

Diseño y construcción de un dispositivo para la alerta de obstáculos (DAO)

Alejandro Herrera Velásquez^{1,Ψ}, Roberto Jaramillo Morales¹

¹Programa de Ingeniería Biomédica EIA-CES, Líneas de Bioinstrumentación, Señales e Imágenes Médicas;
Ingeniería en Rehabilitación

Recibido 20 de junio de 2006. Aceptado 31 de enero de 2007.

Resumen— En este proyecto se presenta el desarrollo de un sistema electrónico portátil para personas ciegas. Está compuesto por un emisor y un receptor de ultrasonidos, manejados por un microcontrolador. Un bloque emisor genera ondas ultrasónicas, que al chocar con un obstáculo se reflejan y son captadas por un sistema receptor. La señal del eco es posteriormente amplificada, y tras la selección de un umbral en el microcontrolador, este informa la presencia o no de un obstáculo activando el motor de un vibrador ubicado en la cintura del paciente.

Se exponen el diagrama de bloques del sistema, la lógica de programación del microcontrolador, el diseño mecánico y los esquemas de los circuitos.

Palabras Clave— Discapacidad visual, Eco, Ceguera, Microcontrolador, Transductor ultrasónico.

Abstract— This paper presents the development of a portable electronic device for blind people. It is composed of an ultrasonic pair (emitter-receiver), and lead by a microcontroller. First, an emitter block generates ultrasonic waves that are reflected after they had collided with an obstacle. The reflected signal is captured by the receiver. The signal is then amplified, and after a threshold comparison is made by the microcontroller, an output is carried to the motor of a vibrator located in the patient's waist.

The systems block diagram, the programming logic, the mechanical design, and the electrical circuit schematics are presented.

Key Words— Visual disability, Echo, Blindness, Microcontroller, Ultrasonic transducers.

I. INTRODUCCIÓN

Se ha calculado que existen actualmente en el mundo entre 28 y 35 millones de personas ciegas, de los cuales la gran mayoría, casi el 90%, viven en países en desarrollo, principalmente en África y Asia. Además, gran parte habita en comunidades en desventaja, de bajo nivel socioeconómico y en zonas rurales. En estas comunidades el riesgo de quedar ciego es de 10 a 40 veces superior que en las zonas desarrolladas [1].

El tratamiento para la ceguera es exitoso siempre y cuando se realice en un margen de tiempo determinado

y dependerá de las causas que la han generado. Una vez afectado el nervio óptico la rehabilitación del paciente es prácticamente imposible y a este sólo le queda adaptarse a su nueva condición de vida.

Un paciente con discapacidad visual se ve continuamente enfrentado a situaciones incómodas como pedir ayuda para desarrollar actividades básicas: caminar dentro de su casa, ir al baño, cruzar la calle, ingresar a un edificio, entre otros, generándose de esta manera incluso traumas o complejos de dependencia por parte del ciego.

Medellín y las ciudades colombianas no cuentan con entornos adaptados a las personas con discapacidad visual. Por esto, los invidentes necesitan de herramientas que ayuden en su desplazamiento para que puedan caminar con mayor seguridad y puedan hasta prescindir de ayudas tales como un bastón, un perro o un ayudante personal.

En diferentes partes del mundo se han desarrollado proyectos y dispositivos para ayudar a la ubicación de pacientes invidentes, utilizando diferentes principios como el ultrasonido, métodos ópticos hasta sistemas de posicionamiento GPS [5,6]. Algunos instrumentos se acoplan a bastones, pero ninguno muestra una independencia completa de un instrumento (en este caso el bastón) [7]. Un ejemplo típico ofrecido por distintas marcas comerciales son productos como el *ultracane*, de la empresa Sound Foresight (Reino Unido), que utiliza un bastón con una instrumentación ultrasónica [8].

La motivación de este proyecto es crear una herramienta que le permita al ciego hacer un reconocimiento de su entorno mediante un dispositivo integrado y autónomo (sin uso de un bastón) que facilite la ubicación, y así potencialmente brinde de esta forma una mayor independencia para los invidentes al requerir cada vez menos un ayudante. En pocas palabras es brindar un instrumento de bajo costo y funcional que ayude a mejorar la calidad de vida de pacientes invidentes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

PIC16F876A (Microchip, USA), TIP122 Darlington transistor (ST Microelectronics, USA), LM324 Low Power Quad Operational Amplifier (National Semiconductors, USA), 40TR12B Ultrasonic Sensor.

B. Métodos

Para el diseño del sistema DAO, se tuvieron en cuenta las siguientes características: bajo costo, ergonomía, facilidad de uso y eficiencia.

El diagrama de bloques del sistema electrónico se ilustra en la Fig. 1. Este muestra las partes constitutivas más generales del sistema desarrollado.

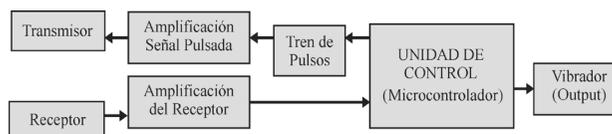


Fig. 1. Diagrama de bloques del dispositivo. El bloque de la amplificación de la señal pulsada puede omitirse.

- *Receptor - Transmisor (Ultrasónico)*

Este sistema consta de dos dispositivos: un transmisor, encargado de enviar una onda ultrasónica con amplitud y frecuencia controlada, y un receptor. La frecuencia de trabajo debe ser de 40KHz o mayor, y la amplitud de 2 a 3 voltios, pues el sistema funciona con baterías. El receptor se encarga de recibir la onda ultrasónica y entregar una salida de voltaje determinado en función de la distancia.

- *Amplificación señal transmisor (Amplificador Operacional)*

Este bloque es opcional. Puede ser particularmente útil si se desea ampliar el rango de alcance del dispositivo. Así, cuando el tren de pulsos generados tiene una mayor amplitud de voltaje, objetos distantes podrían ser captados por el receptor con mayor facilidad.

- *Amplificación señal receptor (Amplificador Operacional)*

Es conocido que la amplitud de la señal captada en el receptor depende de la distancia. Dado que usualmente la señal captada es muy pequeña, se hace necesaria una etapa de amplificación utilizando amplificadores operacionales [2,3].

- *Unidad de control (Microcontrolador)*

Para esta unidad de control se utilizó un microcontrolador [9]. El microcontrolador es el encargado de procesar la información proveniente de los bloques de amplificación y recepción. El programa del microcontrolador está diseñado de tal manera que es capaz de enviar la señal a los actuadores que informarán cuando se está acercando a un obstáculo.

Entre el bloque de amplificación receptor y el de unidad de control puede haber un bloque adicional, el cual consiste en un comparador que se utilizaría para reemplazar el programa del microcontrolador en cuanto a determinar cuándo se envía la señal a los actuadores.

- *Tren de pulsos*

Este tren de pulsos consiste en ondas cuadradas que son enviadas por el microcontrolador hacia el transmisor para que este emita la señal. Está ubicado en un bloque independiente, porque corresponde a una parte del programa diferente al de comparación.

Ésta es una de las partes más importantes de todo el dispositivo, ya que como se expresó, su éxito depende prácticamente de la señal que va a enviar el transmisor y que va a captar el receptor. El sistema debe garantizar que este tren de pulsos se genere durante el todo el tiempo que se utilice el dispositivo.

- Señal de respuesta (Motores de beeper)

En este bloque están situados los actuadores que indican cuándo se está acercando a un obstáculo, de acuerdo con el análisis hecho previamente por el microcontrolador. Dichos actuadores son dos pequeños motores de beeper ubicados a cada lado de la cintura, los cuales vibran cuando el obstáculo se encuentra cerca. La elección de motores vibratorios se prefirió respecto a sistemas sonoros, ya que estos podrían resultar incómodos tanto para el paciente como para las personas que están a su alrededor, mientras que con el motor se obtiene una vibración que es percibida solo por el paciente y no ocasiona mayor molestia.

La parte fundamental de este modelo es el bloque de unidad de control, ya que es el encargado de excitar los transmisores y enviar la señal de respuesta adecuada a los actuadores, los cuales alertan sobre la presencia de un obstáculo. En las Fig. 2 y 3 se muestran los diagramas de flujo del programa realizado en el microcontrolador.

El esquema en general es borrar un *pin* y luego darle un valor de uno esperando un tiempo determinado entre cada una de estas operaciones; es fundamental ese tiempo de espera pues es lo que le da la frecuencia necesaria para el correcto funcionamiento de los transductores (frecuencia de excitación > 40 KHz.). Para calcular este retardo se tomó el inverso de la frecuencia para encontrar el periodo de la señal así:

$$T = \frac{1}{F_{excitación}} = \frac{1}{40KHz} = 0,025ms \quad (1)$$

Esto corresponde a todo el periodo de la señal, pero como la excitación es de forma cuadrada, se requiere la mitad de este periodo, de esta manera el retardo necesario para la excitación adecuada de los transductores es:

$$\text{Retardo} = \frac{T}{2} = \frac{0,025ms}{2} = 0,0125ms \quad (2)$$

El transductor envía como respuesta al acercamiento a un obstáculo ondas sinusoidales cuya amplitud varía inversamente proporcional a la distancia de la persona al obstáculo. Mientras más pequeña sea la distancia que separa al transductor del obstáculo, mayor será la amplitud de la onda sinusoidal que el transductor da como respuesta. Esta señal entra al comparador de ventana, y la salida del comparador entra al pin RA4 (timer0) donde el número de eventos serán contados por el contador de eventos del microcontrolador timer0. Como esta señal es de alta frecuencia (frecuencia de excitación >40 KHz) el tiempo que demora en desbordarse el timer0 es mínimo:

$$T_{desbordamiento} = 256T = 256(0,025ms) = 6,4ms \quad (3)$$

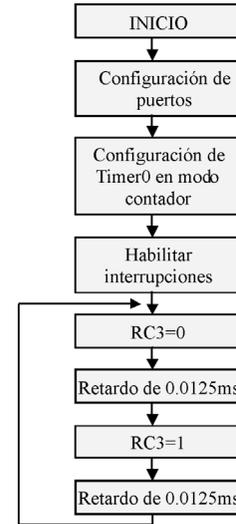


Fig. 2. Configuración inicial del microcontrolador y subrutina para la generación del tren de pulsos. Esta rutina es ejecutada por el microcontrolador todo el tiempo con el fin de asegurar la continua excitación del sensor. RC3 es el pin definido para la salida del tren de pulsos y Timer0 el contador de eventos del microcontrolador.

En la rutina de atención a la interrupción se pregunta si ésta fue generada por el desbordamiento del contador de eventos del microcontrolador (Timer0). En el caso afirmativo se da una señal de respuesta que termina en la activación de los vibradores, y se llama un retardo de 3 segundos para que ésta sea perceptible. Después se borra la bandera de la interrupción y se habilita con el fin de asegurar que ésta se puede volver a generar en cualquier momento [4].

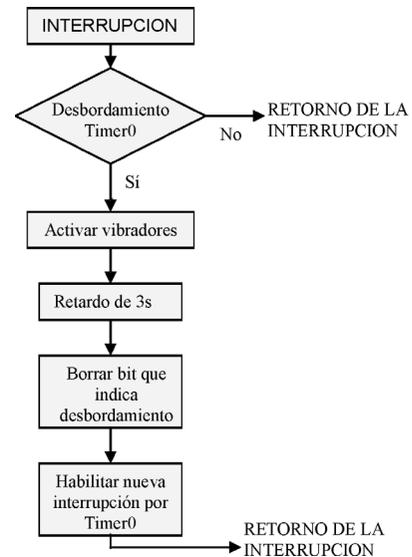


Fig. 3. Rutina de interrupción generada por el desbordamiento del contador de eventos del microcontrolador (Timer0).

IV. RESULTADOS

En la exploración de los sensores se pudo observar que arrojaban un voltaje máximo de 50mV cuando estaban cerca del obstáculo (aproximadamente 3cm), por lo que se hizo necesario implementar una doble amplificación con una ganancia de 100, para que se pudieran manejar esos niveles de voltaje con los integrados y con el microcontrolador. Además, teniendo este valor se pudo determinar el valor de referencia del comparador de ventana.

A continuación se muestra el diseño de la carcasa y el sistema de sujeción de los vibradores (Fig. 4) además del montaje final del circuito (Fig. 5). Adicionalmente se muestran los esquemas de la unidad de recepción de la señal (Fig. 6) y de la unidad de control (Fig. 7).



Fig. 4. En la parte inferior de la fotografía se puede ver la carcasa del circuito y en la parte superior se pueden observar los transductores ultrasónicos (emisor y receptor).

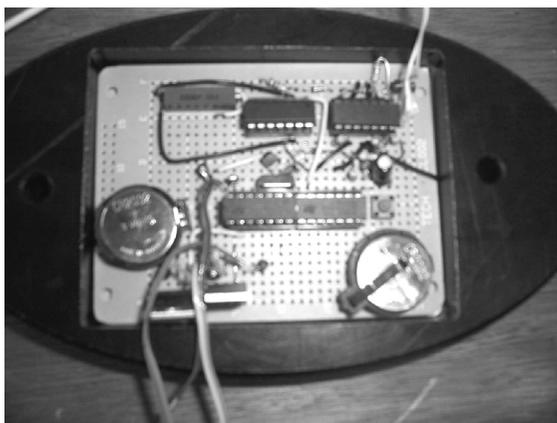


Fig. 5. Circuito final en la tarjeta impresa.

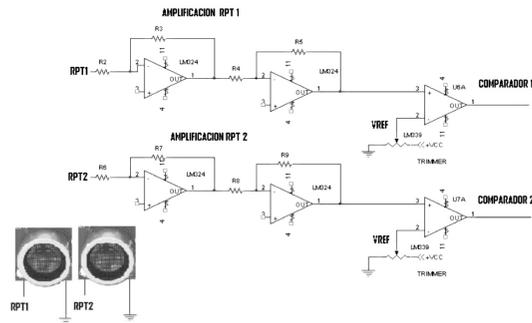


Fig. 6. Etapa de amplificación de la señal proveniente del receptor. Se utilizaron dos amplificadores inversores, la salida de cada uno va al comparador de ventana y la salida del comparador va hacia la unidad de control.

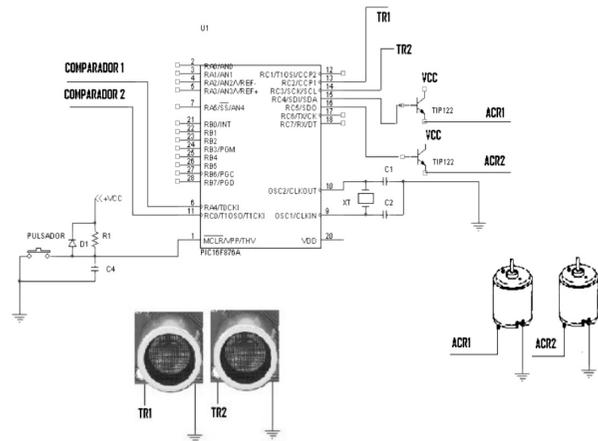


Fig. 7. Unidad de control. Se observan los pines de salida (TR1 y TR2) del tren de pulsos que excitan los transmisores, la señal hacia los motores que generan la vibración (ACR1 y ACR2) y la señal proveniente de los comparadores de ventana (comparador 1 y comparador 2).

V. DISCUSIÓN

El prototipo desarrollado permitiría potencialmente que pacientes ciegos o con disminución severa de la visión puedan desplazarse con mayor facilidad, seguridad e independencia. Esto debido a que el sistema DAO aumenta la información acerca de algunos de los obstáculos que la persona pueda encontrar en su camino y, por consiguiente, se le facilitaría la toma de decisiones acerca de las rutas para tomar en su desplazamiento. El sistema DAO puede servir de complemento a los bastones comúnmente usados por las personas ciegas, o incluso podría, con un mayor desarrollo del dispositivo, reemplazar completamente el uso de los bastones convencionales o ayudas instrumentadas como el *ultracane* [5,8].

El sistema DAO es cómodo, portátil, tiene un bajo consumo de potencia, es económico y, por lo tanto, se

propone como una muy buena opción para ayudar a las personas ciegas.

La retroalimentación brindada al paciente a través de vibración no es sonora, así que no es percibida por alguien diferente al paciente. Además, podría modularse la velocidad de vibración proporcionalmente con la distancia a la que se encuentre un objeto determinado. Por ejemplo, a medida que el obstáculo está más cerca, el DAO envía vibraciones más fuertes. El sistema entonces está en capacidad de brindar información a los ciegos sobre la trayectoria que siguen.

Para obtener un mejor desempeño de los sensores, se propone generar un tren de pulsos bifásico (es decir, que tenga parte positiva y negativa) u otra clase de sensores de mejor calidad y resolución. Asimismo, para ofrecer una mayor cobertura del entorno, se puede pensar en adaptar un segundo sensor que posibilite la detección de obstáculos a nivel del tren inferior, es decir, la parte de la cadera y pies. Por último, para mejoras futuras es posible integrar un circuito que permita identificar objetos o lugares específicos del hogar.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los ingenieros Juan Carlos Ramírez, Jairo Miguel Vergara, Juan Camilo Valencia y Hernán Yarce por la colaboración constante para la realización de este proyecto

REFERENCIAS

- [1] Ceguera: causas, prevención y rehabilitación. Marzo 2006. Disponible en: <http://www.latinsalud.com/articulos/00131.asp?ap=1>
- [2] DeCarlo R.A, Lin P.M.. Linear circuit analysis. Oxford University Press, 2ª Ed, Cap 4, 134- 155.
- [3] Nilsson J.W, Riedel S.A, Circuitos eléctricos, Pearson Prentice Hall, 7ª Ed, Cap 5, 188-212.
- [4] Martínez I.A., Cuenca E.M., Usategui J.M. Microcontroladores PIC: La solución en un chip. Thomson Learning, 3ª Ed, Cap 8 y 10, 176, 185-187, 190-195, 255-260.
- [5] Santafe Y.E., Jugo D., Cote P., González M. Sistema de detección de obstáculos por sonar ultrasónico para personas invidentes (Bastón ultrasónico). *Memorias del II Congreso Colombiano de Ingeniería e Ingeniería Biomédica*, Bogotá, Octubre 2005.
- [6] L. Kay. Sensory aids to spatial perception for blind persons: their design and evaluation. *Electronic Spatial Sensing for the Blind*, Ed. D.H. Warren and E.R. Strelow, NATO ASI Series, Martinus Nijhoff 1985, pp125-140.
- [7] J. Loomis. Personal Guidance System for Blind Persons. *Conference on Orientation and Navigation Systems for Blind People*, University of Hertfordshire, 1995.
- [8] Ultracane, sound foresight. Mayo 2006. Disponible en: <http://www.soundforesight.co.uk/>
- [9] Microchip. Datasheet PIC16F876A. Mayo 2006. Disponible en: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/P/I/C/1/PIC16F876A.shtml.