

Sistema de sustitución sensorial visual-táctil para no videntes empleando sensores infrarrojos

María Paula Cervellini¹, Esteban Gonzalez¹, Juan Carlos Tulli¹,
Alejandro Uriz², Pablo Daniel Agüero¹ y Melisa Gisele Kuzman¹

¹ Laboratorio de Comunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata, Argentina

² CONICET - Laboratorio de Comunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata, Argentina

E-mail: {paulacervellini, elgonzal}@fi.mdp.edu.ar

Resumen. Dado que la ceguera es la pérdida o disminución de uno de los sentidos, podría pensarse que un paliativo a esta discapacidad sería utilizar y potenciar dos de los restantes cuatro sentidos para ayudar al disminuido visual a desenvolverse con la mayor normalidad posible. Dentro de esta línea de pensamiento se ubican la mayoría de los dispositivos de asistencia desarrollados desde la invención del bastón blanco en 1921. Algunos, como el mencionado bastón, son extensiones del sentido del tacto y otros usan el sentido auditivo. El problema que presenta esta idea, es que tanto el oído como el tacto, no están ociosos, y en la persona ciega el sentido auditivo, por ejemplo, es extremadamente necesario como para sobrecargarlo con mas información. Algunos detectores de obstáculos presentan el mismo problema al tener que ser sostenidos por una de las manos del usuario, lo que en cierta forma es limitante. Este proyecto, explora el uso del sentido táctil, pero dejando las manos libres, dándole al no vidente mas libertad.

Se toma la idea del HapticRadar (radar táctil cuya información es transmitida por medio de una vincha), pero se lo potencia con el uso de un microcontrolador. Se espera de esta manera transmitirle al usuario una idea concreta del entorno y brindarle un sistema de alerta ante obstáculos por medio de estímulos táctiles.

1. Introducción

Desde la invención del bastón blanco en 1921 por el Argentino José Mario Fallótico se han sucedido diferentes tipos de dispositivos de navegación para ciegos o disminuidos, incluyendo dispositivos electrónicos. Este trabajo hace incapié en la evolución de estos últimos. Sin dudas el bastón blanco es el ejemplo más simple de sustitución sensorial visual: la información de objetos distantes que podría ser brindada por la vista, es recolectada por receptores táctiles en la mano al tocar el objeto con el bastón.

Este método es muy limitado comparado con la visión. La resolución temporal y espacial de este artefacto es pobre y el potencial de error es elevado. Pero por otro lado es intuitivo y permite a la persona visualmente impedida identificarse ante la sociedad, por lo que no se lo ha sustituido.

Gran parte de las ayudas tecnológicas desarrolladas posteriormente son complementarias a este bastón[1],[2]. Sin embargo, el problema del bastón no es el sentido del tacto sino la forma en que se adquiere la información con este sentido. Los estudios en sustitución visual se han

focalizado tanto en el sentido del tacto como en la audición. Usando ambas modalidades se ha demostrado que la persona es capaz de localizar e identificar objetos dentro su entorno.

Muchas de las tecnologías generadas han utilizado la sustitución visual-auditiva [3],[4]. Dentro de estos desarrollos se pueden encontrar: linterna ultrasónica de mano [4](poco operativo porque ocupa la mano que queda libre), detector de obstáculos Nottingham [4](salida musical), Sonicradar [4] (dispositivo instalado en gafas con salida auditiva que va directamente por unos conductos), bastón laser [4] (poco operativo por el peso y el tamaño), Trisensor [4] (genera una cantidad de ecos que provoca mucha confusión, no existe posibilidad de interpretar toda la información sin aprendizaje previo), entre otros desarrollos. Se observa de esta manera que la sustitución visual-auditiva puede resultar confusa y poco intuitiva. Esto se debe a que no solo sobrecarga un sentido que ya es utilizado para la navegación y localización de una persona, sino que la pone en riesgo en situaciones donde este sentido es vital, como por ejemplo en semáforos para ciegos, los cuales utilizan sonidos, o en la percepción del tráfico urbano.

Por lo enunciado previamente, en el presente trabajo se propone la sustitución visual-táctil [5],[6]. Esto permite no recargar al sistema auditivo, del cual el disminuido visual depende, con información adicional. Además, la piel es un órgano ideal para sustitución de la visión debido a que el área de la misma es muy grande y es mínimamente utilizada en el proceso de movilidad. Por otro lado, al igual que la retina del ojo, la piel puede recibir información en dos dimensiones e integrar señales en función del tiempo. Desde la década de 1960 se han llevado a cabo muchas investigaciones en este campo. Un ejemplo del desarrollo de este tipo es el dispositivo llamado TVS (Tactile Vision Substitution System)[7],[8]. A pesar de ser conceptualmente novedoso resultó ser inadecuado para ambientes normales por la excesiva cantidad de información que brindaba al usuario. Siguiendo en esta línea aparece en el año 2006 el Haptic Radar [9] [10] un dispositivo que permite al beneficiario responder a información espacial instintiva y rápidamente. Usa un arreglo de sensores infrarrojos que reciben la información del medio y la traducen en una entrada vibro-táctil. El inconveniente de este dispositivo es que no brinda información de la distancia a la que se encuentra el obstáculo dentro del área de cobertura, ni tampoco da información de si el obstáculo se esta moviendo o no. A pesar de eso resulta muy intuitivo para el usuario e incluso no hace falta entrenamiento para lograr el objetivo de una reacción instintiva.

A lo largo de este trabajo se pretende mostrar el desarrollo de un dispositivo de sustitución visual-táctil de fácil uso, que brinde sólo la información necesaria, y que sea de bajo costo, de modo que este disponible a toda la sociedad por igual. Asumiendo que en la actualidad existen desarrollos que brindan demasiada información al usuario, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un dispositivo que minimice esta información a solo la necesaria para brindarle al usuario un área de seguridad cercana, sin verse abrumado por los datos recibidos y además que resulte simple de utilizar. Con el fin de implementar el dispositivo se opta por realizar una variación del dispositivo Haptic Radar.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se describen las características relevantes de los sensores a utilizar. En la Sección 3 se describe el procesamiento realizado para obtener el resultado deseado. La Sección 4 describe la implementación del sistema. Por último, en la Sección 5 se desarrollan las conclusiones del trabajo y los lineamientos a seguir en el futuro.

2. Sistema de detección de obstáculos

Se describe un diseño propio que emula el dispositivo Haptic Radar, pero con el agregado de un microcontrolador que controla los vibradores. El uso del microcontrolador parece innecesario dado que en esta primera etapa sólo se utilizó para activar y desactivar los vibradores, pero el objetivo final es usar este desarrollo como plataforma de un sistema mejorado que incluya medición de distancia y respuesta proporcional a la misma. Adicionalmente, pensando el sistema para ser usado en forma permanente, surge el inconveniente de que si el usuario se encuentra en una posición de reposo, junto a algún obstáculo que este en el área de visión de los sensores (como

podría ser una pared), el sistema Haptic original estaría enviando continuamente información de la presencia de la pared, lo cual podría ser sumamente molesto al cabo de un tiempo. Es por esto que este sistema se diseña de manera que no solo produzca un estímulo proporcional a la distancia sino también a la variación relativa de esa distancia. Es así que en caso de no registrarse variación de distancia, por ejemplo en el caso del usuario sentado cerca de una pared, el sistema dejará de brindar información de la presencia de la pared, pero inmediatamente cuando detecte que el usuario se mueve con respecto al objeto o que el objeto se mueve con respecto al usuario, se activarán nuevamente los vibradores y no solo en forma proporcional a la distancia sino también a la variación de esa distancia. La Fig 1 muestra el sistema tomado como referencia para el desarrollo.

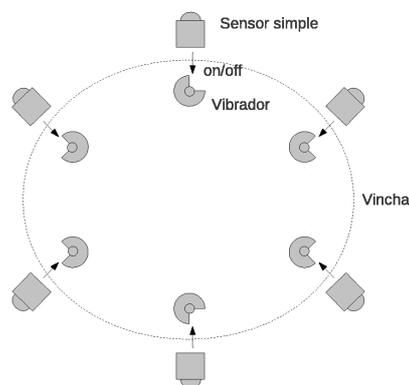


Figura 1. Esquema del dispositivo Haptic Radar.

2.1. Sensores

Como se comentó en la sección anterior, se pretendió desarrollar un sistema capaz de detectar obstáculos y enviar información sobre su ubicación al usuario mediante estímulos táctiles. Dado que este desarrollo debe ser utilizado por largos periodos de tiempo, y debe permitir al usuario valerse por sí mismo, los componentes del mismo deben ser robustos y confiables. Se evaluaron distintas tecnologías de arreglos de sensores con el fin de elegir la apropiada, y se concluyó que la opción apropiada es utilizar arreglos de sensores infrarrojos GP2D. Los sensores GP2DXX de Sharp [11],[12] son dispositivos de reflexión por infrarrojos con medidor de distancia proporcional al ángulo de recepción del haz de luz que incide en un sensor lineal integrado. Dependiendo del modelo utilizado, la salida puede ser analógica o digital. En la Tabla 1 se presentan las características relevantes de los sensores infrarrojos Sharp GP2DXX.

Durante su funcionamiento el dispositivo emite luz infrarroja por medio de un LED emisor de infrarrojos. Esta luz pasa a través de una lente que concentra los rayos de luz formando un único rayo lo más concentrado posible para mejorar la directividad del sensor. La luz va en una línea recta hacia delante, y cuando encuentra un obstáculo reflectante es reflejada y retorna con un determinado ángulo de inclinación dependiendo de la distancia. La luz que retorna es concentrada por otra lente, y así todos los rayos de luz inciden en un único punto del sensor de luz infrarroja contenido en el receptor del dispositivo. Un esquema de este procedimiento se presenta en la Fig. 2.

Por otro lado, dependiendo del modelo elegido la salida del sistema se presenta de otra manera:

- En los modelos analógicos la salida es un voltaje proporcional a la distancia medida.

Cuadro 1. Características de la familia de sensores Sharp GP2DXX.

Modelo	Características	Rango VCC	Rango dist.(mm)	Op.(mA)
GP2D02	Sensor que mide distancias con PSD (Detector sensible a la posición), LED infrarrojo y procesado de la señal, salida digital en 8 bits	-0.3V a 10V	100 a 800	17
GP2D021	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida digital en 10 bits.	-0.3V a 10V	40 a 300	35
GP2D05	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida digital en 8 bits.	-0.3V a 10V	100 a 800	22
GP2D12	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida analógica de 0 a 3V.	-0.3V a 7V	100 a 800	50
GP2D120	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida analógica de 0 a 3V.	-0.3V a 7V	40 a 300	50
GP2D150A	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida digital de 1 bit.	-0.3V a 7V	150 tip.	50
GP2D150T	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y procesado de la señal, salida digital de 1 bit.	-0.3V a 7V	220 tip.	50

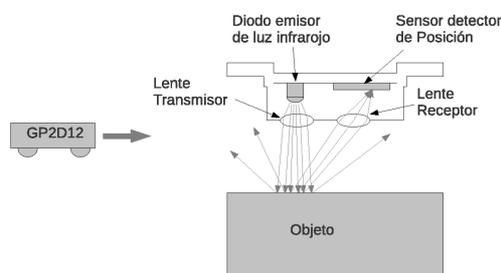


Figura 2. Principio de funcionamiento del sensor infrarrojo.

- En los modelos digitales la lectura será de 8 bits serie con reloj externo.

- Para el caso particular de los sensores digitales de 1 bit de salida, la misma señala el paso por la zona de histéresis del sensor, con lo cual solo tendremos medición de una distancia fija.

En la siguiente subsección se presenta el sensor que fue elegido para la construcción del dispositivo.

2.2. Sensor GP2D12

El Sharp GP2D12 es un sensor medidor de distancias por infrarrojos que indica mediante una salida analógica la distancia medida. La tensión de salida varía de forma no lineal cuando se detecta un objeto en una distancia entre 10 y 80 cm. La salida está disponible de forma continua, y su valor es actualizado cada 32 ms. Normalmente se conecta esta salida a la entrada de un convertidor analógico digital el cual convierte la distancia en una variable que es interpretada por el microcontrolador. La salida también puede ser usada directamente en un circuito analógico. El sensor utiliza sólo una línea de salida para comunicarse con el procesador principal.

En la Fig.3 se presenta el sensor GP2D12.

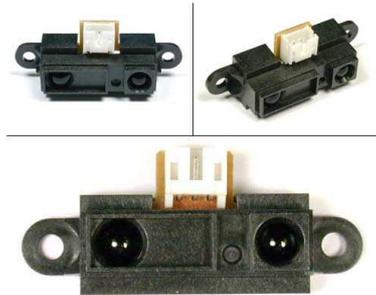


Figura 3. Sensor GP2D12.

Este dispositivo emplea el método de triangulación para determinar la distancia o la presencia de los objetos dentro de su campo de visión. Su modo de funcionamiento consiste en la emisión de un pulso de luz infrarroja, que se transmite a través de su campo de visión que se refleja contra un objeto. Si no encuentra ningún obstáculo, el haz de luz no se refleja y en la lectura que se hace indica dicha situación. En el caso de encontrar un obstáculo el haz de luz infrarroja se refleja y crea un triángulo formado por el emisor, el punto de reflexión (el obstáculo) y el detector. La información de la distancia se extrae midiendo el ángulo recibido. Si el ángulo es grande, entonces el objeto está cerca (el triángulo es ancho). Si el ángulo es pequeño significa que está lejos (el triángulo es largo y, por tanto, delgado).

En la Figura 4 se describe el proceso de triangularización en que se basa el sensor.

Durante el proceso de triangulación, el LED infrarrojo emite el haz de luz a través de una pequeña lente convergente que hace que el haz emisor llegue de forma paralela al objeto. Cuando la luz choca con un obstáculo, una cierta cantidad de luz se refleja. Si el obstáculo fuera un espejo perfecto, todos los rayos del haz de luz pasarían y sería imposible medir la distancia. Sin embargo, casi todas las sustancias tienen un grado elevado de rugosidad y por lo tanto reflejan la luz infrarroja proveniente del diodo emisor. Por consiguiente, alguno de estos haces de luz se refleja hacia el sensor.

La lente receptora también es una lente convexa, pero ahora sirve para un propósito diferente, ya que actúa para convertir el ángulo de posición. Si un objeto se interpone en el plano focal de una lente convexa y los otros rayos de luz paralelos en otro lado, el rayo que pasa por el centro de la lente atraviesa inalterado o marca el lugar focal. En el plano focal hay un Sensor

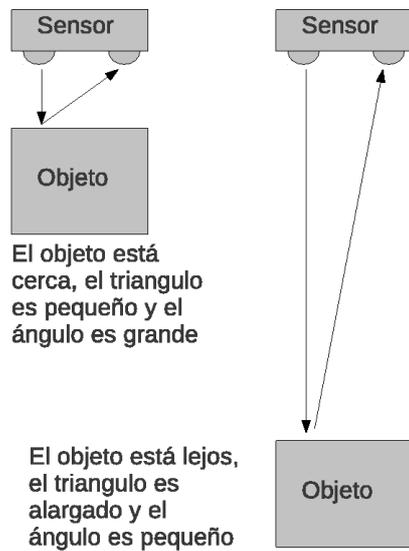


Figura 4. Proceso de triangulación en que se basa el sensor.

Detector de Posición (PSD). Éste dispositivo semiconductor entrega una salida cuya intensidad es proporcional a la posición respecto al centro (eficaz) de la luz que incide en él. El rendimiento del PSD en la salida es proporcional a la posición del punto focal. Esta señal analógica tratada es la que se obtiene a la salida del sensor.

Características:

- Menor influencia del color de los objetos reflexivos.
- Línea indicadora de distancia output/distance.
- Tipo de salida indicadora de la distancia analógica (tensión analógica). Distancia del detector de 10 a 80 cm.
- Bajo costo.

En la Figura 5 se presenta un diagrama en bloques del sistema base implementado. En la misma se puede apreciar que el arreglo de sensores sensa los obstáculos, y en el caso de existir alguno transmite un estímulo que excita un motor que le indica al usuario la dirección en la que se encuentra el obstáculo.

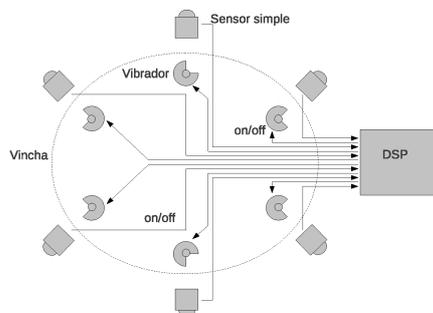


Figura 5. Sistema implementado.



Figura 6. Fotografía del sistema implementado.

En la Fig. 6 se muestra una fotografía del sistema implementado.

En la siguiente sección se describen las mejoras a realizar en el modelo base con el fin de aumentar las prestaciones del mismo.

3. Procesamiento

Si bien parecería innecesario utilizar un microcontrolador para realizar una tarea tan simple como la mostrada en la Fig. 1, se desea recordar que ese esquema es en realidad una primera etapa dentro de un proyecto mas ambicioso, tendiente no solo a activar y desactivar un vibrador, sino a informar por medio de la intensidad de la vibración la distancia y la dirección del obstáculo. Es ahí donde se requiere mas poder de calculo, como para poder realizar la conversión analógica digital de la salida analógica del sensor (en caso de usar un sensor con salida analógica) o la comunicación serie con el sensor en caso de usar uno con salida digital. Adicionalmente se debe de controlar la intensidad de la vibración, y no solo encenderla o apagarla. Hoy en día la tecnología que mejor se adapta al desarrollo de este proyecto es la que surge a partir de los PIC's de la línea Microchip.

Estos dispositivos son microcontroladores que a pesar de su simpleza de operación y estructura constructiva, son muy poderosos. En este proyecto se usa el dispositivo 18F46K20, proporcionando espacios de memoria y frecuencia de trabajo adecuadas y teniendo además módulos de comunicación apropiados para la comunicación serie con los sensores. En resumen, el uso de este microcontrolador brinda una serie de facilidades a la hora del diseño que liberan al diseñador de un hardware muy específico, permitiendo elegir entre las múltiples opciones que ofrece el mercado local (o sea elegir sensores serie o analógicos). Además con esta familia de microcontroladores se ha logrado reducir el nivel de tensión de trabajo, lo que según notas del fabricante conllevará a un ahorro de energía importante a la hora de la puesta en funcionamiento.

Dentro de los distintos módulos que son parte del microcontrolador , tal vez el mas útil para continuar con el desarrollo será el Módulo ADC (Analog-To-Digital Converter).

4. Implementación del sistema

El sistema a implementar se presenta en la Fig.7 . Allí se pueden apreciar dos etapas, la primera recibe los estímulos del exterior mediante los arreglos de sensores infrarrojos, las convierte en variaciones de tensión que son procesadas y en caso que indique la existencia de algún obstáculo, activarán los actuadores. Estos conforman la etapa de salida, la cual

está compuesta por pequeños motores con su eje desbalanceado, similares a los que se emplea en los teléfonos celulares para emitir la alerta vibratoria.

Respecto a la implementación física del dispositivo, se desea montar en bandas elásticas ajustables varios de estos sensores infrarrojos tratando de cubrir un radio de 360 grados del individuo en la cabeza y 180 grados en el resto del cuerpo. Así mismo en la parte trasera del sensor se ubica el motor vibrador para indicar la proximidad del objeto en cercanía a esa parte del cuerpo. De esta forma, el usuario podrá distinguir la dirección y distancia hacia el obstáculo al percibir una vibración, dependiendo de la dirección de la que provenga y la intensidad del mismo.

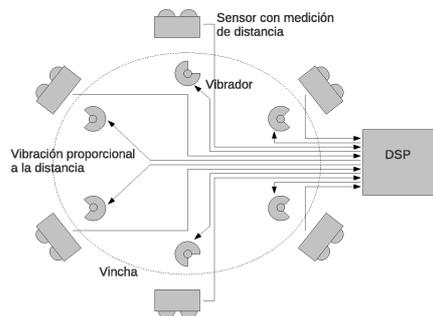


Figura 7. Sistema a implementar.

Las baterías utilizadas para el suministro de energía y la circuitería adicional pueden ser transportadas en un contenedor similar a una riñonera o directamente como parte del dispositivo. En caso de utilizarse este como vincha, el contenedor de circuitos y baterías puede ser similar a los contenedores de baterías usados en algunas Head Lanterns.

El concepto desarrollado busca que el usuario pueda ubicar las bandas elásticas donde mas cómodo le resulte. De todos modos, hay estudios que demuestran que existen zonas que tienen mayor sensibilidad que otras. Por lo tanto, existen determinadas partes del cuerpo ideales al momento de la colocación del dispositivo.

5. Conclusiones

A lo largo del trabajo se emuló el sistema Haptic ya existente y luego se conceptualizó un sistema mejorado, con mayor procesamiento, capaz de asistir a una persona con discapacidades visuales en sus tareas cotidianas. Este último tiene dos características distintivas. La primera es que permite al usuario desplazarse sin ocupar sus manos con dispositivos adicionales de asistencia y aún mas importante, poder detectar obstáculos a una distancia de alrededor de un metro, a diferentes alturas. La segunda es que recibe la información de la presencia de un objeto mediante vibraciones que son proporcionales a esa distancia, aprovechando este sentido para la navegación. Estas características mencionadas permiten al usuario desplazarse sin tener que estar atento a chocar distintas partes de su cuerpo con obstáculos existentes en el medio que habita. Esto se traduce en que el usuario de este dispositivo de asistencia aumente su autonomía en su vida cotidiana. Si además se tiene en cuenta que será un desarrollo de bajo costo, que no presenta riesgos al usuario, se concluye que esta implementación cumple con los tres principios básicos de la bioética: independencia, igualdad y beneficencia (no maleficencia).

6. Referencias

- [1] Farcy,R., Leroux,R., Jucha,A., Damaschini,R., Grégoire,C., Zogaghi,A.: Electronic travel aids and electronic orientation aids for blind people: Technical, rehabilitation and everyday life points of view. Proceedings

- of Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments Technology for Inclusion 2006. (2006).
- [2] Yuan,D., Manduchi,R.: A Tool for Range Sensing and Environment Discovery for the Blind. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. (2004).
 - [3] http://usuarios.discapnet.es/ojo_oido/orientacion_y_movilidad.htm
 - [4] <http://www.tsbvi.edu>
 - [5] Kaczmarek,K.A., Webster,J.G., Bach-y-Rita,P., Tompkins, W. J.:Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. IEEE Trans Biomed Eng Vol.38(1), pp.1–16.(1991).
 - [6] Johnson,L.A., Higgins,C.M.: A Navigation Aid for the Blind Using Tactile-Visual Sensory Substitution. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2006. pp.6289–6292. (2006).
 - [7] Nato, F.E.: The Cognitive Foundations of Movility. Electronic Spatial Sensing for the Blind.ASI Series, Vol.99.(1985).
 - [8] Kajimoto, H., Inami, M., Kawakami, N., Tachi, S.: Smart-Touch: Electric skin to touch the untouchable. IEEE Computer Graphics and Applications, 24(1), pp.36-43. (2004).
 - [9] Sumiya,H.: Distance Feedback Travel Aid Haptic Display Design. Mobile Robots, Perception & Navigation. (2007).
 - [10] Cassinelli,A., Reynolds,C., Ishikawa,M.: Augmenting spatial awareness with the Haptic Radar. Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp.61–64. (2006).
 - [11] <http://www.x-robotics.com/sensores.htm#Reflexivo>
 - [12] <http://www.superrobotica.com/sensores.htm>
 - [13] Mau, S., Melchior,N.A., Makatchev,M., Steinfeld,A.: BlindAid: An Electronic Travel Aid for the Blind, (2008).