
ATAD: Una Ayuda Técnica para la Autonomía en el Desplazamiento

ATAD: An Assistive Technology for an Autonomous Displacement

Palabras clave

Discapacidad visual, ayuda técnica, movilidad, sonificación, estereovisión, Raspberry Pi.

Keywords

Visual disability, technical assistance, mobility, sonification, stereovision, Raspberry Pi.

1. Introducción

En este artículo se presenta el proyecto ATAD: una Ayuda Técnica para la Autonomía en el Desplazamiento, realizado entre los años 2009 y 2013 en la Universidad Carlos III de Madrid, departamento de Tecnología Electrónica. El proyecto, orientado a las personas con discapacidad visual, consiste en un producto de apoyo para la detección de obstáculos situados enfrente de la cabeza del usuario.

El conjunto de habilidades y estrategias utilizadas por las personas ciegas para desplazarse de forma independiente y segura se conoce como Orientación y Movilidad (O&M) (La Grow, 2010; Hill & Ponder, 1977; Jacobson, 1993; La Grow & Weessies, 1994). Más específicamente, orientación significaría “saber dónde se está y a dónde se pretende llegar” y movilidad “poder llevar a cabo un plan para desplazarse a un lugar dado” (Martinez, 1998).

Atendiendo a la movilidad, podemos entender claramente cómo afecta la capacidad de visión (Figura 1).

Pablo Revuelta Sanz

<prevuelt@ing.uc3m.es>

Ingeniero de Telecomunicaciones

Belén Ruiz Mezcuca

Directora del Centro Español de Subtitulado y Audiodescripción (CESyA)

José M. Sánchez Pena

Catedrático del Dpto. de Tecnología Electrónica en la Universidad Carlos III de Madrid

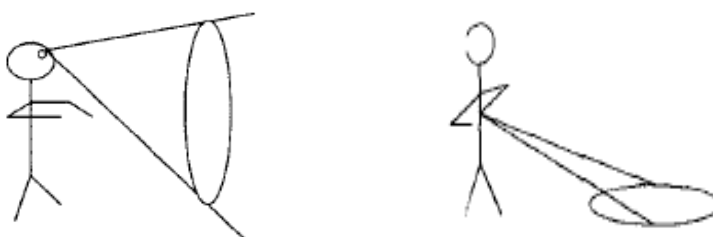
Para citar:

Revuelta Sanz, P. *et al.* (2013): “ATAD: Una Ayuda Técnica para la Autonomía en el Desplazamiento”. *Revista Española de Discapacidad*, 1 (2): 143-154.

<<http://dx.doi.org/10.5569/2340-5104.01.02.09>>



Figura 1. Cono de percepción para una persona vidente y para una invidente usando un bastón blanco (Pissaloux, 2002)



Los productos de apoyo (o ayudas técnicas, en su anterior nomenclatura) son definidos por la Organización Mundial de la Salud como “cualquier producto (incluyendo dispositivos, equipos, instrumentos y software), especialmente producido o disponible de forma generalizada, usado por o para personas con discapacidad” (Heerkens *et al.*, 2010). Éstos, pues, han sido usados desde hace mucho tiempo para ayudar a las personas con algún tipo de discapacidad a llevar una vida más independiente. Además, algunas de estas ayudas han llegado a convertirse en el símbolo de ciertos colectivos (como el bastón blanco para las personas invidentes o la silla de ruedas para las que tienen movilidad reducida). Sin embargo, los productos de apoyo disponibles no solucionan todos los problemas que las personas con discapacidad encuentran en su vida cotidiana. En este estudio, nos centraremos, específicamente, en la movilidad de las personas ciegas.

Este colectivo lo componen unos 314 millones de personas, de las cuales 45 millones son totalmente ciegas (WHO, 2009), de ellas, alrededor del 87% vive en países empobrecidos (WHO, 2009). Buena parte de las causas de la ceguera (el mismo informe lo estima en el 85% de los casos) es fácilmente solucionable si existen los medios adecuados. Este último dato no exime de la responsabilidad social que tienen Estado, centros de investigación y demás tipos de organizaciones en dar soluciones a las personas que no pueden ejercer sus derechos, por ejemplo, de movilidad, con normalidad.

En este artículo se presenta el diseño, la implementación y las pruebas de validación de un nuevo producto de apoyo para el colectivo de personas invidentes.

2. Estado del Arte

Desde hace años se trabaja en el desarrollo de ayudas técnicas y podemos encontrar especulaciones sobre el uso de las mismas desde los albores de la humanidad (Ocklitz, 1996). Cuando la tecnología comenzó a democratizarse en los países más desarrollados económicamente, las ayudas técnicas se beneficiaron de la tecnología disponible comercialmente.

La tecnología aplicada a la movilidad viene siendo aplicada desde finales de los años 60 y 70 (Bolgiano & Meeks, 1967; Heyes, 1979).

Atendiendo específicamente a las ayudas a la movilidad basadas en procesado de imagen y codificación en sonidos, podemos encontrar, entre otras, las siguientes: Sonic Pathfinder (Heyes, 2004), Tyflos (Bourbakis & Kavrakı, 2001), Echolocation (Ifukube *et al.*, 1991), vOICe (Meijer, 1992), FIU Project (Aguerrevere *et al.*, 2004), 3-D Space Perceptor (Miliotis *et al.*, 2003), NAVI (Sainarayanan, 2007), SVETA (Balakrishnan *et al.*, 2006; Balakrishnan *et al.*, 2005; Aguerrevere *et al.*, 2004), AudioMan (Xu

& Fang, 2007), CASBlIP (Castro Toledo *et al.*, 2006), EAV (Gonzalez-Mora, 2006; Rodríguez Ramos & González Mora, 1997), 3-D Support System (Kawai & Tomita, 2001), Brigham Project (Lee *et al.*, 2008), The Optophone (Capp & Picton, 2000) o The Cross-Modal ETA (Fontana *et al.*, 2002).

La idea general de todas estas ayudas técnicas es la misma: un sistema de captura de imágenes o información del entorno –en algunos casos, es multimodal, como en (Bourbakis & Kavraki, 2001) o basado en ultrasonidos, como el proyecto descrito en (Shoval, 1998) o el Pathfinder–, transmite esa información a un módulo de generación de sonidos.

Podemos dividir los paradigmas mediante los cuales se generan dichos códigos de sonidos en dos grandes grupos:

- Mediante función de transferencia (Head Related Transfer Function, o HRTF).
- Mediante código arbitrario.

En el primer caso, los dispositivos calculan la forma en la que el oído percibe los sonidos espaciales según distintas atenuaciones y filtros producidos en el sistema auditivo, junto con la estructura craneal. Este procedimiento obtiene sus mejores resultados cuando se usan fuentes de gran ancho de banda, alcanzado con un 10% de error en elevación y en torno a un 6 en azimut (Pec *et al.*, 2008). El motivo por el cual el error en azimut es menor que en elevación reside en que el estéreo es una fuente de información mucho más precisa que las sutiles reverberaciones en el cráneo cuando se trata de evaluar la elevación de una fuente sonora. En este grupo podemos encontrar el EAV, CASBlIP o el 3-D Support system.

En otros casos se implementan códigos de sonidos arbitrarios, de forma que su utilización requiere un entrenamiento previo. Los principales inconvenientes de estas propuestas son la necesidad de entrenamiento, así como el no sacar partido de la percepción psicoacústica natural, por ejemplo en cuanto al estéreo. En

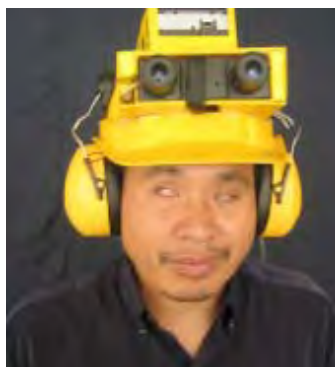
este grupo podemos englobar proyectos como vOICe o el Optophone.

Un ejemplo extremo de dicha arbitrariedad en la correlación “escena-sonido” lo podemos encontrar en el Tyflos, donde la información transmitida al usuario consiste en instrucciones verbales (Bourbakis & Kavraki, 2001).

Para aprovechar las ventajas de cada una de estas aproximaciones se han propuesto sistemas mixtos, donde la ordenada de la imagen (elevación) se implementa mediante una variable arbitraria (que, mediante entrenamiento, espera obtener resultados más precisos que mediante HRTF), mientras que para el azimut, se explota la percepción estéreo del oído, con una exactitud natural mayor que en elevación. De esta forma, el entrenamiento queda simplificado. Ejemplos de este tipo de implementación mixta son los presentados en (Heyes, 2004; Fusiello *et al.*, 2002; Balakrishnan *et al.*, 2006; Sainarayanan *et al.*, 2007).

Un último problema encontrado en el estudio del estado del arte, es la complejidad y poca portabilidad de la mayoría de los sistemas propuestos. Un ejemplo algo extremo es el aparataje de sistemas como el SVETA (Balakrishnan *et al.*, 2005), presentado en la Figura 2.

Figura 2. Sistema SVETA (Balakrishnan *et al.*, 2006)



3. Diseño e Implementación de la ayuda

Una queja habitual realizada por los y las usuarias de ayudas técnicas es que el proceso de diseño se realiza a sus espaldas, con lo que sus reclamaciones (que son, en última instancia, las que determinarán si la ayuda técnica se utiliza de forma generalizada o no y el grado de utilidad de las mismas) no se ven atendidas. Así mismo, la norma ISO 13407 recomienda la participación activa de los usuarios (ISO, 1999). Por ello, se ha decidido tomar en consideración, desde el primer momento, la opinión de expertas y expertos, así como usuarios potenciales, para una primera aproximación a la cuestión. Estas entrevistas de acercamiento, cuyos resultados se detallan a continuación, deberán ser completadas por un estudio sistemático en el futuro. Para ello, se preparó una entrevista con tres preguntas abiertas:

- ¿Qué falla en la movilidad cotidiana? (pregunta para personas invidentes y/o expertas en ceguera).
- ¿Qué ayudas técnicas a la movilidad se conocen y qué críticas se les pueden realizar?
- ¿Qué advertencias se quieren expresar ante el proyecto que están realizando los responsables de ATAD?

3.1 Entrevistas

Durante la fase de diseño de la investigación, se realizaron 11 entrevistas con expertas y expertos en distintos perfiles de interés para el proyecto:

- 5 ingenieras e ingenieros especializados en sonido, música y acústica.
- 2 psicólogas especialistas en atención temprana a niños con discapacidad visual.
- Un músico.
- Una técnica de rehabilitación especializada en ayudas técnicas para la movilidad de personas ciegas.

- 2 directoras de organismos de ayudas técnicas para la discapacidad (CEAPAT y CIDAT-ONCE).

De estas personas, 6 eran ciegas y 5 no presentaban ninguna discapacidad visual. Las respuestas se organizan siguiendo las preguntas. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

- Los principales problemas de la vida cotidiana están relacionados con conseguir orientarse en espacios desconocidos (estaciones de metro, sentirse “en el medio de la nada” y el problema de los ecos), con la falta de acceso a la información visual (falta de paneles en braille) y los obstáculos no detectables con el bastón o el perro-guía (bolardos, contenedores, buzones de correo, vallas de obra o andamios).
- Los usuarios no tienen un conocimiento profundo de las AT ya disponibles o propuestas, y sólo conocen algunas de ellas. Las principales críticas a las AT conocidas están encabezadas por el precio, que es el principal obstáculo para su democratización. Además, no hay economías de escala en este mercado y el público es limitado. Otro problema que se percibe es quién se ocupa del mantenimiento del sistema. El peso es otro problema importante de la mayoría de las AT comerciales, así como la dificultad de uso, es decir, cuán complejo es el dispositivo y su uso: “Los usuarios se volvían locos con el Ultracane”, dijo una entrevistada. Este parámetro está relacionado con un tiempo de entrenamiento largo, como es el caso del EAV (Gonzalez-Mora *et al.*, 2006) o el vOICe (Meijer, 1992).
- Los consejos dados para una nueva AT se relacionan con las críticas anteriores: Bajo precio, posibilidad de integración en el bastón, resistente al agua, fácil de manejar (especialmente para las personas mayores), portátil, tener en cuenta a las personas que no oyen suficientemente bien, diferentes perfiles para diferentes capacidades

cognitivas (es decir, diferentes habilidades para entender conjuntos complejos de sonidos), de una complejidad moderada y la mayor funcionalidad posible, disponibilidad para usuarios potenciales del grupo más amplio posible y aparato no ostentoso. Después de todo, los usuarios reclaman no generar una expectativa poco realista en la presentación de nuevos dispositivos.

3.2 Diseño

La ayuda técnica propuesta procesa el entorno que rodea a la persona que la usa para codificar la información relevante del mismo en un juego de sonidos que den cuenta de su organización. Dicho sistema utiliza técnicas de estereovisión para la obtención de información del entorno, la cual es transmitida a través de dichos sonidos,

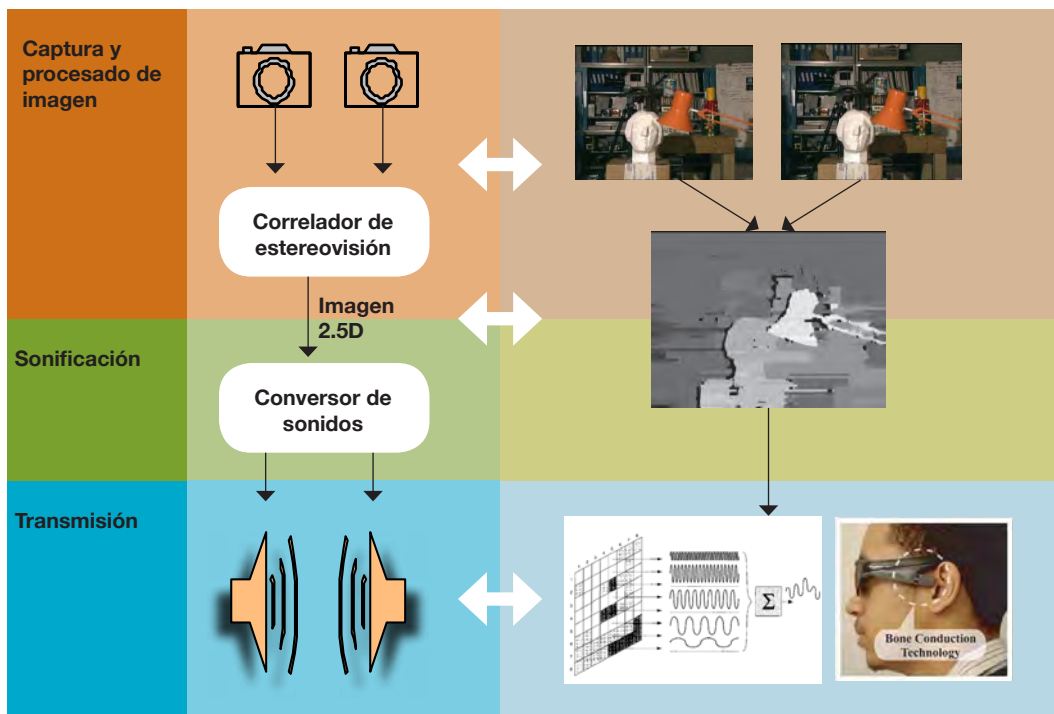
organizados en distintos niveles de complejidad, adaptándose a las necesidades contextuales y/o cognitivas de cada cual.

Esto requiere los siguientes bloques funcionales:

- Etapa de captura y procesado de imagen.
- Etapa de conversión a sonido.
- Etapa de transmisión.

Dicho sistema debe funcionar en tiempo real, esto es, con una tasa de procesado en torno a las 20-30 imágenes por segundo, o “fps” de sus siglas en inglés, y presentar una fiabilidad en la detección de obstáculos suficiente, siendo este punto uno de los más críticos, como sucede siempre que tratamos con sistemas de seguridad. Para ello, se detallan en esta sección sus distintos bloques funcionales. La estructura en la que dichos bloques se relacionan está representada en la Figura 3.

Figura 3. Esquema del sistema propuesto



El sistema funciona de la siguiente manera:

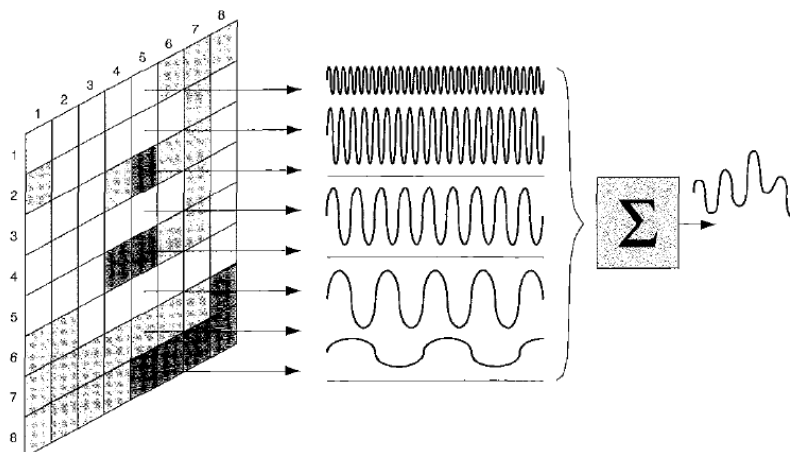
- Dos microcámaras de bajo coste y comerciales capturan las imágenes, siguiendo el paradigma de la visión estereoscópica.
- Un correlador (comparador de ambas imágenes para medir las diferencias entre ellas) extrae el mapa de profundidad de la pareja de imágenes capturada y genera una imagen en formato 2.5D como salida. Esta imagen es una imagen en escala de grises con información sobre las distancias de cada pixel a las cámaras.
- Un sonificador, es decir, un bloque que convierte las imágenes a los sonidos, procesa la imagen 2.5D y genera un par adecuado de sonidos (dado que la sonificación propuesta es binaural).
- Finalmente, el transmisor envía la información acústica al usuario, por medio de un dispositivo de transmisión ósea.

Se utilizó una modificación del paradigma para resolver el problema de sonificación, siguiendo el esquema de la Figura 4.

Los parámetros principales de dicha propuesta quedan resumidos en la siguiente lista:

- La intensidad representará inversamente la distancia. El brillo (la profundidad) se correlaciona con el volumen, y se utiliza un filtro paso bajo y una base estridente (trompeta), de forma que los sonidos lejanos no presentan prácticamente armónicos (ni, por tanto, estridencia), mientras que los más cercanos, siguiendo las recomendaciones de los requisitos de usuario, tienen mucha más estridencia, alertando del peligro que representan.
- La lateralización se lleva a cabo por las diferencias en la intensidad y el tiempo de cada sonido, como se describe en estudios psicoacústicos como (Rayleigh, 1907). Para evitar ambigüedades, un trémolo se aplica a las zonas laterales, teniendo en cuenta que cuanto más cerca de un lateral está un punto, tanto más profundo es el trémolo.
- Sólo los píxeles más cercanos (siendo su valor luminoso más alto que 42, en una gama de [0.255]) se sonificarán.
- El eje vertical está codificado por medio de notas musicales armónicas (que contienen

Figura 4. Point mapping extraído de (Capp & Picton, 2000)



la tónica y quinta de Do cuando todos los niveles de altura están excitados). Sin embargo, también se han propuesto algunos perfiles sencillos, siendo este último el más complejo. En el nivel máximo se utilizan 8 notas para la codificación altura (las citadas tónica y quinta, en 4 octavas). Cualquier acorde armónico permite al usuario percibir la música, en lugar de ruido desagradable.

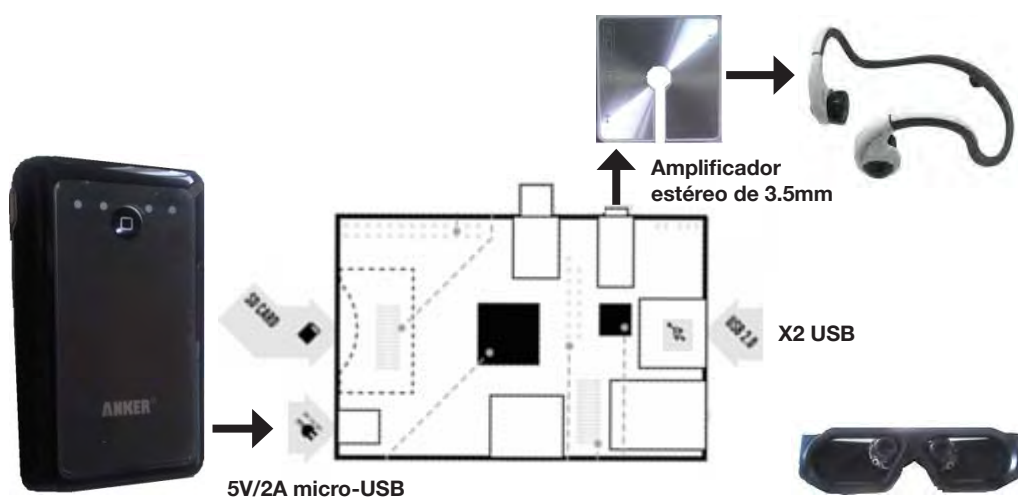
- Se programaron 6 perfiles (numerados de 0 a 5), que cubren distintas complejidades desde una alarma booleana hasta el nivel de 8 líneas verticales y 8 horizontales.

3.3 Implementación

Se utilizó el micro-ordenador Raspberry Pi (RPi). Dicho sistema utiliza dos webcams USB de bajo coste (ICECAT, 2013) con una resolución de 320 x 240 píxeles a 30 fps, y alrededor de 90° de campo de visión.

Asimismo, se utilizó el lenguaje de programación multimedia Puredata (Pd-community, 2013) para la generación de sonidos, y un sistema de transmisión ósea para hacérselos llegar al usuario o usuaria. Complementariamente, el sistema integra una batería, un teclado

Figura 5. (Arriba) Piezas a ser ensambladas. (Abajo) Sistema real con todos sus componentes



numérico para seleccionar el nivel cognitivo y un amplificador de audio para ayudar a percibir los sonidos en entornos ruidosos. Además, para simplificar los cálculos y mejorar el rendimiento, las imágenes finalmente utilizadas fueron de 170×120.

Dicho sistema funciona a 10.1fps con carga de trabajo completa, algo por debajo de las condiciones de tiempo real. Tiene una autonomía en la actualidad de 10h y cuesta, con elementos comprados a nivel de consumidor, 236€.

4. Pruebas

Finalmente, el sistema fue evaluado en condiciones reales (dentro y fuera de casa) por 8 personas de entre 22 y 60 años (edad media 41.38) en febrero de 2013 en Madrid y Las Rozas.

El entrenamiento medio fue de menos de 3 horas, con ejercicios sobre realidad virtual, y con el sistema real, moviéndose dentro de la propia casa en la que cada cual vivía, para ayudarle en la familiarización con los sonidos producidos.

El nivel medio de confort elegido fue de 4.37, cercano al máximo disponible.

La transmisión ósea pareció respetar de forma casi unánime y absoluta los sonidos del mundo real (4.9 sobre una escala Likert de 5 niveles).

Sin embargo, el sistema, debido a errores en la detección, no es percibido como totalmente seguro (2.9 en la misma escala), y aunque hay obstáculos muy fáciles de detectar (como paredes, con un valor de 4.13 sobre 5), otros resultan muy difíciles (como rejas o barras, 2 y 2.43 respectivamente). Se puede consultar la Tabla 1 para ver en detalle la facilidad de detección de diversos obstáculos.

Tabla 1. Facilidad media (y dev. estándar) para cada obstáculo encontrado en la calle

Obstáculo	Facilidad Media (Dev. Std.)
Muros	4.13 (1)
Huecos	3.43 (1.4)
Coches	3.38 (1.1)
Gente	3.25 (1.4)
Portales	3.25 (1)
Silas/mesas	3.2 (1.3)
Árboles/semáforos	3 (1)
Buzones	2.86 (.9)
Puertas	2.86 (.9)
Barras	2.43 (1.5)
Verjas	2 (1.1)
Andamios	1 (.8)

Fuente: Elaboración propia.

Las principales quejas fueron, por orden de mayor a menor repetición en las diversas encuestas, la dificultad para entender la distancia, los falsos positivos del sistema, la insuficiente separación estéreo y la falta de control sobre el volumen.

5. Conclusiones y trabajos futuros

La Tabla 2 resume las condiciones propuestas para cada sub-sección del sistema, así como algunas condiciones globales, y los resultados obtenidos por la HW.

A partir de las respuestas recopiladas de las tres evaluaciones puestas en práctica, así como de distintos problemas identificados en los resultados objetivos o en la propia percepción del autor, se han propuesto distintos trabajos futuros a realizar para solventar y/o mejorar la usabilidad, utilidad y el precio del aparato.

Tabla 2. Resumen de los objetivos de diseño y resultados obtenidos

Área	Design goal	Results HW
Procesado de imagen	Memoria <307.2KB	538KB*
	Tasa de procesado > 24fps	10.1fps
	Precisión > 75%	75.2%
Sonificación	Diseño para tiempo real	Sí**
	Tasa de procesado > 24fps	28.8fps
	Diseño basado en niveles	5 niveles
	Descriptoros precisos	Sí
	Ancho de banda suficiente	Sí (tx. ósea)
	Alarma booleana	Sí
Sistema global	Autonomía > 3h	10h
	Entrenamiento intuitivo	Sí
	Precio < 500€	236€

*Supuestas imágenes de 320x240. Este sistema usa imágenes de 170x120 y, por tanto, la memoria utilizada es 4 veces menor pero, aún así, mayor que el límite inicialmente establecido.

**Con la excepción del vibrato el cual, aún así, trabaja en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia.

Dichas líneas de trabajo están divididas en grupos, según atañan al procesado de imagen, a la sonificación o al diseño HW.

En el primer caso, la principal línea de trabajo a acometer para mejorar la AT será reducir los errores del sistema de estereovisión, a fin de eliminar los falsos positivos que tanta molestia han causado a las personas participantes. El incremento de precisión debería llevar a localizar más fácilmente algunos de los obstáculos con menor puntuación de la Tabla 1. Otras cuestiones a abordar serán las relativas a la selección del rango de detección (en distancia) y sonificación, la división del área escaneada según modos de trabajo (búsqueda, seguir pared, global...), opciones de procesado de colores o intensidad de luz, búsqueda de objetos predeterminados, OCR (transformación de texto a voz sintética a partir de la imagen capturada por la cámara), etc.

En cuanto a la sonificación, se deberá mejorar la definición de los sonidos para representar más claramente la distancia, así como separar más claramente el espaciado estéreo. Además, se

propuso invertir la zona de vibrato, para que los objetos centrales vibraran y los laterales no, pues esto es percibido más intuitivamente como señal de peligro que los sonidos de envolvente plana. En otro orden de cosas, aún en este campo, hay que ponderar adecuadamente el volumen total de los objetos, pues en la versión actual se da una suma lineal del volumen de cada píxel, con lo que aparecen situaciones extrañas, como que un objeto grande más lejos suene más fuerte (por tener más píxeles, aunque de menor intensidad) que un objeto cercano y más pequeño. Por último, se propuso incorporar algunos mensajes verbales sencillos, como “vía libre” o “peligro”, con la posibilidad de ir completándolos y flexibilizándolos.

En cuanto al HW, habría que aumentar la potencia de cómputo, para poder incorporar algoritmos más precisos y seguir trabajando en tiempo real. Por otro lado, el control de exposición y balance de blancos de las cámaras debe estar sujeto a control, pues al ser automático, se producen desajustes. La autonomía, por su parte, ha resultado ser demasiado alta, necesitando una batería

demasiado grande y pesada. Ésta podría ser reducida fácilmente a la mitad, aligerando el sistema total aún reduciendo la autonomía a 5h. El sistema debe incorporar un método de control automático de ganancia (AGC de sus siglas en inglés) y un amplificador de sonido controlable por el o la usuaria. Por último, otras cuestiones no tan críticas pero fácilmente resolubles serían incorporar distintos controles sobre el nivel deseado, unificar transmisión ósea y gafas (hasta ahora iban por separado), meter todo el sistema en una caja o incluso desarrollar un videojuego online que permita a la gente entrenarse y evaluar el sistema antes de probarlo en la vida real.

En definitiva, se presenta un nuevo producto de apoyo, en estado de prototipo, que permite complementar al bastón blanco o al perro-guía en la detección de obstáculos superiores, otorgando mayor fiabilidad en los desplazamientos por entornos desconocidos o cambiantes. El entrenamiento seguido hasta la fecha se considera demasiado corto y superficial (con menos de 3 horas de media antes de salir a la calle a probar el sistema), lo que influye negativamente en las evaluaciones. Consideramos que un dispositivo de estas

características necesitaría entrenamientos más largos o un uso más estable para desplegar la potencialidad que encierra la sonificación en el campo de la movilidad. Creemos que unas horas al día de uso en un entorno conocido durante una semana mejoraría notablemente los resultados y la facilidad percibida. Trataremos de confirmar estas hipótesis en futuros experimentos.

Aunque el dispositivo propuesto fue percibido como portátil, barato y usable, aún quedan mejoras importantes que hacer antes de que esté en un estado plenamente funcional y, por tanto, comercializable.

Agradecimientos

Queremos agradecer la beca ofrecida por la Universidad Carlos III de Madrid y el Centro Español del Subtitulado y la Audiodescripción, así como a la treintena de personas que han participado en entrevistas y en las distintas pruebas realizadas.

Referencias bibliográficas

- Aguerrevere, D. *et al.* (2004): "Portable 3D sound / sonar navigation system for blind individuals". *Paper presented at the 2nd LACCEI International Latin American Caribbean Conference on Engineering Technology*, Miami, FL., 2-4.
- Balakrishnan, G. *et al.* (2006): "Fuzzy matching scheme for stereo vision based electronic travel aid". In: *IEEE Region 10 Conference (TENCON 2005)*, 21-24 November 2005, Melbourne, Australia, 1-5: 1142-1145.
- Balakrishnan, G. *et al.* (2005): "Stereo Image to Stereo Sound Methods for Vision Based ETA". In *Computers, Communications, & Signal Processing with Special Track on Biomedical Engineering, 2005. CCSP 2005. 1st International Conference on Kuala Lumpur, Malaysia, 14-16 Nov. 2005*: 193-196.
- Bolgiano, D. & Meeks, E.J. (1967): "A laser cane for the blind". *IEEE Journal of Quantum Electronic*, 3 (6): 268.
- Bourbakis, N.G. & Kaviraki, D. (2001): "An intelligent assistant for navigation of visually impaired people". In *Proceedings of the 2001 IEEE 2nd International Symposium on Bioinformatics and Bioengineering Conference*, IEEE: 230-235.
- Capp, M. & Picton, Ph. (2000): "The Optophone: An Electronic Blind Aid". *Engineering Science and Education Journal*, 9 (3): 137-143.
- Castro Toledo, D. *et al.* (2006): "3D Environment Representation through Acoustic Images. Auditory Learning in Multimedia Systems". *Proceedings of Concurrent Developments in Technology-Assisted Education*: 735-740.
- Fontana, F. *et al.* (2002): "A Cross-Modal Electronic Travel Aid Device". *Mobile HCI 2002, Lecture Notes on Computer Science*, 2411: 393-397.
- Fusiello, A. *et al.* (2002): "A Multimodal Electronic Travel Aid Device". In *Proc. International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'02)*, Pittsburgh, PA, Oct. 2002: 39-44.
- Gonzalez-Mora, J. *et al.* (2006): "Seeing the world by hearing: Virtual Acoustic Space (VAS) a new space perception system for blind people". *International Conference on Information & Communication Technologies: from Theory to Applications (IEEE Cat.0.06EX1220C)*, 6-ROM.
- Heerkens, Y.F. *et al.* (2010): "Classification and terminology of assistive products". In JH Stone & M Blouin (Eds.): *International Encyclopedia of Rehabilitation* (en línea). <<http://cirrie.buffalo.edu/encyclopedia/en/article/265/>>.
- Heyes, T. (2004): "The domain of the sonic pathfinder and an increasing number of other things" (en línea). <<http://www.sonicpathfinder.org>>.
- Heyes, A.D. (1979): *Auditory Information and the mobile blind*. England: University of Nottingham.
- Hill, E. & Ponder, P. (1977): "Orientation and mobility techniques: A guide for the practitioner". *Rehabilitation Literature*, 38: 297-298.
- ICECAT (2013): NGS NETCam300. <<http://icecat.es/p/ngs/netcam-300/webcams-8436001305400-netcam300-3943712.html>>.
- Ifukube, T. *et al.* (1991): "A Blind Mobility Aid Modeled After Echolocation of Bats". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(5): 461-465.
- ISO 13407 (1999): "Human-Centred Design Processes for Interactive Systems, ISO/TC159/SC4", International Standard.
- Jacobson, W. (1993): *The art and science of teaching orientation and mobility to persons with visual impairments*. New York: American Foundation for the Blind.
- Kawai, Y. & Tomita, F. (2001): "A Support System for Visually Impaired Persons Using Acoustic Interface - Recognition of 3-D Spatial Information". *Human-computer interaction; Proceedings of the HCI international 2001 International conference*; 9th, Human-

- computer interaction; Proceedings of the HCI international 2001: 203-207.
- La Grow, S.J. (2010): "Orientation to Place", In: Stone, J.H. y Blouin, M. (eds.): *International Encyclopedia of Rehabilitation* (en línea). <<http://cirrie.buffalo.edu/encyclopedia/es/article/3/>>.
- La Grow, S.J. & Weessies, M. (1994): *Orientation and mobility: Techniques for independence*. Palmerston North, New Zealand: Dunmore Press.
- Lee, D.J. *et al.* (2008): "Hardware Implementation of a Spline-Based Genetic Algorithm for Embedded Stereo Vision Sensor Providing Real-Time Visual Guidance to the Visually Impaired". *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*: 1-10.
- Martinez, C. (1998): *Orientation and Mobility Training: The Way to Go* (Rep. No. Texas Deafblind Outreach).
- Meijer, P.B.L. (1992): "An Experimental System for Auditory Image Representations". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39: 112-121.
- Milios, E. *et al.* (2003): "Sonification of range information for 3-D space perception". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 4 (11): 416-421.
- Ocklitz, A. (1996): "Artificial respiration with technical aids already 5000 years ago?". *Anaesthetist*, 45: 19-21.
- Pd-community (2013): Pure Data (en línea). <<http://puredata.info/>>.
- Pec, M. *et al.* (2008): "Individual HRTF Measurements for Accurate Obstacle Sonification in an Electronic Travel Aid for The Blind". *International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*: 235-238.
- Pissaloux, E. (2002): "A characterization of vision systems for blind people mobility". *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37349)*, 6.
- Rayleigh, L. (1907): "On our perception of sound direction". *Philos. Mag.*, 13: 214-232.
- Rodríguez Ramos, L.F. & González Mora, J.L. (1997): *Creación de un espacio acústico virtual de aplicación médica en personas ciegas o deficientes visuales* (Rep. No. From: <www.iac.es/proyect/eavi/documentos/EXPBEAV_25VI.DOC>).
- Sainarayanan, G. *et al.* (2007): "Fuzzy image processing scheme for autonomous navigation of human blind". *Applied Soft Computing*, 7: 257-264.
- Shoval, S. *et al.* (1998): "Auditory Guidance with the Navbelt-A Computerized Travel Aid for the Blind". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 28: 459-467.
- WHO (2009): Visual impairment and blindness (en línea). <<http://www.who.int/entity/mediacentre/factsheets/en>>.
- Xu, J. & Fang, Z. (2007): "AudioMan: Design and Implementation of Electronic Travel Aid". *Journal of Image and Graphics*, 12: 1249-1253.