y el sintetizador de voz sintética (ver Figura 3) permiten al usuario generar mensajes

de voz artificial. El proceso es el siguiente: primero, el usuario digita el mensaje en el teclado, luego la unidad central de procesamiento la convierte en una palabras de código (instrucciones y datos) para transmitirlas en forma serial al módulo sintetizador de voz, el cual reproduce el mensaje y finalmente, la señal de sonido es amplificada por un amplificador de audio.



Figura 3. Modulo V-Stamp. Fuente: RC Systems Incorporated. Modules. Disponible en <http://www.rcsys.com/modules.htm>

3.6. Interfaz de Lectura Braille

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y la celda mecatrónica Braille (ver Figura 4) permiten al usuario leer texto de manera táctil empleando el código Braille. El proceso es el siguiente: primero, el equipo local recibe un mensaje remoto y lo almacena temporalmente en la memoria de la unidad de procesamiento, luego se transmiten los datos correspondientes hacia la celda mecatrónica, de manera que se controlen los movimientos de los micromotores para que aparezcan los correspondientes códigos Braille en relieve.

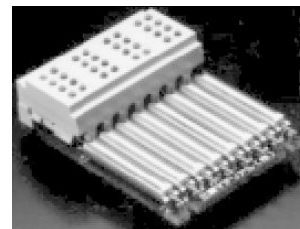


Figura 4. Celda Mecatronica. Fuente: Robotron Group, Melbourne, 2000. Disponible en: www.sensorytools.com [25].

3.7. Interfaz de Comunicaciones

Las conexiones entre la unidad de procesamiento y los componentes de transmisión y recepción de datos por modulación digital permiten a los usuarios establecer un proceso comunicativo, mediante el envío y recepción de mensajes. El proceso de transmisión de datos es el siguiente: primero, el usuario digita el mensaje en el teclado, luego la unidad de procesamiento central transmite el mensaje de forma serial mediante un circuito

modulador que está acoplado a la línea telefónica, llegando finalmente al equipo remoto a través de la red telefónica pública conmutada PSTN. El proceso de recepción de datos es el siguiente: primero, el mensaje remoto es producido desde el equipo remoto y llega al equipo local por medio de la línea telefónica, luego la señal es demodulada por el circuito correspondiente y recibida en código digital por la unidad de procesamiento central, donde finalmente el mensaje se muestra o se escucha por la interfaz seleccionada por el usuario local.

3.8. Fuentes de Alimentación

Todos los componentes eléctricos y electrónicos requieren de energía para desempeñar sus correspondientes funciones en el equipo SCDA. Por este motivo se tienen diferentes fuentes reguladas de voltaje con circuitos de filtrado para un desempeño apropiado de todos los circuitos de las interfaces. Para cada fuente de alimentación se empleó el respectivo regulador de voltaje en circuito integrado, según las especificaciones predeterminadas del fabricante o por configuración externa.

El diseño electrónico completo consta de dos tarjetas de circuito impreso denominadas como principales y secundarias. En la tarjeta principal se desarrollan los procesos para la integración de las interfaces, donde el componente más importante es la unidad de procesamiento central. En la tarjeta secundaria se tienen los módulos de reconocimiento de comandos por habla, más otras conexiones auxiliares.

4. Resultados

El principal resultado tecnológico de la presente investigación fue el desarrollo de un par de prototipos, cuyos componentes físicos externos satisfacen ampliamente las necesidades ergonómicas de los usuarios, establecidas previamente durante la ejecución del proyecto de investigación.

En relación con las de interfaces de las cuales dispone el usuario para interactuar con el desarrollo electrónico del prototipo SCDA, se presenta a continuación la descripción física de uno de los equipos, ver Figura 5.



Figura 5. Prototipo final.

Las diferentes funciones a las que el usuario tiene acceso y que se encuentran enumeradas en la Figura 5, son:

- 01. Control de volumen: permite realizar el ajuste de volumen adecuado según la preferencia del usuario. Ver capítulo: Interfaz de voz sintética.
- 02. Interruptor de encendido: realiza en encendido / apagado de todo el sistema electrónico. Ver capítulo: Fuentes de Alimentación.
- 03 y 04. Controles de selección de interfaces: inicialmente, el usuario tiene acceso a todas las interfaces del equipo, pero también puede personalizar las características requeridas según sus necesidades básicas.
- 05. Salida de sonido: la reproducción de mensajes de voz sintética se escucha mediante un amplificador de sonido y un parlante. Ver capítulo: Interfaz de voz sintética.
- 06 y 07. Visualización de mensajes: las pantallas LCD presentan gráficamente los mensajes tanto locales como remotos. Ver capítulo: Interfaz de lectura visual.
- 08. Soporte de las pantallas: permite presentar los mensajes con un ángulo visual apropiado para la posición del usuario respecto a las pantallas LCD. Ver capítulo: Interfaz de lectura visual.
- 09. Micrófono: tiene todas las funciones básicas de un teléfono de mesa, incluyendo características complementarias como el altavoz telefónico. Ver capítulo: Interfaz de comunicaciones.

- 10. Bocina telefónica: permite al usuario tener una conversación telefónica con mayor privacidad que con el altavoz.
- 11. Teclado numérico del teléfono: permite realizar la marcación de números telefónicos para establecer una llamada.
- 12. Cable de la bocina: se emplea para la conexión del teléfono y la bocina.
- 13. Estructura del equipo: conforma la base de la ubicación de todos los componentes físicos del equipo, tanto los elementos externos descritos en esta sección, como los circuitos electrónicos internos que realizan las funciones tecnológicas de las interfaces.
- 14. Celdas Braille: este espacio es reservado para la conexión de las celdas mecánicas, habilitando la lectura Braille.

4.1. Validación del Prototipo

La validación del prototipo se realizó a través de una prueba piloto de la herramienta, la cual se aplicó a cuatro personas con discapacidades sensoriales y físicas (limitado visual, sordo, sordoceguero y limitado físico).

En la evaluación de la utilidad del dispositivo SCDA, se observó que mediante su intervención como herramienta de comunicación, permite un mayor desarrollo de competencias comunicativas en las personas con discapacidad al ser empleado como interfaz comunicativa entre personas con o sin discapacidad. El grado de efectividad se realizó a través de diferentes instrumentos de recopilación de información, tanto para la cuantificación como para la cualificación de los parámetros y variables que proporcionan un apropiado desarrollo de competencias comunicativas.

Para determinar si el dispositivo satisface algunas de las necesidades humanas fundamentales, se analizó el desarrollo y los resultados obtenidos en la ejecución de una prueba piloto en un ambiente simulado, la cual contó con la participación de varios investigadores y participantes voluntarios. Esta prueba consistió en emplear los prototipos para establecer comunicaciones de forma oral y mediante código escrito por signos gráficos o en relieve Braille, usando conexiones directas (back-to-back), mediante conmutador PABX o empleando líneas telefónicas de la red pública.

En cuanto a la intervención del prototipo SCDA durante el proceso de comunicación establecido en situaciones controladas de laboratorio empleando la red telefónica pública conmutada como medio de

conexión, y con la ayuda de usuarios voluntarios con condiciones de diversos tipos de discapacidad sensorial. Mediante el uso de diferentes instrumentos de investigación, tales como protocolos de intervención experimental y entrevistas, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1. Discapacidad por sordoceguera.

Durante las pruebas se obtuvieron algunas apreciaciones con respecto al uso de los prototipos: “para adelantar la lectura de las palabras en las celdas Braille es adecuado y muy funcional”; “El tiempo de copia de un mensaje depende de las habilidades para la retención de la información y lectura en braille de las población ciega y sordocega”, “El dispositivo cumple satisfactoriamente con la función de comunicar, me parece excelente la herramienta” [26].

4.1.2. Discapacidad por ceguera.

Algunas apreciaciones durante el uso de los prototipos fueron: “El usuario ciego hace un reconocimiento táctil de la herramienta para poder ubicar los elementos que la componen y dar inicio a la digitación de los mensajes”; “Cuanto mayor es el tiempo de uso de la herramienta, mas fácil es la manipulación y el conocimiento táctil para utilización de funciones”; “La función de retroalimentación auditiva para el usuario ciego le permite verificar si en mensaje que escribió es el correcto y corregirlo si es necesario”, “la reproducción auditiva de algunas palabras no es suficientemente clara, es necesario mejorar esto” [26], [27].

4.1.3. Discapacidad por sordera.

Algunas apreciaciones durante el uso de los prototipos fueron: “El tiempo en la digitación del mensaje no depende directamente de las habilidades de cada usuario sino de la velocidad de procesamiento de la información de la herramienta”, “El dispositivo funciona perfectamente y me siento mejor de poder comunicarme sin ayuda de terceras personas” [26].

5. Conclusiones

En vista de las necesidades particulares y generales para la comunicación con y entre personas con

diferentes niveles de discapacidades sensorial y física, se planteó la investigación que produjo como resultado, entre otros, el diseño, fabricación y pruebas del desarrollo tecnológico denominado como prototipo SCDA. Consiste en un aparato basado en funciones electrónicas que le permiten al usuario el desarrollo de algunas necesidades humanas fundamentales, basadas en el derecho inherente que todo ser humano sin importar su condición física, mental o económica tiene de comunicarse [28], [29].

Actualmente existen en el mercado una amplia gama de aparatos de asistencia a personas con diferentes niveles de discapacidad, los cuales cumplen bien su función dentro del área determinada. En la formulación de este proyecto se busca que un solo dispositivo tecnológico integre las diferentes alternativas de comunicación a distancia entre personas con discapacidades heterogéneas o con ausencia de ellas, unificando estas características en un solo equipo en lugar de emplear diferentes aparatos para cada función, o requerir diferentes componentes adquiridos por separado; otro factor sobresaliente es que el dispositivo fabricado es independiente del uso de un computador para su funcionamiento, reduciendo considerablemente los costos de adquisición del equipo para los sectores donde mayoritariamente se encuentran ubicadas los usuarios objeto de este diseño; así mismo, empleando una línea telefónica convencional, el dispositivo tiene la facultad de comunicarse con otros similares de forma directa sin la mediación de una operadora o central de relevo, ofreciendo un mayor grado de la privacidad a los usuarios.

Teniendo en cuenta que el SCDA es una tecnología asistiva (TA.), la propuesta aquí planteada fundamentará su desarrollo en tres grandes conceptos inherentes a la TA.: 1) la gestión del conocimiento: cuando el desarrollo se convierta en un punto de encuentro para usuarios, investigadores interdisciplinarios, asociaciones y posibles fabricantes, entre otros, con el fin de contribuir al diseño para todos, relativos a la herramienta; 2) la transferencia tecnológica: en el momento de transmitir las actividades del desarrollo de la investigación, con el fin de obtener resultados deseados con respecto a la productividad, la competitividad y el mejoramiento continuo [30]; y por último 3) los componentes de la tecnología asistiva de acuerdo al modelo HAAT (Human Active Assistive Technology), el contexto, la actividad, la tecnología y el factor humano, [31].

6. Referencias

[1] Roth, F. P. Spekman, N.J. (1984) Assessing the pragmatic abilities of children: Part I Organizational

- Framework and assessment parameters. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 49, 2-11.
- [2] Universidad Manuela Beltrán, Grupo Aplicabilidad Tecnológica. Informe Técnico Final. Colciencias, Bogotá 2006.
- [3] NoticiasDot, disponible en: <http://www.noticiasdot.com/publicaciones/actualidad.htm> consultado en febrero de 2006.
- [4] TECNUM AGILITY, teléfonos para facilitar la comunicación telefónica a la persona con problemas auditivos o de visión. <http://www.tecnum.net/telefonos.htm> consultado en marzo de 2006.
- [5] Human-assistive wearable audio-visual inter-communication apparatus, Abstract of WO2004114107, European Patent Office, database: worldwide. Disponible en: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=WO2004114107&F=0> consultado en febrero de 2006.
- [6] Fuentes: *Journal of Rehabilitation*; Jul/Aug 2004, Vol. 70 Issue 3, p28, 6p, Base de datos: Academic Search Elite, <http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=afh&an=14508433&lang=es> consultado en abril de 2006.
- [7] JALAVA, Antti, 1986-11-06, Device for sending and receiving a message. Abstract of WO8606530, European Patent Office, database: worldwide. Disponible en: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=WO8606530&F=0> consultado en marzo de 2006.
- [8] KUBAEV, Il Jas Borisovich, Device for information exchange between blind deaf-mutes, Abstract of RU2197749, European Patent Office, database: worldwide (2003-01-27). Disponible en: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=RU2197749&F=0> consultado en febrero de 2006.
- [9] SOUNDY, Yanira. Avances tecnológicos a favor de personas con discapacidad, disponible: <http://www.sitiodesordos.com.ar/avances%20Tecnologia.htm> consultado en marzo de 2006.
- [10] “Los sordos ya disponen de un presentador virtual para oír la televisión” DIARIO ABC (Madrid, España) /informática. <http://www.sitiodesordos.com.ar/avances%20tecnologia.htm> consultado en febrero de 2006.
- [11] PATUELLI, Andrés. Teléfono para sordos y mucho más. BBC Mundo (19/11/2002). Disponible en: <http://guaronet.iespana.es/guaronet/otros/BBC%20Mundo.htm> consultado en abril de 2006.
- [12] HERNÁNDEZ, Luis Alonso. Presentación de un teléfono para sordos, invento de Leonardo Tolosa. Disponible en http://www.sitiodesordos.com.ar/otr_ven_novedades.htm consultado en febrero de 2006.
- [13] “Posibilidades Tecnológicas para Discapacitados Auditivos” Copyright 2002 Reuters Limited. Disponible en <http://guaronet.iespana.es/guaronet/otros/Descubriendo%20Posibilidades.htm> consultado en marzo de 2006.

- [14] DAVIS, Carlos Ernesto. Buenos Aires, Argentina. Disponibles en:
<http://www.sordos.com.uy/index.html> consultado en marzo de 2006.
- [15] ETB S.A. E.S.P. Responsabilidad Social Empresarial (25/05/2005). Disponible en:
<http://www.etb.com.co/nuestracom/default.asp?pag=5> consultado en febrero de 2006.
- [16] KLINK, KATHARINA. Del DPA/EL UNIVERSAL, "Los discapacitados también pueden usar los celulares", Disponible en
http://buscador.eluniversal.com/2003/04/29/ten_art_29255DD.shtml consultado en marzo de 2006.
- [17]
- [18] In the palm of your hand: a vision of the future of technology for people with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*; Oct2003, Vol. 97 Issue 10, p585, 7p, Base de datos: Academic Search Elite. Disponible en:
<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=afh&an=11076376&lang=es> consultado en marzo de 2006.
- [19] FERNÁNDEZ López, Rafael. Educación para discapacitados: ¿En Centros 'Normales' o 'Específicos'? *Diario electrónico Lacerca*, abril 2 de 2000. Disponible en:
<http://martalozano.wordpress.com/2007/04/25/educacion-para-discapacitados-%C2%BFen-centros-normales-o-especificos/> consultado en febrero de 2006.
- [20] *Ganadores Ventures 2004* (v:02-06-2005). Disponible en:
<http://www.ventures.com.co/content/view/41/122/> consultado en febrero de 2006.
- [21] BOHORQUEZ Reyes, Juan Carlos y otros autores. *Tecnologías de apoyo para la Comunicación aumentativa y alternativa*. Disponible en:
<http://salud.disenio.uniandes.edu.co/caa.pdf> consultado en abril de 2006.
- [22] *En la Universidad Pedagógica Nacional*. Disponible en
<http://www.pedagogica.edu.co/index.php?inf=1144> consultado en febrero de 2006.
- [23] *Fundamentación conceptual para la atención en el servicio educativo a estudiantes con discapacidad*, Tecnológico de Antioquia. Disponible en:
http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-75156_archivo.pdf consultado en febrero de 2006.
- [24] DELRIO Maria José. *Comunicación y lenguaje e personas con necesidades educativas especiales*. Ed. Martinez Roca.1997
- [25] STALLINGS, WILLIAM. *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Prentice Hall. Séptima Edición. 2004.
- [26] ROBOTRON GROUP (2000). *Robotron Mechatronic Braille Cell, Technical Implementation Guide*. Diciembre, 2000. Melbourne. Disponible en:
www.sensorytools.com consultado en julio de 2006.
- [27] PEREZ, G. V. (2007). Anexo del instrumento de validación del uso del SCDA. Universidad Manuela Beltrán: Grupo de Investigación en Aplicabilidad Tecnológica.
- [28] PATRICIO, Moreno Maria Victoria. *Intervención Educativa con alumnos ciegos y deficientes visuales*, Organización nacional de ciegos ONCE, Málaga, España, septiembre de 2002, Pág. 13
- [29] NORMAS UNIFORMES, 1993. Disponible en:
<http://usuarios.discapnet.es/disweb2000/lex/norun.htm#cap%20II> consultado en febrero de 2006.
- [30] *Boletín Censo General 2005 – Discapacidad en Colombia*. Publicado en www.dane.gov.co consultado en marzo de 2006.
- [31] Brandt & Pope, A.M. (1997). *Enabling America: Assessing the role of rehabilitation science and engineering*. Washington: Natioal Academic Press. Capítulo 8.

[32] Cook, A., Hussey, S. Assistive Technology. Principle and Practices. 1995.

7. Derechos de autor

El autor o los autores de los artículos presentados como soporte documental para sus intervenciones en el Congreso, en el mismo acto de enviarlos para su aprobación, aceptan la cesión de los derechos de autor sobre los mismos para su publicación en el libro de actas del Congreso.

CiceroneUA. Sistema de navegación de peatones de la Universidad de Alicante para usuarios y tecnologías diversas

Francisco Flórez Revuelta, Aureo Serrano Díaz-Carrasco, Javier Roque Bru Antón
Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, Apartado de Correos 99, 03080, Alicante, Spain.
florez@dtic.ua.es

Resumen

El guiado de peatones en movimiento por un entorno debe realizarse de modo diferente a los ampliamente empleados sistemas de navegación para vehículos, ya que los peatones usan puntos de referencia visuales o auditivos. CiceroneUA es una aplicación desarrollada para la navegación de peatones dentro de la Universidad de Alicante. Permite localizar edificios o servicios, obtener una ruta multimodal hasta un punto del campus o realizar una visita virtual del mismo. Esta aplicación ya en funcionamiento está siendo ampliada para dotarla de un mayor número de servicios como guiado móvil, introducción distribuida de información, accesibilidad y servicios para personas con diversidad

funcional,... Asimismo, se contempla el uso de códigos QR para la localización del usuario dentro del campus en caso de que su dispositivo no cuente con GPS y para enlazar con información específica sobre servicios y profesorado de la Universidad.

1. Introducción

Los peatones se encuentran en ocasiones en entornos urbanos o edificios desconocidos. En esos casos necesitan un guiado para llegar a un destino, por ejemplo a un edificio o despacho en una universidad, a una empresa en un polígono industrial, a un monumento en una ciudad turística,... Los sistemas de navegación pedestre (SNP) ayudan a al usuario móvil a conocer dónde

se encuentra, qué puede ver o hacer, qué debe conocer del lugar donde se encuentra, qué camino debe seguir para llegar a su destino,... [1].

Aunque la información verbal puede ser de ayuda al usuario, es más importante la presentación visual de la situación actual, sus alrededores,... para una correcta orientación del peatón y la consiguiente generación de rutas. Esta información visual suele estar limitada a mapas, que no es más que una abstracción del mundo real. Por ello, existen diversos aspectos que son cruciales a la hora de diseñar un SNP viable, efectivo, amigable,... [2]:

- La visualización de la escena debe ser tridimensional y tan realista como sea posible para aportar información importante para un rápido reconocimiento.
- La visualización debe estar sincronizada con la posición y orientación del usuario para facilitar la correspondencia entre la imagen mostrada y la visión real del usuario
- La información textual de ayuda a la navegación y localización debería ser posicionada sobre las coordenadas correspondientes dentro de la imagen mostrada.
- La visualización debe poder ser mostrada en las pequeñas pantallas de los dispositivos móviles.
- El sistema debe necesitar el menor conocimiento explícito posible del mundo en términos de información 2D y 3D.
- Dado que los SNP son utilizados principalmente con dispositivos móviles, se debe considerar su reducida potencia computacional.

Estos requerimientos determinan, básicamente, la necesidad de incluir información visual real (imágenes, vídeos, panoramas 3D) que complementen la información textual y gráfica (mapas) que ya se emplean. Asimismo, la incorporación de audio permitirá aumentar los modos de interacción entre el SNP y el usuario.

Los SNP desarrollados siguiendo estos requerimientos podrán ser empleados en multitud de ámbitos diferentes:

- En una universidad o centro de investigación, mediante la posibilidad de informar de la ruta a seguir para llegar a un edificio, despacho,...
- En el sector turístico, la posibilidad de ofertar rutas turísticas a los visitantes que puedan realizar a pie, en la que se les aporte información sobre localización, camino a seguir, detalles sobre lugares de interés,...
- En un museo, para guiar la visita de los usuarios, mostrando vídeos y audio que presente información adicional, por ejemplo,

explicaciones de pinturas, utilización de herramientas prehistóricas,...

2. CiceroneUA

CiceroneUA (<http://www.cicerone.ua.es>) es una aplicación web multimedia de ayuda a la navegación que mediante información audiovisual (fotografías, vídeos, panoramas 3D, audio) permite al usuario localizar un determinado centro o servicio dentro de la Universidad de Alicante, así como mostrarle la ruta entre un punto concreto y el destino deseado dentro del campus. Asimismo, incorpora una visita virtual a la Universidad mediante fotografías panorámicas de 360° capturadas en diversos puntos del campus que permite conocer visualmente todas las instalaciones.



Imagen 1. Página de inicio de CiceroneUA

Este proyecto está siendo desarrollado por el Grupo de Domótica y Ambientes Inteligentes (DAI) del Grupo de Informática Industrial y Redes de Computadores (i2rc) del Departamento de Tecnología Informática y Computación de la Universidad de Alicante. En él colaboran el Vicerrectorado de Tecnología e Innovación Educativa y el Vicerrectorado de Relaciones Institucionales de la universidad y ha sido empleado por más de 30.000 usuarios entre mayo de 2007 y diciembre de 2008.

Además de servir de aplicación de uso directo por parte del colectivo de la Universidad de Alicante, CiceroneUA permite concretar investigaciones realizadas en el grupo que puedan ser llevadas a otros destinatarios, como podrían ser instituciones locales, museos,...

El objetivo inicial de CiceroneUA fue mostrar a los visitantes de la universidad, tanto actuales como futuros, los servicios e instalaciones del campus. Por ello, se planteó que pudiera ser empleado por visitantes extranjeros, para que desde su país de origen pudieran visionar el campus, para alumnos de Selectividad, alumnos en su primer año y naturalmente para cualquier persona que necesitara llegar a un punto concreto del campus.

Por ello, toda la información está disponible en castellano, valenciano e inglés.

Tal y como se muestra en la Imagen 2, CiceroneUA tiene tres funciones básicas:

- Localizador de servicios y edificios
- Visita virtual
- Generador de rutas



Imagen 2. Aplicación CiceroneUA

Dado que hay personas que encuentran problemas en comprender el plano mediante una imagen aérea, toda la información que se muestra pueda ser visualizada también en forma de mapa (Imagen 3).



Imagen 3. Opción visualización Mapa

2.1. Localización de edificios

Uno de los servicios principales que requieren los nuevos visitantes de la universidad o aquellos que deben ir a un edificio del que no conocen su ubicación, es la de localización de edificios. Hasta ahora, este servicio era prestado por la universidad mediante el reparto de planos en papel. Con CiceroneUA, mediante menús desplegables se puede consultar la ubicación de cualquier edificio de la Universidad, siendo resaltado para una mejor visualización.

Asimismo, pulsando con el cursor sobre cualquiera de los edificios, un menú desplegable permite acceder a los sitios web de todos los servicios ubicados en dicho edificio (Imagen 4).



Imagen 4. Menú desplegable con los servicios de un edificio de la Universidad.

2.2. Visita virtual a la Universidad de Alicante

El campus de la Universidad de Alicante posee una única carretera que lo circunvala y toda su zona interior es peatonal con multitud de jardines. Este es un reclamo tanto para que alumnos extranjeros vengan a estudiar a nuestra Universidad o para obtener la organización de congresos y otro tipo de actividades. Por ello, uno de los objetivos primordiales de CiceroneUA es el de mostrar la belleza del campus.

Para ello, se han tomado fotografías panorámicas desde, prácticamente, todos los lugares de interés y confluencias de caminos del campus. La idea es poder navegar, también, desde estas imágenes, así como explicar mediante texto y audio el contenido de la imagen. Por ejemplo, en la Imagen 5 se indicaría “escultura «Dibujando el espacio», de José Díaz Azorín, más conocida en el campus por «La mano», que constituye un centro neurálgico en la Universidad de Alicante y se ha convertido en un emblema y casi una marca de la misma”.



Imagen 5. Visualización de fotografía panorámica

2.3. Cálculo de rutas

Este servicio permite al usuario conocer el camino a seguir desde cualquier edificio o departamento del campus, estación de transporte de Alicante y otras sedes de la Universidad a cualquiera de esos mismos puntos (Imagen 6). En el caso de rutas que salen de la Universidad de Alicante se enlaza con Google Maps para completar la ruta externa al campus. En breve, se va a incluir la ruta a seguir hasta el despacho de cualquier profesor o personal de la Universidad, uno de los mayores requerimientos de los usuarios de esta aplicación.

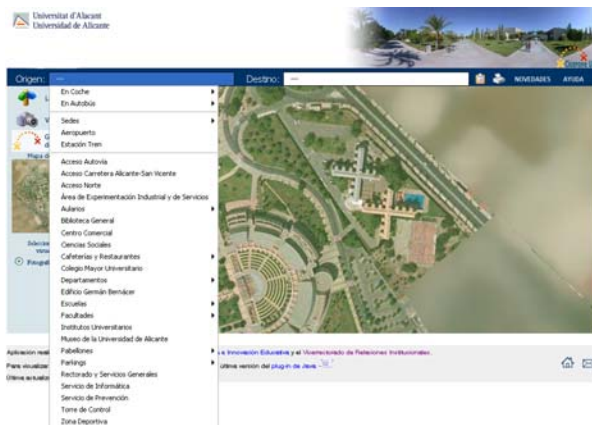


Imagen 6. Orígenes de rutas en CiceroneUA.

A diferencia de otros sistemas de navegación, normalmente restringidos a automóviles o peatones, es un sistema multimodal, de modo que las rutas combinan diferentes modos de transporte (automóvil, autobús, peatón) aunque siempre manteniendo la ruta peatonal hacia/desde el edificio de partida en el campus (Imagen 7).



Imagen 7. Ruta multimodal (autobús y peatonal)

3. Trabajos actuales y futuros en CiceroneUA

Una vez creada la infraestructura de partida de CiceroneUA, en la actualidad se está dotando de un amplio abanico de servicios y de información a la aplicación.

3.1. CiceroneUA para dispositivo móvil

Actualmente, CiceroneUA es una aplicación web para un computador de sobremesa. Por ello, en la actualidad se está desarrollando la versión para dispositivo móvil, que afecta básicamente en dos sentidos. En primer lugar, al aspecto de la aplicación al tener que desarrollar el interfaz para pantallas con mucha menor resolución. En segundo lugar, al servicio de cálculo de rutas, de modo que el usuario no tendrá que introducir el origen de la misma, ya que será obtenida mediante la localización del dispositivo mediante un sistema de posicionamiento, en principio GPS, aunque la intención es la de emplear en el futuro la red inalámbrica de la Universidad de Alicante para localizar al usuario.

3.2. CiceroneUA para personas con diversidad funcional

En la actualidad CiceroneUA es una aplicación casi exclusivamente visual para mostrar las bondades del campus. Esto choca directamente con criterios de accesibilidad para personas con discapacidad visual. Sin embargo, el objetivo es que todos los servicios sean accesibles para todas las personas independientemente de su diversidad funcional.

La versión para dispositivo móvil de CiceroneUA con guiado mediante GPS será especialmente útil para los discapacitados visuales que se desplacen por el campus, porque mediante indicaciones sonoras se le conducirá hasta el edificio o servicio de destino.

Asimismo, se incluirá en el sistema información audio-descriptiva del entorno por el que circule la persona con su dispositivo móvil. En este aspecto, existen dos posibilidades: etiquetar elementos del entorno con dispositivos electrónicos de modo que cuando el usuario pase cerca de ellos éste sea informado mediante comunicación inalámbrica [3]; o incluir información auditiva ya presente en el entorno sobre los sonidos que el usuario puede

encontrar alrededor suyo (paso habitual de vehículos o personas, presencia de pájaros, cafeterías,...) así como su procedencia [4]. Esta segunda posibilidad permite mostrar el entorno a los discapacitados visuales, haciendo el papel de las fotografías panorámicas, sin tener que incorporar dispositivos en el entorno.

En cuanto a la localización de edificios, se realizará una descripción del lugar dentro del campus en que se encuentra un determinado edificio o servicio, relacionándolo con una coordenada, uno de los accesos, los edificios que se encuentran alrededor,...

Ya está prácticamente finalizada la adaptación de la aplicación actual para su empleo por personas que circulen en silla de ruedas o con vehículos eléctricos, aportando rutas por caminos que les sean accesibles. En la Imagen 8 se observa cómo la ruta entre dos edificios es diferente para un peatón y para un usuario de silla de ruedas. De igual modo se va a hacer para los vehículos eléctricos que permiten desplazarse a los trabajadores de la universidad; para los discapacitados visuales evitándoles rutas que pudieran considerarse peligrosas,...



Imagen 8. Comparación de ruta para peatón y para usuario de silla de ruedas.

3.3. CiceroneUA 2.0

El objetivo que se pretende conseguir con la versión 2.0 de CiceroneUA es ampliar la interactividad de la aplicación. Se pretende incorporar una nueva funcionalidad que consiste en que cualquier miembro de la comunidad universitaria, ya sea un miembro institucional perteneciente a algún órgano de gobierno o servicio universitario, o cualquier alumno o personal, pueda incluir cualquier información asociándole una localización dentro del campus. Esta información podría consistir en texto, imágenes, audio sobre lugares de eventos que se celebren (enlazándolo con la agenda universitaria), instalaciones de especial interés (contenedores de papel o pilas,

cabinas telefónicas, fotocopiadoras,...), lugares de interés del campus (monumentos, flora, fauna,...).

Una extensión de este servicio es el de BookCrossing, que se está planteando junto con el Servicio de Información Bibliográfica y Documental (SIBYD) de la Universidad. BookCrossing es la práctica de dejar libros en lugares públicos para que los recojan otros lectores, que después harán lo mismo. La idea es liberar libros "en la jungla" para que sean encontrados por otras personas, normalmente extraños. El planteamiento es realizar una aplicación que permita liberar libros, integrando la información sobre el mismo así como su localización dentro del Campus en la aplicación CiceroneUA. Estos lugares de liberación podrían estar situados en lugares predeterminados, de modo que los centros o las bibliotecas liberaran periódicamente ejemplares, o podrían ser elegidos por los propios usuarios.

3.4. Herramienta para la creación de sistemas de navegación pedestre

Por otro lado, las herramientas para desarrollar estos sistemas no son completas, en el sentido de que existen aplicaciones para diseñar webs que incluyan panoramas 3D, imágenes o videos, pero no especialmente dedicadas al desarrollo de SNP, que permitan la entrada de información de posicionamiento del usuario, imágenes de localización, videos, panoramas 3D desde la posición del usuario,...

Por ello, se está desarrollando una herramienta que permita el desarrollo de sistemas de navegación pedestre con diferentes requerimientos, en el sentido de los diferentes modos de información que van a presentar o emplear, y también de los diversos interfaces de presentación (Imagen 9). La información es de dos tipos:

- Información sobre la localización del usuario, que se obtendrá a partir de sistemas de información geográfica y de la lectura de la posición del usuario mediante GPS, WLAN,....
- Información sobre el entorno en el que se encuentra el usuario así como, si es el caso, de la ruta a seguir hasta un destino determinado. Esta información visual vendrá dada por imágenes, panoramas 3D, videos, información textual presentada sobre la visual, audio,...

Por otro lado, el sistema de navegación pedestre, con un mayor o menor nivel de interacción podrá ser accedido desde un dispositivo

móvil, Internet o desde dispositivos estáticos de almacenamiento.

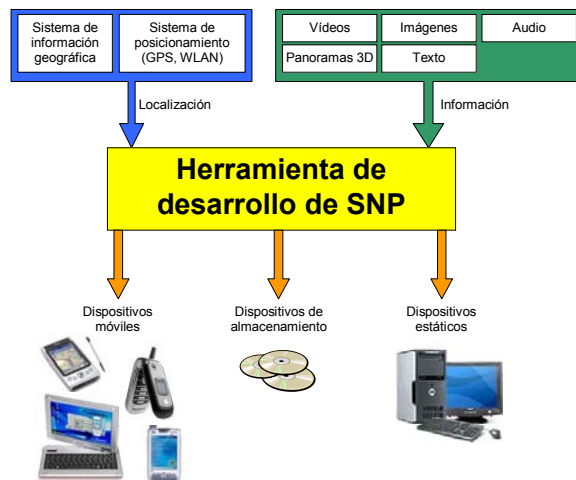


Imagen 9. Diagrama de entradas y salidas de la herramienta de desarrollo de Sistemas de Navegación Pedestre

4. Localización del usuario mediante códigos QR

Muchos de los dispositivos móviles actuales no poseen integrado un sistema de localización basado en GPS. Sin embargo, cada vez más usuarios tienen acceso a Internet ya sea mediante GPRS o mediante red inalámbrica. De hecho, todo el campus de la Universidad de Alicante está cubierto por red inalámbrica Wireless IEEE 802.11g, la cual está integrada dentro del proyecto eduroam, de modo que todo el colectivo de la universidad puede conectarse a esta red. Eduroam (<http://www.eduroam.es>) pretende crear un único espacio WiFi que posibilite el acceso inalámbrico a Internet de forma sencilla cuando se lleve a cabo un desplazamiento a una institución asociada al proyecto. En la actualidad hay 57 instituciones españolas asociadas, todas ellas centros de investigación y universidades.

Por ello, utilizando esta red inalámbrica o cualquier otra tecnología de comunicación móvil se plantea la localización de los usuarios mediante códigos QR. Un código QR es un sistema para almacenar información en una matriz de puntos. A diferencia de los códigos de barras tradicionales, son bidimensionales con lo que pueden almacenar mayor cantidad de información. Usualmente son empleados para codificar un mensaje, para almacenar una tarjeta de visita o para enlazar con una página web. Esta última es el uso que se va a hacer de ellos dentro de CiceroneUA. Estos códigos estarían situados en los carteles informativos, denominados tótems, que hay en las entradas de cada edificio (

Imagen 10).



Imagen 10. Tótem con código QR descriptivo

Cuando el usuario lea el código QR con su dispositivo móvil se podrá conocer su posición dentro del campus. Hasta que se desarrolle la versión para dispositivo móvil, se está desarrollando una versión reducida de CiceroneUA. Además, se le podrá aportar información sobre horario de apertura del edificio, servicios, departamentos, personal con despacho allí,...

(Imagen 11,
Imagen 12,
Imagen 13 e
Imagen 14).

Toda la información mostrada será accesible, de modo que cualquier información gráfica será explicada de modo textual. De hecho, como se observa las rutas no sólo incluyen la información sobre el plano sino que se presenta una descripción textual de las mismas (

Imagen 14).



Imagen 11. Información sobre un edificio universitario al leer código QR

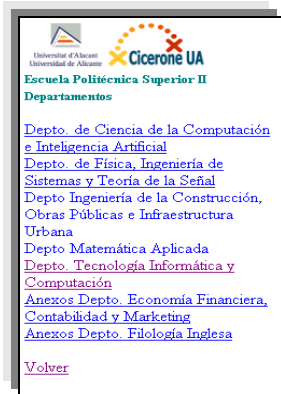


Imagen 12. Listado de departamentos y servicios del edificio



Imagen 13. Distribución de los despachos del edificio

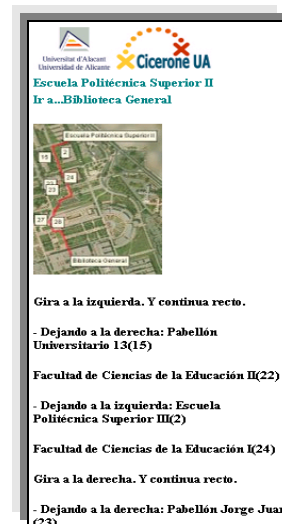


Imagen 14. Ruta desde la posición del usuario a otro lugar del campus

5. Otros usos de los códigos QR

La colocación de códigos QR en las puertas de los despachos de los profesores o de otras dependencias (

Imagen 15) permitirá a los usuarios acceder a información específica sobre los mismos. Por ejemplo, se puede acceder a la página web (Imagen 16) donde se muestre el horario de tutorías de un profesor, la docencia impartida, su correo electrónico, su teléfono,... En la puerta de un laboratorio puede permitir visualizar el horario del mismo.



Imagen 15. Cartel de despacho de profesor con código QR

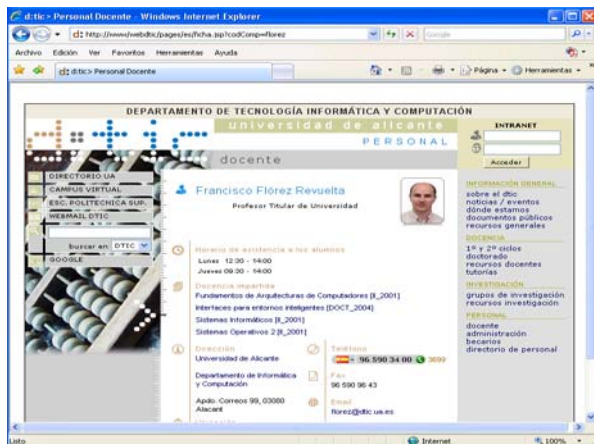


Imagen 16. Página web de profesor obtenida a partir del código QR

6. Conclusiones

La navegación de peatones debe ser realizada de forma diferente a como se realiza la de vehículos. La Universidad de Alicante ha sido pionera en el desarrollo de una aplicación (CiceroneUA) para guiar a los usuarios de su campus a los diferentes servicios. Una vez desarrollada la infraestructura inicial, se están ampliando los servicios y permitiendo su uso por los diferentes colectivos. Asimismo, se están desarrollando diferentes interfaces en función del dispositivo de acceso. Asimismo, se está introduciendo el uso de códigos QR para permitir la localización del usuario y para aportar información sobre servicios y edificios.

Es de esperar que en breve aplicaciones similares surjan para guiar a todos los peatones, independientemente de su diversidad funcional, por cualquier entorno como una ciudad, un polígono industrial, centros comerciales,...

7. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la financiación parcial de este proyecto por el Vicerrectorado de Tecnología e Innovación Educativa de la Universidad de Alicante.

8. Referencias

- [1] R. Malaka, y A. Zipf, “DEEP MAP – Challenging IT research in the framework of a tourist information system”, Proceedings of ENTER 2000, Barcelona, 2000.
- [2] T. H. Kolbe, “Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation”, in G. Gartner (ed.): Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography 2004, Viena, 2004.
- [3] V. Coroama, y F. Röthenbacher, “The Chatty Environment – Providing Everyday Independence to the Visually Impaired, Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications at Ubicomp 2003, Seattle, 2003.
- [4] J. Baus, R. Wasinger, I. Asian, A. Krüger, A. Maier, y T. Schwartz, “Auditory Perceptible Landmarks in Mobile Navigation”, 2007 International Conference on Intelligent User Interfaces, Hawaii, 2007, pp. 302-304.

Interfaz ubicuo accesible para interacción con el hogar digital

Francisco Flórez Revuelta, Pablo Rico Hernández, Aureo Serrano Díaz-Carrasco
*Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, Apartado de
Correos 99, 03080, Alicante, España.*
florez@dtic.ua.es

Resumen

La interacción con los dispositivos del hogar digital se suele realizar presencialmente mediante botoneras o pantallas táctiles y en el caso de conexión a distancia mediante tecnologías móviles en las que no se recibe una respuesta de confirmación o ésta no aporte la suficiente confianza. Por esta razón, se ha desarrollado un interfaz basado en visión que permite verificar inmediatamente si el servicio ha sido ejecutado por el dispositivo. Este interfaz es configurable en función del dispositivo (estático o móvil) y ancho de banda de la conexión. Dado que tiene un modo

de comunicación básicamente visual, es configurable para personas con discapacidad visual, de modo que tanto el estado como los servicios ofertados son indicados por el terminal móvil mediante voz. Una de las peculiaridades de este sistema es que emplea una cámara de vídeo omnidireccional situada en el techo que permite visualizar toda la estancia con una sola cámara.

1. Introducción

El desarrollo de la Sociedad de la Información y el Conocimiento se debe a las necesidades de los

individuos que posibilitan los desarrollos de programas de investigación en materia tecnológica y científica adecuados a las mismas. El usuario demanda nuevos entornos donde el acceso a la información desde cualquier lugar y en cualquier momento es algo primordial. Nos encontramos en continua evolución de formas de vida, de trabajo, relaciones, etc. que necesitan de las infraestructuras adecuadas. En general, las tecnologías también sufren esta evolución para poder adecuarse al individuo. No debemos pensar que es el individuo el que tiene que vivir a expensas de estos nuevos cambios. Es él mismo, la sociedad la que las reclama. Esto ha llevado al desarrollo de infinidad de servicios electrónicos y de tecnologías que se dan en nuestra vida cotidiana. En este nuevo contexto, el usuario es el centro sobre el que se desarrollan los servicios y las infraestructuras necesarias para ofrecerlos.

Actualmente se está preocupado en un desarrollo tecnológico que facilite a las personas el acceso a la información. Sin embargo, el hogar, a menudo, ha estado aislado del acceso a estas nuevas tecnologías. Cada vez está más difundida la utilización de PCs, PDAs, accesos a Internet, etc. El mundo tecnológico inunda nuestras vidas y viviendas. Sin embargo, esta irrupción no necesariamente se ha realizado de una manera estructurada que permita desarrollar nuevos servicios, sino que han aparecido servicios y tecnologías inconexas. De ese modo, nos encontramos en ocasiones con ejemplos significativos que muestran una carencia en la investigación y transferencia de tecnologías hacia necesidades concretas del hogar digital:

- Personas mayores o con discapacidad no cuentan en la actualidad con los interfaces adecuados y adaptados con los que poder acceder a los beneficios del control, la seguridad, las comunicaciones o el acceso a la información.
- Por otra parte, los avances en visión artificial tampoco han trascendido a productos que se incorporen de forma definitiva en entornos domésticos. Posibles aplicaciones en seguridad y control serían los beneficiados de esta integración y desarrollo.

El objetivo sería contar con una sociedad abierta en el uso de los servicios electrónicos y con una tecnología invisible. Sin embargo, aun nos queda camino por recorrer. En estos momentos las viviendas están en una fase de transición en la que cada vez podemos encontrar más dispositivos electrónicos que proporcionan una serie de servicios y se comienzan a instalar distintas redes muy específicas de comunicaciones, inconexas entre sí y a menudo con sistemas propietarios. Por

otro lado cada vez es mayor la utilización de un acceso de banda ancha para acceso a Internet pero independientemente de la infraestructura anterior. Suele utilizarse un ordenador para Internet, un decodificador para la TV, electrodomésticos independientes, algunas redes de control propietarias, etc. Los servicios que se ofrecen son muy especializados y la tecnología es bastante visible. Sin embargo, la evolución del mercado nos indica el interés de la tecnología y facilidad de uso hacia el objetivo de múltiples servicios sobre tecnología invisible. Están surgiendo nuevos conceptos para definir esta evolución según el paradigma de inteligencia ambiental [1] [2] donde se engloba el uso de las tecnologías de la información, las comunicaciones y el control para proporcionar inteligencia a todos los espacios donde se desenvuelve el usuario, fundamentalmente en el hogar, pero también en el coche, en el trabajo, etc. Estos espacios se adaptan al usuario ofreciéndole infinidad de servicios, para hacer una vida más cómoda, segura, y ocultando la complejidad de la tecnología.

El objetivo general de la investigación que se plantea en este proyecto es el diseño de servicios domésticos basados en visión orientados a satisfacer las necesidades de los usuarios del hogar desde cualquier lugar y en cualquier momento. La cámara es uno de los sensores más versátiles. Con ella, es posible desarrollar infinidad de servicios al usuario del hogar. Por un lado, establece un interfaz del sistema domótico que ofrece una interacción ágil y robusta que podrá ser utilizada por todos los usuarios del hogar independientemente de la destreza que tengan con la tecnología. Este interfaz puede resultar transparente al usuario con las ventajas que esto conlleva. Por otro lado, podrá ser utilizado como un sensor más en tareas de seguridad, confort y ahorro energético. Las aplicaciones que utilizan este sensor, por poner algunos ejemplos, van desde la posible detección de incendios, de intrusos, etc. dentro de la seguridad material, hasta la posible detección de niños que están cerca de un determinado enchufe en el marco de la seguridad personal. En el apartado de comodidades es posible que la cámara sirva para determinar el usuario que se encuentra en el hogar para amoldar sus necesidades y el apartado de ahorro energético para ver si se producen inundaciones, etc.

En particular, este trabajo se enmarca dentro de un proyecto en el que se aborda el diseño de la infraestructura necesaria para la provisión de servicios de visión, en el entorno doméstico, haciendo uso de pasarelas residenciales. El objetivo principal es proporcionar servicios al usuario pero sin que el usuario se preocupe de la tecnología que los subyace. La utilización de

pasarelas pretende cubrir las necesidades de los usuarios en cuanto a la integración de las redes interiores y exteriores proporcionando la infraestructura adecuada para proporcionar servicios. Así, desde el punto de vista del usuario, es necesario que esta innovación tecnológica sea aceptable en relación utilidad/precio. La utilidad podrá ser medida en términos de facilidad de uso, percepción de valor, seguridad, etc.

Concretamente, en este artículo se presenta el trabajo realizado para especificar interfaces amigables y que puedan ser útiles para aquellos perfiles de usuarios que puedan tener dificultades en utilizar los servicios, dispositivos y sistemas implantados en el hogar digital.

2. Descripción del sistema

La plataforma tecnológica del hogar estará constituida por todos los dispositivos, redes (control, multimedia, datos, etc.) y equipamiento necesario que permite al usuario del hogar utilizar los servicios electrónicos. Estos servicios podrán estar tanto en el exterior como en el interior de la vivienda y además podrán utilizar dispositivos que se encuentran en el interior desde cualquier lugar (dentro o fuera de la vivienda). La plataforma del hogar estará compuesta de diferentes elementos (

Imagen 17):

- Red del hogar, que permite la interconexión del equipamiento del hogar.
- Pasarela residencial, que permite la conexión entre el interior y el exterior de la vivienda.
- Dispositivos que pueden ser accedidos remotamente desde la pasarela o utilizados para comunicar o acceder a servicios.
- Sistema de visión, que permitirá la interfaz tanto de entrada como de salida con el usuario.
- Sistema de descripción de la escena, que permite localizar la posición, identidad y características de cada uno de los dispositivos.
- Interfaz con el usuario.

Las redes del hogar permiten que toda la información sea distribuida y accedida dentro de la casa. Esta información deberá alcanzar a todos los dispositivos implicados en los distintos servicios. Las distintas tecnologías de redes deberán proporcionar la interconexión necesaria y la operación entre los distintos dispositivos (electrodomésticos, pantallas, sensores, actuadores, etc.).

Asimismo, la pasarela residencial se convierte en el principal dispositivo del hogar capaz de dar cobertura a los nuevos servicios y actúa como

elemento integrador de las diferentes tecnologías para datos, multimedia y control a través de la interconexión de las distintas redes del hogar.

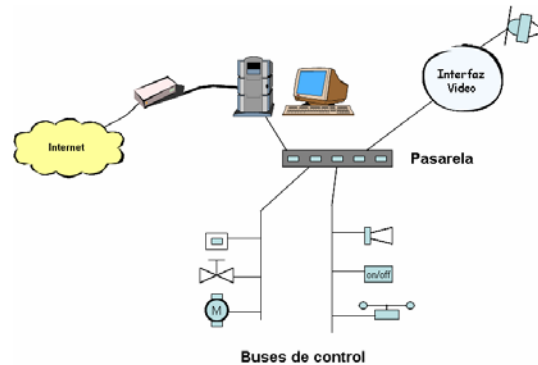


Imagen 17. Descripción global del sistema

A continuación se explican con más detalle algunos aspectos relevantes del sistema propuesto, en particular en lo referente a cómo se describe la escena y al sistema de visión empleado.

2.1. Descripción de la escena

Se ha definido una ontología que permite especificar, sobre una imagen de la escena, su geometría, pudiendo posicionar los diferentes dispositivos con los que el usuario puede interactuar. Asimismo, se deberá poder definir cuáles son los servicios que ofertan cada uno de ellos. De este modo, se podrán diseñar una serie de dispositivos virtuales, que complementen la información visual transmitida desde el hogar, y hagan más sencilla la petición de un determinado servicio.

Mediante lenguaje XML se especifican las estancias que posee la vivienda y dentro de cada una de ellas las áreas de la imagen (hotspots) donde se encuentra situado cada uno de los dispositivos, indicando para cada uno de ellos su tipo, los puntos que definen su contorno, su identificación dentro de la red de dispositivos y otras características que dependen del tipo de dispositivo. Por ejemplo, en el caso de que sea una lámpara se especifica si está apagada o encendida; si es un regulador de iluminación, su valor de intensidad; o si es una persiana, su posición. De igual modo, se pueden especificar otros dispositivos como el sistema de climatización, el frigorífico, la lavadora,...

```
<raiz>
  <estancia>
    <nombre>Nombre de la
estancia</nombre>
    <hotspot>
      <nombre>Nombre del
HotSpot</nombre>
      <tipo>Tipo de dispositivo</tipo>
      <posicion>
```

```

<npuntos>n</npuntos>
  <punto> //Punto 1
    <x>x_1</x> //Posición X
    <y>y_1</y> //Posición Y
  </punto>
  .
  .
  <punto> //Punto n
    <x>x_n</x> //Posición X
    <y>y_n</y> //Posición Y
  </punto>
</posicion>
<grupoknx>1</grupoknx>

// Lista de parámetros variables
// dependiendo del tipo de HotSpot
</hotspot>

// Repetir para todos los hotspots de
la
// estancia
</estancia>
// Repetir para todas las estancias de
la
// vivienda
</raiz>
<hotspot>
  <nombre>Lámpara techo</nombre>
  <tipo>2</tipo>
  <posicion>
    .
    .
  </posicion>
  <grupoknx>1</grupoknx>
  <valor>0</valor> // 0 = Apagado
  // 1 = Encendido
</hotspot>
<hotspot>
  <nombre>Luz mesilla</nombre>
  <tipo>8</tipo>
  <posicion>
    .
    .
  </posicion>
  <grupoknx>5</grupoknx>
  <valor>50</valor> // Valor entre 0 y
100 // 0 = Apagado
// 100 =
Máx.Intensidad
</hotspot>
<hotspot>
  <nombre>Persiana jardín</nombre>
  <tipo>3</tipo>
  <posicion>
    .
    .
  </posicion>
  <grupoknx>0x100</grupoknx>
  <valor>50</valor> // Valor entre 0 y
100 // 0 = Bajada
// 100 = Subida
</hotspot>

```

2.2. Sistema de visión

Aunque el sistema propuesto puede funcionar con cualquier sistema de visión, una particularidad de este trabajo, con respecto a otros relacionados con interfaces basados en visión, es que en lugar de

emplear múltiples cámaras situadas en diferentes puntos de una estancia para poderla visualizar en su completitud, únicamente se ha empleado una cámara omnidireccional situada en el techo de la estancia. Esta cámara captura prácticamente la totalidad del hemisferio que tiene debajo (

Imagen 18). Además, ésta es una cámara de vídeo con lo que se posibilita verificar visualmente si el servicio ha sido correctamente ejecutado, así como aprovecharla para realizar otros servicios adicionales.



Imagen 18. Imagen cenital obtenida por la cámara omnidireccional

Para eliminar la aberración producida por la lente de ojo de pez (

Imagen 19) se realiza una transformación de la imagen siguiendo [3], tal que

$$x_u = x_d \frac{\tan\left(\omega \cdot \sqrt{x_d^2 + y_d^2}\right)}{\sqrt{x_d^2 + y_d^2} \cdot \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)}$$

$$y_u = y_d \frac{\tan\left(\omega \cdot \sqrt{x_d^2 + y_d^2}\right)}{\sqrt{x_d^2 + y_d^2} \cdot \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)}$$

donde (x_u, y_u) y (x_d, y_d) representan las coordenadas sin distorsión y distorsionadas respectivamente. ω es un parámetro de distorsión, que en este caso particular ha sido fijado a 0,22.



Imagen 19. Imagen cenital una vez eliminada la distorsión

Dado que los dispositivos suelen encontrarse situados en las paredes o cerca de éstas, a partir de la imagen cenital se puede obtener una imagen panorámica de 360° de la estancia. Para ello, es necesario realizar una calibración de la estancia para determinar donde se encuentran las paredes (

Imagen 20) y poder realizar la transformación correspondiente (

Imagen 21).

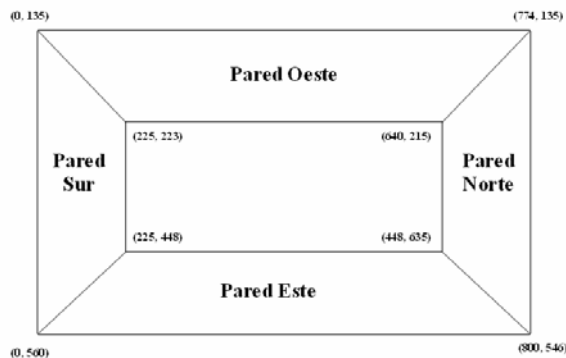


Imagen 20. Calibración de la estancia

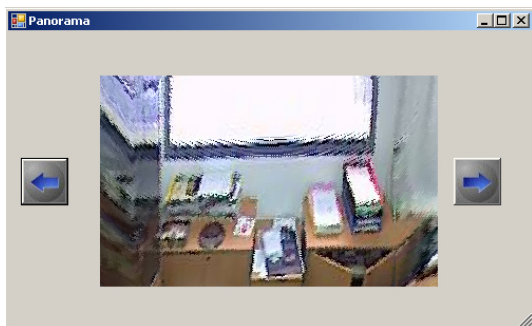


Imagen 21. Imagen de una sección de la pared. Las flechas permiten modificar el ángulo de visión

3. Interfaz con el usuario

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de interfaces visuales con el usuario que permitan a través de sistemas de realidad aumentada interactuar tanto con los servicios de alto nivel que se propongan como con los dispositivos concretos del hogar. La principal innovación en este apartado es que la información que recibe el usuario allí donde se encuentre es la que en ese mismo momento se está captando con el sistema de visión, junto con información virtual como pueden ser los controles de mandos de los diferentes dispositivos presentes en la escena.

Con estos requerimientos y arquitectura del sistema se ha diseñado un interfaz con el usuario que es configurable en función del tipo de dispositivo de acceso y del ancho de banda disponible. Asimismo, puede ser configurado para personas con discapacidad visual.

Este interfaz permite interactuar a través de internet pulsando sobre los diferentes dispositivos (hotspots) presentes en la escena o eligiéndolo de un menú. La imagen mostrada es continuamente actualizada y queda a elección del usuario visualizar la imagen cenital original, la imagen transformada o la imagen panorámica.

En la

Imagen 22 se muestra el aspecto del interfaz web cuando se está interactuando con el sistema desde un computador de sobremesa.

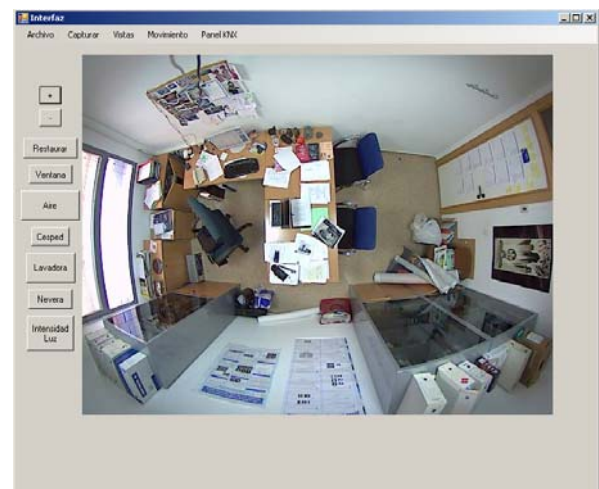


Imagen 22. Interfaz web para interactuar con los dispositivos

Cuando se selecciona un dispositivo aparece el panel de mandos correspondiente para introducir la orden correspondiente. Se han diseñado diferentes controles para posibles dispositivos presentes en el hogar (

Imagen 23).

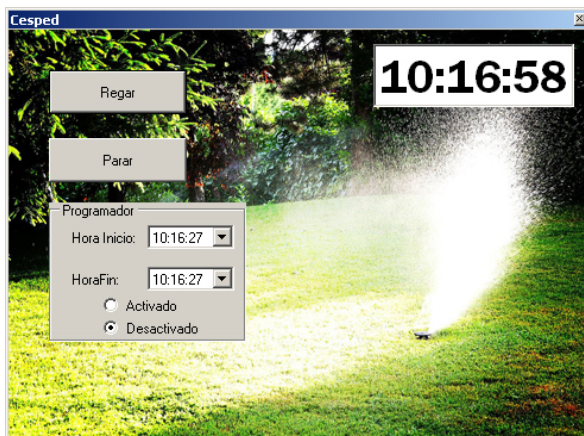
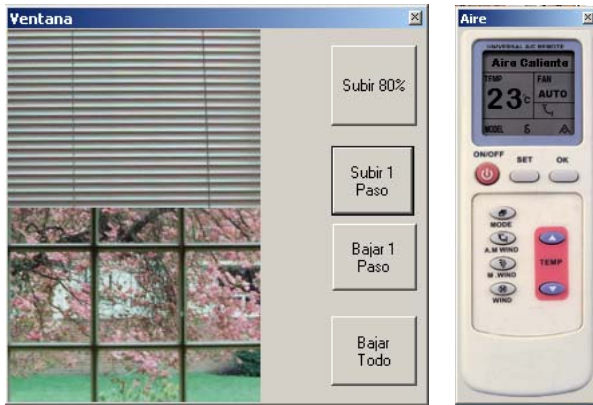


Imagen 23. Controles virtuales de diferentes dispositivos (interruptor, regulador de intensidad, lavadora, persiana, climatización y sistema de riego)

Asimismo, el sistema puede ser accedido desde un dispositivo móvil. Para ello, se han rediseñado los paneles de control virtuales (

Imagen 24). En este interfaz (Imagen 25), la imagen original tomada por la cámara, la imagen transformada o el panorama puede ser continuamente recibida por el dispositivo en el caso de que el ancho de banda de la comunicación lo permita. En caso de que el ancho de banda sea reducido se posibilitan dos opciones:

- Enviar la imagen de la estancia al abrir la aplicación y únicamente actualizarla cada vez que se ejecuta un comando o servicio.
- Inhabilitar la visualización de la estancia.

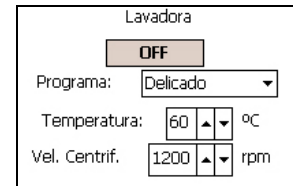
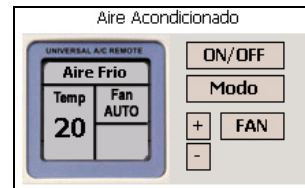
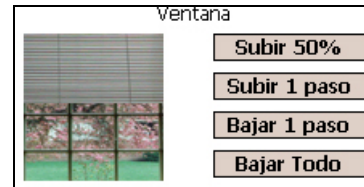
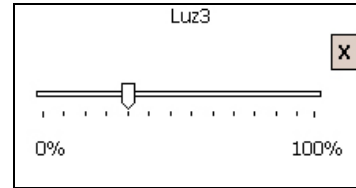


Imagen 24. Controles de diferentes dispositivos (regulador de intensidad, persiana, climatización y lavadora) para el interfaz móvil



Imagen 25. Empleo de la aplicación desde dispositivo móvil

Todas estas variantes del interfaz tienen un modo de interacción basado en visión ya que la selección de los dispositivos y del comando seleccionado se realiza pulsando en lugares concretos de la imagen o en botones. Por esta razón, se ha diseñado una variante para que el interfaz pueda ser empleado por personas con una discapacidad visual (

Imagen 26). En este caso, la selección de estancias y dispositivos se realiza mediante botones cuyo contenido es indicado mediante voz por la aplicación. Cuando se entra en cada una de las pantallas se indican mediante mensajes de voz las diferentes opciones existentes, se finaliza indicando la actualmente seleccionada y en caso de que se trate de la pantalla para interactuar con un dispositivo el valor actual que posee. Cada vez que se da una orden que modifica el estado de un dispositivo, el nuevo valor también es comunicado por el sistema.

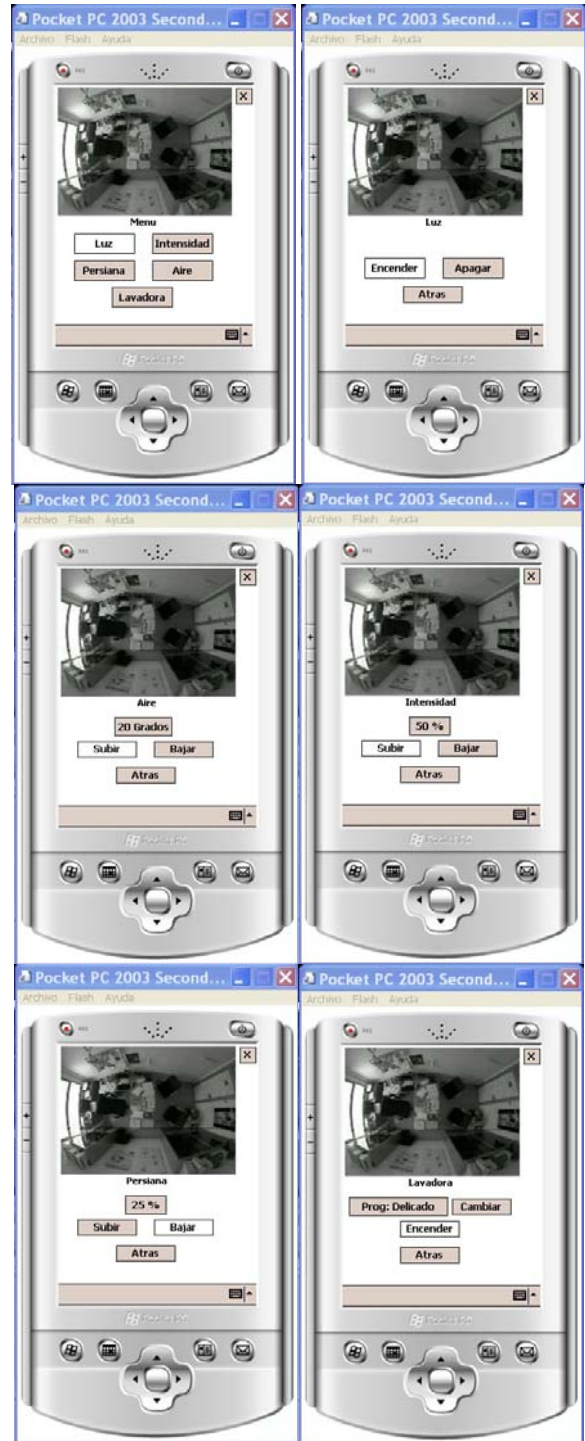


Imagen 26. Pantallas de los dispositivos disponibles en una estancia y de los controles de diferentes dispositivos (luz, regulador de intensidad, persiana, climatización y lavadora) del interfaz para personas con discapacidad visual

4. Prototipo

Para la validación del interfaz se ha desarrollado un prototipo. Para ello, se han integrado una serie de dispositivos (luces, reguladores de intensidad, interruptores, persianas motorizadas) empleando un bus KNX. KNX es el estándar europeo aprobado por el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrónica) para domótica e inmótica. Es un estándar abierto que soporta diferentes medios físicos de transmisión: par trenzado, radiofrecuencia y línea de corriente. La red integra un router que hace de interfaz entre la red Ethernet y el bus KNX. Esa es la pasarela con la que podemos comunicarnos con los dispositivos, ya sea desde un dispositivo móvil o un PC de sobremesa, a través de internet.

El panel domótico KNX con el que contamos posee una serie de dispositivos capaces de proporcionar un conjunto básico de funciones relacionadas con el control de luces y dispositivos. El panel consta de los siguientes componentes:

- Actuador de luces y fuente de alimentación
- Actuador de persianas
- Regulador de luces
- Router

La transmisión de las órdenes desde el ordenador al panel se realiza mediante la librería Falcon de KNX. Esta librería está basada en DCOM (Microsoft's Distributed Component Object Model) que posibilita el uso de Falcon mediante LAN. Falcon ofrece un API para el envío y recepción de telegramas mediante la red KNX. Soporta el acceso RS232, USB y Ethernet.

En cuanto a la cámara omnidireccional, se ha empleado una cámara IP AXIS 212 PTZ Network Camera. Sus características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la cámara omnidireccional

CMOS	3,1 MP
Objetivo	Fujinon, F1. 8 2,7mm, iris fijo.
Ángulo de visión horizontal	44° - 140°
Ángulo de vision vertical	35° - 105°
Resolución	640x480

5. Conclusiones

En este trabajo hemos presentado un interfaz ubicuo accesible para interactuar con los diferentes dispositivos del hogar digital siguiendo el planteamiento de diseño para todos. A partir de una descripción visual del mundo realizada mediante lenguaje XML, el interfaz es configurable en función del dispositivo de entrada, del usuario y del ancho de banda. El diseño de paneles de control virtuales permite una interacción mucho más sencilla con el hogar digital y la visualización en tiempo real de la realización del comando aumenta la confianza del usuario en el uso de estos interfaces.

En cuanto a los trabajos actuales empleando dispositivos de visión, ya se ha realizado un interfaz multimodal (visión más voz) para interactuar con el hogar digital de modo presencial empleando la misma cámara omnidireccional. Para ello, cuando a través de un micrófono situado en la propia cámara, se detecta una orden conocida, se procesa la imagen cenital obteniendo la dirección a la que está señalando el usuario. A partir de la modelización que se posee de la escena, se puede conocer el dispositivo al que se está señalando y, por tanto, que éste ejecute la orden correspondiente (

Imagen 27).

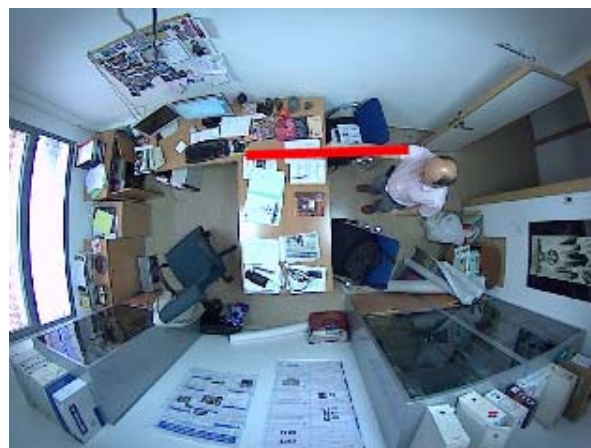


Imagen 27. Interfaz de interacción mediante gestos y voz con el hogar digital

Asimismo, actualmente se están desarrollando diferentes servicios con el mismo sistema de visión omnidireccional, como son el reconocimiento de personas, reconocimiento de comportamientos, cuestiones relativas a la seguridad, etc.

6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la financiación parcial de este trabajo por parte de la Conselleria

de Empresa, Universitat i Ciència de la Generalitat Valenciana dentro del proyecto GV06/195.

7. Referencias

[1] European Science and Technology Observatory, Science and Technology Roadmapping: Ambient Intelligence in Everyday Life (Aml@Life), 2003

[2] P. Remagnino, G.L. Foresti y T. Ellis (eds.), Ambient Intelligence. A novel Paradigm, Springer, 2005

[3] F. Devernay, y O. Faugeras, "Straight lines have to be straight", Machine Vision and Applications , 13, pp. 14–24, 2001

Dispositivos robóticos de rehabilitación basados en Interfaces Cerebro-Ordenador: silla de ruedas y robot para teleoperación

Iñaki Iturrate, Carlos Escolano, Javier Antelis, Javier Minguez
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas (I3A)
Universidad de Zaragoza

iturrate@unizar.es , cescolan@unizar.es , antelis@unizar.es , jminguez@unizar.es

Resumen

Este artículo describe dos dispositivos de rehabilitación cuyo funcionamiento se apoya únicamente en el pensamiento, ambos desarrollados en la Universidad de Zaragoza: el primero de ellos es una silla de ruedas con navegación autónoma y controlada con el pensamiento, mientras que el segundo es un robot controlado con el pensamiento para realizar tareas de teleoperación de manera remota. Básicamente, el usuario observa una reconstrucción virtual del entorno en tiempo real (silla de ruedas) o video real capturado por una cámara y con diferentes aspectos añadidos de realidad aumentada (robot), y se concentra en el área del espacio a alcanzar. Un proceso de

estimulación visual elicit el fenómeno neurológico (P300 en este caso), el procesado de señal EEG detecta el objetivo, y a continuación es enviado al sistema de navegación autónomo, que conduce el dispositivo hasta el lugar deseado esquivando los obstáculos detectados. Estos sistemas han sido rigurosamente validados con diez usuarios sanos (cinco por cada aplicación). El resultado general es que todos los usuarios usaron correctamente los dispositivos con relativa facilidad y adaptabilidad.

1. Introducción

En la actualidad existen determinadas enfermedades, especialmente de tipo degenerativo, que provocan paulatinamente la incapacidad de uso

de cualquier tipo de actividad muscular, como la Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA). Así, la interacción habitual de pacientes con este tipo de enfermedades con una máquina resulta imposible, y el único canal de comunicación disponible pasa a ser el cerebro. Asimismo, esta idea también es aplicable por ejemplo a personas que hayan perdido alguna extremidad, a las que se les podría implantar un brazo o pierna robótica. A partir de estas premisas nacen las tecnologías llamadas Interfaces Cerebro-Ordenador.

Entendemos por Interfaces Cerebro-Ordenador, o Brain-Computer Interfaces (BCI de ahora en adelante) aquellos interfaces que permiten una interacción con el usuario utilizando únicamente las señales cerebrales del mismo. Es decir, esta tecnología permite el control de aplicaciones con la mente, evitando el uso de cualquier otro tipo de actividad muscular por parte del usuario. De esta manera, surge un campo virgen de investigación que en los últimos años ha recibido un creciente interés.

Uno de los aspectos que marcan la diferencia en este campo es el tipo de técnica utilizado para medir la actividad cerebral. En EEUU la investigación viene dominada por las técnicas invasivas en animales, en donde se introduce un sensor directamente en el cerebro. La ventaja es la nitidez de la señal, a costa de los problemas éticos que conlleva. Por esta razón, en Europa la investigación tiende a utilizar técnicas denominadas no-invasivas (concretamente el electroencefalograma o EEG) que están basadas en la colocación de unos sensores en un gorro colocado en la superficie del cráneo. La principal desventaja es que la señal medida es mucho peor, pero a cambio se trabaja con una clara aplicabilidad a humanos.

En este contexto, surge la idea del desarrollo de aplicaciones que hagan uso de esta tecnología emergente, diseñadas para personas con discapacidades físicas severas. Hoy en día existen numerosos interfaces que estas personas pueden usar para controlar dispositivos asistidos. Sin embargo, todas estas aproximaciones requieren, en mayor o menor medida, de determinada actividad muscular. La ventaja que aportan las técnicas BCI, como ya se ha comentado, es la eliminación de esa necesidad, ofreciendo al usuario la posibilidad de controlar estos dispositivos únicamente con el pensamiento. El abanico de aplicaciones que surge a partir de este concepto es enorme, desde el control de una silla de ruedas hasta el implante de un brazo robótico controlado de manera natural.

Actualmente, existen diversas investigaciones en este ámbito. Hasta la fecha, los sistemas basados en EEG han sido usados por humanos para controlar un ratón en la pantalla [1], para comunicación como un deletreador [2], como un navegador web [3], etc. En lo que respecta a robots controlados con la mente, el

primer control se realizó en el 2004 [4], y desde entonces, la investigación se ha centrado en manipuladores [5], humanoides de pequeño tamaño [6] y sillas de ruedas [7], [8], [9].

Partiendo de esta base, en la Universidad de Zaragoza se han desarrollado dos sistemas que presentan aplicaciones con diversas innovaciones: la primera de ellas, una nueva aproximación de una silla de ruedas controlada con el pensamiento, donde se tratan de paliar determinadas deficiencias de las soluciones anteriores; la segunda de ellas, el control de un robot con el pensamiento y situado en una localización remota, es decir, una teleoperación. Para ambas aplicaciones se ha seguido una rigurosa metodología de diseño de experimentos, así como una exhaustiva evaluación de los posteriores resultados obtenidos, realizados con cinco usuarios sanos. El resultado general obtenido es que todos los usuarios fueron capaces de utilizar correcta y eficientemente los prototipos diseñados, demostrando además una gran adaptación ante cambios del entorno y una gran robustez de los sistemas desarrollados.

2. Diseño del sistema de la silla de ruedas

La investigación en dispositivos cerebro-máquina aplicados al control humano se ha desarrollado en dos direcciones fundamentales: neuroprótesis y sillas de ruedas controladas con el pensamiento. Las sillas de ruedas se centran en ofrecer facilidad en la asistencia de movilidad para lograr completar tareas de navegación complejas. Estos dispositivos han demostrado que mejoran la calidad de vida, la independencia y la autoestima de los usuarios.

A continuación describimos un nuevo concepto de silla de ruedas controlada con el pensamiento, que hace uso del protocolo neurofisiológico sincrónico P300, integrado en un constructor gráfico de escenarios en tiempo real, y que incorpora características avanzadas de navegación autónoma (Figura 1).

De manera resumida, el usuario observa una pantalla con una reconstrucción virtual del entorno en tiempo real, a partir de la información enviada de escáner láser. Mediante esta representación, el usuario se concentra en el área del espacio a alcanzar. Un proceso de estimulación visual elicit el fenómeno neurofisiológico y el procesamiento de señal detecta el objetivo. Entonces, esta localización se envía al sistema de navegación autónoma, que conduce a la silla hasta el lugar deseado evitando los obstáculos estáticos y dinámicos detectados por el láser.

Desde el punto de vista de la navegación, en este sistema el usuario selecciona libremente destinos del entorno, que son alcanzados de manera segura y

autónoma por el sistema de navegación. Este concepto ofrece una gran flexibilidad al usuario, ya que la silla de ruedas puede navegar autónomamente por entornos desconocidos y cambiantes usando tan sólo los sensores integrados en la misma. Además, una vez el usuario selecciona la localización deseada, puede descansar, lo que evita procesos mentales agotadores.

El diseño del sistema está compuesto de dos módulos principales: (i) el sistema cerebro-ordenador, que decodifica la intención del usuario y (ii) el sistema de navegación que ejecuta las decisiones deseadas por el usuario. Además, existe un sistema de comunicaciones, que es el encargado del intercambio de información entre ambos módulos.

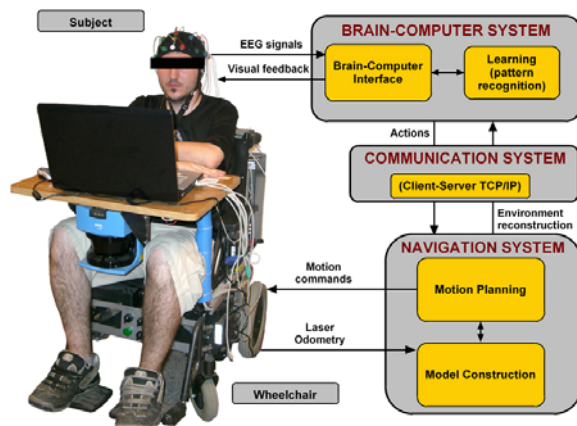


Figura 1: diseño de la silla de ruedas controlada con el pensamiento, los módulos principales y el flujo de información entre ellos.

2.1. Sistema cerebro-ordenador

El protocolo neurofisiológico seguido en nuestro estudio se basa en una respuesta relacionada a eventos, el potencial visualmente evocado P300 [10]. Este potencial se manifiesta como una deflexión positiva en voltaje, con una latencia de aproximadamente 300 milisegundos en la señal EEG después de la aparición del estímulo objetivo, entre una secuencia aleatoria de estímulos no-objetivo (ver Figura 2).

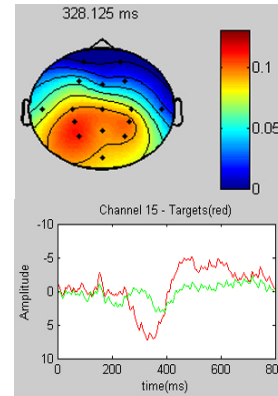


Figura 2. (Izquierda) Gráfica topográfica de la distribución EEG en la cabeza a 300 ms. El área con más actividad (parte media-baja de la cabeza) está en el lóbulo parietal, donde el potencial P300 se elicit. (Derecha) Respuesta P300 típica. La línea roja muestra la actividad EEG en un canal (elicitada por el estímulo objetivo), y la línea verde corresponde a la actividad por un estímulo no-objetivo.

Además de la unidad de procesamiento de señal, el sistema cerebro-ordenador incluye una interfaz gráfica. Esta interfaz tiene dos funcionalidades: por un lado muestra una reconstrucción 3D en tiempo real del entorno e información adicional para la selección de órdenes, y por otro lado desarrolla el proceso de estimulación para elicitar el potencial P300. Para controlar la silla de ruedas, el usuario selecciona destinos o primitivas de movimiento concentrándose en las posibilidades mostradas en la pantalla del ordenador (Figura 3). Los aspectos gráficos de este módulo están basados en un estudio previo con una silla de ruedas con una pantalla táctil, adaptada para pacientes disminuidos [11].

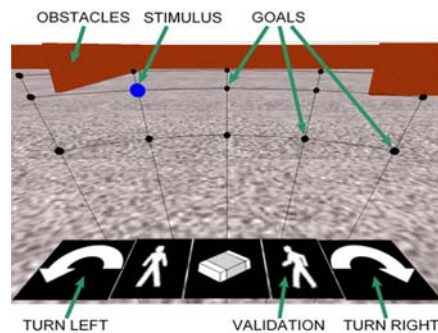


Figura 3: interfaz gráfica diseñada.

La información mostrada en la pantalla es una reconstrucción del escenario real, para la selección de comandos por parte del usuario. El entorno 3D es construido a partir de un mapa 2D, construido a su vez en tiempo real por el sistema de navegación autónoma. En otras palabras, la información visual de la pantalla es una reconstrucción simplificada de la percepción del usuario. El uso de un mapa online

en lugar de uno construido a priori otorga al sistema con la flexibilidad para trabajar en entornos desconocidos. Esto es debido a que los mapas online se adaptan rápidamente a los cambios del entorno, como por ejemplo personas moviéndose u obstáculos no predichos como sillas o mesas. Los obstáculos son representados mediante paredes. Finalmente, el resto de la información mostrada es usada para la selección de comandos: el mallado sobre el suelo mapea las diferentes posibilidades de destinos alcanzables, donde la primera fila es la que tiene los destinos más lejanos; las paredes esconden los destinos inalcanzables; los botones con flechas giran el vehículo $\pm 90^\circ$ su posición; los botones representados como luces de tráfico representan (i) validar los comandos el usuario o (ii) parar el vehículo; y la goma representa la opción de borrar selección. En la versión actual el botón de STOP y la goma no se usan, pero se han tenido en cuenta para la siguiente versión del prototipo de interfaz. Todos los elementos del interfaz son personalizables en cuanto a color, textura, forma, tamaño y localización se refiere. Esta característica cobra relevancia en las sesiones de *screening*, comentadas en el siguiente apartado, ya que fueron usadas para equilibrar las capacidades y preferencias del usuario con el rendimiento del sistema (recaltar que la elicitación de la P300 se ve afectada por estos cambios).

El otro aspecto de la interfaz gráfica es el proceso de estimulación para elicitar la P300 cuando el usuario esta concentrándose en una opción. Una opción es “estimulada” mostrando un círculo en la misma (Figura 3). Una secuencia del proceso de estimulación es una estimulación de todas estas opciones de manera aleatoria, tal y como requiere el paradigma P300. Para reducir la duración de una secuencia y la dimensión del problema de reconocimiento de patrones, seguimos el paradigma de estimulación de Farwell y Donchin [12]. En este paradigma, la aparición de los estímulos se realiza por filas y por columnas en lugar de mostrar cada opción individualmente. Por tanto, en nuestro interfaz hay 9 estimulaciones (filas más columnas) y dos problemas de clasificación de 5 y 4 clases (la opción deseada será la intersección de la fila deseada y la columna deseada). El número de secuencias y todos los tiempos e intervalos de los procesos de estimulación (tiempo de exposición de cada estímulo, duración entre estímulos, duración entre secuencias) puede ser modificado para equilibrar las capacidades del usuario y sus preferencias de acuerdo al rendimiento del sistema.

2.2. Sistema de navegación

El otro módulo consiste en el sistema de navegación integrado en la silla. La silla de ruedas robótica fue construida a partir de una silla de ruedas eléctrica comercial, que cumplía con los requisitos de movilidad y ergonomía del usuario. Tiene dos ordenadores: el primero de ellos realiza el control de la silla de ruedas, y el segundo calcula las trayectorias de navegación y se encarga de gestionar las comunicaciones que existen entre la silla y el sistema BCI. El sensor principal es un láser planar SICK, situado en la parte frontal del vehículo. Hemos incorporado al robot una tecnología autónoma de navegación que es capaz de conducir el vehículo al destino dado evitando cualquier tipo de obstáculos, ya sean estáticos o dinámicos, detectados por el sensor láser [13]. Este módulo tiene dos funcionalidades. Por una parte, un bloque de modelado construye a partir de las medidas del sensor un modelo local del entorno, y registra la localización del vehículo. Por otra parte, un planificador local computa el movimiento local basado en la combinación híbrida de planificación táctica y evitación reactiva de obstáculos.

Una vez desarrollada cada unidad y enlazadas mediante un sistema de comunicaciones, el sistema global está completamente preparado para ser usado. Básicamente, el protocolo de ejecución funciona como sigue. Inicialmente, el usuario observa una pantalla con la interfaz gráfica explicada anteriormente. Cuando la estimulación comienza, el usuario se concentra en la opción deseada, y después en la opción de validación. Una vez la opción se valida, se envía a la silla de ruedas, y el proceso de estimulación se para. En ese momento, la silla de ruedas planifica el movimiento y comienza a moverse para alcanzar el destino. Cuando éste es alcanzado, la silla envía una respuesta a la interfaz gráfica informando de que el movimiento ha finalizado, y entonces el proceso de estimulación comienza de nuevo.

3. Metodología y evaluación

Se seleccionaron diversos usuarios para la realización de los experimentos, de acuerdo a determinados criterios de inclusión. Concretamente, cinco usuarios sanos, varones, de 22 años de edad, estudiantes de la Universidad y diestros participaron en los mismos. Ninguno de ellos había utilizado una silla de ruedas eléctrica con anterioridad. El estudio



Figura 4: Capturas de diferentes sujetos durante los experimentos.

se realizó en el laboratorio de BCI de la Universidad de Zaragoza. A continuación se resumen las primeras dos fases, y nos centraremos en la tercera ya que involucra al dispositivo de rehabilitación como tal.

La primera fase fue la sesión de *screening*. El objetivo de esta sesión era el de conseguir una interfaz gráfica que equilibrara las capacidades del usuario y sus preferencias con el rendimiento del sistema, en cuanto a color, brillo del estímulo y texturas se refiere. La segunda fase consistió en una subfase de entrenamiento y un test en un simulador de la silla, que emulaba los mecanismos de la interfaz de usuario y el movimiento de navegación de la silla.

La última fase consistió en la navegación en tiempo real con la silla de ruedas a través de dos circuitos preestablecidos. El objetivo de esta batería de experimentos era el de crear la base para una evaluación técnica y de coherencia del dispositivo diseñado: explorar las capacidades de navegación del sistema y comprobar el rendimiento de los usuarios en casos reales. Diseñamos dos circuitos que el usuario tuvo que resolver navegando autónomamente con la silla. El primer circuito fue diseñado para la realización de tareas de maniobrabilidad compleja y la esquivación de obstáculos en entornos cerrados. El segundo circuito consistía en la navegación por espacios abiertos.

En lo que respecta a los resultados de los experimentos, el lector es dirigido a [14] para más detalles sobre las dos primeras evaluaciones, y nos centramos en la evaluación del dispositivo BCI como tal. El resultado general es que todos los usuarios fueron capaces de usar con éxito el dispositivo con relativa facilidad, mostrando una gran adaptación, y además una gran robustez y coherencia (Figura 4). A continuación se detalla una evaluación general de la silla de ruedas, una evaluación particular del rendimiento de BCI y un análisis de coherencia.

1. *Rendimiento general*: seguimos aquí las métricas propuestas en [11] para evaluar el rendimiento de sillas de ruedas autónomas:

- Éxito en la tarea: si la tarea se realizó con éxito.
- Longitud del camino: distancia recorrida para completar la tarea.
- Tiempo: tiempo en completar la tarea.
- Colisiones: número de colisiones.
- Rendimiento BCI: rendimiento del sistema de reconocimiento.
- Número de misiones: una misión es definida como la selección de un destino + validación.

Los resultados se muestran en las tablas I y II.

Tabla I: Rendimiento general, tarea 1

	min	Max	Mean	Std
Long. recorrida (m)	12.8	19.0	15.7	2.0
Tiempo (seg)	448	834	571	123
Rendimiento BCI práctico	0.88	1	0.95	0.04
# misiones	8	14	9.6	1.9

Tabla II: Rendimiento general, tarea 2

	min	Max	mean	Std
Long. recorrida (m)	37.5	41.4	39.3	1.3
Tiempo (seg)	507	918	659	130
Rendimiento BCI práctico	0.81	1	0.94	0.07
# misiones	7	12	9.2	2.9

Todos los usuarios navegaron autónomamente y con éxito por los dos circuitos, lo que es el mejor indicador de la utilidad del dispositivo. No ocurrieron colisiones durante los experimentos. La longitud del camino, tiempo tomado y número de misiones fue muy similar para todos los usuarios, lo que indica un rendimiento similar entre usuarios. La interacción con el dispositivo fue también satisfactoria ya que el rendimiento en media siempre fue superior al 94%. Entendemos que estos resultados son esperanzadores, ya que los experimentos fueron realizados en escenarios diseñados cuidadosamente para cubrir muchas de las situaciones reales de navegación de estos dispositivos.

2. *Rendimiento BCI*: ha habido diversas métricas para evaluar el rendimiento de BCI [15]. Basándonos en ellas, proponemos las siguientes:

- Rendimiento BCI teórico: selecciones correctas de BCI vs total de selecciones.
- Errores totales: número de selecciones incorrectas
- Errores útiles: selecciones de BCI incorrectas que el usuario decidió reutilizar.
- Rendimiento BCI práctico: selecciones correctas más errores útiles vs total de selecciones.

Los resultados se muestran en las tablas III y IV.

Tabla III: Rendimiento de BCI, tarea 1

	min	max	mean	std
Rendimiento BCI teórico	0.85	1	0.93	0.05
Rendimiento BCI práctico	0.88	1	0.95	0.04
# total de errores	0	4	1.6	1.35
# errores útiles	0	1	0.3	0.48

Tabla IV: Rendimiento de BCI, tarea 2

	min	max	mean	std
Rendimiento BCI teórico	0.77	1	0.92	0.07
Rendimiento BCI práctico	0.81	1	0.94	0.07
# total de errores	0	7	1.9	2.13
# errores útiles	0	1	0.4	0.52

El rendimiento teórico en media fue siempre superior al 92%, indicando un gran rendimiento. Hemos distinguido entre rendimiento teórico y práctico. Esto es debido a que en algunas situaciones, aunque el sistema BCI no reconoció la selección del usuario, la selección de BCI fue usada por el usuario para completar la misión. Estos errores son casi el 20% del total, haciendo que el rendimiento práctico sea superior al teórico. Además, redujeron el tiempo para selecciones y validaciones.

3. *Análisis de coherencia:* a continuación resumimos los resultados principales de un análisis de coherencia de las sesiones de experimentación, esto es, cuán coherentes fueron las dos ejecuciones de una misma tarea y cuán coherente fue la ejecución de las tareas entre los usuarios. Proponemos el número de selecciones, misiones, distancia y fallos de BCI normalizados en tiempo como la base para este estudio. Para la medición de coherencia, usamos el coeficiente de correlación de Pearson: valores cercanos a uno indican alta coherencia, valores lejanos a uno indican baja coherencia.

La coherencia entre ejecuciones de un mismo circuito indica el grado de similitud entre las dos ejecuciones que cada usuario realizó de cada tarea. Para todos los usuarios, este valor fue siempre superior a 0.98, indicando que la coherencia entre ejecuciones es muy alta. Entendemos por los resultados que todos los usuarios usaron el dispositivo para resolver cada tarea de una manera coherente.

La coherencia entre usuarios representa el grado de similitud entre las ejecuciones de un usuario respecto las de los otros usuarios. Los resultados de este análisis se muestran en las tablas V y VI.

Tabla V: Coherencia entre usuarios, tarea 1

	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1	0.962	0.984	0.953	0.981
S2	-	1	0.941	0.951	0.976
S3	-	-	1	0.977	0.975
S4	-	-	-	1	0.984
S5	-	-	-	-	1

Tabla VI: Coherencia entre usuarios, tarea 2

	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1	0.960	0.916	0.953	0.998
S2	-	1	0.963	0.987	0.970

S3	-	-	1	0.989	0.925
S4	-	-	-	1	0.959
S5	-	-	-	-	1

Los valores de coherencia son siempre superiores a 0.92, por tanto la coherencia entre usuarios es muy alta. Este resultado sugiere que todos los usuarios usaron el dispositivo para resolver las tareas de navegación coherentemente y de manera análoga.

4. Diseño del sistema de teleoperación

La habilidad de teleoperar robots con la mente en un escenario remoto abre una nueva dimensión de posibilidades para pacientes con severas discapacidades neuromusculares: estos dispositivos de rehabilitación proporcionan a los pacientes – incapaces de salir de sus entornos clínicos – una entidad física personificada en un entorno real (en cualquier parte del mundo) preparada para percibir, explorar, manipular e interactuar; únicamente controlada con la actividad mental, que podría ser el único grado de libertad del que dispusieran.

Aquí describimos el primer sistema de teleoperación humano controlado con la mente y utilizando métodos no invasivos, basado en electroencefalografía (EEG). Este sistema cuenta con una estación del usuario (entorno clínico del paciente) y una estación del robot (situado en cualquier parte del mundo), ambos localizados remotamente pero conectados a través de internet (Figura 5). La idea subyacente del sistema es que en la estación del usuario, el sistema cerebro-ordenador decodifica las intenciones del usuario, las cuales se transfieren al sistema robótico a través de internet. El usuario puede alternar entre un modo de navegación del robot (para el control del movimiento del robot) y un modo de control de la cámara (para controlar la orientación de la cámara). Además, la cámara manda video en tiempo real del entorno de la estación del robot, el cual es usado por el usuario como una retroalimentación visual para la toma de decisiones y el control del sistema.

El sistema de teleoperación con la mente está compuesto por dos módulos principales: (i) el sistema cerebro-ordenador que decodifica las intenciones del usuario, y (ii) el sistema robótico que ejecuta las decisiones del usuario. Además, existe un sistema de comunicaciones entre ellos por medio de internet para poder intercambiar la información necesaria.

4.1. Sistema cerebro-ordenador

El protocolo neurofisiológico seguido en nuestro estudio está basado en el potencial visualmente evocado P300, al igual que en el sistema de la silla de ruedas anteriormente descrito (ver sección 2). Este sistema incorpora un interfaz gráfico con dos funcionalidades: (i) muestra visualmente un conjunto predefinido de opciones que los usuarios pueden seleccionar, y (ii) lleva a cabo el proceso de estimulación para producir el potencial P300, y por tanto, permitir a este sistema decodificar las intenciones del usuario.

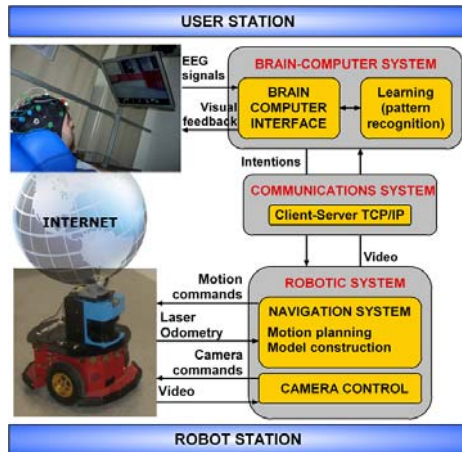


Figura 5: Esta figura muestra el diseño del robot teleoperado con la mente, las dos estaciones, los principales sistemas que lo componen y el flujo de información entre ellos.

En cuanto a la primera funcionalidad, la base del interfaz gráfico es el video en tiempo real recibido a través de la cámara del robot, situada sobre éste. Este video es aumentado por información superpuesta relacionada con los dos modos de teleoperación: el modo de navegación del robot y el de control de la cámara.

El modo de navegación del robot permite al usuario controlar el movimiento del robot (Figura 6). Superpuesto al video se muestran los obstáculos del entorno como muros semitransparentes. Además, existe una malla de posibles destinos sobre el suelo que el usuario puede seleccionar para ordenar al robot alcanzar dicha posición. Los obstáculos ocultan los destinos no alcanzables de la malla. Los iconos en la parte de abajo del interfaz representan las siguientes acciones, de izquierda a derecha: (i) girar el robot 45° a la izquierda, (ii) refrescar el video recibido para realizar una selección basada en una información más reciente del entorno, (iii) cambiar al modo de control de la cámara, (iv) validar la selección previa, y (v) girar el robot 45° a la derecha.

El modo de control de la cámara permite cambiar la orientación de la cámara para realizar una exploración visual del entorno (Figura 7). Superpuesto al video hay una malla de posiciones,

situadas uniformemente sobre un plano en 2D en frente de la cámara, las cuales el usuario puede seleccionar para orientar la cámara en esa dirección. Los iconos en la parte de abajo del interfaz representan las siguientes acciones, de izquierda a derecha: (i) alinear el robot con la orientación horizontal de la cámara y cambiar al modo de navegación del robot, (ii) refrescar el video, (iii) cambiar al modo de navegación del robot, (iv) validar la selección previa, y (v) poner la cámara en su orientación inicial.

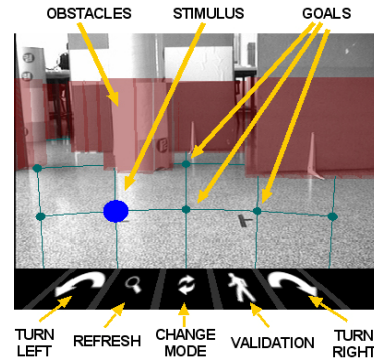
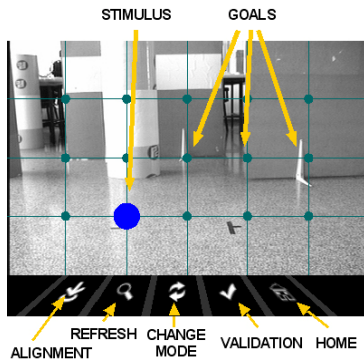


Figura 6: Interfaz gráfica en el modo de navegación del robot.

En cuanto a la segunda funcionalidad, el proceso de estimulación debe producir el potencial P300 cuando el usuario se concentra en una opción determinada del interfaz. Las opciones del interfaz se “estimulan” mostrando un círculo en una intersección de la malla o en un icono. Se sigue el paradigma de Farwell y Donchin [12] como en el sistema de la silla de ruedas para el proceso de estimulación; por lo tanto, la estimulación se realiza por filas y columnas en vez de cada opción individualmente, obteniendo 9 estimulaciones (4 filas más 5 columnas) por secuencia. La topología de los elementos de realidad aumentada se mantiene constante entre ambos modos para mantener un patrón de estimulación uniforme. Todos los elementos del interfaz pueden modificarse en términos de color, textura, forma, tamaño y posición; al igual que todo lo referente a la temporización del proceso de estimulación (tiempo de exposición de cada estímulo, duración entre estímulos, duración entre secuencias) para equilibrar las capacidades y preferencias de los usuarios con el rendimiento del sistema.

El sistema global funciona de la siguiente forma. El usuario se concentra en una opción determinada del interfaz gráfico (descrito arriba). Inicialmente, el robot está parado, esperando decisiones del usuario, y el interfaz gráfico comienza en el modo de navegación del robot. A continuación se inicia un proceso de estimulación y una opción es seleccionada. Un nuevo proceso de estimulación

comienza y, si la opción seleccionada es la validación, la opción previamente seleccionada se transfiere al sistema robótico; de cualquier otra forma el proceso empieza de nuevo. Cuando el sistema robótico recibe una opción, deja de producirse el proceso de estimulación y el robot ejecuta la acción correspondiente. Mientras tanto el interfaz gráfico recibe el video de la cámara. Una vez que termina la ejecución de la acción, termina la transferencia de video y el proceso global empieza de nuevo.



Se ha incorporado al robot la misma tecnología de navegación autónoma que la disponible en la silla de ruedas. Esta tecnología permite conducir el vehículo a un destino evitando los obstáculos tanto estáticos como dinámicos detectados por el sensor láser [13]. Este módulo tiene dos funcionalidades. Por una parte, un módulo de modelado integra las medidas del láser para construir un modelo local del entorno y rastrea la posición del vehículo. Por otra parte, un planificador local calcula el movimiento local basado en una combinación híbrida de planificación táctica y evitación reactiva de colisiones.



Figura 8: Capturas de diferentes momentos durante los experimentos

5. Metodología y evaluación

Para la realización de los experimentos de teleoperación y la evaluación del rendimiento y adaptabilidad del sistema por usuarios sanos en configuraciones reales, varios usuarios fueron seleccionados de acuerdo a unos criterios de inclusión con el fin de obtener una muestra lo más homogénea posible. En concreto, 5 usuarios sanos,

Figura 7: Interfaz gráfica en el modo de control de la cámara.

4.2. Sistema robótico

El robot es un *Pioneer 3-DX* comercial equipado con dos ordenadores. El ordenador de bajo nivel se encarga de las primitivas de control de movimiento de las ruedas, y el de alto nivel se encarga del resto de las tareas computacionales. El principal sensor es un láser plano *SICK* situado en la parte frontal del vehículo. Funciona a 5 Hz, con un campo de vista de 180° y 0.5° de resolución (361 puntos). Este sensor proporciona información sobre los obstáculos situados en la parte frontal del vehículo. El robot está equipado, además, con un sistema de odometría, con una tarjeta de red inalámbrica que permite conectar el robot a una red, y con una cámara *Canon VC-C4* orientable en ángulos pan/tilt y situada sobre el láser, que permite realizar una exploración visual del entorno.

de 22 años, hombres, diestros y estudiantes de la Universidad de Zaragoza participaron en los experimentos. Ninguno de los usuarios participó en los experimentos de la silla de ruedas, ni habían utilizado anteriormente algún dispositivo similar. El estudio se realizó en dos fases: evaluación de “screening” y de entrenamiento, y evaluación de la teleoperación.

El objetivo de la primera sesión era encontrar la interfaz gráfica que mejor equilibrase las capacidades y preferencias de los usuarios con el rendimiento del sistema. Para esto se realizaron experimentos de “screening”, es decir, experimentos en los que se evalúan diversos

aspectos visuales del interfaz de acuerdo a métricas técnicas y psicológicas de preferencias de los usuarios. En ésta también se pretendía entrenar a los usuarios para calificarlos para su participación en la segunda fase.

El objetivo de la segunda sesión era probar el sistema entre lugares remotos (dos ciudades) y registrar datos para su posterior evaluación. Los experimentos se realizaron la semana del 23 de

Junio de 2008, entre el laboratorio de BCI de la Universidad de Zaragoza y la Universidad de Vilanova y la Geltrú, a 260km de distancia. Se diseñaron dos tareas en dos circuitos distintos que combinaban de forma conjunta navegación y exploración: la tarea 1 consistía en la navegación en espacios reducidos con una búsqueda visual activa de dos objetivos, mientras que la tarea 2 consistía en la navegación en espacios abiertos con una búsqueda activa de un objetivo visual.

De acuerdo a los resultados de los experimentos, resumimos aquí los resultados obtenidos en las sesiones de experimentación (Figura 8). El lector es redirigido a [16] para más detalles de la evaluación. Concretamente, se detalla una evaluación general del sistema, una evaluación particular del sistema cerebro-ordenador y un análisis de coherencia.

1) *Rendimiento general*: siguiendo [11] se proponen las siguientes métricas para el estudio:

- Colisiones: número de colisiones.
- Longitud recorrida (m): distancia recorrida por el robot.
- Tiempo (seg): tiempo empleado para realizar la tarea.
- Misiones: número de selecciones de un objetivo + validación.
- Rendimiento BCI: rendimiento del sistema BCI.

Los resultados se muestran en las tablas VII y VIII.

Tabla VII: Rendimiento general, tarea 1

	min	Max	mean	Std
Long.recorrida (m)	10.9 9	13.5 3	11.84	0.90
Tiempo (seg)	685	1249	918	163
# misiones	12	19	13.9	2.3
Rendimiento BCI (práctico)	0.83	1.00	0.92	0.07

Tabla VIII: Rendimiento general, tarea 2

	min	Max	mean	Std
Long.recorrida (m)	19.6 8	21.8 3	20.68	0.63
Tiempo (seg)	706	1126	910	154
# misiones	10	15	11.7	1.6
Rendimiento BCI (práctico)	0.78	1.00	0.89	0.07

Todos los usuarios resolvieron dos veces cada tarea, demostrando que eran capaces de combinar las capacidades de navegación y control de la cámara. No hubo colisiones. La longitud recorrida y el número de colisiones fueron similares para todos los usuarios, indicando un rendimiento similar. La variabilidad del tiempo total es significativa porque el número de secuencias en el proceso

de estimulación de BCI cambió entre ellos. Esto es debido a que dicho número debió de adaptarse para cada uno de los usuarios para obtener un mínimo rendimiento del sistema BCI (más secuencias significan mayor rendimiento, pero también mayor duración). En media el rendimiento de BCI fue muy alto, sobre el 90%.

En conclusión, los resultados sugieren un alto rendimiento del sistema de teleoperación con la mente. Debe remarcar que ambas tareas se diseñaron para probar la combinación de ambos modos de teleoperación bajo diferentes condiciones de trabajo.

2) *Rendimiento BCI*: Basado en [15], se proponen las siguientes métricas:

- Rendimiento teórico de BCI: selecciones correctas entre las totales.
- Rendimiento práctico BCI: selecciones correctas y errores útiles frente a las totales.
- Total errores: número de selecciones incorrectas.
- Errores útiles: selecciones incorrectas que el usuario decide reutilizar para completar la tarea.
- Los resultados se muestran en las tablas IX y X.

Tabla IX: Rendimiento BCI, tarea 1

	min	max	mean	std
Rendimiento teórico BCI	0.81	1.0 0	0.90	0.08
Rendimiento práctico BCI	0.83	1.0 0	0.92	0.07
# Total errores	0	6	2.90	2.56
# Errores útiles	0	2	0.60	0.84

Tabla X: Rendimiento BCI, tarea 2

	min	max	mean	std
Rendimiento teórico BCI	0.73	1.0 0	0.86	0.09
Rendimiento práctico BCI	0.78	1.0 0	0.89	0.07
# Total errores	0	11	4.90	3.70
# Errores útiles	0	5	1.20	1.81

La convención [17] usada para evaluar que una persona es capaz de usar un BCI es cuando su rendimiento es superior al 80%. En nuestros experimentos, el rendimiento real fue del 90% y 86% (en media). Hemos hecho distinción entre el rendimiento teórico y práctico porque en algunas situaciones, aunque el sistema BCI falló, la selección fue reutilizada por el usuario para completar la tarea. Estos errores útiles transforman el rendimiento práctico (del 92% y 89%) mayor que el real. El sistema BCI envió dos misiones incorrectas al sistema

robótico entre todas las ejecuciones (representando el 0.78% del total), que es el doble de la probabilidad teórica de ocurrencia de esta situación (0.3%).

- 3) *Análisis de coherencia:* A continuación se resumen los principales resultados del análisis de coherencia de las sesiones de experimentación. El primero está relacionado con cómo de coherentes fueron las dos ejecuciones de cada tarea, y el segundo con cómo de coherentes fueron las ejecuciones de las tareas entre los distintos usuarios. Proponemos como métricas el número de selecciones, de misiones y la distancia recorrida (todas ellas normalizadas en tiempo). La coherencia viene dada por el coeficiente de correlación de Pearson, cuyos valores cercanos a uno indican una fuerte coherencia mientras que valores alejados indican una débil coherencia.

Por una parte, la coherencia entre ejecuciones indica el grado de similitud entre las dos ejecuciones de la misma tarea por cada usuario. Por cada usuario y tarea, se calcularon los valores de la correlación y se obtuvo que eran siempre superiores a 0.98, indicando una fuerte coherencia. Por lo tanto, los resultados sugieren que los usuarios usaron el sistema de forma coherente para resolver cada tarea.

Por otra parte, la coherencia entre usuarios indica el grado de similitud entre las ejecuciones de las tareas. Para todos los usuarios, se calculó la correlación de acuerdo a las métricas anteriores. Los resultados se muestran en las tablas XI y XII. Los valores de coherencia fueron muy altos (siempre superiores a 0.87). Estos resultados sugieren que todos los usuarios usaron el sistema de forma coherente para completar las áreas y de una forma análoga.

Tabla XI: Coherencia entre usuarios, tarea 1

	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1	0.962	0.984	0.953	0.981
S2	-	1	0.941	0.951	0.976
S3	-	-	1	0.977	0.975
S4	-	-	-	1	0.984
S5	-	-	-	-	1

Tabla XII: Coherencia entre usuarios, tarea 2

	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1	0.96	0.98	0.96	0.93
S2	-	1	0.97	0.97	0.95
S3	-	-	1	0.92	0.99
S4	-	-	-	1	0.87

6. Conclusiones

Este artículo describe dos dispositivos robóticos controlados por la mente humana, basados en electroencefalografía (EEG) y enfocados a la rehabilitación. Por una parte, se describe un nuevo concepto de silla de ruedas controlada por la mente que cuenta con un interfaz cerebro-ordenador de P300 síncrona, integrado con un sistema de navegación autónomo. Esta combinación proporciona un alto rendimiento en la interacción y flexibilidad al usuario, dado que la silla puede navegar de forma autónoma en escenarios desconocidos usando los sensores de abordaje. Por otra parte, se describe un sistema robótico controlado con la mente para llevar a cabo tareas de teleoperación entre lugares remotos vía internet. En operación el usuario puede combinar dos modos de teleoperación (modo de navegación y de control de la cámara) para resolver tareas de exploración visual donde el robot también debe navegar por el entorno.

La silla de ruedas fue usada y validada por cinco usuarios sanos en tres pasos consecutivos: "screening", conducción en un entorno virtual y sesiones de conducción con la silla. El sistema de teleoperación fue validado por otros cinco usuarios sanos, los cuales realizaron tareas preestablecidas de navegación y exploración visual durante una semana entre dos ciudades situadas a 260km. Durante los experimentos, ambos sistemas mostraron un alto rendimiento dado que todos los usuarios resolvieron las tareas con relativa facilidad. Debe destacarse que los experimentos se diseñaron en configuraciones que pretendían cubrir las típicas situaciones de navegación, tales como la navegación en lugares abiertos y en lugares de alta maniobrabilidad; combinadas con tareas de exploración visual en el caso del sistema de teleoperación. El resultado general es que todos los usuarios usaron los sistemas con relativa facilidad mostrando una buena adaptación y coherencia. Este estudio muestra la viabilidad de estas tecnologías en humanos y usando técnicas no invasivas.

Como trabajo futuro, estamos trabajando en la mejora del sistema de la silla de ruedas para reducir el tiempo de reconocimiento desarrollando un sistema de P300 de control continuo. Aunque el rendimiento del sistema BCI es alto, también estamos trabajando en la integración de un sistema de detección de errores online para mejorarlo. En el sistema de teleoperación estamos trabajando en la incorporación de tareas de más alto nivel para mejorar la navegación (p.e. con tareas de seguimiento de personas) y la exploración (p.e. alineación de la cámara con la locación de sonidos

o voces específicas); y en la integración de este sistema en robots pequeños de bajo coste.

Otro trabajo interesante sería la realización de experimentos con pacientes con discapacidades neuromusculares para evaluar la utilidad real de ambos sistemas.

7. Agradecimientos

Nos gustaría agradecer al laboratorio 4@all de Vilanova i la Geltrú (Barcelona) por su soporte durante las sesiones de experimentación del sistema de teleoperación. Agradecemos a Sonu Bhaskar, María López, Belén Masiá, Luis Riazuelo y a todos los participantes de los experimentos por su soporte en el desarrollo del proyecto. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto español DPI2006-15630-C02-02.

8. Referencias

- [1] J.R. Wolpaw, D.J. McFarland, G.W. Neat and C.A. Forneris, "An EEG based brain-computer interface for cursor control," *Electroencephalographic Clinical Neurophysiology*, vol. 78, no. 3, pp. 252–9, March 1991.
- [2] C. Guan, M. Thulasidas, and J. Wu, "High performance P300 speller for brain-computer interface," *Biomedical Circuits and Systems*, 2004 IEEE International Workshop, December 2004.
- [3] A. Karim, T. Hinterberger, and J. Richter, "Neural Internet: Web Surfing with Brain Potentials for the Completely Paralyzed," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 20, no. 4, pp. 508–515, 2006.
- [4] J. Millán, F. Renkens, J. Mouriño and W. Gerstner, "Noninvasive Brain-Actuated Control of a Mobile Robot by Human EEG," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 51, no. 6, June 2004.
- [5] A. Ferreira, W.C. Celeste, F.A. Cheein, T.F. Bastos-Filho, M. Sarcinelli-Filho and R. Carelli, "Human-machine interfaces based on EMG and EEG applied to robotic systems," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, pp. 5–10, 2008.
- [6] C. Bell, P. Shenoy, R. Chalodhorn, and R. Rao, "An Image-based Brain-Computer Interface Using the P3 Response," *Neural Engineering*, 2007. CNE '07, pp. 318–321, 2007.
- [7] T. Luth, D. Ojdanic, O. Friman, O. Prentzel, and A. Graser, "Low level control in a semi-autonomous rehabilitation robotic system via a Brain-Computer Interface," 2007.
- [8] B. Rebsamen, C.L. Teo, Q. Zeng, M.H. Ang, E. Burdet, C. Guan, H. Zhang, and C. Laugier, "Controlling a Wheelchair Indoors Using Thought," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 07, pp. 1541–1672, 2007.
- [9] G. Vanacker, J.d.R. Millán, E. Lew, P. W. Ferrez, F.G. Moles, J. Philips, H. V. Brussel, and M. Nuttin, "Context-Based Filtering for Assisted Brain-Actuated Wheelchair Driving," *Computational Intelligence and Neuroscience*, May 2007.
- [10] S.H. Patel and P.N. Azzam, "Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential," *International Journal of Medical Sciences*, pp. 147–154, October 2005.
- [11] L. Montesano, J. Minguez, M. Diaz, and S. Bhaskar, "Towards an Intelligent Wheelchair System for Cerebral Palsy Subjects," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2009.
- [12] L.A. Farwell and E. Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials," *EEG Clinical Neurophysiology*, vol. 70, no. 6, pp. 510–23, 1988.
- [13] L. Montesano, J. Minguez, and L. Montano, "Lessons learned in integration for sensor-based robot navigation systems," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 85–91, 2006.
- [14] I. Iturrate, "Mind-controlled wheelchair with automated navigation," M.S. Thesis, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, June 2008.
- [15] S. Mason, J. Kronegg, J. Huggins, M. Fatourehchi, and A. Schlogl, "Evaluating the Performance of Self-Paced Brain-Computer Interface Technology," *Tech. Rep.*, Neil Squire Society, Vancouver, Canada, 2006.
- [16] C. Escolano, "Robot control with BCI and augmented reality" M.S. Thesis, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, September 2008.
- [17] T. J. Sejnowski, G. Dornhege, J.d.R. Millán, T. Hinterberger, D. J. McFarland, and K.-R. Müller, *Toward Brain-Computer Interfacing (Neural Information Processing)*. The MIT Press, 2007.

Ayudas funcionales en el hogar. Posibilidades de una cocina adaptada

*A. Casals, *M. Vinagre, **E. X. Martín, **M. Casamitjana

**Instituto de Bioingeniería de Cataluña. Universidad Politécnica de Cataluña*

***Centro de Investigación en Ingeniería Biomédica. Universidad Politécnica de Cataluña*
alicia.casals@upc.edu

Resumen

La creciente demanda en tecnología asistencial, ya sea para conseguir un mayor nivel de integración en la sociedad de las personas con discapacidad o para una mayor autonomía en la vida cotidiana, impulsa la investigación y desarrollo de ayudas técnicas, que van desde la adaptación de simples utensilios hasta el diseño de sistemas robóticos completos para la asistencia a personas con discapacidades severas. Este artículo describe la evolución de una cocina adaptada concebida para que pueda ajustarse adecuadamente a usuarios con diferentes tipos y niveles de necesidades especiales. Se describe la concepción del sistema, su evolución y los elementos modulares de los que está compuesta, al tiempo que se exponen los requisitos y posibilidades de una interfaz que proporcione un alto nivel de aceptabilidad.

1. Introducción

La autonomía personal pasa por poder afrontar las tareas que comporta la vida cotidiana, sea cual sea el grado de discapacidad. En este sentido, la asistencia personal debe adaptarse a las necesidades específicas de los usuarios para facilitar su aceptación.

En este trabajo se describe la concepción y diseño de una cocina adaptada concebida de forma modular, de manera que pueda ajustarse a la gran diversidad en el nivel y tipo de necesidad asistencial, abarcando entornos que disponen desde un simple mueble adaptado, a una cocina constituida por una serie de elementos asistidos en un entorno robotizado. El principal interés del trabajo de investigación radica en conseguir un nivel de inteligencia del entorno robotizado que permita a sus usuarios interactuar con todos los elementos de la cocina de la forma más natural y sencilla posible. Para ello, es preciso conseguir un comportamiento inteligente del sistema de control,

para que actúe eficientemente a partir de la interpretación de los deseos del usuario y de la percepción sensorial general del entorno.

La cocina adaptada CAPDI se encuentra actualmente en fase de estudio, para lo cual se está desarrollando un prototipo de experimentación como plataforma para avanzar hacia la autonomía personal en el hogar, uno de los entornos más relevantes para conseguir una mayor autonomía en la vida cotidiana.

2. Antecedentes

La incursión en la robótica asistencial del grupo de investigación empezó en el año 1987 con el desarrollo de un robot asistencial para el soporte a la vida cotidiana de personas con discapacidades severas, concretamente personas tetraplégicas. Este primer trabajo de robótica aplicada sobre el mundo de las ayudas técnicas dio lugar a un prototipo de brazo robótico construido con materiales blandos, cuyas características especiales lo hacían intrínsecamente seguro. Ello implicaba sin embargo una mayor complejidad en su control por la flexibilidad resultante de la propia estructura del brazo. El proyecto finalizó con un brazo funcionando a partir de órdenes recibidas a través de distintos dispositivos de control: voz, joystick y teclado específico. Esta multiplicidad de elementos de interfaz fue necesaria para adaptarse a la movilidad remanente concreta de las personas con necesidades especiales.

Sin embargo, los esfuerzos realizados en numerosos centros de investigación a finales de los años 80 y durante la década de los 90, orientados a la construcción de robots asistenciales, resultaron ser de un éxito limitado, en lo que se refiere a la disponibilidad práctica en la vida cotidiana. Los motivos son tanto técnicos como económico-sociales. Por una parte, la necesidad de desarrollar sistemas robóticos suficientemente inteligentes para interaccionar con personas de forma simple y amigable y poder efectuar una gran diversidad de actuaciones y tareas muy diversas en el entorno doméstico, produjo resultados positivos pero limitados, satisfaciendo sólo parcialmente las necesidades de usuario. Por otra parte, estos robots son de un coste elevado y su adaptabilidad al entorno de operación, la vivienda del usuario, puede resultar demasiado compleja e invasiva [1]. El prototipo, evaluado en la Residencia Albada, centro asistencial del Consorcio del Parc Taulí de Sabadell, tuvo una buena aceptación como elemento de soporte en determinadas actividades cotidianas, pero tiene limitada viabilidad para conseguir una autonomía suficiente a personas que viven solas.

Valorando la investigación en este ámbito y apreciando su limitada aplicabilidad para su transferencia eficaz dentro de un plazo de tiempo razonable, se orientó la investigación hacia un entorno más concreto, y por tanto más automatizable por su especificidad. De esta forma y a partir de visitas y discusiones de trabajo con personal médico y asistencial del Hospital de Neuro-rehabilitación del Instituto Guttmann, se orientó la investigación hacia la realización de una cocina adaptada, modular, de manera que pudiera cubrir ciertas necesidades de una amplia gama de usuarios con distintos niveles de necesidades asistenciales.

Actualmente existen ya cocinas adaptadas que ofrecen un entorno de ayuda a personas con cierta discapacidad para que puedan realizar tareas tales como poder alcanzar los utensilios fácilmente, tener un buen acceso a la instalación del agua, disponer de una instalación de gas con sistema de seguridad que detecta y actúa ante posibles fugas, etc. Existen empresas que ofrecen diseños de cocinas adaptadas como Pressalit Care con el producto *Indivo Kitchen* [2] que ha conseguido un notable nivel de adaptación gracias a su variedad en armarios y encimeras regulables en altura, mesa para fijar elementos, grifos adaptados, etc. Existen otras compañías como *AKW MediCare* [3] que ofrecen también una gran variedad en armarios adaptados que ofrecen una gran ergonomía.

Existe otro tipo de tecnología para la cocina adaptada como “La Cocinera” presentada por CIDAT (Centro de Investigación, Desarrollo y Aplicación Tiflotécnico) de la ONCE [4]. Este dispositivo está pensado para usuarios con discapacidad visual, que ayudan en la elaboración de platos con electrodomésticos controlados mediante comunicación oral, proporcionando información sobre los pasos a seguir y corrigiéndolo si es necesario.

El objetivo de CAPDI es transformar de forma gradual y según las necesidades de usuario, una cocina convencional en una cocina adaptada incorporando una capacidad de percepción y control inteligente. La concepción de esta cocina considera especialmente la manera en que los elementos modulares controlados informáticamente pueden adaptarse a estas necesidades minimizando el impacto que produce la introducción de tecnología. También considera la necesidad de compaginar esta deseada apariencia normal con la aportación del nivel de asistencia requerido en cada caso.

3. Estructura de la cocina adaptada CAPDI

Persiguiendo el principal objetivo de CAPDI, el proyecto contempla una serie de elementos modulares que se pueden ir incorporando en función, tanto de las necesidades concretas de usuario, como de las dimensiones físicas de la cocina. Asimismo, se debe considerar también la automatización de los diferentes elementos de actuación que en entornos convencionales requieren una manipulación manual, como los grifos o los mandos de los fogones. Cuando las necesidades del usuario así lo indiquen, la cocina puede completarse con un robot, que debe ser adaptable al espacio disponible.

En lo que se refiere al robot, la idea inicial era diseñar un sistema robótico que cubriera todo el espacio de operación necesario en el entorno cocina, además de unos elementos básicos, modulares, que se pudieran ir incorporando a medida que aparece la necesidad, para por ejemplo, cuando se trata de enfermedades degenerativas. La fig. 1 muestra la idea inicial, donde se ven los elementos básicos: encimera, microondas, nevera, etc, todo al alcance del brazo robot [5].

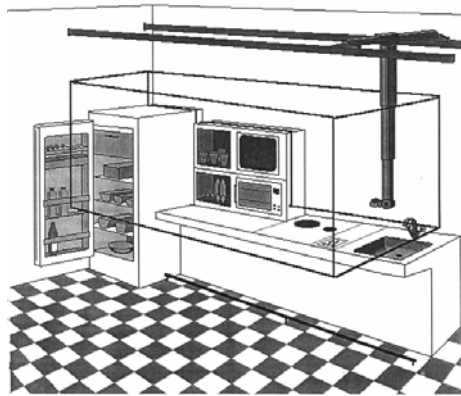


Fig. 1 Idea inicial de la cocina adaptada robotizada.

A partir de esta idea básica y para conseguir la funcionalidad requerida, se planteó la necesidad de diseñar elementos en cuatro líneas diferentes.

1. Armarios externos de apariencia normal, pero motorizados, de manera que para el usuario únicamente exista un estante, que contendrá en cada momento los productos que necesita.
2. Adaptación de los elementos del entorno de forma que sean activados con actuadores controlados informáticamente.
3. Uno o más brazos robotizados que sean integrables en la cocina cuando el grado de disminución física del usuario lo requiera. El robot debe ocupar el mínimo espacio posible y minimizar el impacto visual. Estos condicionantes no deben, sin embargo, ir en deterioro de cubrir el espacio de operación que se requiera según la funcionalidad esperada.

4. Una interfaz suficientemente inteligente que permita a cualquier usuario poder controlar los distintos elementos del entorno a partir de un único dispositivo de control. La interfaz debe poder integrar componentes de mando de distinto tipo en función de las capacidades remanentes del usuario y debe disponer de una pantalla de visualización de comandos y del estado de funcionamiento de forma muy clara e intuitiva.

El prototipo actual se ha diseñado de forma que disponga de un elemento de cada tipo de los previstos y de las adaptaciones necesarias para poder evaluar la funcionalidad. CAPDI dispone de un armario desplazable para acercar los objetos al usuario; un armario tipo noria para disponer de los productos almacenados siempre a una altura alcanzable por una persona en posición sentada (en previsión de usuarios en sillas de ruedas) o por el robot; de una mesa - encimera elevable, y de un robot con estructura en pórtico, ajustable a las condiciones de espacio de la cocina del usuario. La figura 2 muestra el prototipo experimental. En cuanto a la adaptación del entorno, en este caso se ha reducido al control del caudal de agua caliente y agua fría del grifo del agua y al control de potencia de los dos fogones eléctricos.

4. Módulos funcionales

A continuación se describen brevemente los distintos módulos que componen la cocina adaptada para mostrar sus posibilidades y sus principios básicos de funcionamiento.

4.1. Armarios y encimera adaptados

En el actual prototipo existen tres tipos de módulos que constituyen el mobiliario básico y que mantienen una apariencia relativamente normal en este tipo de entornos, siendo su misión poner al alcance del usuario los objetos de interés.



Fig. 2 CAPDI. Prototipo actual

Cada uno de los tres tipos de módulos: encimera, armario deslizable de altura variable y armario tipo noria, es actuado por un motor controlado directamente desde la interfaz de usuario. La encimera tiene un movimiento vertical, de elevación para adaptarse a la altura deseada. Su interés no es hacer un control continuo de posición sino que, en general se utilizará para seleccionar entre dos niveles: alto, para el usuario en posición de pie, o bajo, posición sentado, aunque lógicamente estas alturas son adaptables a los usuarios. El armario deslizable tiene un sistema de guiado que le confiere un movimiento de descenso-elevación simultáneamente al de avance-retroceso. El armario noria tiene un movimiento giratorio que hace avanzar los estantes en forma rotatoria y secuencial, de forma que en la ventana de acceso aparezca en cada momento los productos deseados.

Los tres módulos que se pueden ver en la figura 2, se muestran también esquemáticamente en la figura 3, mediante su modelo CAD, para poder apreciar su estructura interna.

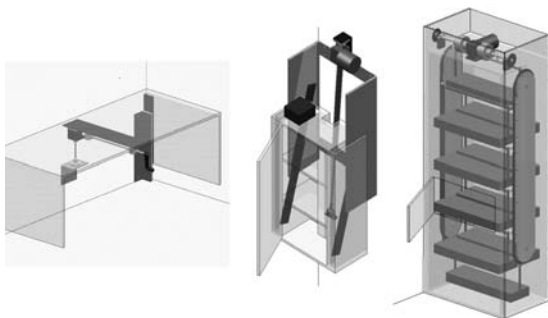


Fig. 3 Modelo CAD de los tres módulos de mobiliario adaptado. a) encimera, b) armario deslizable, c) armario tipo noria.

4.2. Adaptación del entorno

En este prototipo los elementos del entorno a controlar son: iluminación, agua caliente/agua fría y dos fogones eléctricos.

En todos los casos, el control es proporcional, es decir, permite controlar gradualmente: nivel de iluminación, temperatura, caudal y calor.

Para realizar el control de iluminación, se utiliza un controlador, para efectuar por control de fase la variación de potencia luminosa.

Para el control de caudal y temperatura del agua se utilizan dos válvulas proporcionales controladas asimismo por dos salidas analógicas. El control de la potencia calorífica de los fogones eléctricos se efectúa por control de ciclo, debido a la elevada inercia de la fuente de calor, lo que permite conseguir 16 niveles de calor sin efectuar control de fase, minimizando así la perturbación sobre la red.

4.3. Brazo robot

El diseño del brazo robot parte de un análisis de necesidades de la accesibilidad del robot en el entorno concreto. Puesto que las necesidades normales de acceso comportan disponer de accesibilidad horizontal para acceder al interior de los elementos de la cocina: nevera, estantes, armarios, y de acceso vertical para el agarre de objetos o manipulación en: encimera, fregadero, grifos, etc, se eligió una estructura cartesiana, es decir, con grados de libertad que producen movimientos lineales. El robot, en configuración tipo pórtico, permite la operación en todo el espacio de trabajo con las mismas prestaciones, y por su estructura, sus dimensiones pueden adaptarse sin problema a la disponibilidad de cada espacio. Los tres grados de libertad que comportan las dos guías y el brazo vertical retráctil, le proporcionan accesibilidad en el espacio por debajo del pórtico. El giro de la muñeca le permite tanto posición de agarre vertical como horizontal.

La experimentación con tareas progresivamente más complejas exigirá la construcción de brazos auxiliares para facilitar su ejecución.

4.4. Interfaz inteligente

Para el control de un sistema de asistencia de este tipo, es preciso prever dos aspectos: a) dificultades físicas, y b) dificultades cognitivas.

Las dificultades físicas como parálisis parcial o total de manos o brazos, que son las que comportan la necesidad de este tipo de sistemas de asistencia, obligan a prever diferentes tipos de dispositivos, aptos para cada paciente, o tipo de paciente. Por este motivo, es preciso diseñar la interfaz previendo que puedan utilizarse dispositivos muy diversos, que pueden ir desde un ratón hasta una PDA, u otras alternativas como un micrófono para la comunicación oral.

Las dificultades cognitivas son propias de la gente mayor, pues en general, este colectivo no está adaptado al uso de sistemas de mando, por simplificado que resulte su diseño. Ello obliga a desarrollar interfaces no únicamente basadas en los sistemas convencionales de una interfaz informática, como el teclado, ratón, etc, sino que sean dispositivos más tipo apuntador que visualizan imágenes o iconos, que a su vez deben ser altamente intuitivos.

Las siguientes secciones están dedicadas a describir tanto los tipos de dispositivos de interfaz que pueden adaptarse al sistema, así como las ayudas necesarias que es preciso desarrollar para que el conjunto sea realmente controlable a voluntad por usuarios con todo tipo de necesidades especiales.

5. Interfaz de usuario

La concepción modular de la cocina se ha aplicado también a las interfaces de comunicación con el usuario, en el sentido de poder adaptar los mecanismos de interacción para que se ajusten a las posibilidades de actuación y percepción del usuario.

Las posibilidades de actuación determinan el tipo de dispositivo que utiliza el usuario para dar órdenes al sistema, y su elección dependerá en gran manera de la capacidad y habilidad motriz remanente en el usuario. Las posibilidades de percepción están relacionadas con la visualización, tanto del estado de los diferentes módulos de la cocina y fases de las tareas en curso, como de las diferentes órdenes que el usuario pueda dar.

Para adaptarse a la gran diversidad de necesidades específicas de los usuarios es preciso seleccionar los dispositivos de interfaz dentro de la gran gama de dispositivos existentes. Para poder hacer un estudio de usabilidad, en la fase actual de desarrollo, se han considerado únicamente los siguientes dispositivos: reconocimiento de voz, ratón, seguimiento de ojos (eyes tracking) [6], joystick y teclado. Con esta base, se podrá evaluar la selección de dispositivo o combinación de ellos para cada necesidad, tanto en lo que se refiere a capacidades de usuario como a tipos de tareas a controlar.

La necesidad de adaptar esta variedad de dispositivos ha obligado a especificar los protocolos de manera que permitan conectar cualquiera de ellos de forma eficiente. Asimismo, el software se ha diseñado de manera que permite gestionar las diferentes estructuras de datos para cada configuración.

La flexibilidad de un sistema de este tipo exige poder configurar la interfaz de manera que permita al usuario la interacción a diferentes niveles. Para ello se distinguen tres niveles distintos según el grado de detalle de la orden dada por el usuario, tal como se representa en la figura 4. En el nivel más implícito, correspondiente al nivel 1 de la figura, el usuario utiliza proposiciones sencillas del tipo, "quiero agua". Este tipo de órdenes corresponden a una misión y exigen una elevada capacidad de inteligencia al sistema, dado que comportan elaborar internamente toda una secuencia de tareas y sus correspondientes acciones.

En la interacción a un nivel más explícito, nivel 2 en la figura, el usuario emite un conjunto de órdenes más detalladas, como: "coger vaso, coger botella de agua, verter agua en el vaso...". En este caso es posible conseguir más flexibilidad en la definición de tareas, al poder concretar las acciones a seguir. Sin embargo, requiere un mayor esfuerzo al usuario.

Finalmente las órdenes totalmente explícitas, nivel 3 en la figura, permiten el guiado del brazo robótico o del resto de módulos de la cocina. En este caso, el mayor esfuerzo del usuario no se debe únicamente a la generación de la secuencia necesaria de órdenes, sino que precisa más habilidad puesto que algunas órdenes comportan acciones con necesidad de guiado.

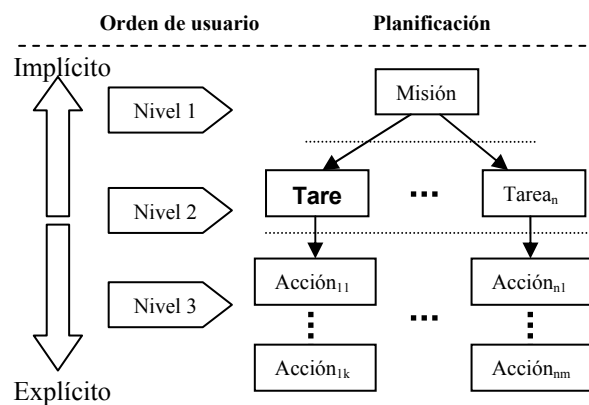


Fig. 4 Esquema de la estructura de la interfaz según el nivel de interacción de usuario

Las órdenes del primer y segundo nivel comportan la necesidad de disponer de una lista preestablecida de actuaciones que el usuario puede seleccionar a través de distintos dispositivos. Para este tipo de órdenes se pueden utilizar dispositivos

de selección sobre un menú o conjunto de opciones, como el ratón, seguimiento de ojos, teclado, etc., o utilizar el lenguaje natural, en concreto, vía comunicación oral.

Para las órdenes de tercer nivel es preciso disponer de dispositivos que permitan generar trayectorias de una manera precisa y sencilla como el joystick, sensores de posición, percepción visual, etc., que capturan los movimientos o gestos realizados por el usuario con manos, pies o cabeza.

La selección óptima de los dispositivos es fundamental para adaptar el sistema a las posibilidades de actuación del usuario. Por ejemplo, los usuarios con capacidades de movilidad y destreza en la mano pueden utilizar sin demasiados problemas los dispositivos tipo ratón o joystick. Para los usuarios con dificultades motoras graves, puede ser mejor utilizar el seguimiento visual para capturar las órdenes. En los usuarios con capacidad de habla el uso de un reconocedor de voz puede simplificar la interacción.

La visualización del estado de los módulos de la cocina se puede realizar de distintas maneras. La opción habitual, implementada en el prototipo, es utilizar un monitor donde se muestran diferentes menús visuales con iconos o imágenes en tiempo real de la cocina, obtenidas mediante cámaras. La figura 5 muestra un ejemplo de pantalla donde se puede ver la imagen captada por la cámara que visualiza la zona seleccionada mediante el ícono correspondiente. En el menú también hay los iconos correspondientes a los ejes del robot para controlar explícitamente sus movimientos. Cada módulo de la cocina puede tener asociado uno o diversos menús donde se visualiza su estado y donde el usuario puede dar diferentes tipos de órdenes. En estos casos la interacción se debe efectuar utilizando un dispositivo de tipo apuntador. Las órdenes se ejecutan pulsando los iconos que representan las correspondientes acciones, y en determinados casos, guiando el comportamiento del módulo seleccionado con el joystick.



Fig. 5 Ejemplo de interfaz visual que combina imágenes reales de las cámaras e iconos de módulos seleccionables y órdenes al robot

Otra manera de visualizar el estado es con el uso de realidad aumentada en la propia escena, línea en la que también se está trabajando con el ánimo de incorporarla al prototipo. En este caso un

proyector ilumina con haces de luz de diferentes colores los elementos de la cocina, de manera perceptible para el usuario. Esto permite al usuario escoger sobre qué elemento quiere actuar utilizando un dispositivo que le permite introducir la información necesaria, por ejemplo, con un joystick y pulsando a la derecha o a la izquierda se puede ir seleccionando los diferentes elementos. También sería posible utilizar el seguimiento visual, u otros dispositivos. El proyector también puede mostrar información sobre las superficies lisas, como por ejemplo las paredes, para permitir al usuario escoger la acción a realizar sobre el elemento seleccionado, con pocos movimientos.

Finalmente, para usuarios con deficiencias visuales, se puede utilizar un sintetizador de voz para presentar la información. Con la intención de no molestar al usuario, la presentación de la información se debe realizar, en la medida de lo posible, solo cuando éste lo pida.

Los sistemas de visualización del estado del sistema deben permitir al usuario realizar las acciones solicitadas de forma rápida y efectiva. Cuando la interacción se realiza utilizando sistemas sin apuntadores, como por ejemplo el joystick, se debe intentar minimizar el número de opciones disponibles en cada instante para favorecer la velocidad de interacción, aún manteniendo todas las funcionalidades y sin perder la facilidad de uso. Esto se puede conseguir con una buena distribución lógica de las diferentes funcionalidades en distintos menús. Esta distribución se puede realizar con la ayuda de los sistemas de aprendizaje de la cocina.

6. Asistencia al control de usuario

El control para personas no profesionales de la tecnología y en especial, de aquellas que además padecen de algún tipo de disminución que limita sus posibilidades físicas o incluso cognitivas, no permite la utilización de un control clásico, como los sistemas utilizados en la industria. En el contexto de un sistema automatizado y robotizado en un entorno doméstico, es preciso prever una serie de prestaciones adicionales, que comportan un control más inteligente del sistema. El sistema de control debe poder responder adecuadamente a órdenes que por la falta de habilidad del usuario, o por su imprecisión, requieran una interpretación a un nivel superior y haga actuar al sistema de la forma deseada. Asimismo, es preciso que el control permita al usuario rectificar si se equivoca al dar una orden, o incluso, modificar la actuación derivada de cumplir una orden determinada, para evitar, por ejemplo, efectuar movimientos que produzcan una colisión, o la realización de actuaciones incongruentes.

De entre las técnicas que proporcionan datos del entorno para poder realizar un control más inteligente, la percepción visual es probablemente la que aporta una información más relevante y completa. Se considera la visión, tanto en lo que se refiere a la obtención de imágenes globales, o panorámicas, como a imágenes puntuales del punto de trabajo. Por este motivo, en el entorno de la cocina adaptada, se ha considerado la utilización de cámaras panorámicas, con un significativo campo de visión, así como de cámaras con una focalización más local situadas en el elemento terminal del robot.

6.1. La percepción visual

El sistema de percepción desarrollado cumplirá tres funciones: la localización de objetos y personas en el espacio, el reconocimiento (cuando fuere necesario) de algunos objetos para su uso y la ayuda a la interpretación de los comandos que la persona desea que el sistema ejecute.

6.1.1. Sistema de localización.

El sistema de localización se basa en la segmentación por diferenciación de los objetos presentes en la escena respecto al fondo. Dado que los objetos son percibidos desde diferentes puntos de vista será posible triangular su posición y obtener una aproximación de su volumen (caja envolvente).

Esta información sobre ubicación y volumen aproximado será suficiente para evitar colisiones entre los elementos móviles, las personas y los objetos y para dar soporte a la interfaz de usuario.

Los datos obtenidos, serán suficientemente aproximados para obtener el centro de gravedad del objeto y poder direccionar el robot con suficiente precisión para garantizar un agarre correcto y sin necesidad de que el usuario tenga que definir las posiciones de forma precisa. El tipo de ayuda que proporciona el sistema es que al indicar, por ejemplo mediante un apuntador, el objeto deseado, el sistema de visión interpreta entre los objetos detectados el más próximo a la dirección indicada, de forma que el punto que define la posición del objeto actúe como un imán que atrae al robot que se dirige por orden del usuario en aquella dirección.

La figura 6 muestra esquemáticamente el volumen de trabajo del sistema de percepción visual y los datos que obtiene, en cuanto a posición y volumen aproximado de un objeto.

Opcionalmente, el sistema de localización de objetos y otros elementos de la cocina podrá ser

complementado con otros sensores como escáneres láser para la ubicación de objetos, sistemas de identificación por radio frecuencia, etc.

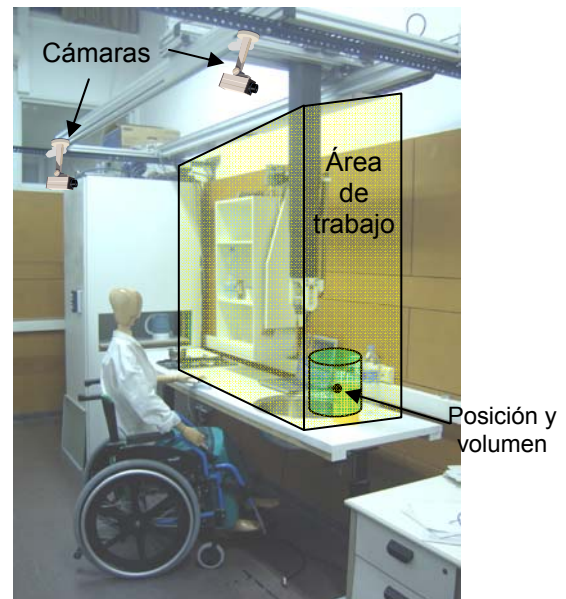


Fig. 6 Representación esquemática del espacio de trabajo definido por las cámaras y de la información obtenida de un objeto en la escena.

6.1.2. Sistema de reconocimiento

En ocasiones no bastará con obtener información sobre la posición y volumen de un objeto, sino que para garantizar la viabilidad de las órdenes dadas por el usuario, o para discriminar posibles ambigüedades, será necesario identificar el objeto en cuestión. Para ello, el sistema dispondrá de una base de datos de objetos presentes en la escena, previamente generada. Para cada objeto se guardará su información volumétrica, características físicas, geométricas y de color. Además, el sistema intentará mantener en todo momento un mapa con las ubicaciones conocidas o probables de todos los objetos del entorno, para minimizar el rango de búsqueda. A partir de esta información y con los datos obtenidos por el sistema de visión se puede llegar a identificar un objeto con la fiabilidad adecuada (ver figura 7). En [7] se describe la interfaz de un prototipo anterior.

6.1.3. Interpretación de comandos

Dado que se prevé que el usuario pueda seleccionar los objetos a manipular de forma simple e imprecisa, el sistema deberá interpretar los deseos del usuario y

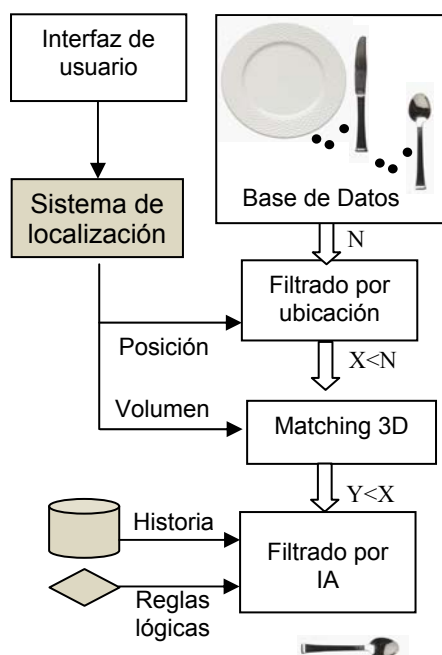


Figura 7. Esquema de funcionamiento del sistema de reconocimiento de objetos, con las distintas fases de filtrado para ir determinando el objeto pedido por el usuario.

generar las coordenadas en el espacio de la ubicación física del objeto seleccionado. Esta prestación se hace imprescindible por la necesidad del robot de recibir los datos de forma explícita, tanto las posiciones como los pasos a ejecutar. En cambio, el usuario simplemente aporta como orden una señal de intención, por ejemplo, apuntando en la dirección del objeto seleccionado. Además, en algunos casos se podrá, mediante visión por ordenador, determinar la ubicación y orientación del usuario e incluso distinguir algunos de los gestos que realiza [8]. Toda esta información será usada como entrada a la interfaz del sistema, dando una gran flexibilidad tanto en la forma de introducir los comandos, como en la tipología de usuarios a los que el sistema puede adaptarse.

6.2. Capacidad de predicción y aprendizaje

A fin de facilitar al usuario el control de este entorno de operación, donde aparecen unas rutinas diarias y también unas secuencias repetitivas de acciones que configuran una tarea concreta, el sistema de control puede contar con un sistema de

predicción y aprendizaje. En este punto, se podrán usar todas las técnicas de inteligencia artificial disponibles para la interpretación de los comandos emitidos por el usuario, fusión de datos de los diferentes sensores del entorno y supervisión lógica de las tareas que el sistema “cree que” debe ejecutar.

El hecho de que el sistema pueda almacenar las secuencias de operaciones realizadas con los objetos, el sitio en que se han realizado y la hora en que se han realizado, a lo largo de los días, permite ir alcanzando un grado creciente de predicción, que hace que las acciones de control lleguen a ser simplemente de confirmación. Esta creciente simplificación de la interacción con el usuario a medida que el sistema identifica las acciones rutinarias, creará una sensación de confortabilidad en el uso del mismo.

Por otro lado, el sistema dispone de una base de datos de los objetos, es capaz de identificar sus posiciones en el espacio, conoce las rutinas típicas de funcionamiento y dispone de otra información sobre el entorno (condiciones ambientales, hora, etc.). Con todo esto, es posible crear una lógica simple de predicados que ayude en la interpretación de las voluntades del usuario y a su vez corrija posibles errores, tanto en la emisión de las órdenes como en la interpretación que el sistema hace de ellas. Esta idea es la que se muestra en el último proceso representado por la figura 7. Así pues, por ejemplo, si el usuario señala en una dirección donde hay un plato y una cuchara y pretende poner el objeto en una taza, un sistema de mínimo filtrado lógico permitirá interpretar la intención del usuario, de forma transparente al mismo.

7. Conclusiones y perspectivas

El proyecto CAPDI supone un reto en el desarrollo de ayudas técnicas al integrar un gran número de elementos modulares que el usuario debe poder controlar a voluntad de forma simple, intuitiva y amigable. El desarrollo de los módulos individuales que comporta tanto la automatización de elementos del entorno o la motorización de mobiliario no constituye ninguna dificultad tecnológica, ni tampoco el propio robot para su control. Lo que realmente implica un nivel de inteligencia y diseño ergonómico es el poder disponer de una interfaz que pueda interpretar de la forma más eficiente posible la voluntad del usuario.

Así pues, el proyecto CAPDI, es desde el punto de vista científico una fuente de investigación cuyos resultados irán mejorando progresivamente las prestaciones y la seguridad de operación en este entorno. La investigación comporta técnicas de procesado e interpretación de imágenes que

permitan interpretar la situación y así poder tomar decisiones coherentes con la voluntad del usuario. Es preciso también avanzar en técnicas de aprendizaje, en gestión de múltiples datos heterogéneos, y sobre todo desarrollar técnicas de interpretación de ordenes y deseos del usuario, el conocido concepto *human intention* o intención humana, para que el robot pueda hacer realmente un trabajo cooperativo con el usuario.

Todo este desarrollo comporta un coste elevado que solo puede ser afrontado con el soporte de la sociedad, a través de sus instituciones, públicas o privadas que apuesten por dar soporte a un colectivo social cada vez más numeroso y con más interés en mantener una vida independiente.

La práctica continuada por usuarios que requieren ayudas de este tipo, contribuirá a ir perfilando las nuevas prestaciones, especialmente a través de un control más inteligente. La colaboración con centros como La Fundación Instituto Guttmann o el Centro para la Vida Independiente, ambos ubicados en Barcelona y cooperando con IBEC y UPC ofrecen un marco excelente para aprender del prototipo, avanzar hacia un sistema de ayuda cada vez más potente y llegar de una forma eficiente al usuario, al darle soporte para encontrar la solución a sus necesidades.

8. Referencias

Dispositivo Inalámbrico para Facilitar el Acceso al Ordenador

Alberto Jardón
Roboticslab
U. Carlos III

ajardon@ing.uc3m.es

Verónica López
Roboticslab
U. Carlos III

vivaquer@ing.uc3m.es

Santiago Martínez
Roboticslab
U. Carlos III

scasa@ing.uc3m.es

Carlos Balaguer
Roboticslab
U. Carlos III

balaguer@ing.uc3m.es

[S](#)

Resumen

Las personas que presentan algún tipo de discapacidad necesitan utilizar numerosos dispositivos que les ayudan a realizar las actividades de la vida cotidiana. Estos sistemas se denominan Ayudas Técnicas y surgen de la necesidad de aminorar las barreras que deben sortear las personas discapacitadas. Por otro lado, el ordenador es una herramienta indispensable para muchas personas discapacitadas ya que les ayuda a realizar numerosas tareas, como herramienta para el trabajo, la comunicación, la educación o el ocio.

[1] A. Casals. Technical aids for the disabled. Monografias de Tecnología 4. Societat Catalana de Tecnologia, Institut d'Estudis Catalans 1998.

[2] <http://www.pressalicare.com>

[3] <http://www.akw-medicare.co.uk>

[4] nota circular 31/2006 CIDAT (ONCE) <http://cidat.once.es/home.cfm?id=207&nivel=2>

[5] A. Casals, R. Merchan, E. Portell, X. Cufí, J. Contijoc. CAPDI: A robotized kitchen for the disabled and elderly people. AAATE: Association for Assistive Technology Conference, Dusseldorf, 1999

[6] E. Y. Kim, S. H. Park. Computer Interface Using Eye Tracking for Handicapped, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4224, Springer, 2006

[7] A. Casals, X. Cufí, J. Freixenet, J. Martí y X. Muñoz. Friendly interface for Objects Recognition in a Robotized Kitchen, IEEE Int Conference on Robotics and Automation, 2000

[8] J. Amat, M. Frigola, A. Casals. Human Robot Interaction from Visual Perception, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004

Se presenta un dispositivo no invasivo dirigido a usuarios que necesitan una silla de ruedas para desplazarse y presentan problemas de movilidad en las extremidades superiores. Se trata de una ayuda técnica portátil y versátil que actúa como interfaz entre el usuario y el ordenador, facilitándole el acceso a este, que instalada directamente sobre el control de la silla de ruedas, evita que el usuario acumule numerosos dispositivos que dificulten su movilidad.

1. Introducción

Para llevar a cabo las actividades de la vida cotidiana, las personas que presentan algún tipo de discapacidad necesitan utilizar numerosos dispositivos con diferentes funcionalidades. Estos sistemas denominados *Ayudas Técnicas* se han desarrollado en campos de aplicación muy diversos y surgen de la necesidad de aminorar las barreras que deben sortear las personas discapacitadas y hacer más accesible el entorno que les rodea.

Para la elección del dispositivo adecuado para cada individuo se debe tener en cuenta el tipo y grado de discapacidad, el entorno social del individuo, así como la capacidad y habilidad de este para el aprendizaje.

Por otro lado, el ordenador es considerado actualmente como una herramienta indispensable para un gran número de personas debido a la gran versatilidad que presenta. Para las personas discapacitadas, el ordenador puede ser un instrumento clave que les ayude a realizar numerosas tareas, así como reducir las dificultades que se presentan en su desarrollo personal.

Por ello, para que todas las personas puedan utilizar esta herramienta, los diferentes accesorios que forman parte de un ordenador deben cumplir una serie de requisitos que eliminen las barreras de acceso. Esto implica que las dos ramas que conforman un ordenador, hardware y software, deben cumplir una serie de normas para que el PC pueda ser utilizado por todas las personas independientemente de su discapacidad (física, visual, auditiva o cognitiva) o de su edad, en cualquier entorno, de forma autónoma o utilizando las ayudas técnicas necesarias.

Sin embargo, existen usuarios con deficiencias motoras que tienen dificultad para utilizar las interfaces del ordenador, como teclados o ratones, y necesitan utilizar dispositivos adaptados a su diversidad funcional. Por este motivo existen interfaces especiales para personas discapacitadas que les permiten realizar ciertos movimientos, ayudándoles a llevar a cabo tareas imposibles de realizar hasta ese momento sin la ayuda de una tercera persona.

Algunas de estas interfaces creadas para el control del ordenador son, por ejemplo, aplicaciones que utilizan la voz, como el programa *Dragon NaturallySpeaking* [1] que permite al usuario realizar con la voz las tareas más comunes que normalmente se realizan a través del teclado y el ratón. Otras aplicaciones rastrean la pupila, como es el caso del programa *Iriscom* [2]. Existen también sensores que, colocados en la cabeza del usuario, traducen los movimientos de éste en coordenadas para el control del puntero del ratón. Un ejemplo de este tipo de interfaz es el dispositivo *Head Master* [3], que consiste en una especie de casco en el que leves movimientos de la cabeza actúan directamente en el movimiento del ratón. Existe un número elevado de herramientas de este

tipo, además de las mencionadas anteriormente, que hacen posible al usuario interactuar con el ordenador, y la elección de un sistema u otro dependerá de las necesidades del usuario.

Existe un desarrollo previo similar a este dispositivo realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña que utiliza Bluetooth como interfaz de comunicación con el PC [4], pero que requiere de la activación de diversos botones para su configuración y sólo puede ser usado en posición horizontal.

2. Motivación y objetivos

Este trabajo surge del proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial de la autora Verónica López Vaquero [5], dirigido por Alberto Jardón.

El sistema está dirigido a ayudar a personas con algún tipo de discapacidad usuarios de una silla de ruedas para desplazarse y presenten problemas de movilidad en las extremidades superiores, si bien mantienen la capacidad de movimiento controlado en al menos una mano, barbilla o cabeza, que usan para el control de este u otros dispositivos. Para estos usuarios, el uso de los ordenadores es de gran utilidad ya que les proporciona seguridad e independencia.

Por ello, la motivación de este estudio fue la creación de un dispositivo inalámbrico que, controlando las acciones del ratón, facilitara el acceso al ordenador, mediante un sistema instalado directamente sobre el control existente en la silla de ruedas del usuario.

El objetivo principal del diseño fue crear un sistema inalámbrico que permitiese reproducir las acciones propias del ratón de un ordenador, permitiendo el control y el desplazamiento del puntero utilizando como interfaz el joystick de una silla de ruedas. Además, el dispositivo puede ser adaptado al joystick o mando de control de cualquier silla de ruedas, independientemente de su posición, tipo y marca, mediante un sistema adaptable, permitiendo al usuario realizar ambas actividades, es decir, la función original de la silla y el desplazamiento del cursor del ordenador.

Otros objetivos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del sistema fueron: conseguir un dispositivo poco voluminoso y de bajo coste para que pueda ser utilizado por personas que no posean un alto poder adquisitivo; por otro lado, se tuvo en cuenta la seguridad del usuario para evitar cualquier riesgo; que disponga de suficiente alcance para poder operar eficientemente en toda la zona de interés entorno al usuario; que sea amigable, es decir que disponga de un interfaz y de unos comandos de entrada fáciles de controlar. Además de ser fácilmente manejable, debe poder comprenderse su funcionamiento de forma sencilla tanto por personas con avanzados conocimientos

tecnológicos como por las personas que no los posean, es decir, un producto con una alta usabilidad con un tiempo de aprendizaje para su utilización mínimo.

3. Requisitos del dispositivo

Una vez definidos los objetivos que debía cumplir el sistema y teniendo en cuenta la interacción del usuario con el dispositivo se definieron un conjunto de requisitos básicos para que el sistema fuera útil y eficaz.

En primer lugar el sistema debía ser no invasivo, es decir, aprovechar los recursos de la silla para el diseño del dispositivo, sin acceder internamente, para que el usuario no perdiera la garantía de la silla. Por otro lado, y para facilitar la movilidad y la independencia del usuario, el sistema debía ser inalámbrico, para que el dispositivo fuera portátil y adaptable a las necesidades del usuario. Además, teniendo en cuenta que no todos los usuarios utilizan el mismo mecanismo para desplazarse, el dispositivo debía ser adaptable a cualquier mando de control de la silla de ruedas, independientemente de su tipo y posición.

Otro requisito importante que se tuvo en cuenta fue el de crear un sistema de bajo coste, ya que en muchos casos, las personas con discapacidad no pueden acceder a este tipo de sistemas debido a su alto coste. Se decidió crear un sistema dotado de baterías y con un consumo mínimo para que el sistema disponga de una suficiente autonomía.

Se pretendía conseguir un diseño ergonómico, reubicable y reconfigurable adaptando el producto a la capacidad y necesidades de los usuarios, ya que este dispositivo puede ser configurado para ser activado con la barbilla, la mano, un dedo o cualquier parte de cuerpo que el usuario controle a voluntad.

4. Desarrollo

Como se ha comentado, se logró diseñar un prototipo que mediante una comunicación inalámbrica controlara el indicador del ratón de cualquier ordenador utilizando como interfaz el mando de control de una silla de ruedas, ya que el dispositivo es adaptable.

Como se muestra en la Imagen 1, el dispositivo posee cuatro etapas que realizan distintas funciones y abarcan desde el momento en el que el sensor realiza la medición de la posición hasta que el ordenador traduce esta información en movimientos del cursor.



Imagen 1. Etapas del dispositivo.

El dispositivo consta de una primera etapa de medida de la posición del mando de control de la silla de ruedas utilizando un sensor para conocer la orientación inicial en la que se encuentra y utilizar esta información para realizar el desplazamiento del cursor. De las salidas del sensor se obtendrá unas señales que serán acondicionadas y procesadas en una segunda y tercera etapa de acondicionamiento y control de la señal. En último lugar, existe una cuarta etapa para la transmisión de la información del dispositivo al ordenador mediante una comunicación WiFi. Se ha creado un software que instalado en el ordenador recibe los comandos de movimiento y los traduce en movimientos y acciones del mouse del ordenador.

4.1. Sensor de aceleración

Para medir la posición en la que se encuentra el mando de control de la silla de ruedas y por tanto conocer los movimientos y acciones que realiza el usuario se utilizó un sensor de aceleración. Este tipo de sensor se denomina acelerómetro y es capaz de medir la inclinación, vibración, aceleración o la gravedad, entre otras magnitudes. Estos sensores detectan la variación de la inclinación o de la aceleración y devuelven una variación de tensión, por lo que la información vendrá dada por la amplitud de la tensión de salida. Se utilizó un modelo de acelerómetro capaz de medir la inclinación en los tres ejes de coordenadas, con el fin de obtener la posición exacta del mando de control de la silla de ruedas.

No todos los usuarios utilizan el mismo mecanismo para desplazarse debido a que no todos poseen las mismas habilidades. Por lo tanto, para que el dispositivo pueda ser acoplado a cualquier mando de control de la silla de ruedas, el acelerómetro se encuentra en el interior de un material elástico adaptable formando un único elemento que se colocará sobre el punto superior del mando del joystick de la silla de ruedas con el fin de que tengan la misma inclinación.

El usuario puede realizar con este dispositivo el desplazamiento del puntero del ratón en la pantalla y todas las acciones que realiza un ratón convencional, como la acción de clic, doble clic, arrastre o pulsación del botón derecho. Para realizar el desplazamiento del puntero del ratón a través de la pantalla el dispositivo mide la inclinación del joystick en los ejes X e Y, como se muestra en la Imagen 2:



Imagen 2. Ejes x e y del joystick de la silla de ruedas.

Por otro lado, el dispositivo mide si se producen cambios de aceleración en la dirección del eje Z para detectar las acciones de clic, doble clic, arrastre y pulsación del botón derecho. Para realizar estas acciones el usuario debe presionar hacia abajo el elemento elástico que envuelve al acelerómetro, con lo que el dispositivo medirá la aceleración producida en el eje Z, como se muestra en la Imagen 3:



Imagen 3. Eje z del joystick de la silla de ruedas.

Al interpretarse las tres salidas del sensor se obtiene información de las acciones que el usuario realiza con el mando de control de la silla de ruedas.

4.2. Acondicionamiento y tratamiento de las señales

Las señales que se obtienen del acelerómetro no son adecuadas para poder procesar con precisión la información que poseen sobre la inclinación de los ejes, por lo que es necesario acondicionarlas. La diferencia de tensión máxima que se produce es muy reducida, por lo que es necesario amplificarla para tener una mayor resolución y poder determinar con mayor exactitud los movimientos del cursor.

Las señales de los ejes del sensor que se acondicionan y amplifican son leídas y procesadas por un microcontrolador, que se ha programado en lenguaje C para interpretar la información recibida del sensor y devolver distintas instrucciones que el ordenador interpretará para mover el puntero del ratón. El microcontrolador es programado para leer la información e interpretarla y al final crea unos comandos que indican el movimiento o acción que se quiere realizar con el puntero del ratón. En último lugar, el microcontrolador se ha configurado para que envíe los comandos por el puerto serie al módulo WiFi.

4.3. Comunicación con el ordenador

La comunicación entre el dispositivo diseñado y el ordenador es inalámbrica y se realiza a través de un módulo embebido WiFi.

El microcontrolador recibe la información del sensor y le envía las instrucciones al módulo WiFi a través de una comunicación serie. El módulo WiFi envía esta información de forma inalámbrica al ordenador, que se encargará de convertir las instrucciones que recibe en movimientos del puntero del ratón. El módulo WiFi crea una comunicación basada en un cliente y un servidor TCP/IP y se configuró para que enviara la información a la dirección IP del ordenador.

4.4. Software en el ordenador

En último lugar, se realizó un software en el ordenador para la recepción e interpretación de la información. Para ello se creó un programa en lenguaje C++ que permitiera la recepción de los datos a través de sockets, que es un método de comunicación que permite el intercambio de cualquier flujo de datos entre procesos conectados en red.

El software programado recibirá los comandos creados en el microcontrolador que contienen la información de las coordenadas y acciones que el

usuario ha realizado con el mando de control de la silla de ruedas y deberá traducirlos en los movimientos del puntero del ratón del ordenador correctos.

4.5. Circuitos adicionales

Para la correcta alimentación del dispositivo se realizó un circuito de alimentación que consta de unas baterías recargables de NiMH. El dispositivo se puede alimentar con las baterías o mediante un adaptador de red. Para la carga de las baterías es necesaria una alimentación externa y se diseñó un circuito que permite la alimentación directa del sistema mediante el adaptador de red o la conexión a la batería de la silla de ruedas, a la vez que se realiza la carga de las baterías [6].

Por otro lado, debido a que existen distintos factores del programa realizado en el microcontrolador que pueden ser modificados como la máxima inclinación que pueden detectar los ejes o la velocidad del puntero del ratón, se creó un circuito de programación del microcontrolador para poder modificar estos factores y adaptarlos a las necesidades de los usuarios. Con la creación de este circuito se pueden modificar parámetros del sistema fácilmente consiguiendo un dispositivo reconfigurable que puede ser adaptado a cualquier mando de control de la silla de ruedas y a las necesidades de los usuarios que dependerán de sus habilidades [6].

5. Puesta en marcha

Se construyó un prototipo que cumplía con las especificaciones de diseño planteadas inicialmente así como con la función para la cual fue creado. La primera versión del dispositivo se muestra en la Imagen 4:



Imagen 4. Prototipo del dispositivo.

El prototipo creado consta de dos partes, una caja de plástico para montajes electrónicos que contiene todos los circuitos y el sensor, que se encuentra en el interior del material adaptable que se sitúa sobre el mando de control de la silla de

ruedas. Además, para conseguir que el dispositivo fuera lo menos voluminoso y pesado posible, se utilizaron componentes de montaje superficial en la implementación de la placa de circuito impreso. Se consiguió que la caja con los circuitos tuvieran unas medidas reducidas de 110x85x35 mm.

Por otro lado, el sensor se introdujo en una esfera de un material elástico para que pudiera ser acoplado sobre el mando de control de la silla de ruedas para medir su inclinación. El esquema del sistema desarrollado se muestra en la Imagen 5:

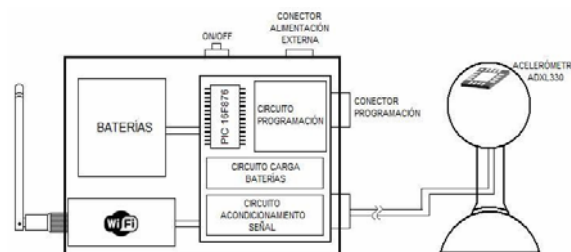


Imagen 5. Esquema final del dispositivo de control de acceso al ordenador.

Para la conexión entre el sensor y la PCB se utilizó un cable apantallado de 1 m, cinco hilos y conectores RJ45 en los extremos.

Debido a que el sistema es reubicable, el usuario puede colocar la caja en un espacio que no dificulte su movilidad y que le permita realizar la tarea original de la silla de ruedas. Una posible ubicación del sistema en la silla de ruedas es la que se muestra en la Imagen 6:



Imagen 6. Ubicación del dispositivo en la silla de ruedas.

El usuario que utiliza la silla de ruedas de la imagen utiliza un joystick de mano para su desplazamiento. Pero el sistema desarrollado puede ser adaptado al cualquier mando de control que utilice el usuario ya sea de mano, barbilla, cabeza o la parte del cuerpo que utilice el usuario dependiendo de sus habilidades.

6. Conclusiones

Tras varias pruebas se comprobó que el dispositivo realizado resolvía las expectativas para las que había sido creado. Se consiguió crear un sistema inalámbrico que, controlando las acciones del ratón, facilitaba el acceso al ordenador.

Este sistema realiza las acciones básicas del ratón para poder realizar cualquier tipo de tarea en un PC, es decir, movimientos axiales, clic, doble clic, acción de arrastre y pulsación del botón derecho. Se consiguió realizar un dispositivo que no necesita botones extras para simular todas las acciones de un ratón convencional, ya que estas acciones se pueden detectar con un solo sensor. Gracias a que no utiliza botones extras, puede realizarse cualquier acción del ratón con una sola mano sin ninguna dificultad. Esto le confiere la propiedad de extender su uso a personas que pese a no tener movilidad suficiente en las manos, si son capaces de controlar una palanca con la barbilla, pie, etc. Esta es la principal aportación de este trabajo con respecto al desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña [4].

Se ha conseguido crear un dispositivo inalámbrico adaptable al mando de control de cualquier silla de ruedas, permitiendo al usuario realizar ambas actividades, es decir, la función original de la silla y el desplazamiento del cursor del ordenador. Gracias a la comunicación WiFi, se evitó la utilización de cables entre el dispositivo y el ordenador, permitiendo una conectividad estándar. Por otro lado, el producto posee una alta usabilidad debido a que el usuario sólo deberá utilizar de forma normal el mando de control de su silla de ruedas, sin necesidad de emplear tiempo en aprender a utilizar el dispositivo. Como trabajo

futuro, se plantea realizar un estudio de usabilidad con al menos veinte usuarios que acoplen el dispositivo en su silla de ruedas habitual y hayan manejado otros tipos de ayudas de acceso al PC, para que evalúen el sistema y propongan posibles mejoras o sugerencias.

Se ha presentado en la OEPM (Oficina Española de Patentes y Marcas) la correspondiente solicitud de patente con el número P200803615, y el objetivo es poder transferir esta tecnología a empresas cercanas al sector de Ayudas Técnicas.

En conclusión, se logró crear un diseño con características tan importantes como la sencillez de uso, portabilidad, versatilidad, tamaño y peso reducido y ergonomía entre otras, permitiendo al usuario poder realizar cualquier tarea en su PC.

7. Referencias

- [1] www.nuance.com/naturallyspeaking/
- [2] <http://www.iriscom.org/>
- [3] S.G.González, *Tutorial de adaptación de ordenadores para personas con discapacidad*, Telefónica soluciones, 2007.
- [4] O.R.Granados, *Ratón Bluetooth para personas con discapacidad*, Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.
- [5] V.L.Vaquero, *Dispositivo inalámbrico para facilitar el acceso al ordenador*, Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, 2008.
- [6] J.G.Juberías, *Desarrollo de un joystick wifi para teleoperación del robot asistencial asibot*, Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, 2008.

**Interfaz basado en televisión para el control de una instalación domótica
utilizando el estándar MHP**

Sonia García Fernández
Departamento de I+D+i
Fundación CTIC
sonia.garcia@fundacioncti.org

Víctor M. Peláez
Martínez
Departamento de I+D+i
Fundación CTIC
victor.pelaez@fundacioncti.org

Vanesa Lobato Rubio
Departamento de I+D+i
Fundación CTIC
vanesa.lobato@fundacioncti.org

Resumen

Este trabajo recoge el diseño y desarrollo de un sistema de monitorización y control de una red domótica basado en la utilización de un set-top box (STB) como elemento de interfaz, permitiendo así al usuario interactuar con los elementos de su hogar a través del televisor y utilizando simplemente el mando a distancia. La solución propuesta utiliza receptores de televisión digital terrestre interactivos (compatibles con Multimedia Home Platform, MHP) totalmente estándares y disponibles actualmente en el mercado.

Cabe destacar que, si bien la arquitectura propuesta es general y por tanto aplicable a diferentes redes y productos domóticos, el trabajo aquí presentado contempla asimismo un ejemplo de implementación sobre un protocolo concreto (BUSing) con objeto de ejemplificar la viabilidad y potencialidad de la arquitectura propuesta. De este modo, este trabajo no sólo contempla un análisis y diseño teóricos, sino también su materialización en un prototipo funcional a todos los niveles.

1. Introducción

En los últimos años la implantación de sistemas domóticos en el hogar está siendo cada vez mayor. Los usuarios se interesan cada vez más por estas tecnologías debido a sus ventajas, las cuales pueden agruparse principalmente en cuatro categorías [1]: permiten disponer de un lugar más seguro (control de intrusión, alarmas técnicas), proporcionan un hogar más confortable (regulación de luz, temperatura, persianas), el hogar estará mejor comunicado (control remoto de la vivienda) y además será más sostenible (control de consumo, se evitan gastos inútiles). Asimismo, la domótica contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas en general y de algunos colectivos en particular, por ejemplo el de las personas mayores, posibilitando el que puedan vivir en sus hogares, si así lo desean, de la forma más independiente y durante el mayor tiempo posible.

En el campo de la domótica, si bien resulta innegable la existencia de numerosos tipos de dispositivos y protocolos de comunicación, también es indiscutible la necesidad de que, sea cual sea la instalación domótica, ésta disponga de algún mecanismo de interacción con el usuario que le permita interactuar de forma intuitiva y sencilla con los elementos de dicha instalación.

Por otro lado, actualmente se está viviendo en España la transición hacia la Televisión Digital Terrestre (TDT), habiéndose fijado el mes de abril de 2010 como fecha límite en la que todas las señales analógicas de televisión dejarán de emitirse a nivel nacional. A partir de entonces sólo se emitirán y sintonizarán señales de televisión digital,

lo que traerá consigo no sólo la existencia de más canales y una mayor calidad tanto de imagen como de sonido, sino también la posibilidad de acceder a aplicaciones interactivas desde el propio televisor.

En este trabajo se han combinado los conceptos de domótica y televisión digital terrestre, proponiéndose el diseño e implementación de una aplicación interactiva basada en MHP que permita el control de todos los dispositivos de una instalación domótica en el hogar. Esta aplicación se ejecutará sobre un STB compatible con los estándares DVB y MHP y por tanto empleados tanto a nivel europeo como en algunos países de América latina. El usuario podrá visualizar dicha aplicación interactiva en el televisor de su casa, y simplemente necesitará el mando a distancia para poder interactuar con cualquier elemento de su red domótica.

De este modo, dado que el manejo de la televisión es conocido por casi todas las personas (está presente en el 99,6% de los hogares españoles [2]), se puede lograr que la interacción con el sistema sea percibida por los usuarios como más simple e intuitiva. Así se conseguirá acercar el uso del sistema a toda la sociedad, incluidos algunos colectivos de personas que en muchas ocasiones se encuentran con ciertas dificultades en el uso de ordenadores u otros dispositivos diseñados expresamente para el manejo de una instalación domótica.

Tras esta breve introducción de las áreas temáticas más relevantes relacionadas con este trabajo, se procederá en los siguientes apartados a estudiar los principales productos de control domótico basados en televisión que existen actualmente en el mercado (sección 2) y describir las tecnologías y estándares de principal relevancia en el desarrollo propuesto (sección 3). En (sección 4) se definen, en términos generales, tanto la arquitectura del sistema como la forma propuesta de distribución de la aplicación. En (sección 5) y (sección 6) se abordan respectivamente la metodología de trabajo seguida y la implementación realizada sobre una red domótica concreta, finalizando la exposición con las principales conclusiones identificadas (sección 7).

2. Trabajos relacionados

El campo de las interfaces para sistemas domóticos es muy extenso y existen numerosos fabricantes que ofrecen una amplia variedad de soluciones, entre las que predominan las pantallas táctiles y los dispositivos móviles. Del estado del arte actual se puede deducir que las soluciones existentes en el mercado que permiten el control del hogar mediante una interfaz basada en televisión pueden dividirse en dos grandes grupos: soluciones software y soluciones hardware.

Las soluciones basadas en productos software, tales como mControl [3] y life|ware [4], se ejecutan sobre una consola Xbox 360 o un ordenador de tipo Media Center conectado a la televisión, desde donde el usuario puede controlar los dispositivos domóticos. Este enfoque requiere por tanto que el usuario disponga del dispositivo adecuado para su ejecución o que, en su defecto, esté dispuesto a comprarlo.

Por otro lado, existen en el mercado soluciones hardware tales como Home Controller HC-300 [5], Biodom [6] o Famidom [7]. En este caso se trata de dispositivos externos que se conectan a la televisión y permiten el control de los elementos existentes en una red domótica concreta. Sin embargo, ninguno de estos productos utiliza estándares, sino que llevan asociado software específico totalmente dependiente del hardware adquirido.

En resumen, las soluciones basadas en software o en nuevos dispositivos hardware requerirán de la adquisición de equipos y/o software específicos que, además de suponer en muchas ocasiones un desembolso económico extra por parte del usuario, distan de ser soluciones estándar, interoperables e independientes del proveedor.

El trabajo de investigación presentado en [8] versa sobre el uso de estándares como MHP (Multimedia Home Platform) para una temática similar a la aquí tratada. En dicho trabajo se utilizan MHP y OSGi (Open Service Gateway Initiative) con objeto de crear una aplicación que permita unir ambas tecnologías, proponiéndose la integración de un STB equipado con MHP con una pasarela residencial equipada con OSGi. De este modo las aplicaciones interactivas de televisión digital pueden tener acceso a los servicios de control de los elementos domóticos ofrecidos por la pasarela y viceversa. Sin embargo, el trabajo no propone una interfaz dinámica y general que permita controlar todos los dispositivos existentes en el hogar, sino que se propone la creación de aplicaciones a medida para cada caso o situación particular, es decir aplicaciones interactivas de televisión digital que en determinados momentos puedan acceder a la red domótica. Por otro lado los servicios domóticos ofrecidos por la pasarela no parecen estar implementados ni probados con ninguna red domótica concreta.

El trabajo presentado en este artículo presenta dos grandes ventajas respecto a la mayoría de las soluciones comentadas previamente: por un lado, un enfoque práctico centrado en el usuario y en la usabilidad de un sistema dinámico y, por otro, el uso del estándar MHP como base de una aplicación interactiva. Gracias a esta segunda característica será posible ejecutar la aplicación propuesta en cualquier STB que cumpla unos requisitos mínimos, como la compatibilidad con la versión adecuada de MHP. Dichos STB, además de tener

un coste menor que los utilizados en las soluciones comentadas anteriormente, serán de uso común en los hogares con la llegada de la TDT, por lo que el enfoque aquí propuesto no implicaría la adquisición posterior de hardware extra. Además, no serán dispositivos únicamente dedicados al control domótico, sino que con ellos el usuario podrá acceder a todos los contenidos ofrecidos por la televisión digital.

3. Fundamentos de la televisión digital

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es un tipo de televisión digital (es decir, el vídeo y sonido se codifican mediante señales digitales) que se transmite a través del aire (sin necesidad de un satélite o cable) y se recibe mediante una antena. Existen tres grandes estándares para la televisión digital: DVB, ATSC e ISDB. El aceptado en Europa es DVB [9] [10]. Su versión para televisión digital terrestre se denomina DVB-T y en ella se define cómo debe transmitirse la señal digital, basada en MPEG-2.

Con la digitalización de la señal se permite que, además de la emisión de los canales de televisión existentes, se multiplexen otra serie de contenidos tales como streams de audio en diferentes idiomas, subtítulos o aplicaciones interactivas. Para poder interpretar dicha señal digital es necesario disponer de un decodificador digital (también denominado set-top box, STB). Se trata de un dispositivo hardware de recursos de computación limitados que se conectará al televisor y que el usuario podrá manejar a través de un simple mando a distancia [11].

Los set-top boxes pueden clasificarse en dos grandes categorías: los STB básicos y los STB interactivos. Los primeros son los más simples y su funcionalidad se limita a interpretar la señal digital y mostrar los contenidos al usuario. Los STB interactivos permiten, además del funcionamiento básico, el acceso a las aplicaciones interactivas gracias a la incorporación de la plataforma MHP. Algunos de los receptores interactivos cuentan con un canal de comunicación, también denominado canal de retorno, implementado mediante conexión Ethernet o módem telefónico.

Se define MHP [12] [13] como el estándar abierto y aceptado, junto con los estándares de transmisión DVB, para el desarrollo de aplicaciones interactivas, denominadas Xlets. Se trata de un middleware que permite el desarrollo de aplicaciones utilizando el lenguaje de programación Java, evitando que el programador deba tener en cuenta las características específicas del STB sobre el que se ejecutará cada aplicación.

Existen dos versiones principales del estándar MHP en cuanto a sus funcionalidades: MHP 1.0 y MHP 1.1. La primera de ellas es la más extendida a día de hoy y define todos los aspectos necesarios

para desarrollar la mayoría de las aplicaciones interactivas existentes en la actualidad. La versión 1.1 [14] introduce una serie de mejoras sobre la especificación anterior, tales como la posibilidad de usar tarjetas inteligentes (smart cards), almacenar aplicaciones o utilizar el canal de retorno para la descarga de aplicaciones. Tal y como se explicará en el siguiente epígrafe, el enfoque seguido en el prototipo funcional implementado como ejemplo en el ámbito de este trabajo está basado en algunas de estas características de MHP 1.1, dada su versatilidad y potencialidad.

4. Arquitectura del sistema

Como punto de partida del diseño propuesto cabe destacar en primer lugar la necesidad de abordar la problemática de cómo conectar el STB con la red domótica, teniendo que cuenta que la aplicación interactiva deberá permitir tanto conocer el estado de cualquier dispositivo de dicha red como modificarlo cuando sea necesario. Ésta no es una cuestión evidente dado que cada red domótica tendrá un protocolo y una arquitectura física de comunicación diferente.

Por otro lado, teniendo en cuenta los interfaces de comunicación de los que disponen actualmente los STB (Ethernet o módem), se ha considerado que la mejor manera de resolver actualmente la comunicación con dispositivos externos es mediante el uso de la conexión Ethernet.

La solución adoptada en este trabajo se basa por tanto en utilizar una pasarela que tenga doble funcionalidad: por un lado, escuchará todo el tráfico que circule por la red domótica y lo enviará a través de Ethernet hacia el STB; por otro, podrá recibir tráfico Ethernet que enviará hacia la red domótica. En la Imagen 1 puede verse un esquema de la arquitectura propuesta.

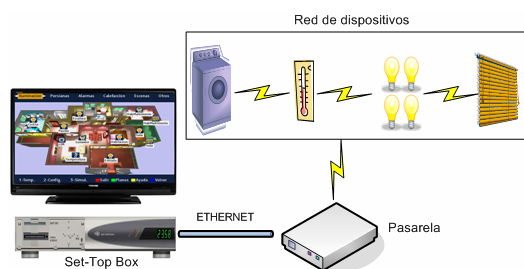


Imagen 1: Arquitectura del sistema.

Esta arquitectura permite la integración del receptor de televisión con cualquier red domótica que cuente con una pasarela TCP-IP, algo común en las principales redes empleadas actualmente como LonWorks, KNX (EIB), X10 o BUSing. Por otro lado, no implica la modificación o adaptación del receptor, al que sólo se le exige disponer de canal de retorno por Ethernet.

En segundo lugar debe tenerse en cuenta que, aunque muchas veces las aplicaciones interactivas se envían multiplexadas junto con los demás contenidos de televisión y se accede a ellas sintonizando el canal correspondiente, en este caso se ha considerado que dicho enfoque no es el más adecuado dado que la aplicación desarrollada sólo tendrá sentido para los hogares domotizados. Además, los bloques funcionales involucrados directamente con el envío y recepción de comandos así como con la definición de los dispositivos existentes tendrán una implementación diferente según el tipo de red domótica utilizada. Por todo ello, la solución propuesta consiste en utilizar una característica implementada a partir de la versión 1.1 de MHP, en la que se permite el almacenamiento de las aplicaciones interactivas en el propio STB. De este modo, la aplicación se le proporcionará al usuario ya instalada en un STB que cumpla las características anteriores (MHP 1.1 o superior y canal de retorno mediante Ethernet), quien la podrá ejecutar directamente sin necesidad de ningún otro paso previo.

5. Metodología de trabajo

En este apartado se abordan tanto el análisis de requisitos como la definición de la división lógica de la aplicación, para posteriormente detallar la interfaz desarrollada. Merece la pena destacar que durante el desarrollo de la interfaz de usuario se han tenido en cuenta las características y criterios de usabilidad para el caso concreto de desarrollos para televisión digital con objeto de mejorar y optimizar la experiencia de usuario.

- **Análisis de requisitos**

Como punto de partida de este análisis se puede establecer el requisito general de que el usuario pueda conocer y modificar el estado de cualquier componente domótico de su hogar de una forma sencilla y utilizando para ello solamente el mando a distancia del STB.

Con objeto de dar respuesta a dicho requisito general, se plantean los requisitos funcionales que se citan a continuación:

- Mostrar al usuario una representación gráfica de cada dispositivo domótico existente en la instalación, de forma que se distinga con facilidad de qué dispositivo se trata y el estado actual en el que dicho dispositivo se encuentra.
- El usuario podrá interactuar con los dispositivos domóticos existentes de la manera más sencilla posible. Dicha interacción generará una serie de órdenes que se traducirán en comandos del sistema domótico y serán enviados hacia los dispositivos necesarios. Si dichas órdenes

implican un cambio de estado en el dispositivo real, dicho cambio se verá reflejado de manera inmediata sobre los elementos de interfaz asociados.

- El usuario podrá cambiar el estado de un dispositivo de otros modos o con otros elementos de interfaz, por ejemplo interactuando directamente con él o a través de otro sistema de control domótico (como puede ser una pantalla táctil). Estos cambios deben reflejarse de manera inmediata en la representación de los dispositivos en la interfaz basada en televisión.
- Por último, deberá proporcionársele al usuario una forma de navegación entre los diferentes elementos que sea intuitiva y sencilla.

• División lógica de la aplicación

La arquitectura general definida consta de cuatro capas lógicas, las cuales quedan recogidas de forma gráfica en la Imagen 2.

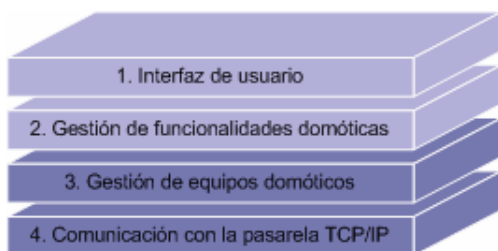


Imagen 2: Capas de la aplicación.

Capa 1. Es la capa de nivel superior, encargada de la interfaz con el usuario. Sus principales tareas son mostrar los componentes gráficos de la aplicación, así como atender y actuar ante las órdenes dadas por el usuario a través del mando a distancia.

Capa 2. Es la encargada de gestionar los elementos funcionales que muestra la interfaz y que a su vez son abstracciones de las funcionalidades del hogar domotizado que pueden ser manejados por el usuario, por ejemplo luces o persianas. Esta capa permitirá definir dichos elementos, así como consultar y modificar su estado.

Capa 3. Se encarga de la definición, gestión de operaciones posibles y cambios de estado de los dispositivos domóticos instalados en la vivienda. Los elementos de las capas 2 y 3 no deben confundirse, puesto que un dispositivo perteneciente a la capa 3 (por ejemplo un dispositivo encargado de gestionar varias persianas) puede estar asociado a varios elementos de la capa 2 (en el ejemplo, cada una de las persianas con las que interactuará el usuario, independientemente de que estén controladas o no por un mismo gestor en la capa 3).

Capa 4. Por último, en el nivel más bajo, se encuentra la capa de comunicación con la pasarela TCP/IP. Puede dividirse en dos grandes bloques: gestión de recepción y gestión de envío de comandos. El primero de ellos será el encargado de recibir todo el tráfico del bus domótico, interpretarlo para saber qué dispositivo domótico lo generó y pasar el control a la abstracción de dicho dispositivo dentro de la capa 3, el cual gestionará de manera adecuada el mensaje. Por su parte, el bloque de gestión de envío se encargará de enviar a través de la pasarela los comandos que resulten de las acciones del usuario sobre los dispositivos.

Esta división en capas permite la fácil adaptación de la aplicación a cualquier arquitectura domótica, ya que sólo sería necesario realizar cambios en las dos capas inferiores (en la capa 4 se adaptarían los protocolos de comunicación a los específicos de cada red domótica y en la capa 3 se deberían definir los tipos de equipos que pueden existir en dicha red). El resto de capas gestionan diferentes partes de la interfaz, y funcionalidades que serían comunes en cualquier tipo de red domótica.

Una característica importante a resaltar en el diseño de la aplicación es que ésta se ha diseñado de forma que se obtenga dinámicamente toda la información que caracteriza la red domótica, pudiendo adaptarse de este modo en tiempo de ejecución a cualquier instalación y configuración de la misma. Ello implicará tener acceso a un dispositivo en el que esté disponible la información necesaria (imágenes de los planos de la casa, tipo y situación de los dispositivos domóticos existentes, etc.), la cual puede organizarse en distintos ficheros. De este modo se conseguirá una aplicación genérica que no hará falta modificar en función de cada hogar, sino que de forma dinámica se configurará y adaptará a las características del mismo, lo que sin duda facilitará tanto la distribución como el mantenimiento de la misma.

• Interfaz desarrollada

Teniendo en cuenta las distintas funcionalidades que debe cubrir la aplicación interactiva a diseñar, así como criterios básicos de usabilidad en el diseño de aplicaciones para televisión digital, en el ámbito de este trabajo se propone una organización gráfica básica dividida en tres zonas:

- ❖ una barra superior, en la que se muestren las categorías en las que se han agrupado los diferentes elementos domóticos.
- ❖ una barra inferior, con las opciones generales y los botones de colores.
- ❖ un área central que muestre el detalle de toda la información asociada al plano activo.

Como se puede observar en el área central de la Imagen 3, todos los componentes domóticos existentes en la instalación se mostrarán colocados sobre una imagen que representará el plano general o parcial de la casa. De este modo se consigue que el usuario pueda identificar fácilmente los elementos mostrados en su televisor con los dispositivos domóticos realmente instalados en su hogar, lo cual deriva en la consecución del primero de los objetivos enumerados en el apartado 5.1.

Las acciones que el usuario podrá llevar a cabo sobre cada elemento dependerán del tipo de éste, pudiendo establecerse dos grandes grupos de elementos según permitan acciones simples o complejas. El primer grupo engloba todos los dispositivos que sólo tienen estado encendido o apagado, siendo éste el único dato que podrá modificar el usuario. El segundo grupo sin embargo incluye dispositivos más complejos (como puede ser el caso de un termostato) para los que, además del estado, será posible modificar otros parámetros (tales como la temperatura objetivo). Para ello, la aplicación mostrará al usuario un cuadro de diálogo que permitirá llevar a cabo las configuraciones deseadas por el usuario según cada tipo de dispositivo.



Imagen 3: Interfaz de la aplicación.

En relación a cómo navegar por los distintos elementos de cada plano se valoraron varias opciones, eligiéndose finalmente la navegación por menús y la navegación espacial. En el primer caso resultó necesario establecer una categorización que permitiese agrupar los distintos tipos de elementos domóticos existentes, definiéndose al final las que se indican a continuación: iluminación, persianas, calefacción, alarmas, escenas (sirve para la ejecución de un conjunto de acciones predefinidas) y otros (contenedor de otro tipo de elementos, como el control de electrodomésticos). Asociados a cada una de dichas categorías se mostrarán todos los elementos existentes en el plano que pertenezcan a la misma, mostrándose para cada uno de ellos su nombre y su estado. El usuario podrá modificar el estado de cualquiera de ellos con sólo pulsar un botón del mando a distancia. En la Imagen 4 puede observarse el aspecto de la aplicación cuando se despliega alguno de los menús de la barra superior.

El otro método de navegación considerado se basa en la posición relativa de un elemento del plano respecto del resto de elementos. Así, partiendo de un elemento inicial, el usuario podrá moverse de un elemento a otro simplemente utilizando las flechas de desplazamiento arriba (▲), abajo (▼), izquierda (◀) y derecha (▶) del mando a distancia.

El navegar de una forma o de otra puede fijarse de antemano o dejarse a elección del usuario, dado que en función de la disposición de los elementos en un plano o de las preferencias de cada persona puede resultar más sencilla e intuitiva una forma u otra.



Imagen 4: Menú desplegado en la aplicación.

Además de la parte de la aplicación interactiva descrita hasta ahora (de gran importancia dado que es la que les permite a los usuarios la interacción con todos los elementos colocados sobre un plano concreto) existen otra serie de funcionalidades no sólo diseñadas sino también implementadas en el prototipo funcional desarrollado. Dichas funcionalidades están asociadas por ejemplo a la posibilidad de cambiar de plano en caso de existir varios (por ejemplo uno asociado al piso inferior de la casa y otro asociado al piso superior), configurar características tales como el modo de navegación o los colores utilizados (tanto en el diseño de la estructura gráfica como en las fuentes de los menús, textos identificativos de cada elemento, etc.) o definir temporizaciones que permitan la ejecución automática de acciones en una fecha u hora concretas.

- **Usabilidad**

Durante el proceso de definición e implementación de la interfaz descrita en el apartado anterior se han tenido en cuenta diversos aspectos y criterios relacionados con la usabilidad y específicos para el caso concreto de interfaces basadas en televisión [15] [16]. Se indican a continuación las decisiones adoptadas que se consideran más relevantes.

Navegación. La navegación por los elementos, como se comentó en el apartado anterior, está basada bien en menús o bien en las posiciones espaciales de los elementos en el plano, mientras

que la navegación a través de las diferentes partes de la aplicación está basada en las teclas de color y en teclas numéricas. La señalización del elemento activo en cada momento se basa en una diferenciación en cuanto a los colores, tanto de letra como de fondo.

Textos. Un aspecto al que hay que prestar especial atención al diseñar aplicaciones interactivas es el texto, ya que debe tener un tamaño suficiente para que permita una lectura nítida desde la distancia a la que el usuario suele ver la televisión. Se considera que la aplicación desarrollada cumple este requisito, ya que supera el tamaño mínimo de fuente aconsejado y el tipo de letra (Tiresias) coincide también con el recomendado para aplicaciones interactivas.

Colores. La aplicación permite la personalización de los colores, mostrándole al usuario una serie de combinaciones entre las que puede elegir en función de sus preferencias o necesidades. Debe tenerse en cuenta que todas las combinaciones ofrecidas cumplen los requisitos básicos necesarios para permitir una correcta visualización de la aplicación (proporcionar contraste suficiente entre los diferentes colores o evitar el uso de colores muy saturados). Una ventaja que se deriva de la posibilidad de realizar cambios en los colores de la interfaz es que los usuarios con dificultades visuales ante colores de una determinada gama, podrán disfrutar de la aplicación y mejorar notablemente su experiencia de usuario simplemente seleccionando otro conjunto de colores que se ajusten, en la medida de lo posible, a sus necesidades concretas.

Idioma. La aplicación se ha estructurado de modo que soporte sin ningún problema el cambio de idioma de la interfaz, habiéndose contemplado en un estadio inicial el castellano y el inglés como idiomas preconfigurados. Sin duda la posibilidad de configurar el idioma es otra de las ventajas destacadas en el campo del diseño para todos.

Tipo de televisor. Para conseguir que se pueda utilizar la aplicación en cualquier tipo de televisor de forma satisfactoria, desde el inicio se han contemplado en el diseño aspectos tales como el grosor de las líneas o su color, ya que las pruebas de usuario llevadas a cabo demostraron que dichos aspectos producían diferentes resultados dependiendo del tipo de tecnología asociada al televisor (CRT, LCD, PLASMA). Como ejemplo concreto mencionar el molesto efecto de parpadeo apreciado por todos los usuarios y producido en los televisores CRT cuando el grosor de las líneas es demasiado fino y su color tiene un alto contraste respecto al color del fondo, que sin embargo no se da en un televisor de tipo LCD debido a la inexistencia de frecuencias de barrido. Cuestiones como la comentada han sido tenidas en cuenta en el diseño desde las primeras fases, con objeto de evitar al máximo los efectos molestos o no

deseados. De este modo se contribuye a la mejora de la usabilidad y por tanto a la satisfacción final de los usuarios, dentro del amplio concepto del diseño universal.

6. Caso de uso basado en el protocolo BUSing

Una vez detallados en los epígrafes anteriores tanto las características genéricas que se deberían cumplir para la utilización de la aplicación interactiva diseñada en cualquier tipo de red domótica, como los criterios generales propuestos en el diseño de la interfaz de usuario, se completa el trabajo presentado hasta ahora con un desarrollo concreto. Dicho desarrollo se ha llevado a cabo sobre una red domótica real compuesta por dispositivos fabricados por la empresa Ingenium [17].

Ingenium es una empresa española que fabrica equipos domóticos, y que comunica sus equipos mediante una tecnología de desarrollo propio: el sistema domótico BUSing®. Además Ingenium cede su protocolo de comunicaciones BUSing® a otros fabricantes, colaborando con ellos en la integración de sus productos.

Dicho protocolo de comunicación organiza la información que viaja a través del bus en paquetes punto a punto o MultiCast. En cada paquete se codifica la dirección del dispositivo BUSing que lo inició, la dirección del dispositivo BUSing al que va dirigido y los datos necesarios para indicar la acción a realizar sobre el mismo. Cuando un dispositivo recibe un comando, ejecuta la acción correspondiente y envía un ACK de respuesta al equipo que realizó la petición.

La elección de este sistema domótico se ha basado principalmente en la viabilidad de disponer, dentro de la gama de productos de Ingenium, de un equipo que actúa como pasarela y que cumple los requisitos especificados en el apartado 4. El equipo que tiene esta funcionalidad se denomina ETHBUS [18] y desde el punto de vista de las comunicaciones puede actuar en dos modos de funcionamiento: recepción y transmisión.

En la Imagen 5 puede verse la arquitectura del sistema cuando se utiliza el dispositivo ETHBUS conectado por BUSing al conjunto de dispositivos del hogar.

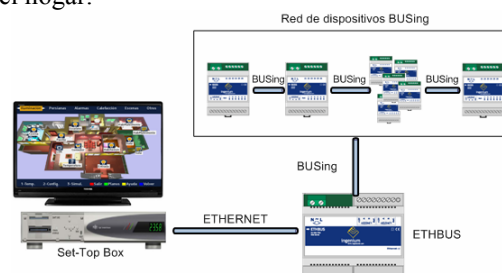


Imagen 5: Arquitectura del sistema para la red BUSing.

En el caso concreto implementado se ha probado la aplicación interactiva diseñada para TDT con dispositivos reales de los tipos siguientes: control de iluminación normal, control de iluminación con regulación, control de persianas, gestión de alarmas, control de temperatura y por último ejecución de escenas. La Imagen 6 muestra tanto el panel de dispositivos utilizados en las pruebas como el modelo de STB empleado.



Imagen 6: Dispositivos de Ingenium utilizados en las pruebas.

Todas las pruebas realizadas indican que tanto la arquitectura propuesta como la interfaz de usuario diseñada permiten controlar sin dificultad todos los dispositivos domóticos incluidos en el panel de ensayo, validando de este modo el trabajo previamente presentado y demostrando con ello la viabilidad y el potencial del sistema propuesto.

7. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el diseño arquitectónico de una aplicación interactiva para TDT con el objetivo de permitir el control de una instalación domótica desde la televisión. No se trata de un estudio meramente teórico, sino que se ha realizado una implementación totalmente funcional, tomando como base equipos domóticos comerciales y el protocolo de comunicación BUSing. No obstante, la arquitectura propuesta sería fácilmente adaptable a cualquier otro fabricante que usase diferentes protocolos de comunicación, debido a la estructuración en capas explicada en el epígrafe 5.

La aplicación diseñada se ejecuta sobre un decodificador (o STB), que es y será el tipo de equipo que se utilice en muchos hogares españoles para poder sintonizar y visualizar la señal de televisión digital terrestre. Gracias a ello, se podrá evitar que el usuario se vea en la obligación de adquirir equipos de control específicos en caso de que su hogar esté equipado con una red domótica. Esto sin duda repercutirá favorablemente, tanto desde el punto de vista económico, como desde el punto de vista de la complejidad necesaria a nivel hardware y el grado de satisfacción del usuario al interactuar con el sistema.

Sobre otras, cabe destacar la ventaja que este trabajo aporta al acercar tanto el uso como el control de cualquier tipo de dispositivo domótico a todos los sectores de la población, incluidos aquellos colectivos que de mano presenten ciertas limitaciones o reticencias para acceder al servicio en sí, por ejemplo derivadas de tener que utilizar un ordenador o algún dispositivo hardware complejo o poco usable. Asimismo, desde las primeras etapas del diseño se han tenido en cuenta las particularidades asociadas a un desarrollo para TDT, el cual se diferencia en muchos aspectos de otros tipos de desarrollos, por ejemplo los basados en Web. Desde el punto de vista de la interfaz de usuario, se han tenido en cuenta tanto criterios de usabilidad como aspectos de personalización aplicables al campo de la televisión interactiva, con objeto de obtener un diseño inclusivo que, en la medida de lo posible, no sólo sea robusto, modular y escalable, sino también sencillo e intuitivo para el usuario y el cual contribuya, por tanto, a mejorar su calidad de vida y las ventajas ofrecidas por la domótica.

Por último, merece la pena destacar la posibilidad de añadir nuevas funcionalidades al sistema propuesto, identificadas durante las fases de desarrollo y pruebas. En este sentido, se considera que la identificación de permisos o preferencias de usuario basadas en tarjetas inteligentes o DNI electrónico es uno de los campos hacia los que orientar mejoras futuras. Otro de dichos campos sería la utilización de nuevos modos de interacción con el usuario que complementen a los considerados hasta la fecha, como por ejemplo interacción por voz basada en dispositivos móviles y/o en una instalación de micrófonos de ambiente. Sin duda se plantean varios retos en campos como los mencionados. En este sentido, nuevas contribuciones que continúan con el trabajo aquí presentado están siendo abordadas en la actualidad por los integrantes del equipo investigador, las cuales se espera poder presentar en un futuro próximo.

8. Agradecimientos

A la empresa Ingenium Ingeniería y Domótica, S.L. por su apoyo al proveernos de un valioso caso de uso con el que poder validar el diseño y desarrollo propuestos en este trabajo.

9. Referencias

[1] Mayo, R., "Optimización de la selección de sistemas de gestión técnica de instalaciones en la edificación basada en lógica difusa. Aplicación al diseño y desarrollo de proyectos domóticos/inmóticos", Tesis doctoral, Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de Gijón, Área de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, de Computadores y Sistemas, Gijón, 2003.

- [2] Yagüe, J., “Indicadores comparados de servicios de telecomunicación (III – Televisión)”, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Octubre de 2005.
- [3] <http://www.embeddedautomation.com/EAHAmControl.htm> (Acceso 23-12-2008).
- [4] <http://www.exceptionalinnovation.com/products.php> (Acceso 18-12-2008).
- [5] <http://www.control4.com/cp/102-918CF738/index.htm> (Acceso 19-12-2008).
- [6] <http://bioingenieria.es/BioDom/BioDom.htm> (Acceso 23-12-2008).
- [7] <http://www.famidom.es/componentes.aspx> (Acceso 18-23-2008).
- [8] Ramos, M., Díaz, R.P., Fernández, A., Pazos, J.J., García, J., “Controlling the Smart Home from TV”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 2, Mayo 2006, pp. 421-429.
- [9] Benoit, H., *Digital Television: MPEG-1, MPEG-2 and Principles of the DVB System*, Focal Press, 2002.
- [10] Reimers, U., *Digital Video Broadcasting: The International Standard for Digital Television*, Springer, 2004.
- [11] O’Driscoll, G., *The Essential Guide to Digital Set-Top-Boxes and interactive TV*. Prentice Hall PTR, 2000.
- [12] <http://www.mhp.org/> (Acceso 18-12-2008).
- [13] Morris, S., Smith-Chaigneau, A., *Interactive TV Standards*, Elsevier, 2005.
- [14] Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) Specification 1.1.2.
- [15] *Interactive Television Design - Designing for interactive television v 1.0* - BBCi & Interactive tv programmes - Head of interactive television design -July 2005
(http://www.bbc.co.uk/guidelines/newmedia/desed/itv/iTV-Design_v1.pdf) (Acceso 18-12-2008).
- [16] The MHP Knowledge Project (MHP-KDB), *The MHP-Guide - A comprehensive Guide to the Multimedia Home Platform, the underlying technology and possible uses*, 30.03.2006.
- [17] <http://www.ingeniumsl.com> (Acceso 19-12-2008).
- [18] <http://www.ingeniumsl.com/website/es/products/devices/ETHBUS.html> (Acceso 19-12-2008).

Robots de compañía para asistencia a personas mayores en su domicilio

Carmen Pastor

carmenp@robotiker.es

Gabriel Gaminde

ggaminde@robotiker.es

Arantxa Renteria

arantxa@robotiker.es

Unidad de Salud y Calidad de Vida. Robotiker-Tecnalia
Parque tecnológico, 202. 48170 Zamudio (Bizkaia)

Resumen

Cada vez está más extendida la idea de apoyar la vida (semi)independiente de las personas mayores en sus propias casas, retrasando su posible ingreso en residencias. Pero los estados de depresión y demencia senil, sin un apoyo de estimulación cognitiva, pueden deteriorar tanto la

vida cotidiana de la persona mayor como la de sus cuidadores.

Se hace necesario ofrecer un entorno asistencial basado en las nuevas tecnologías, integrando conceptos de casas inteligentes y nueva generación de robots de compañía. Esta solución sirve de apoyo a las terapias de estimulación cognitiva del usuario (persona mayor). Este artículo presenta los desarrollos que se están

llevando a cabo en el proyecto Companionable, el cual ofrece la sinergia entre Robótica e Inteligencia Ambiental para los cuidadores dentro de un entorno asistencial. También apoya la terapia y estimulación cognitiva de la persona mayor. Estas tareas se realizan con ayuda de un robot de compañía trabajando en colaboración con un entorno doméstico inteligente.

El proyecto Companionable se enfoca hacia la inclusión social y cuidado en su propio hogar de personas con deficiencias cognitivas crónicas, sector que se va ampliando en la población europea. El proyecto culmina con un escenario de validación que incluye a los usuarios (personas mayores y cuidadores) y empresas y organismos interesados en este sector.

1. Introducción

A medida que aumenta el número de personas mayores en Europa (Fig. 1) con discapacidades cognitivas y patologías asociadas a la enfermedad de Alzheimer y depresiones, se incrementa la presión social y económica para permanecer en los domicilios mientras sea posible. Sin embargo, las personas con las enfermedades mencionadas sufren pérdidas de memoria y falta de motivación y autoestima, lo cual reduce sus capacidades de aprendizaje e induce una pérdida de contacto con el entorno, incapacidad para las tareas diarias y pérdida de autonomía. Estas personas necesitan la ayuda de un cuidador y tienen el riesgo de exclusión social. También sus familiares y su situación representan un desafío al cual no han respondido adecuadamente las nuevas tecnologías de información y comunicaciones (TIC).

Las personas mayores que viven en sus hogares necesitan cada vez más un soporte de sus familiares o cuidadores profesionales [12]. Ambos tipos de cuidadores sufren una reducción de su calidad de vida y también necesitan ayuda (sobre todo los familiares en relación a ayuda psicológica y económica). Las estadísticas muestran que el número de cuidadores profesionales, así como de familiares, no crecerán en la misma proporción al número de pacientes. Los costes de ejercitar al enfermo en temas cognitivos son altos, y la mayoría de las veces los familiares no disponen del conocimiento, formación o medios técnicos.

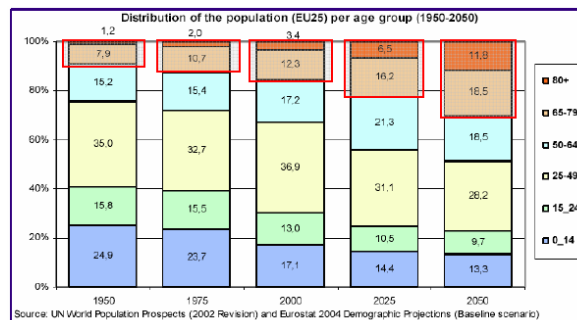


Fig. 1 Distribución de población por edades

Además hay que tener en cuenta las preferencias de los pacientes. En esta línea, el Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS-IMRSO) ha realizado un estudio con el objeto de averiguar las preferencias de las personas mayores en relación a prolongar su estancia en sus domicilios, o por el contrario, ser trasladados a una residencia. Las encuestas muestran que más del 70% de los encuestados prefiere permanecer en sus casas, evitando las residencias mientras sea posible. Y si necesitaran ayuda, siguen prefiriendo adaptar sus casas. El mismo estudio muestra que, de acuerdo con la edad de la persona encuestada, para más del 80% de las personas mayores de 65 años, la opción preferida es su propia casa.

Con la idea de ofrecer un entorno asistivo a pacientes, personas mayores y sus cuidadores, el proyecto Companionable tiene como objetivo lograr la sinergia entre la robótica y las tecnologías de inteligencia ambiental. El desarrollo previsto ayudará a la estimulación cognitiva y terapia del paciente, utilizando para ello un robot de compañía trabajando de forma coordinada con un entorno doméstico inteligente. El proyecto aborda los temas de inclusión social y cuidado en casa de personas que padecen discapacidades cognitivas crónicas, una enfermedad cada vez más común entre la creciente población de edad en Europa.

El consorcio está formado por 18 socios, representando 7 países europeos (Austria, Bélgica, Alemania, Francia, Holanda, Reino Unido y España):

- combinando socios industriales (Legrand), de infraestructuras (AKG, Metralabs, Sabia) con sensores acústicos, robots móviles, sistemas de televigilancia, soluciones domóticas, etc.
- proveedores de soluciones tecnológicas, tanto académicos como centros de investigación, relacionados con las TICs, interacción humano-robot, técnicas de navegación en robots móviles, fusión de sensores, reconocimiento de patrones, análisis de voz y sonidos, sistemas cognitivos, etc., tareas que realizan los socios Universidad de Reading, Universidad de Ilmenau, Austrian Research Centres, ESIEE, IBISC.
- equipos clínicos, centros expertos en casas inteligentes y en evaluación de las necesidades de

los usuarios, representados por Ingema, APHP, Smart Homes, Cure.

2. Proyectos en curso relacionados

Companionable ofrece un valor añadido en relación a las necesidades planteadas en párrafos anteriores, ya que ofrece un nuevo concepto de robot –acompañante móvil e interactivo, dentro del domicilio de la persona mayor. Durante el 6º Programa Marco de la Unión Europea se desarrollaron varios proyectos que trataban también con estos aspectos de Vida en Entorno Asistivo (Ambient Assistive Living), muchos de ellos se han enfocado en un entorno estacionario.

El proyecto SOPRANO [1] tiene como objetivo el desarrollo de sistemas de asistencia a personas mayores para ayudarles en su vida diaria, con mayor confort y seguridad. Un conjunto de componentes relacionados con la inteligencia ambiental se conectan a proveedores de servicios externos. Este concepto de combinar tecnologías de sensores inteligentes con sistemas externos también se encuentra en el proyecto EMERGE[2], que ofrece ayuda a personas de edad a través de una monitorización y prevención de emergencias. La innovación radica en observar el comportamiento de la persona para detectar desviaciones de los patrones regulares. NETCARITY[3] busca nuevas tecnologías de inteligencia ambiental a través de la integración de los micro y nano sistemas en un entorno inalámbrico, con capacidades de “plug and play” y toma inteligente de decisiones. MPOWER [4] tiene como objetivo simplificar y acelerar la tarea redesarrollar y desplegar servicios para personas con discapacidades cognitivas y personas mayores. La plataforma será la base para la integración de casas inteligentes y tecnologías de sensores, la interoperabilidad entre sistemas específicos del profesional y de la institución, y una gestión segura de la información. En el proyecto PERSONA [5], la idea es ofrecer una solución tecnológica escalable y abierta, sobre la cual se puede desplegar un amplio rango de servicios para inclusión social, vida independiente y saludable para personas mayores.

Otro grupo de proyectos en curso se caracteriza por la inclusión de componentes llevados por personas mayores o pacientes. Tal es el caso del proyecto ENABLE [6] cuyo objetivo es el desarrollo de un sistema portátil, personalizado, centrado en el usuario con determinados servicios, para ser utilizado por la persona fuera de su domicilio y poder mitigar los efectos de algunas discapacidades, y para incrementar la calidad de vida independiente, autonomía, movilidad, comunicaciones, cuidado y seguridad. Un mayor enfoque en la vigilancia médica se lleva a cabo en el proyecto CAALYX [7]. El dispositivo portátil detecta caídas y accidentes fuera del hogar y es

capaz de comunicarse autónomamente, en tiempo real, con el cuidador o con los servicios de emergencia. El proyecto COGKNOW [8], por otra parte, se centra en personas con demencia para ayudarles a desenvolverse y desplazarse en su día a día.

En el campo de la robótica móvil para entornos domésticos, el estado de las investigaciones está en sus inicios. Muchos proyectos se centran en navegación autónoma en entornos controlados de la casa, sólo unos pocos están interesados en la interacción persona-robot para asistencia en el hogar. El proyecto del 6º Programa Marco ROBOTS@HOME [9] tiene como objetivo ofrecer una plataforma móvil para la introducción de robots en los hogares. Se centra en temas de aprendizaje, mapeado y navegación en entornos domésticos con una configuración típica. En el proyecto MOVEMENT [10] los desarrollos se centran en un robot móvil, inteligente que se puede conectar a un conjunto de dispositivos seleccionados por el usuario. También hay equipos comerciales, como el robot americano CareBot [11], para asistencia a personas mayores y navegación en entornos domésticos aplicando lógica difusa.

Muchos de los proyectos relacionados con robótica se enfocan en el aspecto de movilidad y autonomía en los hogares. Aspectos claves de esos entornos son la seguridad y navegación robusta, pero también está cobrando gran importancia las capacidades de interacción persona-robot de una forma natural, como la clave para conseguir una amplia aceptación de esos sistemas. En los proyectos reseñados anteriormente los robots móviles operan como sistemas más o menos autónomos. Por el contrario, en el proyecto *Companionable* se busca la combinación de posibilidades de un robot de compañía junto con las ventajas de un entorno estático inteligente doméstico, ya que en los escenarios típicos de cuidado de personas el uso de un robot móvil por un lado y la domótica por otro no puede dar soluciones a las tareas complejas que se presentan. De esta forma, los efectos positivos de las dos soluciones se combinan. El principal objetivo de *Companionable* es demostrar cómo las sinergias entre la domótica estacionaria y el acompañante robótico móvil pueden proporcionar un sistema asistido interactivo para el cuidado de la persona.

3. Principales líneas de investigación

A continuación se explican los principales temas de investigación y desarrollo del proyecto.

3.1. Tecnologías para hacer un sistema consciente de su entorno

El objetivo es no sólo desarrollar un sistema consciente de la presencia de personas, sino interactuar con ellas de una forma natural e intuitiva. Esto incluye:

- Detección y seguimiento de personas utilizando diferentes tipos de sensores (visión, sonido, medidas de distancia) y sus correspondientes procesos de fusión de señales [13].
- Observación de las personas, reconocimiento de su estado emocional, clasificación de conductas normales o excepcionales
- Ofrecer canales de comunicación tipo háptico (pantalla táctil) y más naturales (diálogo, expresión facial, movimientos corporales).
- Reconocimiento de instrucciones verbales y no verbales y procesos de estimulación cognitiva.
- Desarrollo y evaluación de un prototipo de un sistema para estimación de emociones, y modos audio visuales, como un componente esencial para un diálogo inteligente y estimulación cognitiva entre el sistema asistivo y el paciente.
- Integrar las funcionalidades del servicio, tales como soporte a servicios socio-sanitarios, gestión de la agenda diaria, videoconferencia con familiares o cuidadores profesionales, o control remoto del robot móvil por personas autorizadas.

Finalmente, los métodos desarrollados bajo estos temas de investigación ofrecerán los fundamentos para los sistemas asistivos para la vigilancia multimodal y monitorización del paciente y sus actividades en el entorno doméstico y un interface persona-robot fácil y natural.

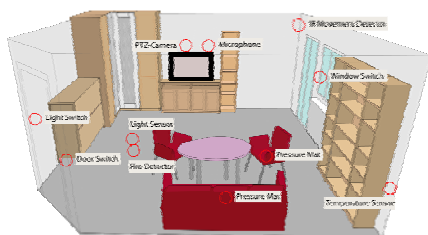


Fig. 2 Sensores instalados en un entorno doméstico inteligente

3.2. Redes de sensores y comunicaciones

Técnicas para interacción persona-máquina y con cuidadores de forma remota, que incluyen:

- Diseño, adaptación y aplicación de sensores portables existentes para adquisición del estado de salud del paciente.
- Diseño de protocolos de comunicaciones, recolección de datos y metodologías para análisis de señales
- Desarrollo de interfaces para cuidadores externos y proveedores de servicios técnicos.

3.3. Robot móvil

Con capacidades para navegación e interface persona-robot en entornos domésticos no estructurados, con especial énfasis en:

- Desarrollo de algoritmos para modelado del entorno y su actualización continua,
- Técnicas para evitar obstáculos estáticos y dinámicos,
- Métodos para programación de trayectorias y control del movimiento.



Fig. 3 Robot de Metralab que servirá como prototipo del proyecto

3.4. Tratamiento terapéutico y apoyo asistivo

Diseño y desarrollo de tratamientos terapéuticos y apoyo asistido para la vida diaria, con los requisitos siguientes:

- Gestión inteligente del día a día.
- Generación de contenidos para estimulación cognitiva y entrenamiento, haciendo que éstos puedan ser gestionados por los sistemas estacionarios y móviles.
- Función de recuerdo para toma de medicación y análisis de los datos

adquiridos en relación al estado de salud de la persona bajo cuidado.

- Comunicación eficiente y natural por medio de comunicaciones audiovisuales con familiares y cuidadores.

Estos aspectos se deben interpretar como el núcleo para ofrecer tratamientos terapéuticos medibles, frenando el progreso de la demencia y permitiendo que la persona de edad permanezca en casa durante más tiempo.

3.5. Pruebas de usuario

Los experimentos de campo y pruebas con usuarios ofrecerán la base para la estimación de las capacidades de ambos sistemas y su combinación con respecto a su habilidad para cubrir las necesidades del usuario, lo cual incluye la definición, diseño y realización de los escenarios para las pruebas con experimentos de larga duración.

3.6. Evaluación

Técnicas de diseño de la usabilidad y evaluación, para medir los sistemas asistivos desarrollados, investigando:

- Su aplicabilidad para la interacción con personas mayores con diferentes características cognitivas, basada en la evaluación del usuario, requisitos de las personas mayores y guías y estándares de accesibilidad.
- Evaluación y aseguramiento de los aspectos éticos.
- Inferencia de especificaciones técnicas y metodológicas para la continua mejora del sistema Companionable.

3.7. Aspectos éticos

El sistema se diseñará según las guías y reglas éticas y de diseño inclusivo para asegurar una completa accesibilidad. El objetivo es asegurar el pleno consentimiento, entendimiento y participación pro-activa de los usuarios finales con discapacidades cognitivas y sus cuidadores familiares, para comprobar sus necesidades y deseos, miedos y obstáculos, y para obtener una realimentación relevante en el proceso iterativo de diseño.

4. Principales tareas de Tecnia-Robotiker

Uno de los objetivos de la investigación que lleva a cabo Tecnia-Robotiker es evaluar la viabilidad de la monitorización de sensores para la vida diaria (Life Style Monitoring, LSM). Estos sensores captan las rutinas de la vida habitual, y actividades diarias, mediante la lectura del uso de varios dispositivos domésticos. La idea detrás del LSM es el aprendizaje de los hábitos de las personas, mediante una monitorización pasiva del entorno doméstico a través de varios aparatos, integrándolos en un sistema LSM inteligente, y de ahí reconocer y controlar las desviaciones significativas de lo normal. Algunas desviaciones se pueden interpretar como síntomas de una próxima crisis, en cuyo caso se puede activar una alerta dirigida al cuidador (Fig. 4).

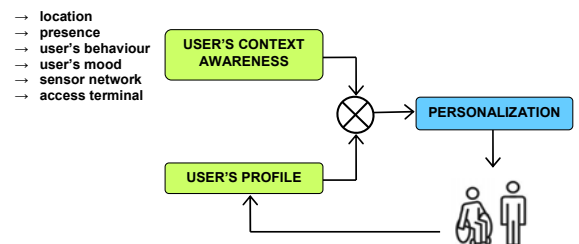


Fig. 4 Personalización de contenidos para el intercambio de información

Otro de los focos de trabajo es la tarea relacionada con la interacción persona-robot, lo cual permite una comunicación entre el usuario y el sistema asistido. El objetivo de la tarea es generar una forma intuitiva, adecuada, fácilmente entendible de la interacción del robot y entorno inteligente. Incluye el desarrollo de un “lenguaje corporal robótico” y una “expresión facial robótica” para comunicar, de forma no verbal, el estado interno del robot acompañante a la persona bajo cuidado. Se utiliza la tecnología de “avatares” (personajes virtuales) en el entorno doméstico para que sirvan como asistentes virtuales, ofreciendo sugerencias y realimentación al usuario.

5. Impacto estratégico

5.1. Incremento de la independencia personal para la población de edad

En el contexto del colectivo de las personas mayores, prestar atención a la accesibilidad es un elemento clave de cualquier política que busque promover la independencia de las personas durante tanto tiempo como sea posible, reduciendo la necesidad de servicios públicos de apoyo. El objetivo de los servicios para la vida independiente es extender el tiempo durante el cual las personas mayores pueden vivir autónomamente en su

entorno preferido, incrementando su autoconfianza, sin necesidad de gestionar actividades monótonas del día a día, y ofreciendo una monitorización y cuidado del paciente, para mejorar su seguridad y obtener recursos con el apoyo de las TICs. El proyecto *Companionable* mejorará la investigación con el objetivo de obtener soluciones innovadoras basadas en estas tecnologías, que sean económicamente viables, seguras y amigables.

5.2. Refuerzo de la posición de la industria europea en TICs aplicadas a tecnologías para el envejecimiento

Europa necesita modernizar sus servicios públicos para cubrir las necesidades de los cambios de la sociedad y estilos de vida. Es necesario actuar en desafíos emergentes tales como la seguridad, envejecimiento e inclusión.

Está ampliamente aceptado el impacto positivo de las TICs en la calidad de vida, crecimiento y competitividad. El crecimiento del sector de las TICs es esencial para el crecimiento de la economía en su totalidad. Además de este aspecto, un mayor uso de las TICs por la sociedad puede incrementar la competitividad de Europa en general. En una comunicación de la Comisión Europea titulada “i2010 – Una Sociedad de la Información europea para el crecimiento y el empleo” [12], la Comisión propone un nuevo marco estratégico, i2010 – European Information Society 2010, para promover una economía digital, competitiva y abierta, y enfatiza el uso de las TICs como motor de los temas de inclusión y calidad de vida.

Las políticas de la UE orientadas a la disponibilidad y acceso a las TICs son importantes, pero también es necesario concentrarse en promover la demanda de TICs por parte de todos los segmentos de la economía y sociedad. El incremento del uso de las TICs aumenta su impacto

en la sociedad, beneficiando a todos los ciudadanos, mejorando los servicios públicos, haciéndolos más económicos y accesibles, y mejorando la calidad de vida. Pero al día de hoy, todavía la mitad de la población europea no tiene acceso a esos beneficios. Uno de los objetivos del proyecto *Companionable* es contribuir a la mejora de la calidad de vida reforzando la posición europea en TICs y tecnologías y servicios aplicadas al envejecimiento.

6. Referencias

- [1] <http://www.soprano-ip.org>
- [2] <http://www.emerge-project.eu>
- [3] <http://www.emerge-project.eu>
- [4] <http://www.mpower-project.eu>
- [5] <http://www.igd.fraunhofer.de/igd1/projects/persona/index.html>
- [6] http://www.is.tuwien.ac.at/enable/index_en.html
- [7] <http://www.caalyx.eu>
- [8] www.cogknow.eu
- [9] www.robots-at-home.org
- [10] www.fortec.tuwien.ac.at/movement
- [11] www.geckosystems.com
- [12] G. Comyn, S. Olsson, R. Guenzler, R. Ozcivelek, D. Zimbauer, M. Cabrera, “User needs in ICT research for independent living, with a focus on health aspects”. European Communities, Brussels, 2006.
- [13] H. Lozano, I. Hernández, F.J. González, I. Idígoras, “Household sound identification for people with hearing disabilities”, Congreso AAATE, San Sebastián, 2007.

ILENA: Interacción basada en Voz con un Hogar Digital

María de las Mercedes Fernández-Rodríguez, Juan Bautista Montalvá, María Fernanda Cabrera-Umpiérrez, María Teresa Arredondo, Cecilia Vera-Muñoz

Life Supporting Technologies

ETSIT Universidad Politécnica

Ciudad Universitaria; 28040 MADRID, ESPAÑA

Tel: (+34) 91 549 57 00 ext. 3407

Fax: (+34) 91 336 68 28

E-mail: mfernandez@lst.tfo.upm.es, jmontalva@lst.tfo.upm.es, chiqui@lst.tfo.upm.es, mta@lst.tfo.upm.es, cvera@lst.tfo.upm.es

Resumen

Durante las últimas décadas se está produciendo un envejecimiento de la población, y se espera que esta tendencia continúe durante los próximos años [1] [2]. Recientes estudios muestran los beneficios de continuar viviendo en el hogar [1]. La gran parte de las personas mayores prefieren vivir en su casa de forma independiente, provocando un incremento de la demanda de servicios de calidad en el hogar.

El desarrollo de nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) ayudan a la creación de entornos adecuados y necesarios para que la Vida Independiente se pueda conseguir [3]. La interacción de los usuarios con estos sistemas ha de ser lo más sencilla y con el menor tiempo de aprendizaje posible.

Dentro de este ámbito se encuentra la interfaz presentada en este artículo, basada en un uso limitado del lenguaje natural, y utilizando un amplio espectro de estructuras sintácticas y un vocabulario limitado para la interacción con los diferentes dispositivos del hogar.

1. Introducción

Según la Oficina Europea de Estadística, 38 millones de personas sufren algún tipo de discapacidad. Esto supone el 14,5% de la población de la Unión Europea entre 16 y 65 años, de los cuales podemos distinguir un 10% con una discapacidad moderada y un 4,5% con una discapacidad severa [1]. Además, el 15% de la población europea es mayor de 60 años, y se espera que este porcentaje se incremente en los próximos años. Según la última actualización de las estadísticas del Eurostat [1], la esperanza de vida de las personas se ha incrementado hasta los 65 años y continúa aumentando año tras año. Además hay una importante relación entre la edad y la discapacidad; alrededor del 30% de la población mayor de 60 años presenta algún tipo de discapacidad.

Es bien sabido que la mayoría de las personas prefieren vivir en su hogar de forma independiente frente a mudarse a residencias o con sus familiares. Recientes estudios en cuestiones sociales y de dependencia muestran los beneficios de continuar viviendo en casa para personas mayores o con discapacidad [1].

El desarrollo de las nuevas TICs basadas en el paradigma de la Inteligencia Ambiental (AmI) puede ayudar a crear entornos adecuados que ayuden a conseguir la independencia necesaria y demandada. Tanto las personas mayores como las

personas con discapacidad pueden beneficiarse de la creación de entornos con AmI. Uno de los principales servicios AmI es la adopción de interfaces basados en interacción natural, cuyo objetivo es la creación de nuevas plataformas de interacción que integren el lenguaje y comportamiento humano en aplicaciones técnicas [4]. La utilización del lenguaje natural en entornos específicos como el hogar digital es una buena alternativa que facilita el acceso a los dispositivos y servicios de una forma intuitiva, simple y personalizada.

Actualmente, la mayoría de los sistemas que utilizan el habla como una forma de interacción con los entornos AmI o con los sistemas domóticos están basados en comandos y estructuras gramaticales fijas que requieren un aprendizaje y entrenamiento previos [5] [6] [7]. Estos sistemas solo reconocen la voz para la que han sido entrenadas y no son sencillos de utilizar. Además, se requiere un aprendizaje de los comandos por lo que el usuario no se acostumbra a su uso como una forma habitual de interacción.

Con el fin de evitar la necesidad de entrenamiento en el reconocimiento de voz, hemos desarrollado ILENA, una interfaz independiente de la voz del usuario. ILENA no precisa un entrenamiento previo ya que el sistema considera un gran número de estructuras sintácticas para indicar la misma solicitud. El sistema no solo incluye respuestas a las acciones encomendadas sino preguntas para resolver situaciones ambiguas.

2. Metodología

El desarrollo de los modelos de interacción se ha basado en la utilización de la metodología Userfit [8]. El diseño se ha centrado en el usuario para garantizar la consideración de los atributos de los mismos, y crear una interfaz consistente con el contexto de operación [9].

El desarrollo del sistema de diálogo se ha basado en la selección de una serie de parámetros relevantes referidos al género de la voz, la naturalidad de la interacción, la longitud de las frases, la consistencia y familiaridad del vocabulario, la realimentación y la iniciativa en el diálogo bajo ciertas condiciones.

- La voz; femenina o masculina, que el usuario puede escoger al principio.
- Reconocimiento automático; de acuerdo con los campos de operación desarrollados (cambio de estado, consulta de estado, programaciones, etc.).

- Longitud de las frases; largas y completas sintácticamente.
- Vocabulario; limitado debido al entorno de trabajo, el hogar digital.
- Realimentación al usuario.
- Iniciativa en el diálogo.

La interfaz ILENA se basa en un uso limitado del lenguaje natural. Permite la interacción del usuario con un determinado número de dispositivos del hogar mediante el uso de un vocabulario restringido relacionado con el hogar digital.

El desarrollo de la interfaz ILENA comenzó con una primera fase de definición del entorno del hogar digital, incluyendo las habitaciones, los elementos con los que el usuario interactúa (vocabulario restringido). El entorno que se ha utilizado consta de un dormitorio, un salón, una cocina y un baño. El usuario puede interactuar con diversos elementos como las puertas, las ventanas, las luces y el frigorífico. Posteriormente se describieron las posibles acciones a realizar sobre los objetos definidos. Las acciones posibles se clasificaron en dos grupos: acciones y consultas.

1. Acciones: solicitudes que permiten al usuario modificar el estado actual del dispositivo, ya sea a través de un cambio de su situación (encender/apagar) o una modificación de algún parámetro que controle su comportamiento actual o futuro (subir el volumen, programar el horno).
2. Consultas: peticiones que tienen como objetivo informar sobre el estado actual de un determinado dispositivo.

En la segunda fase se realizó la construcción del módulo de reconocimiento, creando las correspondientes gramáticas para cada uno de los ámbitos de operación. Al igual que en la primera fase, el vocabulario también es restringido, y permite al sistema incrementar la probabilidad de éxito. Para cada uno de los ámbitos de operación definidos se planteó, no sólo el vocabulario a utilizar sino los conectores necesarios para formar una oración natural. La interfaz se ha desarrollado en español, idioma cuya sintaxis puede presentar dos variaciones bien diferenciadas [10]:

- Estructura lineal. El orden de los componentes de una frase es claro e invariable. Se inicia con el sujeto, seguido del verbo y, finalmente, los complementos.
- Estructura envolvente. Permite diversas combinaciones de los componentes proporcionando un mayor énfasis a elementos concretos de la misma.

El último paso en la construcción del sistema ha sido el desarrollo del repertorio de respuestas para cada ámbito de operación. Incluye las respuestas a las peticiones del usuario, las realimentaciones ante una acción solicitada y las preguntas para obtener una correcta comprensión en aquellos casos en los que se pueda encontrar con cierta ambigüedad.

3. Resultados

ILENA se ha desarrollado utilizando las librerías Loquendo TTS y las voces basadas en lenguaje de programación C [11]. La justificación para la elección de este lenguaje radica en las bibliotecas ofrecidas por Loquendo que únicamente se encuentran disponibles en C. La plataforma empleada para la programación ha sido Eclipse Europa con el plugin CDT (C/C++ Development Tooling).

La interfaz consiste en una pequeña aplicación donde el módulo de reconocimiento se compone de una primera fase de análisis sintáctico y una segunda de análisis semántico. Finalmente se ejecuta la petición en caso de ser posible, y sea cual sea el resultado, se realimenta al usuario (ver Figura1).

El análisis sintáctico define el ámbito de operación de la petición (si es una consulta, una acción, y su tipo concreto) junto con los posibles vocablos que definen la petición (acción, elemento, localización, parámetro, valor). La estructura reconocida por el sistema ha de coincidir con alguna de las definidas en las gramáticas empleadas. Una vez realizado el reconocimiento, el sistema lleva a cabo un análisis semántico para comprobar la corrección de la petición. Se establece la coherencia del resultado obtenido, no solo entre los elementos, sino también en relación con la situación actual del hogar digital. En caso de encontrar alguna incoherencia entre los componentes de la petición se provee al sistema de un módulo de interacción hombre-máquina en el que a través de un intercambio de preguntas (por parte del sistema) y repuestas (por parte del usuario) se llega a una petición coherente que se pasará a ejecutar.

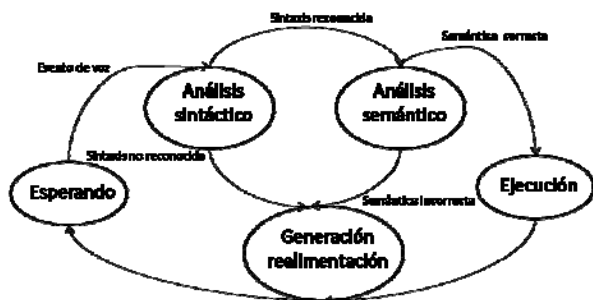


Figura 1. Diagrama de acción

Tras los análisis anteriores, se distinguen dos comportamientos diferentes:

- Si la petición es la realización de una acción, la principal función es la modificación de las bases de datos pertinentes que originarán una tarea activa inmediata (apagar una luz, subir el volumen de la televisión) o retardada (programación del horno).
- Si la petición corresponde con una consulta (estado, parámetro o programación) la interfaz únicamente busca el valor en la base de datos oportuna y le da al usuario la respuesta

La longitud de las frases de realimentación depende del tipo de petición que el usuario haya hecho. Si la solicitud está relacionada con el estado de los dispositivos, la frase será corta y ofrecida en forma imperativa. Sin embargo, para peticiones relacionadas con acciones o consultas de programaciones, la longitud es más larga y con más explicaciones de la situación.

El vocabulario está limitado por la cantidad de elementos con los que interactuar y de las acciones posibles dentro del ámbito de utilización. Sin embargo, el sistema presenta dos vocabularios diferentes para resolver la ambigüedad de algunas situaciones: uno basado en el uso natural de las preguntas (¿qué luz?, ¿dónde?) y otro basado en el uso de frases imperativas (indica la luz, selecciona la habitación).

4. Discusión

El sistema se está evaluando actualmente con usuarios reales mediante una serie de cuestionarios y entrevistas personales. El objetivo es obtener la mayor información posible relacionada con la aceptación del sistema y con las nuevas posibilidades de reconocimiento de voz que no hayan sido consideradas con anterioridad.

La evaluación incluye los siguientes pasos:

- El usuario selecciona el tipo de voz.

- El usuario realiza distintas tareas en el escenario de evaluación basadas en la ejecución de diferentes casos de uso.
- El usuario completa un cuestionario que incluye preguntas de carácter cualitativo y cuantitativo.
- Tras la entrevista, los expertos rellenan un cuestionario de evaluación para cada caso de uso en el que se proporciona información sobre la interacción del usuario con el sistema.

El principal problema detectado durante evaluación ha sido la dificultad del usuario en diferenciar entre el fallo en una petición cuando el sistema realiza un correcto reconocimiento pero con calidad insuficiente, y el fracaso de la petición debido a que el sistema no fue capaz de hacer un correcto reconocimiento a causa de una gramática no existente.

Actualmente el sistema ha sido evaluado por ocho usuarios. Todos ellos han seleccionado la voz femenina para interactuar con el hogar digital.

Tras la realización de la evaluación completa con un gran número de usuarios se espera conseguir diversos resultados relacionados con diferentes aspectos de la usabilidad como: el número de interacciones necesarias para ejecutar una petición ambigua, el tiempo empleado por los usuarios en una tarea, si hay algún elemento o acción que no se haya considerado, o si el usuario ha tenido algún problema con la interacción basada lenguaje natural.

5. Conclusiones

Existe un gran número de posibles aplicaciones de las tecnologías de la información y las comunicaciones, especialmente aquellas centradas en mejorar la calidad de vida de personas mayores o personas con discapacidad. Una de estas aplicaciones en la interfaz ILENA. Su desarrollo se ha basado en el reconocimiento automático del habla facilitando, por tanto, una interacción natural con el hogar digital. Se ha involucrado a los usuarios desde el principio, en la fase de diseño, garantizando su usabilidad final.

Hemos presentado una interfaz rápida, sencilla y usable basada en el reconocimiento del lenguaje natural. Uno de los aspectos más importantes a destacar de su diseño es su independencia del usuario, característica que le da simplicidad y reduce al máximo posible los procesos de aprendizaje y entrenamiento, obteniendo una mayor aceptación.

Una de las limitaciones más importantes de este sistema es la falta de familiarización de los usuarios con las nuevas tecnologías. Adicionalmente, su reticencia al cambio puede ser un obstáculo para la adopción de este tipo de sistemas en el ámbito cotidiano.

6. Referencias

- [1] Eurostat, Life expectancy at age 65, by gender, (2007) <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [2] European Commission, Feasibility Study - Comparable Statistics in the Area of Care of Dependent Adults in the European Union, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003
- [3] J.B. Montalvá, A. Rodríguez, E. Conde, E. Gaeta, M.T. Arredondo, Middleware Architecture for Users Interfaces in Ambient Intelligent supporting Independent Living. In: I Workshop on Technologies for Healthcare & Healthy Lifestyle. (April 2006) Madrid, Spain.
- [4] Natural Interaction - A Remedy for the Technology Paradox by Lea Landucci, Stefano Baraldi and Nicola Torpei
- [5] http://www.proinssa.com/index_main.html
- [6] <http://www.smarthome.com/8068.html>
- [7] http://www.domotica.com.es/product_info.php/products_id/878
- [8] El diseño centrado en el usuario para la creación de productos y servicios de información digital. Jesús Tramullas Saz. Depto. CC. de la Documentación, Univ. de Zaragoza
- [9] E Conde, A Rodríguez-Ascaso, JB Montalvá, MT Arredondo, Usability lab for digital home services. In: DRT4all (November 2005) Madrid, Spain.
- [10] Las inversiones de orden de palabras en el Romancero. Fernando Martínez-Gil. Hispania, Vol. 72, No. 4 (Dec., 1989)
- [11] <http://www.loquendo.com/es/>

Una Experiencia de Hogar Digital para la Vida Independiente

Ignasi Garcia-Milà, Sandra Millet, Lluïsa Pla, Salvador Riera
Centro de Vida Independiente
{ignasi, sandra, lluisa, [salvador](mailto:salvador@cvi-bcn.org)}@cvi-bcn.org

Xavier Garcia-Milà
Arquitectura y Accesibilidad
xgarciamila@aia-bcn.com

Resumen

El Centro de Vida Independiente (CVI) es una experiencia de hogar digital para favorecer la independencia. En este artículo se repasan los objetivos, el diseño, la creación y el desarrollo del Centro, operativo desde junio de 2008, pero sobretudo se explica el modelo en el que se basa su actividad. Por lo que a su creación se refiere, el artículo se centra en las prioridades consideradas a la hora de diseñarlo: las necesidades de los usuarios, las funciones que el entorno ofrece y las tecnologías para la accesibilidad que incorpora el Centro. El funcionamiento del Centro se estructura en torno a dos modelos teóricos: el relativo a la investigación y a la innovación de productos asistenciales, y el relacionado con la prestación asistencial y la implementación de soluciones. Finalmente, el artículo incluye un breve inciso sobre el modelo organizativo del Centro.

1. Introducción

El Centro de Vida Independiente (en adelante CVI) se ubica en Barcelona. En el ámbito de la atención a personas con dependencia o discapacidad, el CVI es la primera experiencia de generación de un centro en el que se combina atención asistencial, participación en proyectos de I+D+i y colaboración con empresas privadas. En este sentido el CVI responde a un concepto de asistencia-investigación-empresa que, en su ámbito, es pionero en España, aunque existen centros similares a nivel europeo [1] [2].

La idea se origina a finales de 2006 cuando Mutuam y Mutual Médica, dos mutualidades de previsión social, detectan diversas necesidades crecientes en el campo de atención a personas mayores y personas con dependencia y deciden apostar por la prestación de servicios que favorezcan la autonomía personal.

El diseño del Centro se lleva a cabo durante el primer semestre de 2007 y cuenta con la participación del equipo técnico de Arquitectura y Accesibilidad, un equipo de arquitectos con amplia experiencia en temas de accesibilidad. El sistema domótico de control de entorno se define con el apoyo de la Universidad Politécnica de Cataluña. El convenio que posteriormente firman el CVI y esta Universidad establece un marco estable de colaboración entre

ambas entidades para la promoción de actuaciones y proyectos que contribuyan a mejorar la accesibilidad, la integración social y la vida autónoma de todas las personas.

La construcción del Centro se lleva a cabo entre septiembre de 2007 y febrero de 2008. El Centro se inaugura finalmente el 2 de junio de 2008. Antes, en el mes de diciembre de 2007, el CVI firma un acuerdo de colaboración con diversas empresas *partners* del proyecto: Alcatel-Lucent, Fagor Electrodomésticos, Roca, Schneider Electric, Vodafone, Logitech, Fundación i2CAT. Estas empresas e instituciones punteras en innovación apuestan así por ligar el éxito de las nuevas tecnologías con la capacidad que éstas tienen de ser accesibles y útiles para mejorar la calidad de vida de las personas, especialmente la de aquellas con algún tipo de dependencia o discapacidad.

2. Descripción del Centro de Vida Independiente

A nivel constructivo el espacio del Centro de Vida Independiente (CVI) consta de tres áreas diferenciadas.

La zona de la vivienda reproduce, de la forma más fidedigna posible, el entorno de una vivienda con sus diferentes espacios y ambientes. Incluye zonas de:

- Actividades diurnas: acceso, recibidor, sala de estar, comedor, zona de estudio y terraza
- Descanso e higiene: dormitorio, baño completo y aseo con ducha
- Servicios: cocina (preparación, cocción, lavado, almacenaje), tratamiento de la ropa (lavado, secado, planchado) e instalaciones (caldera, sistemas de control, etc.)

La zona de atención personalizada está formada por un despacho de atención individual y una sala para actividades en grupo y reuniones.

Finalmente, la zona técnica y de servicios se compone de la recepción general del centro, de un almacén para los productos de apoyo y de un laboratorio. En el laboratorio se llevan a cabo actividades de investigación, desarrollo e innovación, así como el control de los elementos informáticos y domóticos.

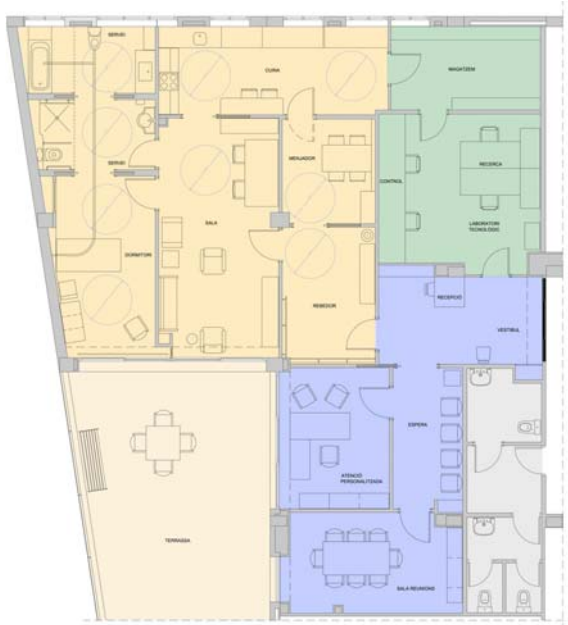


Imagen 1. Plano del Centro de Vida Independiente. Se diferencian las áreas de vivienda, atención personalizada, técnica y de servicios.

Los objetivos del Centro son:

- Ofrecer una asistencia personalizada e integral a personas mayores con dependencia y personas con discapacidad.
- Proporcionar un diagnóstico ajustado a las necesidades de cada persona para resolver las dificultades que se encuentra en su vida diaria.
- Poner a disposición de los usuarios y los profesionales toda la tecnología con aplicaciones concretas para personas con falta de autonomía.
- Fomentar el contacto entre usuarios, profesionales, universidades, centros de investigación y empresas.
- Formar a colectivos de profesionales para dar a conocer el trabajo interdisciplinario y los productos de apoyo en un entorno real.
- Ofrecer formación para ampliar el grupo de profesionales y familiares que puedan dar mejor atención a las personas con dependencia.

Para poder satisfacer los objetivos planteados se ofrecen los servicios de:

- Visita de valoración en productos de apoyo para personas en situación de dependencia. Ésta visita genera un informe técnico con

información clara y entendible para el usuario sobre qué productos de apoyo pueden ayudarle a mejorar su autonomía en las actividades solicitadas.

- Implantación de la solución valorada en la vivienda del usuario. Para mejorar realmente la autonomía de la persona dependiente se ofrece la posibilidad de implementar la solución completa asegurando la calidad.
- Formación para profesionales de los ámbitos técnico, sanitario y social. La formación está encaminada a que cada uno de ellos pueda conocer la parte que habitualmente no trata, tanto en los productos de apoyo como en la prestación de servicios para la mejora de la autonomía.
- Asesoramiento a entidades que trabajan con personas con dependencia. Se ofrece la posibilidad de mejorar la atención que están ofreciendo las entidades mediante la aplicación de los productos de apoyo y la implementación de nuevas soluciones tecnológicas.



Imagen 2. Sala de reuniones y formación

3. Diseño del CVI

En el proceso de diseño del Centro se tuvieron en cuenta las necesidades de los usuarios ya que el principal objetivo es poder valorar e implementar las soluciones que mejor se ajusten a cada uno de ellos. Se prestó especial atención a las funcionalidades de cada uno de los espacios para poder asumir estas necesidades. Estas funcionalidades se ofrecen mediante los productos, servicios y tecnologías más adecuadas.

3.1. Necesidades de los usuarios

Las necesidades de los usuarios se configuran como la base de trabajo para concretar la funcionalidad que cada uno de los espacios del Centro ofrece. La detección de estas necesidades surge de la larga experiencia de los profesionales que trabajan en el Centro. Se trata de necesidades de movilidad, comunicación, seguridad y actividades cotidianas difícilmente realizables sin un nivel mínimo de autonomía personal.

De hecho, uno de los primeros proyectos del centro se focaliza precisamente en la determinación de una sistemática y clasificación detallada de todas estas necesidades en función de la discapacidad y del entorno en el que se desenvuelve la persona.

Justamente la metodología ENABLER [3] clasifica las dificultades funcionales de las personas con discapacidad pero no prioriza sus necesidades ni las soluciones aplicables a la persona con dependencia.

Las necesidades se definen para cada persona en función de sus dificultades y de su entorno. Así, una misma dificultad funcional –la dificultad de movimiento de las extremidades inferiores, por ejemplo- genera diferentes necesidades en diferentes personas. Mientras alguien puede no tener entre sus necesidades principales subir escaleras porque su vivienda es una planta baja, otra persona puede tener esta necesidad como principal escollo a superar para moverse por su casa de dos plantas.

En definitiva, ya que una misma disfuncionalidad en distintos entornos crea distintas necesidades, se hace necesario valorar no única y exclusivamente el grado de dependencia o la dificultad funcional, sino también los problemas que se presentan en cada caso individual, en función del entorno en el que se encuentra la persona con dependencia y sus gustos, aficiones e inquietudes. Pasamos así de una clasificación de las dificultades funcionales, objetiva y universal, a una clasificación mucho más subjetiva e individual, la de las necesidades individuales que, además, variarán en el tiempo.

Esta es la clasificación a la que el Centro quiere dar respuesta: la de las necesidades. Para ello es fundamental la participación de un equipo interdisciplinar de profesionales que pueda asesorar a las personas en situación de dependencia en la concreción de sus necesidades, en el tipo de soluciones que se ajustan mejor a éstas y finalmente establecer las prioridades necesarias.

3.2. Funciones implementadas

Basándose en las principales necesidades detectadas, se definen un conjunto de funciones a desarrollar en cada uno de los espacios del Centro ofreciendo varias alternativas para que sea posible la realización de las actividades cotidianas en la vivienda de una persona con dependencia. Se busca la optimización del esfuerzo de la persona a la hora de realizar estas funciones y el incremento de su autonomía personal.

En general se definen funciones de comunicación (del exterior al interior y entre las personas y los dispositivos) de diversos tipos (telefónica, electrónica, etc.). También, funciones de movilidad (desplazarse, realizar transferencias, abrir puertas, etc.) y de control del entorno (encender y apagar luces, apertura y cierre de persianas, control de elementos audiovisuales, etc.). Finalmente, se definen funciones relativas a las actividades de la vida diaria (actividad en el sanitario, de aseo y limpieza personal, vestirse, lavar ropa, cocinar, almacenamiento, etc), actividades relacionadas con el ocio (salón) y el descanso (dormitorio).

El uso de los espacios que albergan estas funcionalidades, como espacio de valoración de productos de apoyo, hace que arquitectónicamente, estén diseñados para dar soluciones a las diferentes patologías y ofrecer diversas alternativas en cada caso, tanto en el acceso como en el uso de las funciones definidas.



Imagen 3. Zona de lavamanos con elementos que funcionan por detección de presencia

3.3. Tecnologías para la accesibilidad

Una vez concretadas las funciones, se proponen las soluciones de accesibilidad más adecuadas y se valoran las prestaciones de los diversos productos existentes en el mercado.

Desde el primer momento se integran ayudas pasivas y activas. La combinación de ambos “tipos” de tecnologías es necesaria para mejorar la accesibilidad al entorno y es esa combinación la que se implementa en el CVI.

Las ayudas pasivas constituyen la base de la gran mayoría de medidas de accesibilidad en los edificios. Se trata de mejoras que facilitan el uso del entorno sin sustituir la actuación del ser humano. Las ayudas activas, en cambio, actúan por cuenta de la persona y en el entorno de la vivienda exclusivamente se han utilizando aquellas que facilitan la movilidad. [4] Sin embargo, en el CVI se apuesta por las ayudas activas independientes a ese proceso para facilitar la incorporación de productos de apoyo en el momento en que sean necesarios.

Las ayudas activas que se han instalado en el Centro han sido integradas utilizando un sistema estándar y abierto como es Konnex [5] para facilitar la posibilidad de actuar desde diferentes tipos de mandos e interfaces.

Los elementos activos que se pueden controlar son:

- Luces
- Apertura y cierre de puertas (batiente, corredera), ventanas (batiente, vertical), persianas, cortinas, toldo, etc.
- Regulación de altura de mesas, encimera y tocador del baño, armarios, sillones, grúas, cama, etc.
- Seguridad: alarmas de aviso, alarmas técnicas.
- Multimedia: ordenador, televisión, radio y DVD.

Todos estos elementos pueden ser controlados desde mandos específicos para ajustarse a las necesidades de cada persona, como por ejemplo un mando táctil, con botones grandes, por barrido, vía reconocimiento de voz, etc.



Imagen 4. Mandos de voz y táctil que permiten controlar elementos del centro de forma centralizada

En el Centro se priorizan soluciones tecnológicas basadas en el diseño universal, que ofrezcan soluciones para la accesibilidad, o bien elementos estándar, abiertos y de mercado que se puedan personalizar y adaptar a las necesidades de los usuarios. Por razones de coste y fiabilidad se prefieren productos que puedan encontrarse en el mercado, antes que los desarrollos a medida, o bien sistemas en que la tecnología se encuentre en un estado avanzado de desarrollo.

4. Modelo teórico de I+D+i

Desde el CVI entendemos la innovación como la generación de valor para las personas dependientes – valor entendido como la mejor respuesta a sus necesidades- y, a la vez, como generación de valor para las empresas –valor entendido, en este caso, como posibilidad de negocio-.

En este sentido, el CVI entiende la I+D+i como parte fundamental y complementaria a su actividad asistencial para poder ofrecer mejores soluciones a sus usuarios y en lo posible fomentar su generalización. Esta I+D+i se lleva a cabo con la colaboración de diversas entidades públicas y privadas y abarca desde la investigación básica hasta la más aplicada y cercana al mercado.

En cuanto a investigación aplicada, el Centro se concibe como un catalizador de iniciativas de empresas y centros de investigación para que lleguen al mercado con unos productos lo más ajustados posibles a las necesidades reales de los usuarios. En este sentido se aprovechan las sinergias con la actividad asistencial, que permite conocer de primera mano estas necesidades. A su vez, esta actividad asistencial hace que las empresas dispongan, por así decirlo, de un banco de pruebas para la mejora de sus productos.

En cuanto a investigación básica, el Centro colabora con universidades, principalmente con la Universidad Politécnica de Cataluña a través de su Cátedra de Accesibilidad, y participa con grupos de investigación en la definición, concreción e implementación de nuevos sistemas que planteen nuevas soluciones para personas en situación de dependencia.

Una vez desarrollada una nueva solución, el CVI pone en contacto a la universidad o grupo de investigación con las empresas para implementar estos nuevos productos o servicios y hacerlos llegar al mercado. Paralelamente, una vez detectada una necesidad asistencial, el CVI puede proponer mejoras tecnológicas o desarrollos a medida a universidades y empresas.

El Centro es, por lo tanto, un interlocutor entre los usuarios y los generadores de tecnología y productos, un espacio de comunicación y un puente que posibilita innovaciones para resolver necesidades reales.

4.1. Investigación y desarrollo

Las relaciones entre el Centro y la Universidad Politécnica de Cataluña y sus grupos de investigación, así como la relación con otras universidades y centros de investigación e innovación; y la participación en proyectos de investigación europeos constituyen líneas principales de actuación del centro.

Se trata de trabajar a medio plazo para ir elaborando mejoras en el sector de la atención a la dependencia, trabajando conjuntamente con interlocutores reconocidos tanto a nivel nacional como internacional.

Se han planteado líneas de trabajo en los ámbitos técnico y tecnológico, pero también en el ámbito sanitario y social.

Ámbito técnico y tecnológico

- Desarrollo de nuevas interfaces para el control de entorno, mediante tecnología y productos ya existentes, innovando en las interfaces de control de los dispositivos
- Desarrollo de nuevos sistemas e incorporación de nuevas funcionalidades a los existentes para ofrecer "Ambient Assisted Living"

Ámbito sanitario y social

- Protocolización del proceso de valoración según el espacio en el que se debe intervenir
- Valoración económica de las soluciones aplicables y contrastadas con soluciones no tecnológicas

4.2. Innovación

La relación con las empresas es la otra vertiente del modelo de I+D+i del CVI. Con ellas se trabaja en la generación de soluciones innovadoras a partir de productos ya existentes en el mercado así como en la generación de nuevos servicios que favorezcan la autonomía personal. Si los avances que se realizan en productos y servicios para favorecer la independencia no llegan al mercado no se puede hablar de verdadera innovación.

Las empresas son conscientes de ello y son conscientes también de que se pueden beneficiar de la información que les ofrecen los usuarios. El papel del equipo interdisciplinar es transmitirles sus necesidades y dificultades que los usuarios encuentran en los productos y servicios existentes.

4.3. Dos binomios principales

Las relaciones y sinergias derivadas, por un lado, del contacto entre universidad y empresa en el ámbito de la I+D+i y, por otro, de esta I+D+i y el ámbito asistencial, configuran la originalidad del CVI y marcan tanto sus estrategias y objetivos globales como sus líneas de actuación y su día a día operativo.

El Centro trabaja en estas dos líneas de forma paralela e interrelacionada: a partir de las visitas con los usuarios se detectan sus necesidades y se generan proyectos, o bien se definen requerimientos de los nuevos sistemas y se facilita la participación de los usuarios en su proceso de desarrollo.

Existe también la posibilidad de trabajar con centros de desarrollo y empresas en tests de prototipos o en la generación de soluciones a medida, o bien con el mundo académico para mejorar el conocimiento y estructuración de la atención a la dependencia.

Las dos vertientes del centro se retroalimentan y permiten añadir valor a las actividades que se realizan y ofrecer mejores soluciones hacia la autonomía personal.

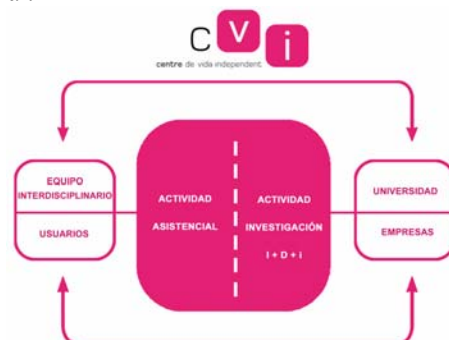


Imagen 5. Esquema del concepto de I+D+i del CVI

5. Modelo asistencial

Aunque el objeto de este artículo no es la descripción detallada del modelo asistencial del CVI, se incluye en este apartado una breve referencia al procedimiento asistencial a las personas dependientes. Una explicación más detallada tanto de los profesionales involucrados en la asistencia como de la metodología utilizada en este campo, se encuentra en un artículo del DRT4All de 2007 [6], así como una referencia a un centro que ofrece una atención similar [7].

A modo de recordatorio, cabe destacar sin embargo, que el modelo asistencial del CVI se basa en tres elementos: un espacio real de valoración configurado como una vivienda digital accesible, un equipo humano interdisciplinario y un procedimiento de valoración y seguimiento, que se refleja en el siguiente esquema:



Imagen 6. Esquema del proceso asistencial del CVI.

Cabe señalar también que el CVI proporciona asistencia personalizada e integral, es decir, que trabaja con la premisa de que nunca hay dos situaciones iguales y que tiene en cuenta la consideración global de diversos factores, desde los personales (relativos al estado físico o psíquico) hasta los ambientales y sociales.



Imagen 7. Valoración del acceso al control de entorno con un mando de barrido

6. Implementación de soluciones

El informe técnico generado por el equipo asistencial del Centro es a la vez el punto final del modelo asistencial y el punto en el que empieza un proceso que culminará en la provisión de los productos de apoyo o adaptaciones en la vivienda que se hayan considerado oportunas. Éste paso se realiza en caso de solicitud del usuario o su familia y trata de ofrecer las soluciones que se ajusten a las indicadas en el informe asistencial. Realmente, sin este último paso la mejora de la autonomía no se hace tangible y por ese motivo se ha creído conveniente poder ofrecerlo desde el propio centro. Se quiere poder asesorar en la incorporación de la solución que mejor se ajuste tanto a nivel funcional como económico, y que sea aceptada tanto por el usuario como por su entorno.

La implementación de las soluciones más adecuadas incluye información y tramitación de posibles ayudas o financiación. El seguimiento de la ayuda instalada o la adaptación de la vivienda del usuario facilita la detección de cambios en el estado de la persona o su entorno.

Cuando se asegura que el producto de apoyo se instala en la vivienda del usuario de forma que éste lo pueda usar de manera adecuada y permanente, es cuando se consigue la mejora real de su autonomía personal. Y de esta forma el CVI cumple con su objetivo final.

7. Modelo organizativo del CVI

El CVI está gestionado por la Asociación para la Vida Independiente, una asociación sin ánimo de lucro constituida por Mutuam y Mutual Médica, y, por lo tanto, no tiene voluntad de obtener beneficio económico a partir de la prestación de servicios para la mejora de la autonomía personal de los usuarios.

MUTUAM y Mutual Médica son dos mutualidades sin afán de lucro con una larga experiencia en el mundo de la previsión social. Colaboran desde hace más de 10 años para apoyar a las personas mayores. Se plantearon la necesidad de incrementar sus servicios de atención a la dependencia mediante la promoción de la autonomía personal en el entorno cotidiano de las personas.

El centro cuenta con un director que coordina los diferentes ámbitos del Centro, un equipo interdisciplinario asistencial, un coordinador de proyectos de I+D+i, un coordinador técnico de las soluciones a implementar y un conjunto de colaboradores técnicos que participan según se requiere.



Imagen 8. Cocina con ayudas activas

Se incluyen, para finalizar, dos ejemplos del entorno que proporciona el Centro de Vida Independiente, cuyo sitio web es: www.cvi-bcn.org.



Imagen 9. Baño con ayudas pasivas que permiten realizar las actividades con mayor seguridad

8. Referencias

- [1] R. Andrich, "Profile and Development Prospects of Assistive Technology Centres in Italy", *Challenges for Assistive Technology AAATE 07*, IOS Press, 2007, pp. 662-666
- [2] M Malavasi, C. Bitelli, E.-J. Hoogerwerf, "Corte Roncati: an Example of Innovation in AT Service Delivery and Inclusive Building", *Challenges for Assistive Technology AAATE 07*, IOS Press, 2007, pp. 584-588
- [3] S. Iwarsson, B. Slaug, *Housing Enabler: An instrument for assessing and analysing accessibility problems in housing*, Nävlinge and Staffanstorps, Vetem and Skapen HB, Slaug Data Management AB, Suecia, 2001
- [4] X. Garcia-Milà, "Integración de Tecnologías Activas en el Diseño de Edificios de Viviendas", *ACTAS II Congreso Internacional sobre Domótica, Robótica y Teleasistencia para Todos DRT4all 2007*, Fundación ONCE, Madrid, 19-21 Abril de 2007
- [5] www.knx.org
- [6] S. Millet, Ll. Pla, L. Majó, I. Garcia-Milà, "La Valoración de las Ayudas Técnicas en un Entorno Real", *DRT4all*, Madrid, 19-21 Abril de 2007
- [7] R. Andrich, V. Gower, R. M. Converti, "The DAT Service, an Integrated Approach to Improve Independence at Home", *Challenges for Assistive Technology AAATE 07*, IOS Press, 2007, pp. 579-583

Sistema de Control Remoto Integrado con Inteligencia Ambiental

Jordi Vilaseca Posa, Josep Paradells Aspas, Jordi Casals González, Carles Gomez Montenegro
Departamento de Ingeniería Telemática – Universitat Politècnica de Catalunya
{jordi.vilaseca, teljpa, jordi.casals, [carlesgo](mailto:carlesgo@entel.upc.edu)}@entel.upc.edu

Resumen

Las redes inalámbricas de sensores se presentan como una buena opción tecnológica para la creación de espacios domésticos inteligentes. Equipando estos dispositivos con el hardware y software adecuados permite obtener elementos de control para los equipos electrónicos de la casa y nuevas interfaces de comunicación entre usuario y hogar. Una de las interfaces que aquí se presenta es un mando universal integrado que permite controlar, de forma fácil e intuitiva, distintos equipos del hogar con un único dispositivo. Un funcionamiento simple lo hace adecuado incluso para personas con discapacidad. Este mando se complementa con otra interfaz desarrollada que permite el control de los dispositivos del hogar con un simple movimiento.

La introducción de dispositivos pasarela entre una red de sensores y otras redes de acceso hace que cualquier dispositivo que se pueda conectar a Internet o a la red telefónica (fija o móvil) se convierta en un potencial controlador de dispositivos del hogar.

1. Introducción

Durante las últimas décadas del siglo pasado la idea de una casa domótica, dotada con la inteligencia necesaria para facilitar la vida a las personas que vivían en ella, era una utopía o parecía una idea de ciencia ficción. Actualmente, la aparición de nuevas tecnologías ha permitido que la casa domótica sea una realidad, aunque son pocas las viviendas que disponen de esta tecnología y pocas las personas que pueden disfrutar de sus ventajas. La mayoría de soluciones comerciales que se pueden encontrar en el mercado son económicamente inviables y su implantación en

edificios existentes es engorrosa. Sin embargo, la idea de casa domótica sigue pareciendo una de las mejores propuestas no sólo para automatizar el control del hogar sino también para facilitar y mejorar el día a día de las personas que sufren algún tipo de discapacidad o requieren de necesidades especiales.

Los elementos más comunes y extendidos de control de un hogar son los típicos mandos a distancia que funcionan por señal infrarroja. Estos permiten controlar la mayoría de dispositivos electrónicos y electrodomésticos del hogar. Sin embargo, muchas de las soluciones existentes en el mercado son propietarias, no compatibles entre ellas, de forma que es necesario un elemento de control para cada dispositivo (actualmente no es posible controlar con el mismo mando un aparato de aire acondicionado y un televisor). Además, las interfaces de usuario propuestas son muchas veces difíciles de utilizar, sobre todo para personas que tengan dificultades visuales o de manipulación.

Las redes de sensores inalámbricas [1] es una tecnología emergente que permite la creación de espacios inteligentes. Distintos tipos de información del entorno y del contexto pueden ser adquiridos y procesados de forma distribuida. Por esta razón esta tecnología es adecuada para simplificar y automatizar procesos de control de diversa naturaleza. Actualmente se puede utilizar en aplicaciones de localización en interiores [2], aplicaciones de control y monitorización de la ciudad o en sistemas de tele-asistencia adaptados [3]. En el presente artículo se aplica a la automatización del hogar y en la creación de nuevas interfaces de usuario.

Se entiende como sensor aquel dispositivo pequeño y autocontenido, con capacidad para adquirir, procesar y comunicar medidas del entorno, y que integra en un solo todo el hardware y la batería. A menudo estos dispositivos se

organizan formando una red de comunicación ad-hoc, escalable y extensible.

Equipar los sensores con el hardware adecuado permite controlar los dispositivos del hogar y ofrecer nuevas interfaces de comunicación entre el usuario y su entorno más inmediato. Nuevas formas de comunicación más amigables, intuitivas, fáciles de utilizar e incluso adaptadas a cualquier tipo de discapacidad. Esta interacción se ve favorecida por la información contextual que se puede obtener del propio sistema y que muchas veces permite aumentar las funcionalidades ofrecidas y una simplificación en la relación usuario – entorno.

Este artículo presenta un sistema de control remoto integrado basado en tecnología de redes de sensores inalámbricas que permite controlar cualquier dispositivo del hogar que sólo necesite un encender/apagar para funcionar (luces, calefacción, persianas, puertas...) o bien que pueda ser controlado mediante infrarrojos (aire acondicionado, televisor...). Un único mando integra la capacidad de control de todos los dispositivos. La información disponible del entorno y el contexto simplifica y personaliza las distintas opciones de control. Dicha infraestructura permite simultáneamente el control de los mismos equipos mediante una interfaz gestual o a partir de cualquier dispositivo que se pueda conectar a Internet o a la red telefónica (PDA, teléfono móvil...).

Llegados a este punto, tenemos una red autoconfigurable, con un protocolo de descubrimiento de servicios, y con distintos actuadores que nos permiten controlar los dispositivos del hogar. Así pues, los dispositivos del hogar pueden ser controlados de dos formas distintas: automáticamente, a partir de las decisiones que la propia red toma en función de los datos que recoge; o manualmente, a través de las distintas interfaces de usuario. No obstante, el algoritmo que hace compatible ambos tipos de control es un trabajo futuro y que queda fuera de los objetivos del presente documento.

Este artículo está estructura en distintas secciones. Se inicia con una introducción para ofrecer una visión general del documento. Seguidamente, en el segundo apartado, se justifica el uso de una red de sensores para la creación de un espacio inteligente y se presenta una visión general del sistema de control propuesto. En el tercer apartado, se detallan las plataformas hardware y software utilizados. A continuación, se pasan a describir los distintos elementos que integran el sistema, su función y la funcionalidad que aportan al conjunto. En el apartado 5 se describen algunos casos de uso para ilustrar la potencialidad de las redes de sensores cuando se aplican en la automatización del hogar. Finalmente, en el sexto apartado, se presentan las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

2. Justificación tecnológica y visión general

Nuestra propuesta de creación de un ambiente domótico fácil de controlar está basada en el despliegue de una red inalámbrica de sensores. Las ventajas que presenta esta tecnología respecto a otras son:

- Fácil de instalar. No se requiere de una infraestructura previa, por lo cual es adecuada tanto para edificios ya existentes como de nueva construcción.
- Fácil de configurar. Una vez programados, la filosofía de funcionamiento es *plug and play*, es decir, encender y funcionar. Los propios elementos se autoconfiguran para formar una red de comunicación.
- Comunicación vía radio. De esta forma no es necesario ningún tipo de cableado. Los dispositivos se comunican utilizando el protocolo estándar IEEE 802.15.4 [4] en la banda libre de 2.4 GHz (no se requieren licencias para emitir en esta banda). El sistema se puede utilizar para controlar otros dispositivos que usen el mismo protocolo radio como los que siguen la especificación ZigBee [5].
- Escalable. Es fácil introducir nuevos elementos en la red (ésta es autoconfigurable y reconfigurable). La introducción de nuevos elementos permite aumentar la extensión de la misma.
- Accesible. Mediante distintos tipos de pasarela, la red es accesible a través de Internet o de la red telefónica, fija o móvil.

Los distintos nodos de la red están organizados siguiendo una arquitectura ad-hoc, propia de las redes de sensores. Estas redes están formadas por una colección de nodos que comparten un mismo canal de comunicación inalámbrico, y se pueden construir de forma espontánea sin necesidad de una infraestructura previa ni elemento de control central. Son redes malladas, escalables, desplegadas, que no requieren de una planificación previa. Cada nodo tiene la capacidad de actuar simultáneamente de huésped y punto de acceso, comunicándose con los otros nodos dentro de su alcance. Para comunicar nodos físicamente alejados, los datos se transmiten a través de nodos intermedios, realizando múltiples saltos hasta llegar al nodo destino. El despliegue de una red de estas características implica la creación de una inteligencia ambiental ubicua y distribuida, que puede simplificar enormemente la interacción entre el usuario (posiblemente con discapacidad) y los distintos elementos del hogar.

En el caso que nos ocupa, cada nodo incluye el hardware y el software adecuado para la monitorización y control del hogar (sensor de temperatura, pasarela de infrarrojos...). Un protocolo reducido de descubrimiento de servicios

es utilizado para descubrir que dispositivos existen en el entorno inmediato. Un protocolo de encaminamiento multihop (en nuestro caso se utiliza el nst-AODV [6]) permite la extensión de la red más allá del rango de cobertura de cada uno de sus elementos. Utilizados simultáneamente permiten extender la cobertura del sistema a todo un hogar pero permitiendo únicamente el control de los equipos próximos al usuario.

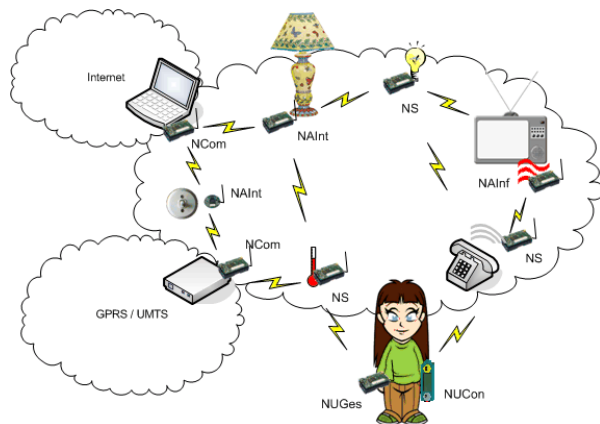


Figura 1. Esquema de un sistema de control domótico basado en redes de sensores

Una visión esquematizada del sistema de control se muestra en la figura 1. En ella se pueden observar los siguientes elementos:

- Nodos sensor (NS). Monitorizan parámetros del entorno (ruido ambiental, luminosidad, temperatura...) para obtener información del entorno.
- Nodos actuador. Controlan dispositivos del hogar. En nuestro sistema existen dos tipos: nodos interruptor (NAInt, apagan y encienden dispositivos de dos estados – lámpara, interruptor...); nodos con pasarela de infrarrojos (NAINf, actúan sobre equipos controlables por infrarrojos - televisor).
- Nodos interfaz de usuario. Permiten controlar los dispositivos del hogar de forma natural. En nuestro sistema existen dos tipos: interfaz gestual (NUGes) y dispositivo integrado de control (NUCon). Proporcionan información a la red del contexto del usuario (posición e identidad).
- Nodos de comunicación con un PC o módem (NCom). Permiten una comunicación bidireccional entre la red de sensores y otras redes (Internet, GPRS, RTB...) a través de unos dispositivos pasarela (un PC o un módem analógico).

Todos estos elementos están estructurados en forma de red y permiten crear un espacio inteligente, que puede tener en cuenta información del entorno y contextual. Las distintas interfaces de usuario permiten un control simplificado de los

equipos del hogar. La posibilidad de acceder a la red de sensores a través de otras redes de acceso permite que dispositivos de uso común tales como PDAs o teléfonos móviles se conviertan en controladores de equipos del hogar.

3. Plataforma hardware y software utilizadas

Para desarrollar este sistema de control doméstico se han utilizado las plataformas hardware MicaZ y TelosB, ambas fabricadas y comercializadas por Crossbow [7]. Son dos plataformas de desarrollo ampliamente utilizadas en grupos de investigación y pequeñas empresas. Sus principales ventajas son: el consumo reducido; un bus de comunicación que permite el acople de distintos sensores y circuitos complementarios; la utilización de un chip de comunicaciones radio compatible con el estándar 802.15.4; y la existencia de sistemas operativos de código abierto eficientes y ampliamente utilizados (como por ejemplo TinyOS).



Figura 2. Nodo sensor MicaZ

La primera plataforma, MicaZ [8], mide 58 x 32 x 7 mm e incorpora un microprocesador Atmel ATmega128L. Presenta un bus de conexión de 51 pines al que se le pueden acoplar distintos circuitos con sensores. Se alimenta con dos baterías AA. Esta plataforma, con el hardware adicional adecuado, se ha utilizado para controlar dispositivos de dos estados, medir parámetros del entorno (luminosidad y ruido ambiental) y para desarrollar nuevas interfaces de usuario (interfaz gestual y controlador integrado). En la figura 2 se puede observar un nodo de la plataforma MicaZ.

La segunda plataforma, TelosB [9], mide 65 x 31 x 6 mm e incorpora un microprocesador Texas MSP430. Presenta también un conector de expansión al que se le pueden acoplar distintos circuitos electrónicos y un conector USB para su programación y comunicación con un PC. Se alimenta con dos baterías AA o a través del conector USB. Esta plataforma, con el hardware adecuado, se ha utilizado para controlar dispositivos con infrarrojos, medir parámetros del entorno (temperatura), y comunicar la red de sensores desplegada con un servidor Web o con un módem. En la figura 3 se puede observar un nodo de la plataforma TelosB.



Figura 3. **Nodo sensor TelosB**

Para la programación de dichos dispositivos se han elaborado distintos módulos software de control que funcionan bajo el sistema operativo TinyOS [10]. Es un sistema operativo de libre distribución y se presenta como una de las mejores propuestas de sistema operativo adaptado a las redes de sensores. Éste utiliza distintos mecanismos para la reducción del tamaño del código, mejora de la respuesta del sistema y reducción del consumo de energía. Numerosas plataformas de sensores pueden funcionar con este sistema operativo. Así son ya más de 500 los grupos de investigación y empresas que utilizan este sistema operativo.

4. Elementos del sistema y su funcionalidad

4.1. Nodo sensor

Los nodos sensor están pensados para recoger información de parámetros físicos del entorno (luminosidad, ruido ambiental...) y utilizarla para regular automáticamente el funcionamiento de algunos dispositivos del hogar. Por ejemplo, si se detecta ruido en un sensor próximo a un teléfono, el propio sistema se encarga de buscar si hay un televisor en las proximidades y de bajar el volumen del mismo. Otra utilidad que tiene esta información de contexto es la de simplificar al usuario las opciones de control de equipos. Un ejemplo podría ser eliminar del controlador la opción de encender una lámpara de salón si el nivel de luz medido es superior al umbral de encendido.

Físicamente, estos nodos son un MicaZ con una placa de sensores (luminosidad, temperatura, ruido...), o, opcionalmente, un TelosB que incorpora sensores de temperatura, humedad y luminosidad.

4.2. Nodo controlador

En el sistema existen dos tipos de elementos controladores distintos: los nodos interruptor y los nodos controlador a distancia (o con pasarela de infrarrojos). A continuación se detalla la funcionalidad de los mismos.

4.2.1. Nodo interruptor.

Los nodos interruptor están pensados para controlar dispositivos que sólo necesitan un apagado/encendido para funcionar (lámpara, ventilador...). Físicamente están formados por:

- Un nodo MicaZ o TelosB. Se encarga de controlar un circuito interruptor de encendido/ apagado y de la comunicación con la red de sensores.
- Circuito interruptor electrónico.
- Circuito transformador de tensión para la alimentación del conjunto.

Los nodos interruptor pueden ser controlados por los usuarios a través de las interfaces de control o por la propia red, cuando se detectan cambios en el entorno. Por ejemplo, una lámpara se podría activar cuando los niveles de luminosidad detectados en un sensor próximo fueran bajos y se detectase la presencia de una persona en la habitación.



Figura 4. **Encapsulado final de un nodo interruptor**

El conjunto se presenta en un encapsulado apto para ser colocado entre un enchufe y el dispositivo a controlar (figura 4). El circuito transformador permite alimentar al nodo a través de la red eléctrica. Es fácil de instalar y discreto.

4.2.2. Controlador de dispositivos a distancia.

Los nodos de control de dispositivos a distancia tienen una función equivalente a un mando a distancia. Están pensados para controlar dispositivos que usan comunicación por infrarrojos y para los cuales se han diseñado unas pasarelas específicas de comunicación. Colocados frente a los dispositivos a controlar, los comandos son recibidos a través de la red inalámbrica. Pueden ser órdenes directas de un usuario (que utiliza el controlador integrado o la interfaz gestual) o bien órdenes que responden a cambios en el entorno (encender un aparato de aire acondicionado cuando un nodo sensor de temperatura próximo detecta una medida superior a 24° C). Las órdenes recibidas son transmitidas al dispositivo a controlar a través de la pasarela de infrarrojos.

Físicamente un controlador a distancia está formado por:

- Un nodo TelosB. Se encarga de recibir las órdenes de la red de sensores y controlar la pasarela de comunicación de infrarrojos.
- Pasarela de infrarrojos. Consiste en un circuito adicional de modulación de pulsos infrarrojos.

Estos nodos pueden estar alimentados con baterías AA aunque pueden incorporar algún circuito adicional que permite aprovechar la red eléctrica próxima al dispositivo que se quiere controlar.

4.3. Interfaces de usuario

En este apartado se describen las nuevas interfaces de usuario diseñadas y desarrolladas para simplificar la comunicación del usuario con su entorno. Son interfaces sencillas, fáciles de utilizar, aptas para todo tipo de usuarios.

4.3.1. Controlador integrado.

El controlador integrado está concebido como una nueva interfaz de comunicación entre el usuario y el entorno, que aglutina en un único dispositivo el control de varios electrodomésticos de un hogar (figura 5). Físicamente está formado por:

- Un nodo MicaZ. Se encarga de la comunicación de la interfaz de usuario con la red de sensores y del control de las distintas partes.
- Una pantalla LCD alfanumérica. Muestra qué elementos del hogar están disponibles para ser controlados. A través de un sistema de menús, el usuario es guiado para controlar el dispositivo elegido.
- Dos pulsadores. Permiten al usuario moverse a lo largo del sistema de menús y controlar el dispositivo elegido.
- Circuito de interconexión entre las distintas partes que forman el controlador.
- Circuito de alimentación y baterías. Todo el conjunto se alimenta con cuatro baterías AAA.



Figura 5. Detalle del controlador integrado. Se ha detectado un televisor, una lámpara y un interfaz gestual

Así pues, mediante dos botones y una pantalla textual, es posible controlar dispositivos tan distintos como un televisor o una lámpara. En la pantalla aparece el nombre de los equipos controlables próximos al usuario. Los dos pulsadores sirven para situarse sobre del nombre del equipo y seleccionarlo. Seguidamente aparece un nuevo menú con distintas opciones de control del equipo elegido. La información del contexto (situación del usuario, condiciones sonoras, de luz...) y la inteligencia del sistema permite presentar al usuario opciones de control filtradas y simplificadas.

Por ejemplo, en el controlador integrado no aparecería el equipo “aire acondicionado” si la temperatura fuera inferior a los veinte grados. Tampoco aparecería el nombre de un televisor distinto al que está próximo al usuario.

4.3.2. Interfaz gestual.

La interfaz gestual está pensada como una nueva manera de comunicación entre el usuario y los elementos del entorno, de una forma más natural y sencilla. Consiste en un pequeño dispositivo que se coloca en la muñeca del usuario (figura 6). Mediante el movimiento del brazo (de forma similar a como se hace con el mando de algunas videoconsolas) se puede controlar los dispositivos del hogar. Este dispositivo está constituido por:

- Una placa de sensores con un acelerómetro.
- Un nodo MicaZ. Se encarga de procesar las medidas de aceleración para identificar los movimientos del brazo del usuario y de la comunicación con la red de sensores. Cada movimiento se relaciona con una orden al dispositivo a controlar.



Figura 6. Interfaz gestual de usuario

La interfaz gestual aparece, en el controlador integrado, como una de las formas posibles de controlar cada uno de los dispositivos. Así se puede activar y desactivar la interfaz a voluntad del usuario, evitando así que gestos involuntarios tengan efectos no deseados sobre dispositivos. También permite escoger que dispositivo se quiere controlar utilizando dicha interfaz.

nodo interruptor, tras recibir la orden, solo enciende la lámpara si detecta la presencia de una persona en la habitación.

4.4. Pasarelas a otras redes

Los nodos pasarela son dispositivos puente entre la red de sensores y otras redes de acceso. A través de ellos nuestra red es accesible desde el exterior. En nuestro sistema se han desarrollado dos tipos de nodos pasarela: pasarela a un PC y pasarela a un módem UMTS/GPRS.

4.4.1. Pasarela a Internet.

El primer tipo de pasarela permite controlar los dispositivos del hogar a través de Internet. Un PC tiene instalado un servidor Web que permite acceder a una página de envío comandos a algunos dispositivos de control de nuestro sistema. Cuando el servidor recibe un comando de control lo envía a la red a través de un nodo de comunicación que está enchufado en un puerto USB del PC. La página web de control se va actualizando en función de los dispositivos controlables que se descubren en el entorno inmediato del ordenador servidor.

Cualquier dispositivo que se pueda conectar a Internet se convierte en una interfaz de control del sistema de control domótico propuesto.

4.4.2. Pasarela a GPRS/UMTS.

Esta pasarela permite controlar los dispositivos del hogar mediante llamadas o mensajes de texto SMS. El nodo puente controla un módem de acceso a la red de telefonía móvil a través de la cual se pueden consultar los dispositivos controlables o se pueden enviar órdenes de control.

5. Casos de uso

A continuación se detallan tres posibles casos de uso simples del sistema de control domótico propuesto para ilustrar las posibilidades que permite esta tecnología.

5.1. Automatización del hogar.

Supongamos un salón de una casa con un sensor de luminosidad y una lámpara controlada por un nodo interruptor. El sensor descubre la presencia de un interruptor de lámpara. Cuando la luminosidad ambiental supera un umbral de apagado, manda una orden al dispositivo interruptor para que apague la lámpara. Este recibe la orden y la apaga. Cuando se mide una luminosidad inferior a un umbral de encendido, el nodo sensor manda una orden de encendido. El

5.2. Uso del controlador integrado.

Supondremos un salón con un sensor de temperatura, una lámpara apagada y un televisor encendido, con sus respectivos controladores. La temperatura es de 20 °C y la luminosidad requiere luz ambiental.

Al entrar en la habitación en la pantalla del controlador aparecen los dispositivos “televisor” y “lámpara”. El dispositivo aire acondicionado no aparece porque la medida de temperatura recibida del sensor es inferior al umbral de funcionamiento. Con el botón derecho del mando nos situamos sobre el dispositivo “televisor” y lo seleccionamos pulsando el botón izquierdo. Nos aparecen las opciones: “subir canal”, “bajar canal”, “subir volumen”, “bajar volumen”, “apagar”, “encender” y “atrás”. Seleccionamos la opción “subir canal” y pulsamos tres veces el botón izquierdo para subir tres canales. Luego seleccionamos la opción “atrás” y la pulsamos para volver al menú original. Se ha conseguido subir tres canales en el televisor.

5.3. Uso de la interfaz gestual

Se supone un salón con un televisor, una lámpara y un usuario que además del controlador integrado lleva en su muñeca un controlador gestual.

Al entrar en la habitación en la pantalla del controlador aparecen los dispositivos “televisor” y “lámpara”. Nos situamos sobre el dispositivo “lámpara” con el pulsador derecho y la seleccionamos con el izquierdo. Aparece un nuevo menú con las opciones de control de la lámpara: “encender”, “apagar”, “control gestual” y “atrás”. Seleccionando la opción “control gestual” aparece un nuevo menú con las opciones “habilitar”, “deshabilitar” y “atrás”. Seleccionamos la opción “habilitar” para que la interfaz de control gestual se active. Moviendo el brazo hacia arriba se enciende la lámpara; moviendo el brazo hacia abajo se apaga. Seleccionando ahora la opción “deshabilitar”, si se mueve el brazo no se observa ningún efecto en la lámpara. Volvemos al menú principal del controlador.

Al salir de la habitación se van borrando los dispositivos a medida que dejan de ser detectados.

5.4. Control del hogar a través de un teléfono móvil.

Supondremos una habitación con un nodo de comunicación acoplado a un PC que funciona como servidor Web, y una lámpara y un televisor con sus respectivos dispositivos de control.

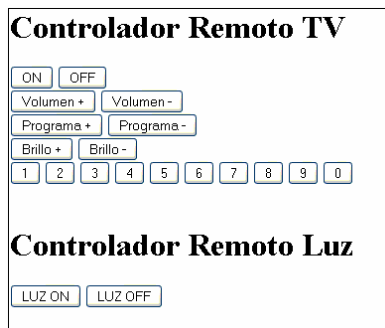


Figura 7. Ejemplo de página Web para el control de dispositivos del hogar a través de Internet

Accediendo con un teléfono móvil al servidor web de nuestro PC se nos descarga una página web como la de la figura 7. En ella aparecen las opciones para controlar los dispositivos detectados desde el PC, en este caso, una lámpara y un televisor. Seleccionando el número 3, observamos como el televisor se cambia al canal 3. Seleccionando la opción “OFF” observamos que el televisor se apaga. La posibilidad de controlar los dispositivos del hogar mediante una interfaz Web facilita la interacción ya que permite usar pantallas de grandes dimensiones en donde los botones de interacción sean fáciles de ver y seleccionar.

6. Conclusiones y líneas futuras

El sistema presentado es un prototipo de mando universal basado en la tecnología de las redes de sensores y actuadores sin hilos. El dispositivo de control se trata como un sensor más de la red y se usa en combinación con la información de todos los sensores para facilitar la interacción del usuario. Este tipo de sistemas es atractivo para los usuarios convencionales, pero resulta de vital importancia para usuarios con problemas en la interacción con su entorno. En la actualidad se está trabajando para integrar el sistema en una plataforma URC/UCH [11] en el marco del proyecto INREDIS. Esta integración ha de permitir controlar mediante los nodos sensores otros dispositivos y su vez disponer de otros terminales de usuario para la interacción con los actuadores. El presente trabajo es un ejemplo de un concepto más amplio denominado inteligencia ambiental o computación ubicua [12] y muestra un ejemplo de las capacidades de este concepto.

7. Referencias

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramainiam y E. Cayrici, “A Survey on Sensor Networks”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 11, Agosto de 2002, pp. 102-114.
- [2] J. Casademont, J. Vilaseca, J. Paradells, “Improving Security Applications Using Indoor Location Systems on Wireless Sensor Network”, ICAC, January 2009.
- [3] J. Casals, J.Paradells, J. Vilaseca, “Tele-assistance Service for People with Audio Communication Problems”, III DRT4All, 2009, to be published.
- [4] IEEE Computer Society, “IEEE Std. 802.15.4-2006 (as amended)”, 2007.
- [5] Zigbee Alliance, Home Page, <http://www.zigbee.org>
- [6] C. Gómez, P. Salvatella, O. Alonso y J. Paradells, “Adapting AODV for IEEE 802.15.4 Mesh Sensor Networks: Theoretical Discussion and Performance Evaluation in a Real Environment”, 7th. *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM 2006)*, junio de 2006.
- [7] Crossbow Technologies Inc, Home Page, <http://www.xbow.com> , 2009.
- [8] Hoja de especificaciones de la plataforma MicaZ, http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAZ_Datasheet.pdf
- [9] Hoja de especificaciones de la plataforma TelosB, <http://www.ece.osu.edu/~bbyk/ee582/telosMote.pdf>
- [10] TinyOS Home Page, <http://www.tinyos.net> , 2009.
- [11] G. Zimmermann, G. Vanderheiden, C. Rich, “Universal Control Hub & Task-Based User Interfaces”, <http://myurc.org/publications/2006-Univ-Ctrl-Hub.php>
- [12] M. McCullough, “Digital Ground: Architecture, Pervasive Computing, and Environmental Knowing”, MIT Press, 2005

Servicio de Tele-asistencia para Personas con Dificultades en la Comunicación Hablada Basado en una Red Inalámbrica de Sensores

Jordi Casals González, Jordi Vilaseca Posa, Josep Paradells Aspás, Carles Gomez Montenegro
Universitat Politècnica de Catalunya, UPC
jordi.casals@gmail.com

Resumen

En este artículo se presenta una solución al colectivo de personas con dificultades en la comunicación hablada y que no pueden utilizar los servicios de tele-asistencia tradicionales basados en la voz. La solución se basa en una red inalámbrica de sensores, la cual ofrece las funcionalidades necesarias para que los distintos dispositivos del sistema se comuniquen entre ellos vía radiofrecuencia. Los elementos de la red ofrecen la posibilidad al usuario final de intercambiar mensajes de texto con una central de atención en caso de emergencia.

1. Introducción

Actualmente, debido al envejecimiento de la población y a una nueva estructura familiar en la cual la gente mayor deja de vivir con los hijos y pasa a vivir sola, aparece la necesidad de dar un soporte adicional al creciente número de personas con algún tipo de dependencia.

1.1. Situación actual

Los actuales servicios de tele-asistencia han solucionado gran parte del problema, atendiendo las necesidades de los colectivos de personas con dependencia. Normalmente estos sistemas de tele-asistencia se basan en una conversación telefónica para que el usuario informe del motivo de su emergencia a un operador de la central de atención. A pesar del buen resultado que han mostrado los dichos sistemas, hay algunos colectivos que no los pueden utilizar debido a sus dificultades o imposibilidad para mantener una conversación de voz.

Se han desarrollado algunas soluciones específicas basadas en sistemas ya existentes como son GSM, mediante mensajes SMS, o a través del

fax. De todos modos estas soluciones conllevan costes elevados o son demasiado difíciles de utilizar de forma eficiente.

2. Solución propuesta

De forma paralela a todas estas soluciones, se ha diseñado un servicio de tele-asistencia para personas con dificultades en la comunicación hablada, pero que también sea ampliable a otros tipos de discapacidades, basada en una red inalámbrica de sensores [1] (Wireless Sensor Network, WSN). Gracias a la tecnología utilizada, el sistema diseñado también puede ser ampliable a un servicio de tele-cuidados, monitorizando, por ejemplo, sus constantes vitales.

2.1. Red inalámbrica de sensores

Estas redes inalámbricas están formadas por nodos dotados de sensores y que se comunican entre ellos a través del canal radio. Evidentemente los nodos no disponen simplemente de sensores que miden magnitudes físicas y una radio, sino que también están formados por un procesador, memoria y, generalmente, puertos de expansión. Gracias a este hecho se les puede incorporar un sistema operativo y proveerlos con cierta inteligencia para comunicarse con el resto de nodos y controlar otros elementos.

El poco consumo de los nodos de la red permite que, para un régimen de trabajo con poca actividad del canal radio, las baterías puedan durar meses o hasta años. Efectivamente la radio es el elemento crítico en estos dispositivos, lo cual obliga a seguir estrategias para la optimización del tiempo de su utilización y la creación de protocolos de encaminamiento de los paquetes a través de la red [2].

Existen distintos tipos de nodos de distintos fabricantes que ofrecen más o menos recursos. Para

el diseño del sistema aquí descrito se ha utilizado la plataforma MicaZ, de Crossbow, que ofrece gran cantidad de puertos para la incorporación de elementos de interacción con el usuario, como por ejemplo una pantalla gráfica o varios pulsadores.



Imagen 1. Plataforma MicaZ

La interfaz radio utilizada en la red inalámbrica de sensores diseñada es la definida por el IEEE 802.15.4, específica para este tipo de aplicaciones en las cuales el consumo de los dispositivos es muy pequeño.

Para proveer de inteligencia a los nodos de la red de sensores se ha utilizado un sistema operativo también específico para este tipo de aplicaciones, el llamado TinyOS [3]. En particular se han implementado las funcionalidades de los dispositivos con la segunda versión de este sistema operativo.

3. Requisitos del sistema

La tecnología escogida para el desarrollo de este sistema se ha escogido teniendo en cuenta las necesidades básicas que se requieren, aunque existen más requisitos que se deben tener en cuenta para el buen funcionamiento de un servicio de teleasistencia.

Debido a que los usuarios finales de este servicio son personas con dificultades en la comunicación hablada, los dispositivos que interactúan con ellos deben poseer una interfaz visual. Además, mayoritariamente se trata de personas de edad avanzada, con lo cual esta interacción debe ser intuitiva, sencilla y rápida de usar. Continuando con la misma idea, el dispositivo de usuario debe ser capaz de notificar la recepción de mensajes por parte de la central de atención a las emergencias mediante señales luminosas y vibratorias.

El correcto funcionamiento del sistema y, en particular, del dispositivo de usuario es esencial para proporcionar la seguridad de un servicio de teleasistencia, de forma que se debe tener control del estado del terminal (nivel de la batería, presencia, funcionamiento...) y enviar un aviso al centro de atención a las emergencias en caso de fallo.

De cara al centro de atención a las emergencias, debe existir un *software* capaz de intercambiar

mensajes de texto libre con el usuario final y en el cual se representen sus datos y un historial de sesiones anteriores.

Finalmente el servicio debe ser universal, es decir, todo el mundo debe poder disponer de él, sin ser una limitación la instalación ni el coste añadido que pueda conllevar.

4. Sistema diseñado

Con tal de satisfacer las necesidades descritas anteriormente, se ha diseñado un sistema que implementa una solución mediante una red inalámbrica de sensores, formada por distintos elementos: dispositivo de usuario, dispositivo de aviso externo y pasarela. Además se ha implementado un simulador para el centro de atención a las emergencias para poder probar cómo funcionaría el servicio completo.



Imagen 2. Sistema diseñado.

La red elegida para la comunicación entre el hogar del usuario y el centro de atención a las emergencias es la red telefónica básica (RTB) debido a que no comporta un coste añadido muy elevado y se puede considerar que está disponible en cualquier sitio.

4.1. Dispositivo de usuario

Este dispositivo es el encargado de interactuar con el usuario, con lo cual está provisto de:

- una pantalla para mostrar las distintas opciones del menú gráfico, que representan posibles causas de emergencia.
- dos botones de navegación y selección de opciones del menú.
- un botón de emergencia genérica en el caso de no poder utilizar las opciones del menú gráfico.

- una luz y un vibrador para la notificación de mensajes recibidos desde la central de atención a las emergencias.

Evidentemente el dispositivo también dispone de un nodo para interactuar con la red inalámbrica de sensores, el cual controla todos los elementos de interacción con el usuario.



Imagen 3. Menú gráfico del dispositivo de usuario.

Así pues, cuando el usuario escoge una opción del menú gráfico mediante el botón de selección se le pide una confirmación, mientras se le muestra un texto explicativo de la opción escogida. Si el usuario confirma la selección de esta opción, el dispositivo se encarga de enviar un mensaje de emergencia a la red inalámbrica de sensores.

De modo similar, cuando el dispositivo recibe un mensaje proveniente de la red inalámbrica de sensores, se advierte al usuario mediante una luz intermitente y una vibración. Simultáneamente aparece el texto del mensaje recibido en la pantalla y opciones *Si* y *No* para poder responder. En caso de que el mensaje recibido no precise respuesta, sólo aparece una opción *OK* para confirmar la lectura.



Imagen 4. Pantalla de respuesta a mensaje recibido

Así pues, puede haber una comunicación bidireccional entre el usuario y la central de atención a las emergencias.

Por cuestiones de seguridad en el funcionamiento correcto del sistema, cuando el nodo detecta que su nivel de batería es bajo, lo notifica al usuario mostrando un mensaje en la pantalla y envía una alarma a la central de atención a las emergencias.

4.2. Notificación externa

Adicionalmente a la luz del dispositivo de usuario para la notificación de mensajes recibidos, también existe un dispositivo dedicado a este propósito. Esto se debe a que en ocasiones puede ser conveniente alertar al usuario de la recepción de mensajes mediante otros métodos, como por ejemplo encendiendo una luz concreta de la habitación en la que se encuentra.

4.3. Pasarela

La comunicación entre la red inalámbrica de sensores y la central de atención a las emergencias se realiza a través de la red telefónica básica, motivo por el cual es necesaria una pasarela para la interconexión de las dos redes. En otras palabras, es necesario un dispositivo capaz de enviar y recibir mensajes a través de estas dos redes.

La pasarela está formada por el nodo que controla un módem a través de comandos *AT* usando el puerto serie.

La función básica de este dispositivo es la interconexión de las dos redes, aunque también dispone de mecanismos para detectar la presencia o ausencia del terminal de usuario. En el caso de no disponer de conectividad con el terminal de usuario, la pasarela se encarga de enviar una alarma al centro de atención a las emergencias de forma automática, y así poder saber si el dispositivo ha dejado de funcionar o el usuario ha salido de su casa.

4.4. Centro de atención a las emergencias

En el extremo de la red que representa el centro de atención a las emergencias se ha implementado un programa de gestión de mensajes, el cual controla a través del puerto serie de un ordenador un módem convencional conectado a la red telefónica básica. Gracias a este elemento, el operador puede recibir mensajes de emergencia de los usuarios del servicio y enviarles respuestas personalizadas.

5. Conclusiones

Debido a que el sistema diseñado es un primer prototipo, aparecen gran número de posibles mejoras, como son, el tamaño de los dispositivos, la duración de las baterías y el programa de la central de atención a las emergencias. De todos modos, se muestra el funcionamiento básico de un servicio de teleasistencia, implementado con una red inalámbrica de sensores. Así pues, ésta es una de las posibles aplicaciones que pueden ofrecer estas redes en el mundo de la tecnología en general y de la tecnología accesible en particular.

6. Referencias

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam y E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", 2002.
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer y S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", 2003.

Nuevas Oportunidades en Servicios de Teleasistencia ante la Convergencia Fijo-Móvil

Juan Carlos Yelmo García, Yod Samuel Martín García, Juan Moratilla Peón
Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos – Universidad Politécnica de Madrid
jcyelmo@dit.upm.es , samuelm@dit.upm.es , jmoratilla@dit.upm.es

Resumen

Una de las tendencias más relevantes en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones es la convergencia de las redes y servicios fijos con los móviles. Mediante el empleo de distintas tecnologías, los servicios pueden aprovechar las capacidades de la red que sea más conveniente y esté disponible en cada momento. Sin embargo, los servicios de teleasistencia fija (domiciliaria) y teleasistencia móvil son actualmente silos aislados a los que aún no ha alcanzado esta convergencia. El presente trabajo analiza los problemas que tienen los actuales servicios de teleasistencia y que podrían ser resueltos mediante el aprovechamiento de la Convergencia Fijo-Móvil, ofreciendo asimismo una prueba de concepto que valida estas ideas mediante un servicio de teleasistencia convergente sobre tecnología UMA.

1. Introducción

El aumento de la esperanza de vida y el cambio en las estructuras familiares hacen cada vez más necesario proveer servicios de teleasistencia. Sus usuarios pueden recibir, de manera eficiente, una serie de prestaciones socio-sanitarias *sin abandonar su entorno habitual ni sus actividades de la vida cotidiana*. Sin embargo, esto no siempre sucede, ya que la provisión del servicio se encuentra limitada a un ámbito determinado (típicamente el hogar del usuario). Por el contrario, cuando el servicio se presta con ubicuidad (independencia del lugar), pierde algunas de las funcionalidades que sí estaban disponibles en el entorno doméstico.

Hoy es posible aunar las ventajas de ambos tipos de servicio, gracias a que la distinción entre los servicios fijos y los servicios móviles se difumina cada vez más, fenómeno que se conoce como *Convergencia Fijo-Móvil*. De hecho, se espera que esta convergencia sea uno de los motores tecnológicos que impulsen y apoyen a los futuros servicios de teleasistencia. Al utilizar un servicio de teleasistencia convergente, el usuario no tiene que renunciar a la movilidad en su vida cotidiana ni a los servicios avanzados que puede

recibir en un entorno concreto como es su domicilio: se ofrece siempre el mejor servicio adaptado a la infraestructura disponible en cada momento.

El presente trabajo analiza el estado de los servicios de teleasistencia, sus funcionalidades y problemas, y establece cómo se pueden mejorar mediante el empleo de tecnologías convergentes fijo-móvil. En la sección 2 se presentan las funcionalidades que debe ofrecer un servicio de teleasistencia y, en particular, las que ofrecen los servicios existentes en España, diferenciándose entre servicios de teleasistencia domiciliaria (fija) y móvil. Este análisis no debe entenderse como un simple estado del arte, sino como una especificación de requisitos de un servicio de teleasistencia convergente, cuyo objetivo es precisamente abarcar y mejorar las funcionalidades existentes hoy en ambos tipos de servicios. La sección 3 introduce y compara las distintas tecnologías empleadas para proveer servicios convergentes fijo-móvil. La sección 4 analiza los problemas de los actuales servicios de teleasistencia, motiva sus causas y establece cómo los servicios de teleasistencia convergentes pueden superarlos, presentando asimismo algunas experiencias al respecto. La sección 5 muestra cómo podría ser un servicio concreto de teleasistencia convergente, a partir de una prueba de concepto realizada en este trabajo. Por último, la sección 6 presenta una síntesis a modo de conclusiones.

2. Escenario actual de los servicios de teleasistencia

En la práctica, bajo el término "teleasistencia" se engloban servicios muy diversos. Si bien todos tienen en común la provisión de servicios de carácter médico o social a través de redes de telecomunicaciones, y suelen incluir componentes de atención a emergencias; la aplicación del término se ha venido diversificando desde los primeros servicios en los años 70 hasta la actualidad. Así, a partir de un servicio primigenio de telealarma disparada por el usuario, hoy el término se llega a aplicar a servicios de telealarma doméstica, médica o social, telecuidado, teleseguimiento,

teleconsulta, telediagnóstico, telemonitorización, telecontrol domiciliario, gestión remota de la agenda, etc. Frecuentemente, los servicios de teleasistencia implican la movilización de recursos del proveedor o de terceros para la atención de las emergencias que puedan acaecer. En el presente trabajo, aplicaremos la definición de teleasistencia dada por la Comisión del Hogar Digital de ASIMELEC0: “ayuda dentro y fuera del hogar que cubre las necesidades de aquellas personas que pueden requerir de atención constante ó puntual y asistencia rápida en casos de urgencia durante las 24 horas”, admitiendo la posible extensión de las prestaciones e integración con otros servicios de valor añadido. Nótese que ahí se marca un límite entre la teleasistencia y los servicios de telemedicina y e-salud, el cual se respetará en este trabajo. Otras entidades como ETSI generalizan la definición de teleasistencia a “la provisión de servicios de atención social y de salud en el hogar o en la comunidad del usuario mediante TIC”0: no pretendemos negar la convergencia existente en la provisión de todos estos servicios, sino simplemente acotar el ámbito de la utilización que, en este trabajo, haremos del término.

El servicio tradicional de teleasistencia consiste en un servicio social de atención continuada, cuyo usuario porta permanentemente un dispositivo manos-libres que le permite entablar una comunicación de urgencia con un centro de atención (*call-centre*), ante las emergencias que lo requieran. Sus destinatarios pueden ser personas mayores, con discapacidad, enfermas, desarraigadas, en entornos aislados, cuidadores, etc. La comunicación se puede establecer tanto a demanda del usuario (*activa*) como de los profesionales del centro de atención (*pasiva*), así como activarse automáticamente ante eventos disparadores de emergencia (*por contexto*) o en momentos determinados (*programada*). Un servicio de teleasistencia puede depender de distintos *servicios portadores* de telecomunicaciones (conferencia, multimedia, localización...) y apoyarse asimismo en la monitorización de variables del entorno doméstico, en servicios de localización (interior y exterior), etc. El servicio puede prestarse sobre distintas tecnologías: redes de acceso (fijas o móviles) y proximidad (cableadas o inalámbricas), terminales (tanto genéricos como específicos para este servicio), sensores y actuadores domóticos y biomédicos, controladores, pasarelas, etc., en función de las características del servicio exacto y de la disponibilidad de la tecnología en el entorno del usuario.

Los profesionales sociales que prestan el servicio de atención se encuentran en un entorno físico común (centro de atención) desde donde atienden las llamadas al servicio de manera centralizada y ordenan la movilización de los recursos necesarios. Los datos del usuario (fundamentalmente sociales, aunque también en parte sanitarios) están recogidos en sistemas de

información albergados por estos centros. Esto permite personalizar el servicio según el tipo de necesidad social, situación de dependencia, características funcionales e historia clínica de la persona; a la vez que se salvaguarda la privacidad del usuario.

2.1. Teleasistencia domiciliaria frente a teleasistencia móvil: el panorama español

Frecuentemente se sobreentiende el calificativo de “domiciliaria” al hablar de teleasistencia: la mayoría de los servicios sólo se proporcionan *mientras el usuario se encuentre en su hogar*. Desde su origen, la atención en situaciones de emergencia impuso requisitos de alta disponibilidad que sólo se podían satisfacer mediante servicios de máxima penetración como la telefonía fija. Así, la definición de ésta como “servicio público” – primero– y como “servicio universal” –tras su liberalización– garantizaba un acceso universal a la teleasistencia prestada sobre telefonía fija.

El modelo de teleasistencia domiciliaria predominante en España (y en Europa) se ha centrado *alrededor del proveedor de los servicios*. Existen esquemas de prestación basados en el pago directo por el usuario o a través de una entidad aseguradora, pero el sistema más popular en España es la *subvención* (total o parcial) desde las instituciones sociales.

Así, la teleasistencia en España está vinculada frecuentemente a empresas que operan un centro de atención, en régimen de concesión para un ámbito local determinado, subvencionado en virtud de los convenios entre el IMSERSO y las Entidades Locales, regulados por un Convenio Marco del IMSERSO y la FEMP0. El servicio está destinado a personas mayores o discapacitadas, que pueden entrar en contacto en cualquier momento con un centro de atención mediante la pulsación de un botón en un dispositivo manos-libres (típicamente un collar o pulsera), a través de la línea telefónica convencional. Desde el centro de atención se da respuesta a las necesidades del usuario ante diversas situaciones (accidentes, crisis de salud, angustia), movilizando recursos del servicio, propios del usuario (familiares, vecinos), o de la comunidad (atención sociosanitaria), cuando es necesario. Asimismo, desde el centro de atención se trabaja de manera proactiva para realizar un seguimiento periódico del usuario de manera rutinaria y recordarle eventos de su agenda. Aparte de las comunicaciones generadas por el usuario o por el centro, el servicio está preparado para recibir alarmas por incendio, gas, intrusión en el domicilio y fallos de alimentación. En el centro de atención se dispone de datos relacionados con el usuario, como sus capacidades funcionales, riesgos, unidad de convivencia, características de la vivienda, datos de contacto de recursos propios y de

asistencia sanitaria, así como información propia del servicio.

Por otra parte, en los últimos años han aparecido programas de teleasistencia, basados en el *uso de la telefonía móvil*, que añaden la capacidad de *telelocalización del usuario*, gracias al empleo de distintas técnicas de localización que utilizan, bien la red móvil (MPS, MPL), bien sistemas de geolocalización por satélite (GPS, D-GPS), o una colaboración de ambos (A-GPS). Estos servicios de teleasistencia móvil se orientan hacia otros ámbitos de aplicación. Por ejemplo, el servicio de *Teleasistencia Móvil (TAM)*, operado por Vodafone y Cruz Roja, y desarrollado a partir de un piloto inicial realizado por la Fundación Tecos, presta ayuda a las mujeres víctimas de la violencia doméstica en el centro y norte de España. En la zona sur, existe un servicio equivalente operado por Movistar y Eulen. En ambos casos, está subvencionado completamente en virtud de un acuerdo del IMSERSO y la FEMP (derivado del Plan de Medidas Urgentes para la Prevención de la Violencia de Género), a través de una única concesión nacional⁰. Proporciona atención inmediata, permanente, a distancia y en cualquier lugar, permitiendo que las usuarias entren en contacto con el centro de atención ante situaciones de emergencia, que dará la respuesta adecuada. El servicio se basa en la utilización de tecnologías de comunicación telefónica móvil y de telelocalización.

Vodafone y Cruz Roja tienen en marcha otros proyectos piloto de teleasistencia móvil: *PLATAS (Plataforma de Asistencia Social)*, orientado a la prevención de la dependencia, la promoción de la vida independiente y el envejecimiento saludable; y *COMPLEMENTA*, que ofrece servicios complementarios a la teleasistencia, tales como información de ocio, videoatención y seguridad domiciliaria. Asimismo, Vodafone comercializa el servicio *Teleasistencia Móvil Siempre Contigo*, provisto a través de Alares, orientado a personas dependientes. Permite el envío de alarmas generadas por el usuario o disparadas por sensores, así como el envío de mensajes de texto (SMS), ofreciendo asimismo servicios de asistencia personal especializados. Orange comercializa un servicio de teleasistencia dirigido a un mercado poco habitual: el servicio *Seguridad Móvil*, provisto conjuntamente con Securitas y orientado a personas cuya seguridad física se encuentre amenazada. Dentro del programa eTEN de la Unión Europea, se desarrolló el proyecto *MobilAlarm*⁰. Ofrece un servicio de teleasistencia móvil que: recibe la localización del usuario junto con la alarma, mediante un protocolo propietario con fiabilidad garantizada; establece una comunicación de voz entre el usuario y el centro de atención; y organiza la ayuda necesaria. En España, la Junta de Andalucía

realizó una validación de este servicio con personas mayores.

Encontramos, pues, que en España existen *dos tipos de servicios de teleasistencia en cuanto a la red sobre la que se prestan (fija o móvil)*: si bien la filosofía última del servicio es la misma, las características de su prestación están claramente diferenciadas. La mayoría de los servicios de teleasistencia fija responden a un mismo convenio marco y van dirigidos fundamentalmente a personas mayores y con discapacidad. Mientras, en la teleasistencia móvil coexisten servicios diversos, dirigidos respectivamente a segmentos específicos de usuarios. Por otra parte, la legislación actual (artículo 22 de 0) define el servicio (público) de teleasistencia, sin especificar si se trata de tipo domiciliario o móvil, aunque sí limita su ámbito a las personas que no reciban atención residencial. Por tanto, hace implícito que la teleasistencia sólo la necesitan las personas dependientes que viven en su domicilio; sin embargo, no limita expresamente al domicilio el ámbito de prestación del servicio.

En cuanto a la *accesibilidad* del servicio, cabe resaltar que, en ambos tipos, la comunicación se efectúa casi en exclusiva de manera oral, impidiendo por tanto su uso por personas que no puedan utilizar esta modalidad. Incluso la definición del servicio de teleasistencia domiciliaria indica de manera explícita que “deben excluirse también a las personas con deficiencias notorias de audición y/o expresión oral”.

3. Tecnologías de red para los servicios convergentes

Una de las tendencias más notables en los servicios de la Sociedad de la Información desde hace años es la **convergencia tecnológica**⁰, cuyo fin último implica que el usuario reciba distintos servicios multimedia (voz, vídeo, datos) a través de una misma interfaz y un mismo operador, con ubicuidad e independientemente de la red de acceso usada. El proceso de convergencia afecta a los terminales de usuario, las redes de acceso y transporte, los servicios de soporte del operador (incluso sus unidades de negocio), y los contenidos. Permite ofrecer aplicaciones y servicios finales integrados a través de nuevos canales, utilizar una única red de transporte para distintos servicios, mejorar la capacidad de acceso de las distintas redes, potenciar la usabilidad de los terminales, ofrecer terminales únicos multimodales con conectividad inalámbrica, etc. Todo ello mejora la experiencia de usuario de las aplicaciones y servicios y simplifica la relación con su proveedor. La sencillez del acceso redundará en un aumento del uso de los servicios y la difusión de información, y, en definitiva, impulsa la Sociedad de la Información y el Conocimiento.

3.1. Introducción a la Convergencia Fijo-Móvil

Una de las facetas más relevantes en las que actualmente se manifiesta este proceso es la Convergencia Fijo-Móvil. Consiste en la posibilidad de que *el usuario acceda a los distintos tipos de servicios contratados, tanto desde terminales y redes fijas como móviles*, y preferiblemente con una única identidad de usuario. Idealmente, un usuario podrá seguir usando un servicio a pesar de que cambien el proveedor, la red o el terminal, traspasándose la sesión convenientemente.

La **Convergencia Fijo-Móvil** permite que los operadores provean servicios fijos sobre red móvil y viceversa, entrando en nuevos mercados y convirtiéndose en operadores integrados; alivia la carga de las redes móviles a través de las fijas; y fomenta asimismo la cobertura móvil en interiores. En cuanto al usuario, puede acceder a servicios convergentes desde un *terminal único*, empleando todas sus funcionalidades a través de la red fija y móvil, de manera transparente, sin reparar en la red de acceso, con una identificación de usuario única, y con una mejor calidad al aprovechar en cada momento la mejor red disponible. El usuario puede beneficiarse asimismo de planes de tarificación integrados y más baratos: por ejemplo, pagando el uso de la red móvil en función del tráfico cursado sólo cuando se emplee esta red, y el uso de la red fija a través de una tarifa plana.

3.2. Escenarios y tecnologías en la Convergencia Fijo-Móvil

Los servicios convergentes más sencillos consisten simplemente en ofrecer **esquemas particulares de tarificación y/o numeración**. En este tipo de servicios, no se utiliza en ningún momento la red de acceso de telefonía fija ni se dispone normalmente de una única identidad de red (número de abonado), por lo que la convergencia es mínima. Por ejemplo, se puede proporcionar el acceso siempre a través de la red UMTS y aplicar una *tarifa plana* en una celda o un conjunto de celdas donde se encuentre el hogar del usuario (Fig. 1a). Este servicio lo proporcionan O2 en Reino Unido (*Genion*) y Vodafone en Alemania (*Zuhause*) y España (*Vodafone en casa*). Una variante consiste en ofrecer al usuario, aparte del número de móvil, *otro número* con numeración y tarificación de fijo, para utilizar (con su terminal móvil habitual) sólo desde una celda concreta (Fig. 1b). En ocasiones, esto

se complementa con la *oferta de terminales*: teléfonos de sobremesa para el domicilio que utilizan la red móvil pero tienen apariencia de fijos, adaptadores para utilizar teléfonos tradicionales (fijos o inalámbricos DECT) a través de la red móvil desde el hogar, etc. En España, esta variante corresponde a los servicios *Movistar en casa* y *Vodafone en tu casa*. La variante para entornos corporativos (*Oficina Vodafone*) permite utilizar la *numeración fija en movilidad* (sin restringirse a una celda), con tarifa plana en llamadas a fijos: a diferencia de un simple plan de precios, esta numeración facilita que las llamadas entrantes también se facturen al llamante como llamadas a fijo (Fig. 1c).

El siguiente nivel de convergencia implica utilizar un único **terminal dual** que, además de conectarse a la red móvil celular, se conectará, cuando esté disponible, a una *red local* inalámbrica que esté conectada a su vez a la red fija. La numeración sigue siendo separada para las llamadas de la red fija y de la red móvil. Además, no se pueden traspasar llamadas de una red a otra: por ejemplo, una llamada iniciada en la red móvil celular seguirá siendo atendida y tarificada a través de ella incluso bajo la cobertura de la red inalámbrica local; y viceversa, una llamada iniciada en la red inalámbrica local se cortará cuando se pierda su cobertura aunque la siguiera habiendo en la red móvil celular. Un ejemplo es el teléfono dual *TC300* que ofrecía Ya.com: permite efectuar y recibir llamadas a través de la red GSM en todo momento, así como efectuar y recibir llamadas a través de la red fija, que recibe mediante WiFi (Fig. 1d). Para ello, es necesario conectar en el domicilio a la línea fija un *equipo* que desempeña las funciones de punto de acceso WiFi y de pasarela VoIP. Otra posibilidad es el uso de terminales que soporten tanto UMTS como el *perfil de telefonía inalámbrica de Bluetooth* o CTP (Fig. 1e), que permite que el teléfono móvil funcione asimismo como un inalámbrico doméstico dentro del domicilio, conectado mediante Bluetooth a una base enchufada, a su vez, a la red fija.

La versión más avanzada de la Convergencia Fijo-Móvil emplea la tecnología de **Acceso Móvil Universal** o **Red de Acceso Genérica 0** (UMA o GAN), conectándose siempre al núcleo de red del operador móvil, manteniendo una única numeración y terminal, pero sustituyendo la red radio de acceso celular por la red de acceso fija siempre que sea posible. En la red UMA, el terminal móvil se conecta en el domicilio a un punto de acceso inalámbrico – WiFi y, en algunos casos, Bluetooth–, a través del que accede a una red IP sobre tecnologías de acceso de banda ancha (ADSL o cable), la cual proporciona conectividad con un Controlador de Red UMA (UNC). Cuando el terminal encuentra cobertura WiFi, el tráfico se cursa por la red UMA; si no, se cursa por la red

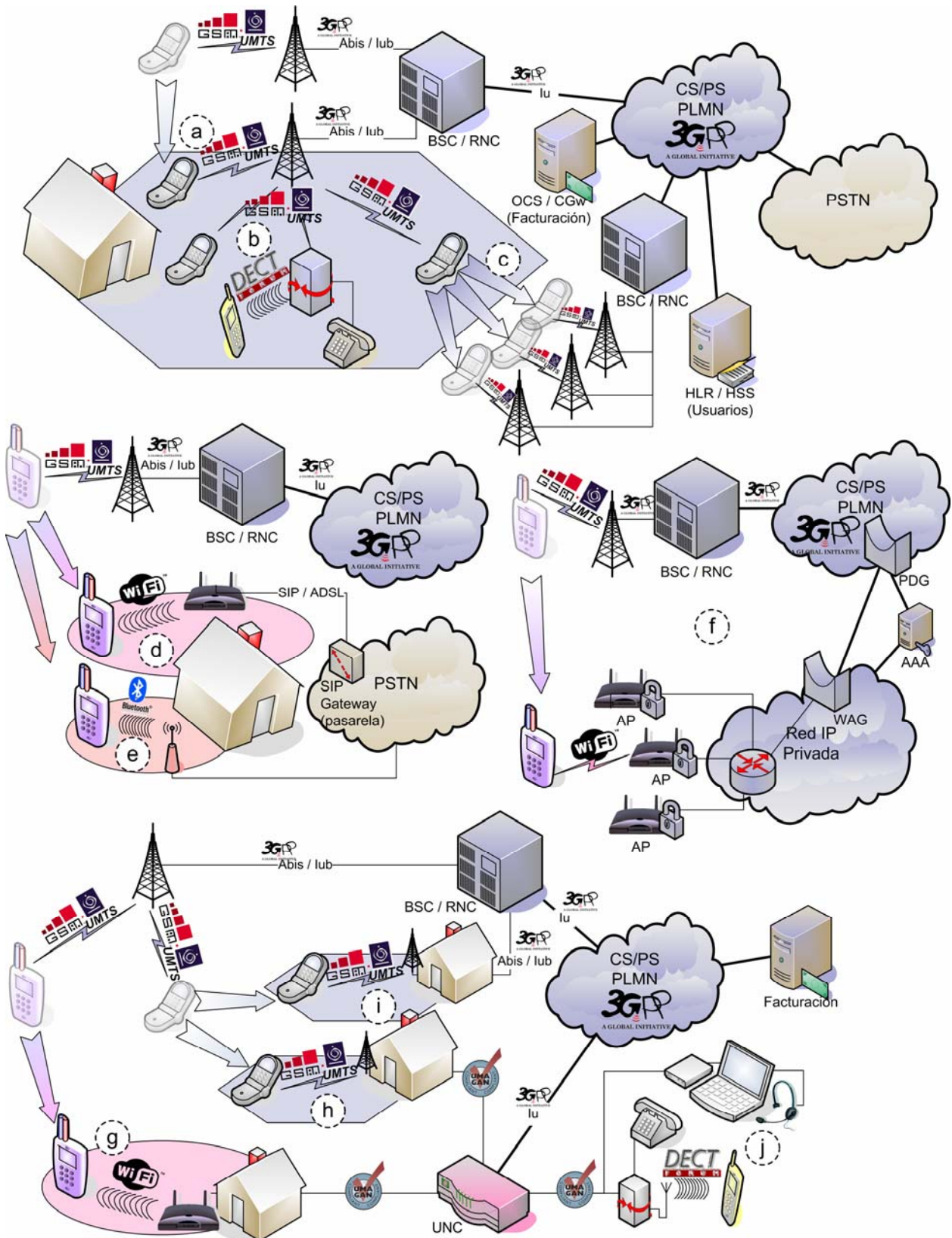


Figura 1. Distintos escenarios de Convergencia Fijo-Móvil.

celular (Fig. 1g). De cara al núcleo de red móvil, el UNC –o Controlador de Red de Acceso Genérica (GANC)– se presenta con la misma interfaz que un

Controlador de Estaciones Base GSM (BSC) o un Controlador de Red Radio UMTS (RNC) del 3GPP, de modo que no se requieren cambios en el núcleo de

red (la infraestructura UMA sólo se añade a la red de acceso). Varios proveedores europeos ofrecen servicios basados en UMA: Telia Sonera en Dinamarca y Suecia, Netcom en Noruega, Saunalahti en Finlandia, BT en el Reino Unido (*BT fusion*), y Orange en Francia, Holanda, Reino Unido y España con su *servicio Único*.

Frente a otras soluciones más sencillas basadas en terminales duales 3G/WiFi, la ventaja más notable de UMA es que proporciona *transparencia en el traspaso* de unas redes de acceso a otras, garantizando la *continuidad de una llamada o una sesión de datos*. Asimismo, UMA permite mantener un terminal único, una sola numeración de abonado, y aprovechar una gran capacidad de acceso (proporcionada por el ADSL o el cable) –todo ello sin realizar cambios en el núcleo de red–. Además, el uso de tecnologías sin licencia le da gran flexibilidad para utilizar múltiples tecnologías inalámbricas y de acceso de banda ancha. UMA puede mejorar también las prestaciones de *servicios basados en localización*. Así, asignando un identificador de celda al área de cobertura de un punto de acceso WiFi (mucho menor que la de una celda tradicional), puede mejorar la granularidad y precisión de la localización de un terminal basada en identificador de celda.

La **evolución de UMA** reaprovecha sus protocolos en otras arquitecturas, utilizándolos como un estándar global de acceso a redes móviles. Por ejemplo, en las *femtoceldas UMA*, se sustituye el enlace WiFi inalámbrico por un enlace UMTS o LTE de corto alcance (Fig. 1h): requiere que el usuario se instale una femtoestación UMTS en su domicilio (más costosa que un router WiFi), a cambio de utilizar cualquier terminal 3G (no se requieren terminales duales específicos para UMA). Si también se reemplazan las tecnologías UMA en el acceso de banda ancha por tecnologías 3GPP (interfaces Abis e Iub), estaremos en el escenario de un *nodo doméstico HSDPA* (Fig. 1i), que es una mera picocelda UMTS instalada en el hogar. Otra posible evolución sustituye directamente el enlace inalámbrico por un par de cobre: un *adaptador a UMA* (semejante a los adaptadores para VoIP) se coloca entre un terminal fijo normal y el enlace de banda ancha, conectando así el terminal fijo al núcleo de red del operador móvil (Fig. 1j). Siguiendo esta última opción, el siguiente paso integraría las capacidades UMA en un *PC con un lector de SIM*: una aplicación software instalada en él podría emular las funcionalidades del teléfono UMA.

Otra iniciativa para integrar las redes locales inalámbricas (WLAN) en las redes GSM y UMTS, y así complementar la red celular, es una actividad del 3GPP llamada **WLAN Interworking 0** (Fig. 1f). El 3GPP define el término *interworking* entre los sistemas 3GPP (redes UMTS y GSM) y las redes

locales inalámbricas como la utilización de los recursos y el acceso a los servicios de los sistemas del 3GPP a través de terminales dotados de tecnología de acceso WLAN; colaborando e integrando así ambos sistemas. Pretende extender los servicios y la funcionalidad de los sistemas 3GPP a las redes locales inalámbricas. Requiere la instalación de pasarelas específicas tanto en el dominio WLAN como en el dominio 3GPP. La integración puede ir simplemente desde un servicio de facturación común, o un sistema de control de acceso común; hasta la oferta todos los servicios 3G sobre las WLAN, pudiendo moverse el usuario y traspasar la sesión entre ambos dominios sin perder la comunicación e incluso sin percibir diferencias de calidad.

Otra línea para ofrecer servicios convergentes fijo-móvil **independiza directamente la prestación de los servicios respecto de la red**. Se están popularizando *programas software* (como *Skype*, *Gizmo5*, *Google Voice*, *DualTalk* o *Voip Buster*) que permiten, a través de servicios de Internet, efectuar llamadas a muy bajo coste (o nulo) a teléfonos convencionales. Cualquier terminal con conexión IP (fija, móvil, o a través de IMS) puede convertirse en un teléfono VoIP / SIP que permite llamar con independencia de la red de acceso. Si el servicio permite traspasar la llamada entre clientes con distintas direcciones IP, se podrá traspasar entre distintas redes de acceso. Igualmente, los operadores también utilizan VoIP y SIP para la señalización dentro del *núcleo de red IMS*. IMS define una arquitectura por capas para ofrecer servicios de manera agnóstica respecto a la red de acceso: una única red de servicio permite entregar servicios multimedia convergentes, accesibles por el usuario desde cualquier lugar y dispositivo. En concreto, la tecnología *Voice Call Continuity (VCC)* extiende el concepto de traspaso de llamada al dominio IMS. Dado que IMS es independiente de la tecnología de acceso, VCC permite traspasar una llamada iniciada en la red de acceso de GSM o UMTS a una red WLAN y viceversa –aunque realmente el traspaso se produzca en el núcleo de la red, entre el dominio de circuitos y el dominio IMS–, incluso aunque pertenezcan a operadores distintos; todo ello, manteniendo los servicios suplementarios. La alternativa recíproca consiste en utilizar la tecnología *Mobile IP sobre IMS*: los servicios ven al usuario siempre en la misma dirección IP, pero ésta no es más que un alias de la dirección dinámica que el terminal va adquiriendo según se mueve por distintas redes.

4. Servicios convergentes de teleasistencia

La sección 2 ha presentado los principales servicios de teleasistencia ofrecidos en España, mostrando cómo la teleasistencia fija y la móvil se comportan como dos silos inconexos, con diferentes funciones, capacidades y destinatarios. Aunque históricamente predomine este enfoque, no es necesariamente el mejor para el usuario.

El hecho de que una persona necesite un servicio de teleasistencia no debe limitar sus actividades y su movilidad. El propio IMSERSO establece que el objetivo fundamental de la Teleasistencia Domiciliaria es “*contribuir a lograr la permanencia de personas vulnerables en su medio habitual de vida, evitando los grandes costes personales, sociales y económicos que el desarraigo del medio conlleva, [y] facilitando el contacto con su entorno socio-familiar*”. Un servicio de teleasistencia, por tanto, no tiene como fin ser una simple atención de emergencias, sino que debe servir para **augmentar la autonomía e independencia del usuario**, permitirle realizar sus actividades cotidianas en su contexto social, y mantenerle integrado en él. Sin embargo, en cuanto el usuario abandona su domicilio, el servicio pasa a un estado de suspensión temporal, por lo que el usuario se ve obligado a escoger entre prescindir temporalmente de la teleasistencia o renunciar a sus actividades fuera del domicilio (con el desarraigo social que esto implica).

Históricamente, esta desventaja del servicio de teleasistencia domiciliaria viene motivada porque:

- Se trata de un servicio de *disponibilidad permanentemente garantizada*. Como ya se ha apuntado, esta garantía sólo podía ofrecerse mediante la telefonía fija, tanto por cobertura como por su definición legal de universalidad. Esto ha hecho que el servicio no ofrezca características de ubicuidad.
- El *ámbito territorial de actuación* del prestador del servicio de teleasistencia está restringido en el respectivo convenio de colaboración al de una Entidad Local (municipio, mancomunidad, cabildo o provincia). Por ello, el servicio tampoco ofrece características de nomadismo (por ejemplo, prestándose en un domicilio habitual y en otro temporal de vacaciones, un familiar, etcétera). La propia descentralización de los servicios sociales y sanitarios en España hace que cada municipio o Comunidad Autónoma sea reticente a atender a ciudadanos procedentes de otra.

En cuanto a los servicios de teleasistencia móvil, ofrecen la innegable ventaja de la *movilidad*, la cual se apoya en técnicas de *telelocalización* que permiten *particularizar tanto la atención al usuario como la*

movilización de recursos en función del lugar donde éste se encuentre. Sin embargo, estos servicios pierden algunas ventajas de los servicios de teleasistencia domiciliaria, en particular:

- La *precisión de los servicios de localización* no suele ser suficiente para precisar cuándo el usuario se encuentra en su domicilio y cuándo simplemente en sus alrededores. La pérdida de esta localización distinguida impide confiar en la otrora valiosa información procedente del propio domicilio y actuar en función de ella.
- El *ancho de banda* de las redes de acceso fijo sigue siendo mayor que en las redes móviles, y siempre a un coste menor. Al utilizar redes de acceso móviles (de banda estrecha), se dificulta el uso de servicios como la videoconferencia con el usuario, etc.

La solución a estos problemas es proporcionar un **servicio convergente**, que, gracias a las tecnologías presentadas en la sección 3, utilice en cada momento la red disponible que ofrezca mejores capacidades según las necesidades de la situación; incluyendo telefonía fija y móvil (y otras más como TDT e Internet).

Así, según 0, uno de los motores tecnológicos de la teleasistencia es la “convergencia en terminales y redes entre los dispositivos de teleasistencia y las tecnologías de la información y las comunicaciones (teléfono fijo, dispositivos móviles, TV e Internet, especialmente)”, tendiéndose hacia una “solución permanente, interconectada dentro y fuera de la casa (fija y móvil), que facilite principalmente la vida independiente y donde usuario y familiares vean al proveedor de cuidados como una entidad única”. Igualmente, ETSI indica0 que la transparencia en la provisión del servicio es uno de los objetivos de los servicios sociales en el futuro, y cita la convergencia de las redes fijas y móviles que facilita la movilidad del usuario como uno de los avances que más beneficiarán a la teleasistencia, junto a otros aspectos también relacionados con la convergencia (conectividad IP ubicua, banda ancha en el hogar, acceso inalámbrico sin instalación, calidad de servicio en el protocolo IP).

Al ofrecer servicios de teleasistencia convergentes fijo-móvil, se podrán *adaptar las características del servicio* (localización, red de acceso, situación del usuario, etc.) en cada momento. Asimismo, se *mejora la accesibilidad*, al reaprovechar distintos canales de comunicación (mensajería, comunicación de voz, videoconferencia / videovigilancia) en ambos entornos.

La aparición de los operadores integrados y la convergencia de sus modelos de negocio facilitarán

el surgimiento de estos servicios. No obstante, para poder ofrecer servicios de teleasistencia convergentes en España, habrá que superar una serie de **barreras** que particularizan las barreras generales explicadas en 0:

- La *estructura de prestación del servicio* establece barreras organizativas y económicas: los servicios de teleasistencia convergentes requerirán mecanismos de cooperación entre distintos proveedores del servicio de teleasistencia y distintas Administraciones para añadir características de itinerancia al servicio, que el usuario deberá recibir en las mismas condiciones con independencia de dónde se encuentre (concepto de Virtual Home Environment). La descoordinación entre distintas administraciones públicas y el reparto competencial suponen hoy en día una clara debilidad al respecto.
- Las barreras tecnológicas vienen dadas por la *inestabilidad tecnológica* en este campo (según se ha mostrado en la sección 2), la *inmadurez de los actuales servicios* de teleasistencia convergente, y la *relativa dificultad de uso y configuración* de los elementos por parte del usuario (desde los equipos que deba instalar hasta el propio terminal móvil).

Aunque ya empiezan a aparecer las **primeras aproximaciones que introducen la Convergencia Fijo-Móvil** en los servicios de teleasistencia; suelen utilizar las distintas redes de manera separada y se basan en soluciones propietarias.

Uno de los primeros proyectos que abordaron la convergencia en la teleasistencia fue *U-R-Safe*, del que se desplegó un piloto en Barcelona, y cuyo objetivo era ofrecer servicios de telemonitorización de parámetros sanitarios. Estos parámetros se obtienen a través de sensores médicos que se conectan mediante tecnologías de red inalámbrica de área personal y corporal (WPAN / WBAN) a un dispositivo portátil o estación base personal (PBS). La mayor innovación en cuanto a la convergencia consiste en que la PBS transmite los datos al centro médico, bien a través de la red móvil, bien a través de la red fija, en función del lugar en el que se encuentre el usuario en cada momento.

El proyecto AttentiaNet0 ha creado el servicio *ViTaL*, que añade las características de *movilidad* y *videoconferencia* sobre el servicio de teleasistencia tradicional. Por una parte, proporciona un servicio de alarma y conferencia con el centro de atención a través de un terminal móvil específico; suministrando siempre la localización del usuario. De hecho, a las alarmas habituales añade la de localización, disparada cuando el usuario abandona un área predefinida

como segura (el entorno de su domicilio). Por otro lado ofrece un servicio de videoconferencia, mediante la conexión del televisor del domicilio y una webcam a una línea ADSL. Ambos servicios funcionan independientemente y sobre redes distintas: las alarmas se proporcionan a través de la red móvil y la videoconferencia a través de la red fija (y, por tanto, sólo cuando el usuario se encuentra en el domicilio). No obstante, representa un primer paso en la integración de tecnologías de acceso fijas y móviles en servicios de teleasistencia.

Medical Mobile proporciona el servicio de teleasistencia *Columba 0*, ofrecido en España a través de Movistar. El usuario porta permanentemente un dispositivo capaz de enviar alarmas (por activación manual del usuario, o ante la salida de un área de seguridad), así como de establecer conferencias con el centro de atención. La comunicación se efectúa siempre a través de GSM/UMTS. Sin embargo, la localización utiliza dos métodos distintos: GPS cuando se encuentra fuera del domicilio, y una *baliza de radiofrecuencia* en su interior. Ésta baliza, emitida desde una base instalada en el domicilio, ofrece una localización distinguida y definida con precisión para el domicilio del usuario, ya que, en cuanto éste lo abandona, se pierde la cobertura de la baliza. No obstante, el producto no hace uso de características de la Convergencia Fijo-Móvil, antes bien, utiliza una red inalámbrica ad-hoc en el hogar en paralelo a la red móvil celular.

Los *terminales de acceso* a servicios de teleasistencia convergente variarán según la solución tecnológica empleada (tal como se ha mostrado en la sección 3 y en los servicios recién presentados). En ocasiones, deberán estar dotados de funcionalidades específicas; en otras, cualquier terminal móvil será adecuado. Hay que contar también con los requisitos propios que cada servicio específico pueda imponer sobre el terminal (por razones de interoperabilidad, coste, distribución...)

5. Prueba de concepto de servicio de teleasistencia convergente

Para validar el potencial de la Convergencia Fijo-Móvil en la teleasistencia, se ha desarrollado un **demostrador de un servicio de teleasistencia convergente**, a modo de prueba de concepto. Consta de los elementos habituales en un sistema de teleasistencia: terminales de usuarios y sensores, centro de atención, central de comunicaciones, aplicaciones de registro, operativa del servicio y sistema de evaluación, según se muestra en la Fig. 2:

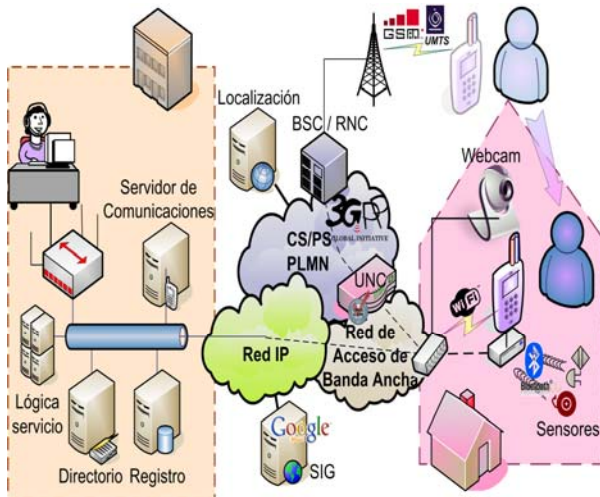


Figura 4. Despliegue de un servicio de teleasistencia convergente.

El *terminal del usuario* es un teléfono móvil de uso sencillo con funcionalidades específicas. Dispone de una instalación de la plataforma Java ME sobre la que se ejecuta permanentemente el MIDlet del servicio de teleasistencia, que permite enviar un aviso al centro de atención con la pulsación de un botón. Asimismo, posee teclas de marcación rápida y, cuando se establece una llamada con el centro de atención, el terminal la atiende automáticamente en modo manos-libres. Además del aviso disparado por el usuario desde el terminal, otra serie de sensores de su entorno pueden enviar también avisos al centro de atención a través de una pasarela Bluetooth, que crea una sinergia de información desde los sensores individuales y que, en el demostrador, está integrada en el propio terminal móvil. El terminal está dotado de tecnología UMA, instalada asimismo en el hogar, por lo que, dentro del domicilio, utilizará este canal para la comunicación. En la actualidad, existen varios terminales que incluyan estas características (Nokia 6086, Sagem my519X y my419X, Sony Ericsson G705 y W705, o algunos modelos con pantalla táctil como el HTC Touch 3G o el LG Secret KF757); aunque también podrían usarse terminales de funcionalidades limitadas específicamente diseñados para servicios de teleasistencia.

Los avisos llegan a través de un enlace de datos al *centro de atención*, donde una aplicación monitora los registros en una base de datos y los presenta al operador que se encuentre disponible para atenderlos. En una aplicación específica, el operador recibe información sobre el aviso, así como los datos sociales, la historia y la localización del usuario; y se le ofrecen una serie de acciones que realizar. Para ello, dispone de un teléfono software instalado en su ordenador para efectuar y recibir llamadas a distintos destinos. El centro de atención presenta al operador la localización del usuario contextualizada en un

mapa, apoyándose en servicios externos de localización e información geográfica (SIG). El servicio de localización puede emplear distintas técnicas para localizar al usuario, según las capacidades del terminal, pero, en cualquier caso, el sistema es capaz de determinar cuándo el usuario se encuentra en la localización distinguida que representa su domicilio, dado que el identificador de celda (AP-ID) en la que se encuentra el terminal corresponde precisamente al nodo UMA del domicilio.

La *operativa del servicio* aplica distintas políticas ante un aviso en función de la localización (a diferencia de los servicios tradicionales). Algunas acciones pueden realizarse siempre: establecer una conversación de voz con el usuario (mediante su teléfono móvil). Otras sólo se pueden efectuar ante un aviso: realizar una llamada a recursos genéricos del usuario (p. ej.: familiares). Ciertas acciones pueden particularizarse en función de la localización del usuario: avisar a los servicios de emergencia correspondientes a la localidad donde se encuentre. Pero además, existen otras posibles acciones sólo disponibles cuando el usuario se encuentra en su domicilio: visualizar el interior del hogar a través de una cámara de vídeo que utiliza la misma conexión de banda ancha que el acceso UMA –en caso de que el usuario haya aceptado la instalación de la cámara–; o avisar a recursos del usuario cercanos a su domicilio (p. ej.: vecinos). La Fig. 3 presenta una captura de la interfaz del operador atendiendo una emergencia y la interfaz presentada en el teléfono móvil utilizado como terminal de alarma del usuario:



Figura 5. Captura de la interfaz del operador y del terminal del usuario.

Así, se solucionan varios problemas de los servicios tradicionales de teleasistencia e incluso se mejoran sus patrones. Frente a la teleasistencia domiciliaria, se proporciona *movilidad* al usuario; frente a la móvil, se mantienen *actuaciones específicas* cuando se encuentra en su domicilio. Es más, los respectivos modelos tradicionales se mejoran, ya que en el domicilio, se aprovechan las *capacidades multimedia* y *de sensorización* existentes en él, y, en movilidad,

se puede llevar a cabo la *transición del servicio* a distintas instituciones en función de la localización del usuario.

Este sistema no es un servicio comercial ni precomercial, sino una simple prueba de concepto sobre el papel de la Convergencia Fijo-Móvil en los futuros servicios de teleasistencia. Por tanto, puede que no satisfaga completamente los requisitos y funcionalidades de un sistema en producción. A pesar de ello, el sistema no se centra en el producto, sino que responde a necesidades reales de los usuarios (expresadas en las referencias citadas) y a las especificaciones de otros servicios de teleasistencia presentados en las secciones 2 y 4. Se ha incidido en la *usabilidad* de los mecanismos de interacción y las interfaces de usuario empleadas (siguiendo algunas de las guías descritas en 0), algo crítico en entornos de emergencias que requieren tiempos de respuesta rápidos, probablemente con el usuario en una situación difícil. Los requisitos de *accesibilidad* (definidos en la misma referencia) se han abordado mediante un doble enfoque. Por una parte, la aplicación del operador permite establecer comunicaciones con el usuario mediante *distintos canales* (mensajería, llamada de voz y cámara de vídeo). Por otra parte, se ha seguido una estrategia basada en conseguir la *accesibilidad mediante la interoperabilidad*: se ha desacoplado la arquitectura definida del canal de interacción, de modo que se pueda añadir fácilmente la interacción de los usuarios mediante distintas modalidades sensoriales, facilitando así la accesibilidad al servicio (por ejemplo, a usuarios sordos). En la misma línea, la independencia del servicio respecto del terminal permitirá el uso de *terminales adaptados o ayudas técnicas*.

Respecto a la *ingeniería del servicio*, se han respetado requisitos de reusabilidad con vistas a integrar alguno de los módulos actuales en futuras versiones del sistema. Esto se refleja en el uso de arquitecturas de alta cohesión y bajo acoplamiento: arquitectura orientada a servicios (SOA) con Web Services, arquitectura de objetos distribuidos, y modelo-vista-controlador (MVC) para la presentación.

Tras esta primera prueba de concepto, la siguiente fase prevista sería desarrollar un *prototipo* y realizar un *piloto* con usuarios reales. El trabajo actual parte de la perspectiva de un operador de red convergente, por lo que un prerrequisito para avanzar a las siguientes fases será establecer acuerdos de negocio y operación con otros agentes de la cadena de valor de los servicios de teleasistencia (fabricantes de equipos, proveedores de servicios sociosanitarios, movimiento asociativo, Administración Pública, etc.) El piloto deberá contar en todo caso con las necesidades reales de los usuarios, aunque se puede adelantar que cubrirá nuevas áreas, como la personalización de los

servicios según el perfil del usuario y la inclusión de un portal web de consulta del servicio para los usuarios o sus familiares.

6. Conclusiones

Los servicios de teleasistencia han avanzado enormemente y ganado en complejidad en los últimos años. Sin embargo, siguen imponiendo determinadas restricciones a los usuarios, que se vuelven *innecesarias ante nuevos paradigmas tecnológicos* como la Convergencia Fijo-Móvil. En el futuro próximo, como se ha detallado en este trabajo, permitirá ofrecer servicios de teleasistencia que se adapten al entorno y, en definitiva, mejoren la experiencia del usuario. El ejemplo aquí presentado no es más que una demostración práctica de su viabilidad, pero cada servicio concreto de teleasistencia podrá aprovechar a su modo la Convergencia Fijo-Móvil.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Cátedra Orange en la Universidad Politécnica de Madrid a través del proyecto exploratorio “Evaluación de usabilidad en servicios móviles sobre tecnología UMA (Unlicensed Mobile Access) y sobre redes domóticas”.

8. Referencias

- G. Ortega, D. Halpem, M. Roser, J. A. Úbeda, A. Pérez, J. M. Cort, J. M. Martínez, C. Lastres, M. Á. Valero, J. García, *Teleasistencia; Definición del Servicio*, ASIMELEC, 2005.
- Human Factors (HF); Telecare services; Issues and recommendations for user aspects*, v. 1.1.1, European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Technical Recommendation 102 415, Sophia Antipolis, 2005.
- Normas generales del servicio de teleasistencia domiciliaria*, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales – Instituto de Migraciones y Servicios Sociales (IMERSO) y Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), 1999.
- Normas generales del servicio de teleasistencia móvil, para las víctimas de la violencia de género*, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales – IMERSO y Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), 2004.
- MobilAlarm; Validating European Mobile Alarm Services for Inclusion and Independent Living; Final Report*, MobilAlarm Consortium, 2005.
- Jefatura del Estado, “Ley 39/2006, de 14 de diciembre, de Promoción de la Autonomía Personal y Atención a las personas en situación de dependencia”, *Boletín Oficial del Estado*, núm. 299, 15 de diciembre de 2006.
- Una sociedad de la información para todos; El potencial de la convergencia tecnológica en el desarrollo de la sociedad de la información; Reflexiones para el debate*, Ed. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), Madrid, 2002.

Alcatel, AT&T Wireless Services, BT, Cingular Wireless, Ericsson, Kineto Wireless, Motorola, Nokia, Nortel Networks, O2, Rogers Wireless, Siemens; Sony Ericsson; T-Mobile USA. *UMA Architecture (Stage 2) R1.0.4*, 2005.

Services and System Aspects; Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking, 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Technical Specification 22.934.

Valero, M. A.; Sánchez, J. A.; Bermejo, A. B., *Servicios y tecnologías de teleasistencia: tendencias y retos del hogar digital*. Informe de vigilancia tecnológica. Círculo de Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Madrid, 2007.

Jorge, J. L., “Red convergente de teleasistencia avanzada para pacientes con enfermedades crónicas y personas mayores (Attentianet)”, *II Congreso Internacional sobre Domótica, Robótica y Teleasistencia para Todos DRT4all 2007*, Fundación ONCE, Madrid, 2008.

Manual de Usuario para familiarizarse con el sistema Columba, Medical Mobile.

Human Factors (HF): User experience guidelines; Telecare services (eHealth), European Telecommunications Standards Institute EG 202 487, Sophia Antipolis, 2008.

Evaluación de la Función Neuromuscular Mediante Electromiografía Multicanal en Procesos de Rehabilitación Motora

Mónica Rojas Martínez, Miguel Ángel Mañanas Villanueva
Dpto de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial
División de Señales y Sistemas Biomédicos, Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica –CREB
Centro de Investigación Biomédica en Red- CIBER BBN.
Universitat Politècnica de Catalunya -UPC
monica.rojas@upc.edu , miguel.angel.mananas@upc.edu

Resumen

La posición y el movimiento del cuerpo están controlados por señales eléctricas que viajan desde y hacia el Sistema Nervioso Central, produciendo la contracción de los músculos voluntarios.

Cuando se presenta una patología ya sea sobre la Médula espinal, las Motoneuronas, la unión neuromuscular o los músculos propiamente dichos, se generan ciertas variaciones sobre la propagación eléctrica y la morfología de dichas señales. Estas variaciones pueden ser observadas y cuantificadas por medio de señales de electromiografía. Más aún, si se utilizan técnicas no invasivas de detección en la superficie de la piel, se facilita el proceso diagnóstico y monitorización de este tipo de enfermedades. La EMG multicanal permite estudiar los determinantes fisiológicos de la fatiga muscular y el análisis de la actividad de unidades motoras aisladas. Dicha información resulta de gran ayuda para la valoración y mejora de los procesos de rehabilitación motora.

1. Introducción

Las células (fibras) de los músculos esqueléticos son activadas por fibras nerviosas originadas en la médula espinal. Ambas fibras se “conectan” en la zona unión neuromuscular (

Figura 6). Las uniones neuromusculares están usualmente distribuidas en una región, la Zona de Inervación (ZI), que por lo general se localiza mitad del músculo. Sin embargo, algunos músculos tienen varias zonas de inervación distribuidas lo largo de toda su longitud [1].

Cada músculo del cuerpo humano está compuesto por una mezcla de fibras rápidas fatigables (Tipo IIb), fibras rápidas resistentes a la fatiga (Tipo IIa) y

finalmente por un tercer grupo de fibras lentas (Tipo I) que de los tres, es el más resistente a la fatiga [2]. La proporción de estas fibras depende de la función específica de cada músculo.

Los potenciales de acción intracelular se generan en la ZI al recibir un impulso neuronal. Las zonas despolarizadas generan un potencial de acción que se propaga hacia ambos extremos de la fibra con una velocidad de conducción (VC) que oscila entre los 3 y los 7 m/s [2]. La suma de potenciales de acción correspondientes a las fibras musculares activadas por una sola unidad motora recibe el nombre de potencial de acción de la unidad motora (PAUM). El PAUM constituye la unidad fundamental de la señal EMG. La duración de un PAUM es inversamente proporcional a la VC de los potenciales de las fibras musculares. Para mantener la contracción muscular, las unidades motoras han de ser activadas repetidamente, generándose una secuencia de PAUMs. La suma de las secuencias de todas las fibras musculares genera la señal EMG de superficie (sEMG) (

Figura 6).

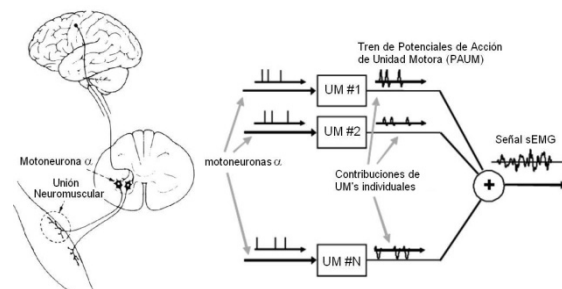


Figura 6. Conexión entre el músculo y la médula espinal a través de una fibra nerviosa-motoneurona (izquierda). Esquema de generación de la señal sEMG (derecha)

El Sistema Nervioso Central (SNC) utiliza dos estrategias diferentes para controlar la contracción muscular de un mismo músculo: Incrementando el número de unidades motoras que se contraen a la vez (reclutamiento de fibras) e incrementando la frecuencia de activación de cada unidad motora individual.

Adicionalmente, el músculo no puede mantener una contracción continua a un mismo nivel de fuerza, y por tanto, el SNC coordina las acciones individuales de diferentes unidades motoras a la vez para conseguir un movimiento muscular fuerte. Este fenómeno es conocido por el nombre de “Common Drive Effect”. Se piensa que dicha sincronización se debe a que las motoneuronas reciben entradas sinápticas sincronizadas de fibras presinápticas comunes, y que esta condición aumenta con la fatiga [2]. Este tema está relacionado con la observación de un decaimiento en el número de frecuencias distintas de la señal sEMG en condición de fatiga muscular. Por último, se cree que la sincronización ocurre tanto en un mismo músculo como entre músculos agonistas (de igual función muscular) y antagonistas (de función muscular contraria) dependiendo de la precisión del movimiento y del nivel de fuerza requerido.

2. Matrices de electrodos

Una matriz de electrodos es un sistema que detecta la señal EMG de superficie en diferentes puntos localizados en las direcciones perpendicular y paralela de propagación de los PAUM. La dirección transversal permite registrar la actividad de varias UM distribuidas en la dirección radial del músculo, mientras que la dirección paralela permite registrar la propagación (eléctrica) debida a la conducción de los diversos potenciales a lo largo de las fibras musculares que componen el músculo.

La utilización de una matriz de electrodos permite obtener un conjunto de señales (una por cada electrodo o por cada par de electrodos en el caso de registros bipolares- SD, por Single Differential) que proporciona información más específica acerca de la distribución de los PAUM en una región del músculo. Por otra parte, facilita la estimación de la VC ya que permite calcular el retardo entre dos señales EMG detectadas sobre dos puntos localizados a una distancia conocida, en la dirección de propagación de los potenciales. La VC se ve afectada por algunas condiciones fisio-patológicas y en condiciones de fatiga, por lo que es de interés clínico hacer un seguimiento a la evolución de este parámetro.

En la Figura 5 se puede ver un ejemplo de señal utilizando una matriz de lineal de electrodos (1D), donde se observan claramente la localización de las ZI (distribución de uniones neuromusculares de diferentes motoneuronas) y la propagación de los PAUMs hacia los tendones.

Sin embargo, además de los PAUMs, también pueden detectarse potenciales debidos a la acción de músculos vecinos o al cambio del medio de propagación (músculo-tendón) dificultando la interpretación de las señales sEMG. Estos potenciales se conocen por el nombre de “crosstalk” y usualmente no se propagan en la dirección de los PAUMs.

Ya sea para reducir el ruido de señal común, para reducir el crosstalk o para incrementar la selectividad espacial, se utilizan diferentes tipos de filtros espaciales. El más sencillo y eficiente consiste en restar cada señal SD de la señal SD contigua en la dirección de propagación de los potenciales, de tal forma que aquellos PAUM (de crosstalk) que aparecen simultáneamente se cancelen y sólo permanezcan aquellos que se desplazan sobre la fibra [3]. Dicho filtrado espacial se realiza mediante el cálculo en diferido de señales Doble Diferenciales (DD) restando dos canales SD.

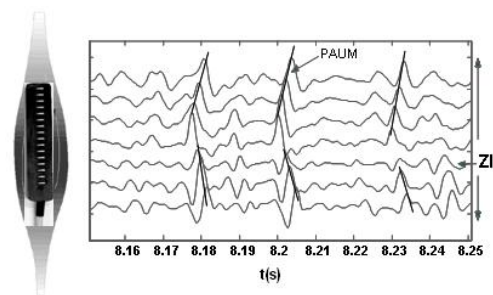


Figura 7. Señal sEMG multicanal obtenida a partir de la utilización de matrices lineales de electrodos

3. Interés Clínico

La SEMG es una forma no invasiva de medir potenciales eléctricos generados por fibras musculares activas. No pretende sustituir a la EMG clásica de aguja sino ofrecer información complementaria o adicional [4]. La SEMG no puede medir la actividad espontánea de fibras musculares desnervadas. Por otro lado, la SEMG permite estudiar los determinantes fisiológicos de la fatiga muscular (patológica). Una desventaja de la SEMG es la imposibilidad de extraer características de unidades motoras aisladas. Esto se soluciona mediante registros de sEMG multicanal (es decir, utilizando matrices de electrodos) donde en cada punto se graba una versión filtrada en la dimensión espacial de los potenciales sobre la piel. Esta técnica

permite la estimación de variables como la VC de UMs activas como se ha mencionado anteriormente [5] y además permite analizar la evolución de las variables EMG a lo largo del tiempo. Por otra parte, la sEMG ha sido utilizada para estimar los patrones de activación del SNC con resultados comparables a los obtenidos con EMG intramuscular [6].

Las señales de sEMG deben ser adquiridas en condiciones controladas para que los resultados obtenidos sean comprables entre diferentes sujetos y poblaciones. Estas condiciones se logran por medio de algunos dispositivos mecánicos que además pueden medir la fuerza desarrollada (

Figura 8). Normalmente se realizan contracciones isométricas (en donde la longitud del músculo se mantiene constante) de tal manera que variables como la VC sean más fáciles de estimar y que se mantenga una interpretación fisiológica de esta cantidad. Sin embargo, si se quiere realizar una aproximación más realista, se recomienda el uso de máquinas isocinéticas (como las utilizadas normalmente en terapias de rehabilitación), para realizar contracciones que impliquen el movimiento de las diferentes articulaciones a una velocidad constante ya sea en modo concéntrico o excéntrico. En este último caso es de interés estudiar las sinergias musculares en distintos ángulos de la articulación y según el modo. En la

Figura 9 se puede observar un ejemplo. En este caso se presenta una contracción concéntrica de extensión/flexión de muñeca. Se puede observar que el músculo Extensor Carpi Ulnaris (ECU), que es un músculo esencialmente extensor, se encuentra activo también durante la flexión, aunque en menor grado, para dar estabilidad a la articulación.



Figura 8. Mecanismos para registrar señales sEMG multicanal en condiciones controladas. Brazo isométrico (arriba). Máquina Isocinética (abajo)

Algunos ejemplos de posibles aplicaciones clínicas son [3, 5, 7]:

- Sistema Nervioso Central en aplicaciones de trastornos del movimiento como distonía y temblor
- Sistema Nervioso Periférico mediante la estimación de la VC que puede sufrir cambios ante miopatías caracterizadas por problemas en la membrana (parálisis periódica hipokalemica y myotonía congénita) o la detección de la fatiga patológica en la enfermedad de McArdle, por ejemplo.
- Inyección en la ZI de toxina botulinum para producir denervación temporal en un músculo espástico.
- Encontrar las ZI antes de realizar una episectomía durante el parto con el fin de evitar riesgos de futura incontinencia urinaria.
- Obstrucción de la conducción nerviosa, es decir, en aquellos casos donde no se transmiten los impulsos nerviosos a pesar de que los axones neuronales están intactos.

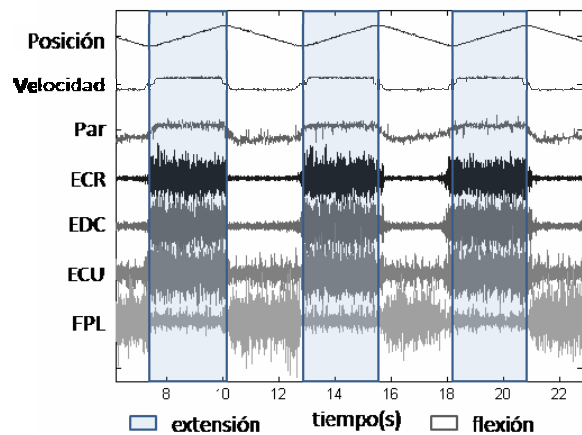


Figura 9. Señales registradas durante una contracción dinámica isocinética en músculos extensores (ECR, EDC y ECU) y flexores (FPL).

4. Variables de Interés

Las estrategias de control del SNC se ven reflejadas tanto en la amplitud como en el contenido espectral de la señal sEMG: el reclutamiento de nuevas unidades motoras implica la superposición de más potenciales en la señal (

Figura 6) haciendo que su energía aumente. Por otra parte, las variaciones en la frecuencia de activación de las UM's activas y la activación de las UM's de tipo IIb hacen que el espectro se desplace hacia las bajas frecuencias y que la VC global disminuya.

Estas variaciones pueden ser estimadas matemáticamente a partir de las siguientes variables:

- Valor Medio Rectificado (ARV)
- Valor Cuadrático Medio (RMS)
- Frecuencia Media (MNF)
- Frecuencia Mediana (MDF)
- VC: Retardo entre canales sEMG registrados a una distancia conocida.

Las diferencias en los valores de estos parámetros al comparar dos poblaciones (por ejemplo una normal y una patológica) pueden servir como índices de diagnóstico o de rehabilitación, útiles en la práctica clínica.

5. Aplicación al estudio de terapias de rehabilitación.

Como ejemplo de aplicación se presenta en esta sección un estudio realizado en la Mutua Egara (mutua de accidentes laborales) de Terrassa, en pacientes con epicondilitis lateral en proceso de rehabilitación motora. Diez sujetos sanos (31.5 ± 5 años) y diez pacientes asintomáticos con epicondilitis lateral (33.3 ± 4.6 años) participaron en el estudio.

Los trastornos de la Extremidad Superior Relacionados con el Trabajo (entre ellos la epicondilitis lateral) corresponden a un síndrome multifactorial causado por movimientos repetitivos, sostenimiento de posturas estáticas y rigidez muscular. Se quiere demostrar que este tipo de lesiones producen variaciones en la activación de los músculos en la zona afectada, respecto del patrón normal.

Los músculos del antebrazo, originados en la zona del epicóndilo lateral, presentan varias zonas de inervación y son difíciles de analizar por medio de sEMG debido a sus condiciones anatómicas (estrechos, muy próximos unos de otros). Sin embargo, haciendo uso de técnicas multicanal, se ha conseguido monitorizar los patrones de activación y de fatiga mioeléctrica en tareas de extensión de muñeca [1] y de prensión de mano [9].

5.1. Activación Conjunta

La activación voluntaria combina las contribuciones individuales de diferentes músculos con el fin de producir y mantener una tarea dada. Por lo tanto, aunque la fuerza neta que produce la contracción puede mantenerse constante es posible que el comportamiento de cada músculo varíe de acuerdo con el nivel de esfuerzo o el ejercicio.

Al analizar los patrones de activación en pacientes con epicondilitis lateral, se ha encontrado que existe un desequilibrio muscular debido a la condición de sobreuso de los músculos del antebrazo, factor que podría ser el origen de la lesión [8]. La prueba consistió en la realización de ejercicios isométricos al 20, 50 y 80% MCV donde se registraron señales sEMG en los músculos Extensor Carpi Radialis (ECR), Extensor Digitorum (EDC) y Extensor Carpi Ulnaris (ECU), en pacientes asintomáticos con historia de epicondilitis lateral y en sujetos sanos. Para cada uno de los ejercicios y para cada músculo se estimó y se normalizó el ARV sobre los 3 primeros segundos de señal (nARV) respecto de la suma del ARV en los tres músculos estudiados, es decir, la suma de las contribuciones individuales de cada músculo a la fuerza total. (

Figura 10)

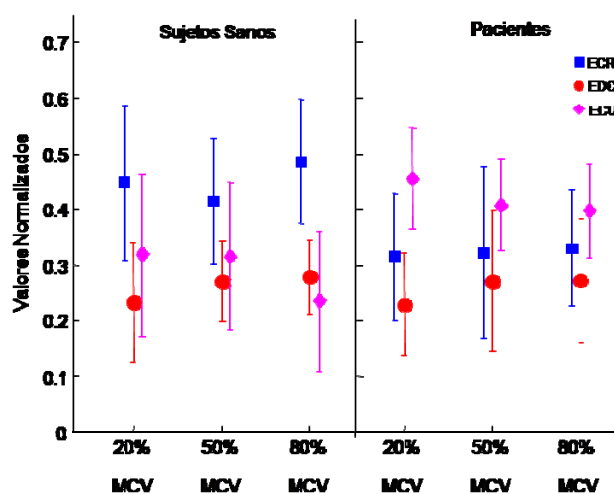


Figura 10. ARV Normalizado respecto a la contribución total de todos los músculos en cada ejercicio. Sujetos sanos (izquierda), pacientes (derecha)

Se encontró que el músculo que más contribuye en un ejercicio dado es diferente en ambos grupos. En pacientes, el nARV del ECU fue mayor que el del EDC ($p < 0.02$) y que el ECR ($p < 0.05$), indicando una mayor contribución de este músculo a la contracción. En cambio, en los sujetos sanos el nARV del ECR fue mayor que el del EDC y del ECU ($p < 0.01$). Adicionalmente, al comparar los dos grupos, la contribución media del ECR fue mayor en los sujetos sanos que en los pacientes ($p < 0.02$). Por el contrario, en el caso de los pacientes, la contribución media del ECU fue mayor que la de los otros dos músculos ($p < 0.02$).

5.2. Fatiga Mioeléctrica

Para analizar la fatiga mioeléctrica, se representa la evolución temporal de los variables descritos en el apartado 4, normalizados respecto a su valor inicial. La fatiga mioeléctrica se estudia durante una contracción sostenida a un nivel de esfuerzo medio o alto donde se presume que la totalidad de las UM de un mismo músculo deben ser reclutadas. Esta representación se denomina “diagrama de fatiga”. El índice de fatiga para un parámetro dado se define a partir del valor absoluto de la pendiente de su tendencia lineal.

En la

Figura 11 se muestra un diagrama de fatiga para el músculo ECR (el más asociado con la patología estudiada [10]). Se presentan los resultados como media y desviación estándar para todos los sujetos en los dos grupos durante una contracción isométrica al 80% MCV.

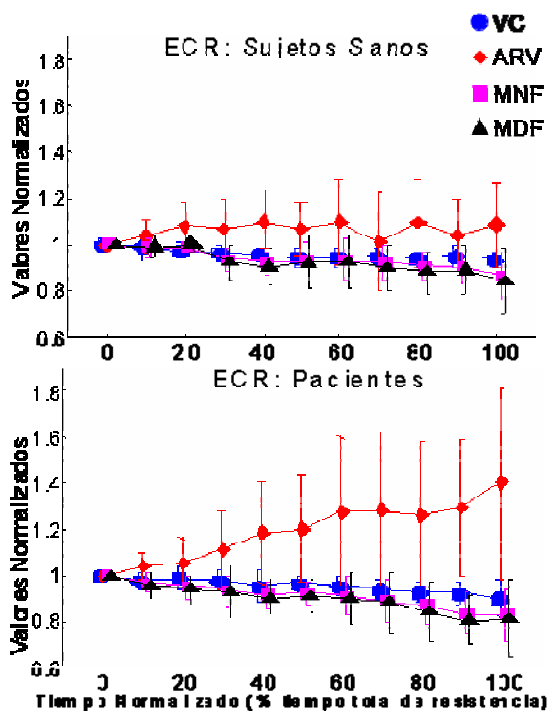


Figura 11. Diagramas de Fatiga para el ECR, durante una contracción isométrica al 80% MCV Sujetos sanos (arriba) y pacientes con epicondilitis lateral (abajo)

La fatiga se ve reflejada en la VC (es decir que su índice es mayor que cero) para los sujetos sanos ($p < 0.02$) y para los pacientes ($p < 0.01$). Sin embargo, al analizar los índices de fatiga sobre los variables MNF, MDF y ARV, se observa que son diferentes de cero solo para el grupo de pacientes ($p < 0.01$). Los índices de fatiga calculados a partir del ARV en el ECR, el

ECU y el EDC son mayores en pacientes que en sujetos sanos ($p < 0.02$, $p < 0.01$, $p < 0.03$ respectivamente). Lo mismo sucede para la VC pero solo para el EDC ($p < 0.04$) y especialmente para el ECR ($p < 0.01$) [8].

6. Conclusiones

Se han presentado los mecanismos de generación y control de las contracciones musculares voluntarias. Se ha estudiado su manifestación en las diferentes variables de la señal EMG de superficie multicanal y sus variaciones en presencia de anomalías o patologías. Además se ha presentado un ejemplo de aplicación clínica donde se desea estudiar y monitorizar los beneficios de una terapia de rehabilitación. En este caso, se encontraron diferencias en los patrones de activación muscular en sujetos sanos respecto a pacientes con epicondilitis lateral. Por una parte se encontraron diferencias en la activación de músculos sinérgicos debida a la presencia de la lesión y además se encontró que los pacientes presentan mayores índices de fatigabilidad, especialmente en el músculo ECR.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido parcialmente subvencionado con fondos del proyecto TEC2008-02754/TEC del Ministerio de Ciencia e Innovación de España y con fondos otorgados a través de la beca 2007BE200194 de la AGAUR de la Generalitat de Catalunya.

8. Referencias

- [1] M. A. Mañanas, M. Rojas, F. Mandrile, J. Chaler, Evaluation of muscle activity and fatigue in extensor forearm muscles during isometric contractions. Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, pp. 1-4, 2005. ISBN: 0-7803-8741-4, CDROM
- [2] Burke RE. Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. Handbook of Physiology: The Nervous System. USA: Brooks, V. B. American Physiological Society, Bethesda, MD., 1981.
- [3] Farina D, Arendt-Nielsen L, Merletti R, Indino rB, Graven-Nielsen T. Selectivity of spatial filters for surface EMG detection from the tibialis anterior muscle. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on 2003; 50(3):354-64.
- [4] Merletti, R. and Parker, P. Electromyography: Physiology, Engineering and Non-Invasive Applications, IEEE Press and John Wiley Publishers, 2001
- [5] Farina D, Merletti R. Methods for estimating muscle fibre conduction velocity from surface electromyographic signals. Med Biol Eng Comput 2004; 42(4):432-45.

- [6] Holobar A, Farina D, Gazzoni M, Merletti R, Zazula D., Estimating motor unit discharge patterns from high-density surface electromyogram, *Clin. Neurophysiol.* 2009 Mar;120(3):551-62.
- [7] Mesin L, Cocito D. A new method for the estimation of motor nerve conduction block. *Clin Neurophysiol.* 2007 Apr;118(4):730-40.
- [8] Rojas, M.; Mananas, M.A.; Muller, B.; Chaler, J.; Activation of Forearm Muscles for Wrist Extension in Patients Affected by Lateral Epicondylitis, *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp 4858-4861, 2007. EMBS 2007. ISBN 978-1-4244-0787-3
- [9] M. Rojas, M.A. Mañanas, J. Chaler, " Analysis of forearm muscles during gripping exercise by means of linear electrode arrays at different levels of effort", *XVI Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, 2006
- [10] J.S. Moore. *Biomechanical Models for the Pathogenesis of Specific Distal Upper Extremity Disorders.* *American Journal of Industrial Medicine*, 41, p. 353–369, 2002.

Utilización de un simulador de redes OBS para evaluar servicios de tele-asistencia

Daniel Guasch, David Roca, Cristina Cervelló-Pastor
Depto. ENTEL de le UPC
{dani,droca,cristina}@entel.upc.edu

Pedro Ponsa
Depto. ESAIL de la UPC
pedro.ponsa@upc.edu

Resumen

Día a día aparecen nuevas tecnologías que pueden aplicarse, directa o indirectamente, en la prestación de servicios de tele-asistencia. Las TIC, Tecnologías de la Información i Comunicaciones, no son una excepción. Disponer de herramientas que permitan evaluar el comportamiento de dichas tecnologías, previa su implantación en el entorno de explotación, supone una enorme ventaja. Las redes de transporte de conmutación óptica de ráfagas, OBS, ofrecen una alternativa en el transporte masivo de datos en entornos inteligentes. A continuación se presenta un simulador de redes OBS desarrollado por el grupo de Servicios y Redes de Banda ancha del departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Politécnica de Catalunya.

1. Introducción

A menudo es difícil identificar y establecer la viabilidad de las nuevas tecnologías en servicios que se sitúan fuera de los ámbitos nativos para los cuales fueron concebidas. Este es el caso de las redes de conmutación óptica de ráfagas [1-14]. Su utilización en redes de área local para servicios de teleasistencia o inteligencia ambiental no se ha planteado abiertamente de forma masiva en la actualidad [15-18]. No es evidente su utilización fuera de las grandes redes de transporte, a pesar de que la problemática que solventan es transportable a entornos con un alto grado de capilaridad [19].

A continuación se presenta el diseño de una herramienta que permitirá a los investigadores analizar la viabilidad de dichas redes en estos nuevos ámbitos de interés. El diseño se plantea a través de los elementos constitutivos de la aplicación: aportando finalmente, un ejemplo a título ilustrativo.

2. Diseño del simulador

El simulador opera a partir de una serie de scripts de texto y de bases de datos de Matlab que modelan 5 tipos de elementos: elementos de configuración, de simulación, de tráfico, de análisis y de visualización. El sistema se ha desarrollado, d forma modular, con el fin de potenciar la escalabilidad de los escenarios a estudiar. De esta forma, una red OBS puede ser descompuesta, en elementos de las 5 categorías planteadas, y simulada bajo unas condiciones de trabajo fijadas por el investigador. A continuación, la figura 1 presenta los bloques de elementos constitutivos indispensables que se han incorporado en el simulador.

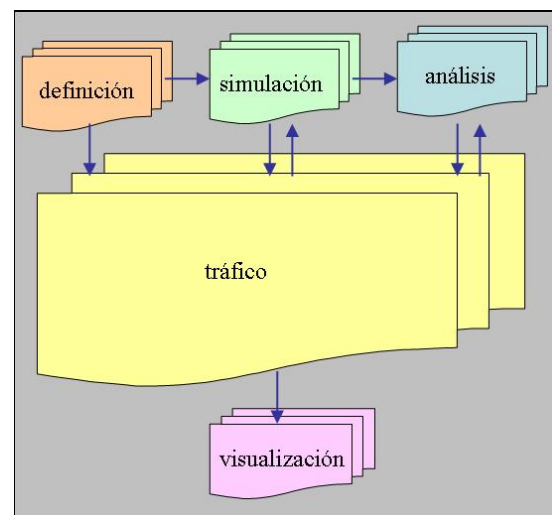


Figura 1. Esquema de los elementos del simulador

3. Elementos de configuración

Los scripts de configuración permiten parametrizar con exactitud las características de todos los componentes que intervienen en una red de conmutación óptica de ráfagas. El usuario debe editar el script correspondiente para cada uno de los componentes de la red que se desee simular. Para ello dispone de 8 posibles modelos:

- Tráfico TCP/IP. Permiten modelar el tráfico TCP/IP que se agregará en los nodos frontera a la red OBS, obteniéndose a partir de valores estadísticos. La agregación, en forma de nuevas ráfagas i paquetes de control, se realizará según los criterios detallados en el script de definición del protocolo de agregación.
- Tráfico OBS. Modelan el tráfico OBS nativo que se agrega en los nodos frontera a la red interna, generándose a partir de valores estadísticos. Nótese que permite tanto complementar al script de tráfico TCP/IP, como anular la necesidad de procesar tráfico TCP/IP con el fin de simplificar la simulación.
- Topología de la red OBS. Define la conectividad de los nodos de comunicación, estableciendo la topología de la red OBS. Es el script central sobre el que se modela la red a nivel físico. Los scripts de enlace y nodos frontera y núcleo, complementan a éste en la definición de cada elemento de la red.
- Enlace de comunicación. Definen a nivel físico un enlace de comunicación. Parámetros típicos son, entre otros: número de fibras ópticas, longitudes de onda disponibles, longitud del cableado, etc.
- Nodo frontera. Establecen los parámetros y protocolos que implementará el nodo frontera. Nótese que el simulador permite trabajar tanto con una red homogénea, donde todos los nodos frontera son idénticos, como con una heterogénea, donde cada nodo frontera puede comportarse de forma independiente –debido al uso de protocolos distintos o capacidades de conmutación diversas-.
- Nodo núcleo. De forma análoga a los scripts de nodos frontera, éstos modelan los nodos núcleo de la red; pudiéndose aplicar las mismas consideraciones que en el caso anterior.
- Protocolos de encaminamiento. Mediante estos scripts se pueden implementar los protocolos de encaminamiento de tráfico usados por los nodos. Nótese la doble función de estos scripts: formalizar una interfaz única con los nodos e implementar los protocolos de encaminamiento correspondientes. En el simulador pueden coexistir tantos protocolos

como nodos, con la limitación lógica de que cada nodo solo puede usar un protocolo simultáneamente.

- Protocolos de planificación. Implementan los protocolos de planificación que los nodos de comunicación usarán para la reserva de recursos de conmutación. Las consideraciones de funcionamiento son las mismas que en los protocolos de encaminamiento.
- Protocolos de agregación. Finalmente, los scripts de agregación de tráfico permiten establecer como los nodos frontera agregarán, e inyectarán en la red interna OBS, el tráfico procedente de las redes TCP/IP. Éstos se tratan de forma análoga a los scripts de encaminamiento y planificación anteriores.

4. Elementos de simulación

Los scripts de Simulación procesan el tráfico de red en base a la caracterización de cada dispositivo realizada en los scripts de definición. El algoritmo de simulación ejecuta inicialmente scripts de generación de tráfico y seguidamente el script de red; éste, a su vez, realiza llamadas a scripts de los elementos físicos de la red: nodos frontera, núcleo y enlaces de comunicación. Finalmente, en los nodos frontera y núcleo, se realizan llamadas a scripts de protocolos específicos de agregación de tráfico TCP/IP a OBS, encaminamiento de tráfico OBS y planificación de recursos de conmutación. Nótese la estructura jerárquica usada en la utilización de las llamadas a los distintos procedimientos. Conceptualmente, se dispone de 9 categorías de scripts:

- Generadores de tráfico TCP/IP: crean tráfico TCP/IP, procedente de las redes TCP/IP teóricamente conectadas a los nodos frontera, que será procesado por los éstos y agregado a la red OBS. Nótese que el tráfico se genera en su totalidad al inicio de la simulación, no contemplándose la interacción dinámica de la red OBS con las redes de acceso TCP/IP.
- Generadores de tráfico OBS: análogamente a los generadores TCP/IP, crean tráfico OBS directamente utilizable por cualquier nodo de la red. Mediante su uso, se puede simplificar la simulación de la red OBS, omitiendo el procesamiento del tráfico TCP/IP y los algoritmos de agregación de tráfico. El tráfico se genera en su totalidad al inicio de la simulación, como en el caso anterior.
- Redes OBS: en esta categoría se encuentran los algoritmos principales de simulación. Su función es realizar llamadas a los procedimientos de cada elemento de la red, aplicar los algoritmos de cálculo numérico del simulador y almacenar los resultados de tráfico y condiciones de estado de cada elemento.

- Enlaces de comunicaciones: simulan el comportamiento de un enlace de fibra óptica. Además de implementar el comportamiento del enlace, como aplicar un retardo de propagación, son usados para almacenar el tráfico de red, en estructuras complejas de datos, a nivel de simulación.
- Nodos frontera: implementan un nodo frontera a partir de los parámetros establecidos en los scripts de configuración. Obtienen el tráfico OBS de los enlaces de comunicaciones de entrada correspondientes; realizan llamadas a los procedimientos de protocolos de agregación, encaminamiento y planificación; y generan/conmutan el tráfico resultante en los enlaces de comunicaciones de salida.
- Nodos núcleo: implementan los nodos núcleo de una red OBS, la gran diferencia respecto los nodos OBS es que no contemplan los algoritmos de agregación de tráfico; manteniendo el resto de funcionalidades que un nodo frontera.
- Protocolos de encaminamiento: modelan el comportamiento de algoritmos de encaminamiento de tráfico. Éstos pueden ser tanto dinámicos como estáticos. La principal característica es la definición de una interfaz única hacia los nodos de comunicaciones. De esta forma, se independiza el funcionamiento interno del protocolo del elemento al que se aplique, permitiéndole ser transportable y escalable.
- Protocolos de planificación: implementan algoritmos de reserva de recursos de conmutación en los nodos, de forma análoga a los protocolos de encaminamiento.
- Protocolos de agregación: permiten aplicar protocolos de agregación de tráfico TCP/IP a redes OBS. Su comportamiento es también análogo a los anteriores.

5. Elementos de tráfico

Fruto de la aplicación de los elementos anteriores, se obtiene el primer resultado parcial de la simulación: el tráfico de la red. A pesar de que inicialmente pueda suponerse que éste es el objetivo final del simulador, debe resaltarse que se trata de información basta, sin procesar. Aporta una gran utilidad en el estudio del comportamiento de elementos de la red en situaciones muy concretas y acotadas: resolución de la congestión, validación de diseño, etc. El tráfico es almacenado en dos tipos de estructuras: una primera estructura temporal y una segunda estructura de paquetes. Mientras que la primera permite realizar un seguimiento exhaustivo del comportamiento de la red, ya que en cada unidad de tiempo se almacena toda la

información de tráfico, la segunda sintetiza la información de tráfico en estructuras de paquetes, eliminando la información redundante y generando estructuras mucho más manejables. Este proceso se aplica tanto a los paquetes OBS, como a los TCP/IP, si éstos son utilizados, y almacena los resultados en bases de datos de Matlab.

6. Elementos de tráfico

Una vez obtenido el tráfico de la red, debe extraerse la mayor cantidad de información posible de las estructuras de tráfico. Para ello se recurre a procedimientos de análisis estadístico. El análisis no se limita al recuento de los paquetes OBS o TCP/IP en los nodos de la red. Se realiza un seguimiento individual, por cada paquete de datos, que permite extraer toda su historia a lo largo del camino realizado: saltos en la red, paquetes de control involucrados, fragmentación, latencia, retransmisiones, etc.

Una vez sintetizada esta información, a partir las estructuras temporales y de paquetes de tráfico, se procesa de nuevo con el fin de obtener valores estadísticos para cada campo analizado; obteniéndose el segundo resultado parcial: las estadísticas del tráfico de red.

7. Elementos de visualización

Finalmente, se han desarrollado un conjunto de procedimientos que permiten visualizar los resultados de las simulaciones. Éstos pueden catalogarse en dos tipos de scripts: visualización temporal y estadística:

- Visualización temporal gráfica de resultados: en el caso de la visualización del tráfico temporal se ha optado por realizar un conjunto de cronogramas que permiten plasmar en figuras los paquetes de los enlaces en intervalos de tiempo definidos por el usuario. Los procedimientos permiten una clasificación visual de los paquetes en función de cualquiera de los campos de las cabeceras de los paquetes de tráfico. Esta visualización permite una interacción muy intuitiva con el investigador, facilitando el análisis de situaciones puntuales.
- Visualización estadística tabulada de resultados: este procedimiento proporciona al investigador las tablas con los resultados del análisis estadístico del tráfico de la red. Nótese que ofrece una perspectiva complementaria a la visualización temporal, pues proporciona

indicadores del comportamiento global de la red.

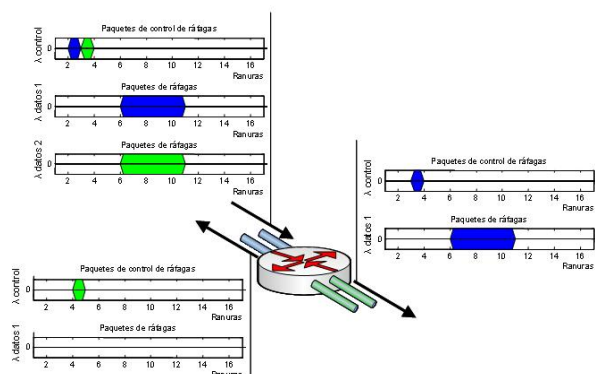


Figura 2. Representación visual del tráfico

8. Resultados

Situaciones críticas típicas a analizar son las que se dan lugar cuando aparece congestión en la red. Cada nodo de comunicaciones debe resolver la congestión mediante el descarte, almacenamiento o redirección de paquetes. El simulador ofrece dos alternativas en el estudio de dichas situaciones: analizar el tráfico que circula por la red y analizar las tablas de estado internas de cada nodo, en todo instante de tiempo. Para las primeras aproximaciones en el estudio de estas situaciones, es suficiente con los datos, tanto gráficos como estadísticos, procedentes del tráfico; debiéndose profundizar en la evolución de los estados internos de los nodos si se desea obtener un mayor grado de profundidad. De esta forma, puede tanto predecirse el comportamiento de la red, como determinarse los motivos subyacentes de ese comportamiento.

Nodos	1
Paquetes recibidos	4
Paquetes recibidos control	2
Paquetes recibidos datos	2
Paquetes transmitidos	3
Paquetes transmitidos control	2
Paquetes transmitidos datos	1
Ráfagas aceptadas	1
Ráfagas descartadas	1
Ráfagas truncadas	0
Retransmisiones	0
BCP (Reservas) aceptados	0
BCP (Reservas) descartados	0
BCP (Reservas) anulados	0
Reservas sustituidas	0
BCP (Cancelaciones) aceptadas	0
BCP (Cancelaciones) generadas	0
BCP (Cancelaciones) propagadas	0

Tabla 1. Tabla de estadísticas del tráfico simulado

El simulador ofrece dos tipos de vistas: gráfica y numérica. La figura 2 ofrece una vista de la representación gráfica temporal del tráfico que circula por un nodo. El juego de colores se ha escogido con el fin de identificar los paquetes de control asociados a las ráfagas de datos. Puede observarse como, en este ejemplo simple, ante un conflicto entre dos paquetes que deberían transmitirse al mismo tiempo –efecto de congestión–, el paquete azul es transmitido y el verde es descartado, notificándosele al nodo anterior la pérdida de datos.

Esta misma información gráfica puede sintetizarse en una tabla resumen. En este ejemplo, la información estadística que la tabla 1 puede ofrecer es obvia.

9. Conclusiones

Se ha presentado un simulador de redes que permite el análisis y desarrollo de servicios telemáticos en redes de conmutación óptica de ráfagas. El uso de esta herramienta ofrece altas prestaciones en la evaluación de la aplicabilidad de dichas redes en nuevos servicios de teleasistencia e inteligencia ambiental.

10. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación i2CAT, por el proyecto EURO-FGI y por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT) y FEDER dentro de proyecto TSI2006-12507-C03-03.

11. Referencias

- [1] Y. Chen, C. Qiao, X. Yu, "Optical Burst Switching: a New Area in Optical Networking Research," IEEE Network, Vol. 18, Issue 3, pp.16 – 23, May-June 2004.
- [2] M. Yoo, C. Qiao and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks," INFOCOM 2003, Proceedings, vol. 3 pp. 2268-2278.
- [3] M. Yoo and C. Qiao, "Just-Enough-Time (JET): A High Speed Protocol for Bursty Traffic in Optical Networks," IEEE/LEOS Conf. on Technologies for a Global Information Infrastructure, August 1997, pp. 26–27.
- [4] J.J.P.C. Rodrigues, M.M. Freire and P. Lorenz, "One-way Resource Reservation Protocols for IP over Optical Burst Switched Mesh Networks," Systems Communications 2005. Proceedings, pp. 14-17 Aug. 2005.
- [5] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath and S. Bodamer, "Evaluation of Reservation Mechanisms for Optical Burst Switching," International Journal of Electronics and Communications (AE). Vol. 55, No. 1, 2001.
- [6] H. L. Vu and M. Zukerman, "On the deflection routing in QoS supported optical burst-switched networks," IEEE Communications Letters, 6(5), pp. 214-216, May 2002.

- [7] V. Vokkarane, J. P. Jue and S. Sitaraman, "Burst Segmentation: an Approach for Reducing Packet Loss in Optical Burst Switched Networks," IEEE ICC (IEEE, New York, 2002), Vol. 5, pp. 2673-2677.
- [8] V. Vokkarane and J. P. Jue, "Segmentation-Based Nonpreemptive Channel Scheduling Algorithms for Optical Burst-Switched Networks," Journal of Lightwave Technology, Vol. 3, No. 10, October 2005.
- [9] S.Y. Lee, I-Y. Hwang and H-S. Park, "A New Paradigm of Optical Burst Switching System for Lossless Transmission," ICNICONSMCL 2006.
- [10] S. Jung and M. Knag, "A New Collision-free Media Access Protocol for Metro OBS Ring Networks, " ICACT, pp. 790-792, February 2006.
- [11] H. Zang, P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks," Optical Networks Magazine, Jan. 2000, pp.47-60.
- [12] J. Xu, C. Qiao, J. Li and G. Xu, "Efficient Channel Scheduling Algorithms in Optical-Burst-Switched Networks," IEEE INFOCOM, New York, 2003.
- [13] J. Li, C. Qiao and Yang Chen, "Recent Progress in the Scheduling Algorithms in Optical-Burst-switched Networks [Invited]," Journal of Optical Networking, Volume 3, Issue 4, pp. 229-241, April 2004.
- [14] V.M. Vokkarane, G. P. V. Thodime, V. U. B. Challagulla, and J. P. Jue, "Channel Scheduling Algorithms Using Burst Segmentation and FDLs for Optical Burst-Switched Networks," IEEE ICC (IEEE, New York, 2003), Vol. 2, pp. 1443-1447.
- [15] D. Guasch, C. Cervelló y D. Roca, "Sistema, implantado por ordenador, para simular routers ópticos OBS", Patente nº P200502790, 2005.
- [16] D. Guasch, C. Cervelló y D. Roca, "Sistema, implantado por ordenador, para el testeo y validación automática de implementaciones de routers OBS, " Patente nº P200502791, 2005.
- [17] D. Guasch, C. Cervelló, A. Agustí y D. Roca, "Entorno de Validación y Medida para la Construcción de Routers de Conmutación Óptica de Ráfagas", TELECOM I+D, pp. 1-7, 2006.
- [18] D. Guasch, C. Cervelló, A. Agustí y D. Roca, "Construcción de un Entorno de Simulación para Redes Ópticas de Conmutación de Ráfagas", TELECOM I+D, pp. 1-9, 2006.
- [19] D. Guasch, C. Cervelló, D. Roca y A. Agustí, "Aplicación de las Redes Ópticas de Conmutación de Ráfagas en Sistemas de Tele-asistencia", TELECOM I+D, pp. 161-173, 2006.