
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ACÚSTICO DETECTOR DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

Larisa Dunai, Ismael Lengua, Fernando Brusola Simón y Guillermo Peris-Fajarnés

RESUMEN

Se describen las características más significativas del diseño y desarrollo de un dispositivo acústico detector de obstáculos para las personas con discapacidad visual. El estudio está enfocado en la descripción de las etapas de diseño, la motivación de porqué es importante el diseño, y el desarrollo del primer prototipo. Los resultados obtenidos del dispositivo tienden a demostrar que la tecnología utilizada para la detección de obstáculos para los vehículos

puede ser utilizada en pequeños dispositivos para personas con discapacidad visual. Un buen diseño les permite a los ingenieros desarrollar los productos de forma más sencilla. El trabajo remarca las principales características de un buen diseño industrial y pretende inspirar a los diseñadores para involucrarse en la integración de tecnologías para mejorar la vida de las personas con discapacidad visual teniendo en cuenta el aspecto estético.

Introducción

Durante las últimas siete décadas los dispositivos electrónicos de ayuda a la movilidad han experimentado una gran evolución. Los avances tecnológicos han permitido a los diseñadores y a los ingenieros mejorar el desarrollo de dichos dispositivos tanto del punto de vista tecnológico como del punto de vista de diseño. Debido a la implicación política y social, el diseño de la tecnología doméstica, del automóvil y de diseño de muebles, tanto del hogar como de oficina, se ha convertido en un componente significativo en el diseño de productos, un diseño que permita la accesibilidad y la comodidad para todos los usuarios. Actualmente, la ergonomía juega un papel muy importante en el diseño industrial. En este aspecto, el diseño ergonómico del dispositivo electrónico de ayuda a la movilidad para las personas con discapacidad visual tiene una gran importancia,

debido a su implicación directa con el usuario final, el rendimiento del producto y el marketing.

El presente trabajo describe el diseño de un dispositivo electrónico de movilidad para personas con discapacidad visual. Se describen los procesos principales del diseño del producto, desde el proceso de análisis hasta la evaluación final del mismo. En el proceso de análisis se enfoca la necesidad del dispositivo y se hace un estudio del usuario final y sus necesidades. En las especificaciones se describen todos los elementos necesarios para el desarrollo del dispositivo y su función. Bajo diseño conceptual se describen las características del dispositivo electrónico utilizado y las necesidades ergonómicas para el diseño del producto. En el desarrollo y las pruebas del prototipo se presentan la implementación de todos los componentes del dispositivo electrónico para las personas ciegas y las pruebas de laboratorio. Finalmente, en la

evaluación del dispositivo se presentan los datos de la misma en términos de idoneidad, para asegurar la seguridad y actuación del dispositivo electrónico detector de objetos basado en sonidos acústicos, así como los comentarios de los usuarios y el proceso de validación.

Las ventajas del dispositivo presentado frente a los demás dispositivos desarrollados son que el presente dispositivo representa la información tridimensional del entorno mediante sonidos acústicos binaurales. Los sonidos utilizados en el dispositivo son sonidos cortos medidos en cámaras anecoicas.

Diseño del Dispositivo Acústico Detector de Objetos

En la presente sección se presentan las etapas principales necesarios para el diseño del dispositivo acústico detector de obstáculos para las personas invidentes tanto del punto de vista de la ingeniería y

desarrollo como de la perspectiva de la comunidad de ciegos. Del punto de vista del diseñador, es necesario analizar e implementar varios pasos: el análisis, las especificaciones, el diseño conceptual, el prototipo, el desarrollo y el test y la evaluación del dispositivo (Figura 1).

Análisis

El objetivo principal de la etapa de análisis es identificar la necesidad del dispositivo, quien son los usuarios finales, para que entorno se utilizará el dispositivo, etc. Es necesario hacer un estudio del campo sobre los dispositivos existentes tanto a nivel de dispositivo comercial como prototipo de laboratorio (Gould, 1997). Y para entender la necesidad del dispositivo, es imprescindible estudiar los usuarios finales, que en este caso son las personas con discapacidad visual. Según la Organización Mundial de Ciegos, en el mundo hay 285 millones de personas con

PALABRAS CLAVE / Detector de Objetos / Diseño de Dispositivos / Dispositivo Acústico / Sensores /

Recibido: 19/06/2014. Modificado: 27/10/2015. Aceptado: 28/10/2015.

Larisa Dunai. Licenciatura y Maestría en Ingeniería Electrónica, Universidad Técnica de Moldavia. Doctora en Ingeniería del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

Profesora, UPV, España. Dirección: Departamento de Ingeniería Gráfica, Centro de Investigación en Tecnologías Gráficas, UPV. Camino de Vera, Valencia, España. e-mail: ladu.upv.es

Ismael Lengua. Ingeniero en Telecomunicaciones, Máster y Doctor en Ingeniería de Diseño UPV, España. Profesor, UPV, España.
Fernando Brusola Simón. Doctor Ingeniero Industrial,

UPV, España. Profesor, UPV, España.
Guillermo Peris Fajarnés. Ingeniero Agrónomo y Doctor, UPV, España. Profesor, UPV, España.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ACOUSTIC OBJECT DETECTOR DEVICE FOR BLIND PEOPLE

Larisa Dunai, Ismael Lengua, Fernando Brusola Simón and Guillermo Peris-Fajarnés

SUMMARY

The main design and development characteristics of an acoustic object device for blind people are presented. The study focuses on the presentation of the main steps of device design, the motivation why this product is important and the development of the first prototype. The results from the device evaluation yield to demonstrate that electronic elements using for vehicles can be used for small object detector devices for

blind people and incorporated into a small sunglass. Good design helps engineers to develop the product in an easy way. The work remarks the main characteristics for a good device design and intends to inspire designers to become involved in the use of integrated technologies to promote independent lives for visually disabled people and promote an esthetically adequate design.

DESENHO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ACÚSTICO DETECTOR DE OBSTÁCULOS PARA PESSOAS COM DISCAPACIDADE VISUAL

Larisa Dunai, Ismael Lengua, Fernando Brusola Simón e Guillermo Peris-Fajarnés

RESUMO

Descrevem-se as características mais significativas do desenho e desenvolvimento de um dispositivo acústico detector de obstáculos para as pessoas com incapacidade visual. O estudo está focado na descrição das etapas de desenho, a motivação do porque é importante o desenho, e o desenvolvimento do primeiro protótipo. Os resultados obtidos do dispositivo tendem a demonstrar que a tecnologia utilizada para a detecção de obstáculos

para os veículos pode ser utilizada em pequenos dispositivos para pessoas com incapacidade visual. Um bom desenho permite aos engenheiros desenvolver os produtos de forma mais simples. O trabalho destaca as principais características de um bom desenho industrial e pretende inspirar aos desenhadores para envolver-se na integração de tecnologias para melhorar a vida das pessoas com incapacidade visual tendo em conta o aspecto estético.

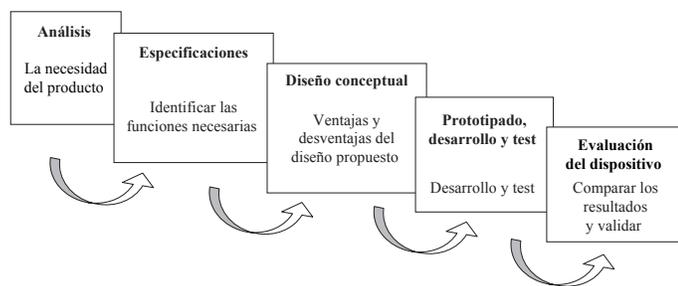


Figura 1. Pasos para un buen diseño.

discapacidad visual y más de 39 millones son personas ciegas (WBU, 2013). Dos millones de ciegos viven en Europa, 3,2 viven en América y 5,9 en África. Más de 80% de personas con discapacidad visual viven en los países en desarrollo. Carroll (1961) describe el impacto de la ceguera en los humanos y como les afecta en su vida diaria. Lo primero que hay que mencionar es:

La pérdida de la integridad física. Se notan diferentes a los demás, pierden la confianza en si mismo, ya que la visión es el sentido dominante dentro de los cinco sentidos principales del ser humano. Con la ceguera, los invisibles deben aprender a desarrollar y orientar por los demás

sentidos así como el sentido de la escucha, el táctil, el olfato que se transforman en los sentidos indispensables para la supervivencia de las personas ciegas.

La pérdida del contacto con el entorno. Las personas ciegas tienen grandes problemas con la orientación espacial y el reconocimiento de las formas de los objetos.

La pérdida de seguridad de la luz. La luz representa el bienestar y seguridad, con la ceguera cesa la luz volviéndose todo oscuro y las personas ciegas se sienten inseguras, desarrollando temor.

La pérdida de la movilidad. Las personas ciegas pierden

la independencia, sintiéndose frustrados al no poder desplazarse de forma autónoma, necesitando la compañía de otros.

La pérdida de la comunicación. Leer y escribir, dos habilidades comunicativas que se pierden, necesitando aprender nuevos métodos, como el braille.

La pérdida de percepción y el placer, pérdida de trabajo, aficiones, hobbies, etc.

A pesar de que hay desarrolladas aplicaciones de reconocimiento de colores, el braille, los lectores de texto en los móviles, etc., que mejoran la calidad diaria de las personas ciegas, ello no es suficiente. La movilidad es la habilidad en la que se basa la mayoría de las actividades de las personas; es la habilidad de viajar seguro, confortable, con gracia e independiente por el entorno (Foulke, 1971). A este fin, las personas ciegas carecen de un dispositivo o aplicación que les permita viajar y desplazar por entornos tanto conocidos como desconocidos, integrarse en la sociedad, etc.

Después de la segunda Guerra Mundial, con el desarrollo del sensor, se han investigado y desarrollado muchos dispositivos electrónicos de ayuda a la movilidad, con el fin de mejorar la forma de vida de las personas ciegas que ayudaría a navegar tanto por los entornos cercanos controlados como desconocidos. Dunai y Dakopoulos describen y clasifican en más de 40 dispositivos por su tecnología de entrada de datos (Dakopoulos y Burbakis, 2010; Dunai *et al.*, 2011, 2013). Los dispositivos más recientes se basan en la tecnología de visión artificial, sensor y táctil. Sin embargo, todos están a nivel de prototipo, no son dispositivos comerciales debido al rechazo de las personas ciegas, por motivo de inseguridad e incomodidad. Con este fin, nuestro objetivo es diseñar y desarrollar un dispositivo electrónico de ayuda a la movilidad a las personas ciegas.

Especificaciones

El objetivo principal de la etapa de especificaciones representa la función de

identificación del dispositivo y/o los elementos y confirma las funciones del dispositivo en general. El objetivo principal del dispositivo acústico detector de obstáculos es detectar los objetos del entorno y transformar dicha información en señales acústicas informando así a las personas ciegas de la presencia de dichos obstáculos. Para conseguir el objetivo propuesto, es imprescindible: a) desarrollar el dispositivo de percepción del entorno, b) desarrollar la interfaz acústica, c) desarrollar la interfaz cognitiva que interpreta la información adquirida del entorno, d) desarrollar un sistema inteligente que determine los posibles riesgos de los obstáculos en un entorno tridimensional, e) crear una interfaz para el usuario final con las principales características siendo capaz de representar el entorno real mediante la información acústica, y f) integrar todas las interfaces en una plataforma única.

En resumen, el desarrollo del sistema cognitivo comprende los siguientes requerimientos: 1) definir el nivel de experiencia del usuario con dispositivos acústicos detectores de obstáculos, 2) definir el tipo de seguridad necesaria, 3) definir el software y hardware necesario, 4) definir el soporte técnico necesario.

Las especificaciones funcionales relativas a la percepción del entorno incluyen: i) desarrollo del modelo tridimensional dinámico utilizando dos aplicaciones diferentes de percepción, ii) adaptación y desarrollo del sensor tridimensional basado en las medidas de tiempo de vuelo de la luz, un sensor foto sensible de alta velocidad 3DCMOS y un láser infrarrojo, y iii) definición y desarrollo de la interfaz acústica que transformará la información del entorno percibido por los sensores en sonidos acústicos

Diseño conceptual

Normalmente, el diseño conceptual se entiende como

acción de apoyo al desarrollo del producto (Wixon *et al.*, 1990; Wang *et al.*, 2002). El diseño conceptual empieza con la definición de las especificaciones y termina con la descripción de las soluciones. Rubin (1994) menciona que el diseño conceptual debe incluir: desarrollar los requisitos del producto; definir los modelos y describir el sistema del punto de vista del usuario; determinar la asignación de las funciones entre el dispositivo y el usuario; integrar los factores humanos; definir los modelos conceptuales de los principios de funcionamiento, el manual de instrucciones y los test.

Una vez definido el objetivo del diseño conceptual, se aplica en el diseño del dispositivo acústico detector de obstáculos, definiendo los requisitos estructurales, especificaciones y las soluciones (Figura 2):

1) Definir el peso máximo del dispositivo para llevar en la cabeza (el sensor 3D-CMOS, el láser y los auriculares, que pesan unos 150g) y un dispositivo de mochila que contiene una batería de 12V, un ordenador portátil y una FPGA de 500g, para un peso total de unos 650g y 800g sin portátil.

2) Dimensiones de volumen: las gafas tienen las medidas de 120x45x28mm y el volumen de la FPGA de 150x200x100mm/microordenador.

3) Portabilidad: integración de la electrónica del dispositivo que se llevara en la cabeza en un par de gafas, el dispositivo debe ser lo más ligero posible, económico y estéticamente bien diseñado.

4) Autonomía: la batería externa o la toma de corriente es imprescindible; el dispositivo debe operar durante un tiempo de ~2h.

5) Aspectos estéticos: el diseño visual es un factor importante en el dispositivo así como el diseño hardware y software. Es de mencionar que el aspecto visual es lo primero que se aprecia del producto dando la primera impresión sobre si el producto es bueno o no. Norman (1998) menciona que muchos productos carecen de un diseño estético, necesitando buscar el diseño adecuado para la aprobación del usuario. En muchos casos, es esencial sacrificar la belleza por usabilidad, costes y funcionalidad.

6) Seguridad y confianza. Los láseres del sistema son de primera clase y con respeto a los sonidos aplicados, el nivel sonoro está diseñado según los estándares de seguridad y no pasa los 85dB, la tensión baja y la intensidad son máximo 9V y 500mA.

7) Características varias: El tiempo máximo de usabilidad depende del usuario; el dispositivo no interfiere con las habilidades del usuario; el sistema es ajustable a la constitución física del usuario; el sensor 3DCMOS está utilizado para detección de obstáculos en los vehículos y está compuesto por 64 láseres con un ángulo de 64°, la distancia es de 0,5 a 5m, la frecuencia es de 25Hz y la velocidad es de 10 imágenes/seg con un intervalo del espectro de 300Hz a 18000Hz.

8) Adaptación: El sistema permite actualizaciones.

9) Simplicidad: El dispositivo acústico detector de obstáculos es simple y fácil de manejar.

10) Feedback: El sistema se basa en la respuesta sonora, mediante sonidos acústicos el usuario percibe la información del entorno y mediante comandos de voz controla la interfaz.

Desarrollo y pruebas del prototipo

En cuando todos los requisitos, las especificaciones y las soluciones del desarrollo del dispositivo acústico detector de obstáculos han sido definidos, se procede al desarrollo del prototipo y las pruebas experimentales. Esta fase permitirá aportar soporte técnico en el desarrollo del prototipo, definir la usabilidad de los hardware y software, y aportar un *feedback* en el diseño del producto.

Marxt y Hacklin (2005) mencionan que “el desarrollo del producto representa un término que se refiere a la creación de un producto nuevo o a la mejora de un producto, así como a la puesta en el mercado.” Teniendo en cuenta este concepto, el objetivo principal del presente trabajo es crear un dispositivo cognitivo acústico detector de obstáculos capaz de interpretar la información del entorno mediante sonidos acústicos, como dispositivo de ayuda a las personas con discapacidad visual o ciegos totales. La información tridimensional del entorno se genera por el sensor 3D-CMOS (Figura 3) y está analizada y modificada para la creación de los sonidos acústicos binaurales. El diseño del prototipo se enfoca en miniaturizar el dispositivo detector de obstáculos, desarrollado por SIEMENS^{AG}, utilizado para detección de obstáculos en las carreteras, solucionando el problema de volumen y peso, proporcionando una capacidad de funcionamiento alta y comunicación con la interfaz audio y de datos. El sistema sensorial y audio están integrados en un dispositivo para llevarlo en la cabeza (Figura 4) conectado a un pequeño ordenador o un

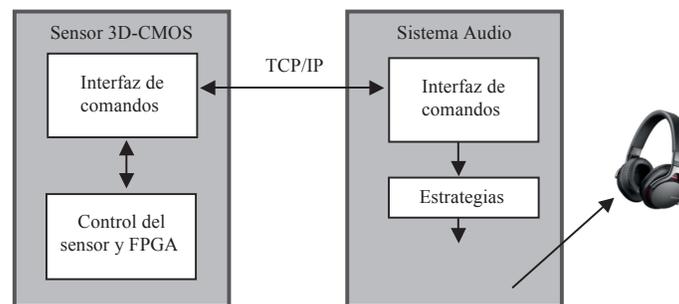


Figura 2. Proceso de diseño del dispositivo.

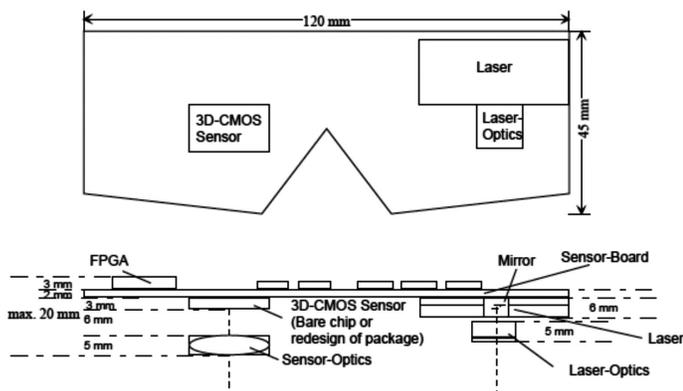


Figura 3. El circuito del sensor integrado en las gafas.



Figura 4. Diseño virtual de las gafas con el sensor 3D-CMOS.

dispositivo lógico programable (FPGA, por sus siglas en inglés). El sensor 3D-CMOS mide la distancia entre los objetos del entorno para cada uno de los píxeles mediante el método de medida tiempo de vuelo (TV), basado en un obturador electrónico ultra rápido y un pulso de láser escáner. El sensor 3D-CMOS combina una fiabilidad de percepción alta, precio de producción bajo y dimensiones pequeñas. El sistema sensor proporciona datos de distancia y dirección en coordenadas polares para una serie de 64 sensores alineados en horizontal. Se percibe una fuerte represión de la iluminación de fondo mediante una correlación doble de muestras. Las medidas de distancia y dirección para cada uno de los píxeles se transfieren por el puerto TCP/IP al ordenador o FPGA, mediante el protocolo de comunicación (Figura 5).

El equipo principal contiene el sensor 3D-CMOS, un sistema análogo para la conversión

análogo a digital de la señal del sensor y una FPGA para el control del sistema el procesamiento de datos. Como memoria añadida tiene una memoria SRAM y una memoria Flash, necesarias para el procesamiento de datos digitales. Para la realización del proceso de configuración de la FPGA se ha añadido un dispositivo lógico programable EPLD. El diseño de la FPGA para la tarjeta CPU está programado en el lenguaje VHDL, llevando incrustado un procesador NIOS con un núcleo. El lenguaje VHDL se utiliza para controlar los datos del sensor.

El software del sistema audio está diseñado para ser implementado en la FPGA y/o microordenador, que es capaz de reproducir hasta 128 sonidos diferentes simultáneamente en tiempo real. Es de mencionar que los sonidos se generaron y procesaron previamente con las funciones de transferencia a la cabeza (HRTF, por sus siglas en

inglés) para cada una de las coordenadas del láser. Los sonidos acústicos reproducidos por el sistema audio representan información limitada en el plano frontal horizontal de 62° localizado a nivel del eje interaural que al mismo tiempo está a nivel del eje interocular. El plano propuesto representa una forma semicircular con orientación frontal y el centro en el medio del eje interaural.

El módulo estratégico del sistema determina la forma de transmitir los datos de la imagen recibida por el sensor y transformarla en sonidos acústicos, así como la toma de decisiones del orden de representación de los sonidos, y analiza cada uno de los sonidos antes de reproducirlos. Es decir que el módulo estratégico controla el comportamiento del dispositivo acústico detector de obstáculos. La precisión del módulo sensor en ángulo y distancia en tiempo real es de 99%. La precisión del módulo audio en tiempo, nivel de intensidad, etc. dependen de la precisión audio de la persona y como sistema se ajustan a una precisión de 99%.

Para las pruebas del prototipo se han diseñado tres tipos de pruebas: 1) El protocolo de aprendizaje básico, basado en una serie de ejercicios de complejidad diferente (una columna estática, dos columnas estáticas, una pared plana, una columna situada por delante de la pared); y el protocolo de aprendizaje básico, que ha sido diseñado con el objetivo de aprender la funcionalidad del dispositivo, adaptarse al mismo y

externalizar los sonidos percibidos por el usuario mediante auriculares. 2) El test de laboratorio compuesto por dos laberintos creado con por cuatro pares de columnas y una pared de material blando. 3) El test del entorno abierto, compuesto por un entorno controlado llamado test de movilidad A, y un entorno no controlado situado en un centro comercial y llamado el test de movilidad B.

En las pruebas se han guardado los datos: el tiempo de recorrido absoluto, tiempo de recorrido preferido, el tiempo de recorrido relativo bajo las condiciones de las pruebas, el número de choques accidentales y el número de correcciones (desvíos de dirección).

Evaluación del Dispositivo

La evaluación del dispositivo es un proceso que conduce durante todo el ciclo de vida del dispositivo y necesita: identificar los requisitos esenciales necesarios para soportar los datos del dispositivo acústico detector de obstáculos; identificar los datos válidos relevantes para el dispositivo y su previsto uso; evaluar los datos en términos de idoneidad para establecer seguridad y el cumplimiento del dispositivo acústico detector de objetos; y recopilar todos los datos de las pruebas, analizarlos y hacer conclusiones con respecto al principio de funcionamiento, eficacia, seguridad del dispositivo.

Los datos recopilados ayudaron a los diseñadores del dispositivo y los ingenieros,

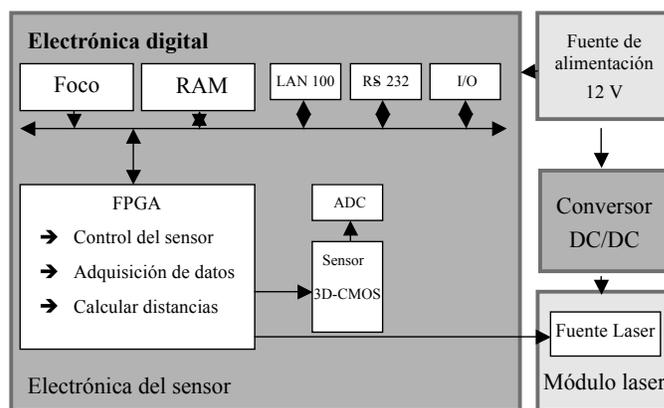


Figura 5. El proceso de funcionamiento del sensor 3D-CMOS.

crear un dispositivo acústico detector de obstáculos que sea usable, fácil de aprender a manejar, con una interfaz gráfica fácil para el usuario.

Evaluación objetiva

El dispositivo ha sido probado y evaluado por 25 personas invidentes o con discapacidad visual. Diez de ellas fueron de Alemania, diez de Italia y cinco de España. Se desarrollaron diez prototipos que se dejaron de prueba a los usuarios para que los prueben en su casa durante un par de semanas.

En las primeras sesiones, las personas ciegas aprendieron a utilizar el dispositivo. Durante las pruebas, se observaron diferencias importantes entre las respuestas de los participantes. Los participantes más jóvenes necesitaron menos tiempo de aprendizaje y adaptación con el dispositivo que los participantes mayores.

En las pruebas de laboratorio, el objetivo es desplazarse por el laberinto sin el bastón, solo con el dispositivo sin tropezar con los obstáculos. En este caso, los participantes se desplazaron con precaución y muy despacio aprendiendo a mover la cabeza arriba y abajo, a la derecha y a la izquierda. Hay que tener en cuenta de que los ciegos no mueven la cabeza. Tenían que identificar las columnas, sus alturas y grosor, y detectar los huecos entre ellas que les llevarán hasta el siguiente par de columnas. En esta prueba los ciegos tuvieron unos resultados espectaculares de movilidad, incluso los ciegos con edad avanzada y los ciegos de nacimiento.

Los test de movilidad A y B han sido retos para los ciegos. El factor tiempo ha sido dos veces más grande comparando con el tiempo del trayecto con el bastón.

Evaluación subjetiva

“...Ha sido difícil decir donde estaban situados los dos objetos o solo uno o un objeto delante de una pared. Se oían solo chasquidos todo el tiempo que para mí sonaban como la lluvia en el cristal” (ciego de 48 años).

“...A la derecha solo oía unos chasquidos intensos hasta que me moví un poco, lo que me indicó que debería haber un objeto grande a una distancia que me dio pistas de desplazarme adelante” (ciego de 67 años).

“...el dispositivo es más que un dispositivo de navegación que me da acceso al mundo. Las hojas, los arbustos, los troncos o los bancos tienen cada uno de ellos su color acústico. Es como que la naturaleza me comunica en su idioma que debo aprender y aprovechar. Una vez aprendido y comprendido el funcionamiento de los códigos esto me proporciona mucha información sobre el entorno en que estoy y los objetos que me rodean, que me permite desplazarme con seguridad” (ciego de 62 años).

En las pruebas de entrenamiento, los participantes ciegos han conseguido aprender la funcionalidad del dispositivo, han aprendido a externalizar los sonidos escuchados mediante los auriculares, han aprendido a diferenciar los timbres de los sonidos y que cada sonido significa una posición espacial de los objetos del entorno.

Algunos participantes ciegos reconocieron que los obstáculos de la prueba de laboratorio estaban colocados en pares en orden asimétrico. Otros comentaron de que en las pruebas del aprendizaje básico percibían perfectamente la anchura de los objetos y la distancia entre objetos, sin embargo tuvieron problemas con identificar la altura de los objetos. En particular, identificar objetos de

distintas alturas ha sido difícil incluso si el participante escaneaba el objeto de arriba abajo y al revés. En general, el dispositivo ha sido aprobado por los participantes ciegos como un sistema complementario al bastón, que les permite identificar los obstáculos lejanos.

Basándonos en el *feedback* de las personas ciegas y sus instructores de movilidad, el dispositivo necesita mejorar en proporcionar información vertical, integrar un GPS para guiado, y mejorar el hardware y darle un diseño más estético y ergonómico.

Conclusiones

El presente informe describe el proceso de diseño y el desarrollo de un dispositivo acústico detector de objetos para personas ciegas y hace hincapié en los métodos y tecnología utilizada. Tras la evaluación del dispositivo, seguiremos mejorando su diseño tanto del hardware como su diseño de funcionamiento, para que sea admitido por la comunidad de personas ciegas. El objetivo es proporcionar un dispositivo más robusto, inteligente, simple y fácil de usar para los ciegos, que les permita reconocer a las personas y objetos, leer textos y ayudarles a desplazarse. Las nuevas tecnologías son cada vez más accesibles y de mejor performance, lo que permite mejorar el diseño y el desarrollo del dispositivo.

Actualmente el dispositivo presenta un potencial innovador para la comunidad ciega que les inspira independencia y seguridad al moverse por su entorno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Generalitat Valenciana (proyecto GV/2014/015 - proyectos emergentes) y a la Comisión Europea (Grant FP6 Programme).

REFERENCIAS

- Carroll T (1961) *Blindness: What it is, What it Does, and How to Live with it*. Little Brown. Boston, MA, EEUU. 382 pp.
- Dakopoulos D, Bourbakis NG (2010) Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: a survey. *IEEE Trans. Systems Man Cybernet. C: Applic. Rev.* 40: 25-35.
- Dunai L, Peris-Fajarnés G, Magal-Royo T, Defez B (2011) Cognitive navigation and object detection system for blind people. *2nd Int. AEGIS Conf. Final Workshop (AEGIS Open Accessibility Everywhere: Groundwork, Infrastructure, Standards FP7-224348)*, pp. 358-362.
- Dunai L, Peris-Fajarnés G, Lluna E, Defez B (2013) Sensory Navigation Device for Blind People. *J. Navigat.* 66: 349-362.
- Foulke E (1971) The perceptual basis for mobility. *Am. Federat. Blind Res. Bull.* 23: 1-8.
- Gould J, Boies S, Ukelson J (1997) How to design usable systems. In Helander M, Landauer T, Prabhu P (Eds.) *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier. pp. 231-254.
- Marxt C, Hacklin F (2005) Design, product development, innovation: all the same in the end? A short discussion on terminology. *J. Eng. Design* 16: 413-421.
- Norman DA (1990) *The Design of Everyday Things*. Doubleday. Nueva York, EEUU. 369.
- Rubin J (1994) The problem of unusable products and systems. En *Handbook of Usability Testing*. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 3-46.
- Wang L, Shen W, Xie H, Neelamkavil J (2002) Pardasani A., Collaborative conceptual design-state of the art and future trends. *Comput. Aid. Design* 34: 981-996.
- WBU (World Blind Union) www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/ (Cons. 28/04/2013).
- Wixon D, Holtzblatt K, Knox S (1992) Contextual design: an emergent view of systems design. Bauersfeld P, Bennett J, Lynch G (Eds.) *Human Factors in Computing Systems: Empowering People*. SIGCHI Conference. ACM. Nueva York, EEUU. pp. 381-388.