

SISTEMA DE APOYO PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL EN ENTORNOS CERRADOS

Francisco Vásquez, Luis Guerrero
Universidad de Chile
Chile
fvasquez@dcc.uchile.cl. luguerre@dcc.uchile.cl

RESUMEN

La movilidad en espacios cerrados se puede convertir en una gran dificultad para personas no videntes o con problemas de visión, sobre todo cuando estos espacios son visitados por primera vez. En este artículo se presenta un sistema de apoyo que permite ayudar a personas con algún tipo de discapacidad visual a realizar desplazamientos complejos en entornos cerrados. El sistema utiliza los controles de la consola Nintendo Wii para determinar la posición exacta del usuario y capturar toda la información que pudiera ser relevante para su desplazamiento, dada la posición en la que se encuentra y la dirección en la que se mueve. La información considerada relevante es entregada a través de un sistema de voz, de tal forma que pueda ser fácilmente reconocida por la persona con discapacidad visual y le sirva de apoyo en su desplazamiento por el entorno.

La idea general del sistema es que sea útil para las personas con discapacidad visual y que además sea accesible en términos de las herramientas necesarias para que el sistema sea implantado.

Categories and Subject Descriptors

H.5.1. [User interfaces]: voice input/output, K.4.2. [Social Issues]: Assistive technologies for persons with disabilities.

General Terms

Software, Human-Computer Interaction, Voice Interface.

Keywords

Wiimote, personas con discapacidad visual, desplazamientos complejos, HCI.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidades visuales siempre han tenido que lidiar con los frecuentes problemas que se presentan al llegar a lugares que no están preparados para su presencia, donde muchos de los objetos “cotidianos” allí presentes, se convierten en verdaderos obstáculos para ellos, poniendo en riesgo incluso su integridad física.

Estos mismos problemas persisten en el caso de entornos cerrados, donde simples objetos como sillas, mesas y escaleras pueden convertirse en una molestia innecesaria e incluso ser causantes de graves accidentes.

Para las personas con discapacidades visuales, el tener que estar lidiando con este tipo de situaciones de forma cotidiana, en muchos casos se puede convertir en una limitación importante para el desarrollo normal de sus actividades, teniendo que dedicar mucha atención (y una importante carga cognitiva) al entorno, además de la atención prestada a la tarea que quieren desarrollar allí. Incluso el hecho de tener que acudir por ayuda de otras personas en estas situaciones puede afectar de forma considerable su sentido de independencia, mermando las opciones de decisión que una persona con esta clase de discapacidad pudiera tomar bajo circunstancias idóneas.

Teniendo en cuenta los posibles problemas que enfrentan las personas con discapacidades visuales en entornos cerrados, se ha procurado desarrollar un sistema que permita proveerles ayuda en los desplazamientos que deben realizar en estos entornos.

Decidimos trabajar en entornos cerrados, pues muchas de las soluciones propuestas para espacios abiertos (basadas principalmente en sistemas de GPS), no siempre funcionan en lugares bajo techo, debido a la incapacidad del GPS de proveer información precisa cuando una persona se encuentra en lugares cerrados.

El objetivo principal de este proyecto fue el desarrollo una solución que sea útil para este importante grupo de personas. Es decir, que les permita tomar las mejores decisiones según los desplazamientos que deben realizar en espacios cerrados, tomando en cuenta todos los objetos que puedan convertirse en potenciales “obstáculos” para moverse por el espacio. Además, se pretende presentar una solución que sea accesible en término de las tecnologías usadas y los costos económicos implicados.

Vásquez, Francisco., Guerrero, Luis. (2010). Sistema de Apoyo para el Desplazamiento de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Cerrados. En J. Sánchez (Ed.): Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, Volumen 1, pp 526-533, Santiago de Chile.

A esto último se le confiere gran importancia, puesto que a menudo ocurre que buenas propuestas quedan estancadas o no pueden ser traspasadas de forma masiva a los usuarios, debido a los altos costos de implementación, por lo que solo quedan en buenos prototipos.

Por esta razón, se procuró que cada una de las herramientas utilizadas por el sistema, sean herramientas ya existentes en el mercado o cuya construcción sea simple y económica, de tal forma que no se requiera un equipo de personas especializado para implantar el sistema.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se muestran algunos trabajos relacionados con nuestra propuesta. En la sección 3 se describe, en extenso, el sistema propuesto. En la sección 4 se muestran algunas líneas de trabajo futuro y, finalmente, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones.

2. TRABAJO RELACIONADO

En primer lugar, cabe destacar que en el área de asistencia en la navegación o movilidad de personas con discapacidades visuales se han hecho investigaciones en los siguientes campos (ver [1]): Ambientes cerrados (ej: [4, 5, 8]), Ambientes abiertos (ej: [3, 6, 7]) y Ambientes Mixtos, que contempla una combinación de los anteriores (ej: [2]). A continuación se describen algunos de los trabajos más interesantes encontrados en la literatura.

Para ambientes abiertos, se distinguen las tecnologías de “micro navegación”, que proveen asistencia en cuanto al ambiente inmediato, y de “macro navegación” que proveen asistencia con respecto al ambiente distante [1]. En estos casos ha resultado bastante conveniente el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) para reconocer la posición de la persona.

En ambientes cerrados, área que abordamos en este trabajo, existen una serie de tecnologías “ad-hoc” que han debido desarrollarse para la entrega de información útil [1], debido a la incapacidad de otras herramientas, basadas principalmente en sistemas de GPS, para entregar información de posicionamiento en entornos cerrados.

Sonnenblick [8] implementó un sistema de navegación en ambientes cerrados basado en la utilización de guías infrarrojas, ubicadas convenientemente a lo largo de los lugares de desplazamiento de las personas con discapacidad. Luego, a través de un dispositivo especial, se interpretan esas guías y se entrega información adecuada para que la persona pueda ubicarse espacialmente. El problema que se presenta con esta solución gravita en el hecho de que para captar las guías infrarrojas, el dispositivo debe apuntar directamente hacia la dirección de las guías, perdiéndose la naturalidad en la integración del dispositivo con el ambiente.

Por otro lado Hub, Diepstraten y Ertl [5] desarrollaron un sistema para determinar la posición de objetos y personas en un ambiente cerrado, utilizando cámaras para detectar los objetos y sensores de dirección para reconocer la dirección en la cual la persona se está moviendo. El problema que se presenta en este caso se resume en la accesibilidad de esta tecnología, puesto que se requiere de un dispositivo especializado para que el usuario interactúe con el ambiente. Además, por la ubicación sugerida para las cámaras, nuevamente se presenta una falta de naturalidad en la interacción, puesto que el usuario tendría que apuntar su bastón hacia los objetos. Esto podría resultar una forma natural para objetos que se

encuentren en el suelo, sin embargo no lo sería para objetos altos o elevados, puesto que no serían identificados por las cámaras debido a su posición.

En un trabajo posterior, Hub, Hartter y Ertl [4] fueron un poco más allá en el concepto presentado en el párrafo anterior, e incluyeron la capacidad de realizar un seguimiento de varios tipos de objetos móviles. Luego, a través de un algoritmo similar a la percepción humana, procuraron identificar dichos objetos en base a comparaciones de color y forma, con objetos de entrenamiento. Puesto que este trabajo es una extensión del presentado en el párrafo anterior, hereda los mismos problemas.

3. EL SISTEMA PROPUESTO

El objetivo principal de nuestro sistema consiste en proveer a nuestros usuarios con problemas visuales, la capacidad de orientarse en entornos que son nuevos para ellos, de forma tal que puedan reconocer posibles obstáculos en el nuevo ambiente, y puedan, por tanto, recorrerlo con libertad y seguridad.

Para resolver el problema, necesitamos identificar tres elementos principales: la posición actual del usuario en el entorno, la dirección en que el usuario se está moviendo, y los objetos que pueden convertirse en posibles obstáculos. Después de obtener los datos necesarios sobre estos tres elementos, es preciso que el sistema le entregue al usuario la información requerida de la mejor forma, de modo que pueda contemplar esta información en la toma de sus decisiones de movimiento.

La innovación que presenta nuestro sistema, en comparación con otros construidos para solucionar el problema de orientación en espacios cerrados, estriba en la utilización de herramientas y tecnologías conocidas y accesibles a todas las personas, en particular para realizar el trabajo de captura de los datos relativos a la posición del usuario con respecto al espacio o la habitación en la que se encuentra. De esta forma, cuando se deba traspasar el sistema al usuario, se podrá hacer de forma más sencilla, puesto que las herramientas a usar serán accesibles al usuario a un costo razonable.

La principal herramienta utilizada en este proyecto fue el control de la consola de juegos “Nintendo Wii”, conocido como “Wiimote” o “Wii Remote”. Este control nos servirá para detectar la posición del usuario y la dirección en que se mueve.

3.1 El control “Wiimote”

El control “Wiimote” es la herramienta básica requerida por nuestro sistema para obtener la posición de la persona con discapacidad visual, y de esta forma ser capaces de entregarle información relevante a su desplazamiento.

Este control cuenta con una serie de interesantes características. Sin embargo, en este proyecto utilizaremos sólo una de ellas, la cámara infrarroja, que se encuentra ubicada en la parte frontal del control (ver figura 1).

Esta cámara es capaz de reconocer objetos emisores de luz infrarroja, lo que le permite al “Wiimote” calcular y entregar una posición, relativa a su propia posición, de la fuente que emite dicha luz. De este modo, fijando el Wiimote en un entorno cerrado, y conociendo su posición exacta, podemos reconocer la posición exacta de objetos que emitan luz infrarroja en ese entorno. Esta captura de infrarrojos, usada por el sistema, se explicará más adelante.



Figura 1. (Arriba) Vista superior del Wiimote. (Abajo) Vista frontal con cámara infrarroja del Wiimote en primer plan

Para ser un poco más precisos en este sentido, se debe establecer el significado de los datos que entrega el Wiimote. La cámara infrarroja del control es capaz de entregar un punto en dos dimensiones, asociado al plano cuya normal puede ser representada por el vector de visualización del Wiimote (plano perpendicular al Wiimote). Este vector indica hacia donde está observando la cámara infrarroja del control. Ahora bien, matemáticamente existen infinitos planos que cumplen con la condición de ser perpendiculares al vector de visualización del Wiimote. En términos prácticos, esto indica que la cámara infrarroja es incapaz de entregar datos asociados a la profundidad en la que se encuentra un emisor infrarrojo. Además, puesto que la cámara infrarroja tiene un ángulo de visualización no recto, es decir, su rango de visibilidad es más amplio a medida que se encuentra más distante el emisor infrarrojo, el valor de cada eje entregado por el Wiimote no puede ser interpretado como un desplazamiento en un sólo eje, sino que debe entenderse como un ángulo. La figura 2 representa esta idea. Cabe destacar que el Wiimote entrega valores normalizados para cada eje, es decir, valores dentro del rango de $[0,1]$. Se hace notar que el ángulo de apertura de visualización del Wiimote corresponde a aproximadamente 22° .

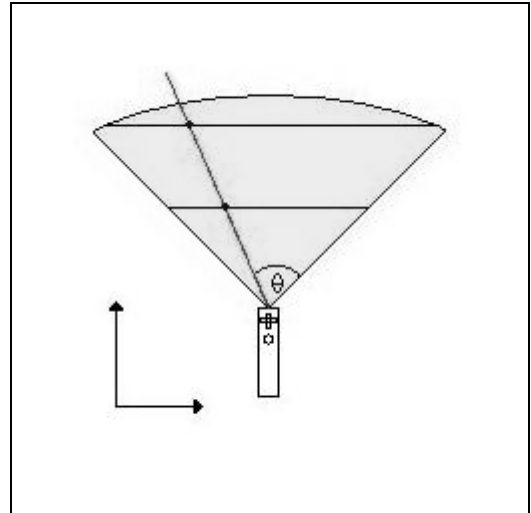


Figura 2. Representación de dos puntos a los que el Wiimote les asocia el mismo valor (pertenecen al mismo ángulo) pero que no tienen el mismo valor para otro tipo de eje genérico

Ahora bien, una vez que podemos reconocer la “posición” de los objetos que emiten luz infrarroja con el Wiimote, el siguiente paso será transmitir esta información a un computador. Para poder comunicarse con un computador, el “Wiimote” cuenta con un dispositivo bluetooth que le permite transmitir cierta información. Esta información es recibida e interpretada por el sistema a través de una biblioteca creada para estos efectos (ver [9]), y disponible de forma gratuita en la Web (ver <http://www.codeplex.com/WiimoteLib>). La librería contiene todos los requerimientos básicos de comunicación necesarios para la aplicación, por lo que solo se tuvieron que hacer unas pequeñas modificaciones para adaptarla completamente a las necesidades de la aplicación a desarrollar.

Además, para un correcto funcionamiento de la comunicación, recomendamos la utilización de BlueSoleil como software Bluetooth en el computador que recibirá la información, debido a que la librería utilizada fue creada utilizando ese software, lo que garantizaría un correcto funcionamiento. De todas formas, pruebas preliminares indican que también funciona correctamente con otros controladores Bluetooth.

3.2 Captura de datos iniciales del entorno

Para poder entrar en funcionamiento, el sistema requiere obtener algunos parámetros iniciales, asociados a la habitación o entorno cerrado, y a la posición de los “Wiimotes”, que le permitirán asociar los datos obtenidos a través de los controles, y que permitirán ubicar a la persona espacialmente en la habitación. Estos datos deben ser obtenidos de forma preliminar y forman parte del proceso de implantación del sistema, ya que el fijarlos como parte de la implementación, limitaría considerablemente la generalidad de la solución planteada en este sistema.

Los datos del espacio o habitación son guardados en un archivo bajo un formato XML estándar, el cuál puede ser fácilmente revisado para garantizar su correctitud a través de un esquema y/o para modificarlo en caso de que el entorno cambiara. Además, el formato elegido permite representar todos los datos de una forma comprensible y ordenada. De esta manera se genera una estandarización para el manejo de los datos del sistema, lo que

facilita la comunicación con futuros sistemas que quieran interactuar con éste.

Con respecto al esquema mencionado antes, se generó utilizando el lenguaje de esquema XML Schema, con el cual se definió la estructura válida y las restricciones de los contenidos incluidos en cualquier archivo XML que quiera ser usado como representación de los datos relevantes del espacio cerrado. De esta forma, cada vez que un nuevo archivo XML sea cargado por el sistema, será posible verificar el cumplimiento de los estándares propuestos. Esto puede ser realizado a través de un pequeño programa, que es parte de la solución propuesta, el que usa este documento de esquema como pauta de verificación de la correctitud de los archivos. De esa forma se evita que un archivo malformado sea introducido al sistema e induzca un fallo al tratar de obtener la información necesaria, al no ser reconocido a tiempo por la aplicación.

Algunos de los datos requeridos en el archivo XML son los siguientes: largo y ancho de la habitación, posición de cada uno de los “Wiimotes” en relación a la habitación, ángulo en el cual fueron fijados los controles en relación a los muros y dirección en la que “miran”, y la posición en relación a la habitación de cada componente o posible obstáculo que hay en ésta (escaleras, muebles, puertas, etc.). Algunos de estos datos pueden ser encontrados directamente en el archivo XML, mientras que otros pueden ser inferidos a partir de los datos entregados de forma explícita en el documento XML.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo agregar un nuevo objeto de la habitación al documento XML. Se nota que este es solo una porción del documento XML, que para su completitud, depende del resto de los elementos definidos en el documento, por lo que con esto solo se pretende mostrar de qué forma se conforma el documento.

```

<room_object>
  <object_name>Coffee table</object_name>
  <point>
    <x_axis>1.5</x_axis>
    <y_axis>5</y_axis>
  </point>
  <point>
    <x_axis>1.5</x_axis>
    <y_axis>6</y_axis>
  </point>
  <point>
    <x_axis>2</x_axis>
    <y_axis>6</y_axis>
  </point>
  <point>
    <x_axis>2</x_axis>
    <y_axis>5</y_axis>
  </point>
</room_object>

```

Figura 3. Ejemplo de objeto agregado al documento XML

En este ejemplo se puede observar cómo, en primer lugar, se agrega un tag <room_object>, el cual indica que todo lo que sigue corresponde a un objeto de la habitación. Dicha definición termina con el tag </room_object>. Luego se comienzan a definir, también a través de tags, las distintas componentes necesarias para

representar un objeto. En primer lugar, se presenta el nombre del objeto, entre los tags <object_name> </object_name>, nombre que corresponde al que la aplicación le indicará a la persona con discapacidad visual, si el objeto se interpone en su trayectoria. En el caso del ejemplo el nombre corresponde a “Coffee table”. Luego, se definen los puntos que componen las esquinas del objeto. Se nota que cada uno de estos puntos es definido entre los tags <point> </point>. Además, dentro de estos tags se definen por separado los valores para el eje X (dentro de los tags <x_axis> </x_axis>) y para el eje Y (dentro de los tags <y_axis> </y_axis>). El valor de cada punto es representado a través de números, donde se asume que la distancia esta medida en metros. Para la definición de cada punto se sigue un orden predefinido de la siguiente forma: en primer lugar se indica el punto inferior izquierdo del objeto, dada la orientación deseada para el mapa (la cual debe ser consistente con el resto de las definiciones del archivo). El resto de los puntos se definen a medida que se presentan, bordeando el objeto en sentido horario. Se destaca que para cualquier objeto definido, se debe seguir esta regla básica de definición de puntos. Además, los puntos registrados en el archivo XML deben ser al menos cuatro, de otra forma, el archivo no pasará la revisión de correctitud realizada. Esta restricción es razonable, dada la forma habitual de los objetos que pueden ser encontrados en una habitación común.

Al registrar cada uno de estos datos se genera un mapa completo de la habitación, con el cual se puede reconocer el entorno en el que se encuentra el usuario.

En la Figura 4 se presenta un ejemplo de un mapa generado, el que es representado en una estructura de árbol para una mejor visualización. En el mapa se presentan tan solo las posibles relaciones existentes entre los objetos del archivo XML, no se presenta la cantidad de instancias de un objeto en cada componente de la estructura. Por ejemplo, en el caso de un objeto en la habitación (room_object), se exige un mínimo de 4 puntos (point) en su representación, tal como se vio en el ejemplo presentado con anterioridad, mientras que en la estructura presentada en la Figura 3 no se aprecia eso, sino solo la relación existente.

Utilizando esta estructura, es posible representar cualquier espacio o habitación y todos los objetos contenidos en ella. El siguiente paso será determinar la exacta posición del usuario, y mapearla en esta estructura.

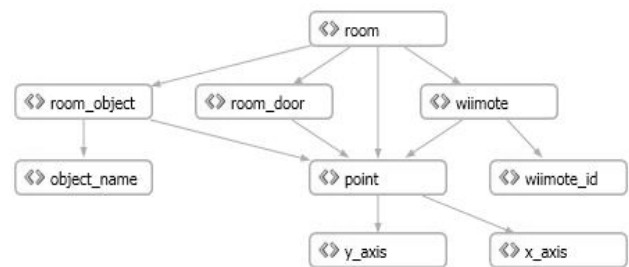


Figura 4. Estructura de árbol del mapa XML

3.3 Reconocimiento de la posición del usuario

El reconocimiento de la posición del usuario es el punto central de la aplicación desarrollada. La posición exacta del usuario se obtiene a través de los datos obtenidos con los “Wiimotes”, y se asocia (mapea) espacialmente con el resto de la habitación. De

esta forma podremos entregarle información valiosa al usuario con respecto a los obstáculos cercanos.

Para comprender el modo en que se realiza esta captura de datos y el mapeo con el árbol XML, se debe entender primero cómo los controles Wiimote capturan la posición del usuario.

Tal como se había explicado previamente, cada “Wiimote” cuenta con una cámara infrarroja, la cuál es capaz de detectar la posición de cualquier objeto que emita este tipo de luz. Por esta razón, el usuario debe ser dotado de un emisor infrarrojo, que puede ser tan simple y pequeño como un LED conectado a una pila simple o un conjunto de LED’s si se desea emitir luz infrarroja en distintas direcciones. Este emisor puede ser ubicado convenientemente, de tal forma que no entorpezca el normal desplazamiento del usuario. Por ejemplo, podría ser ubicado sobre el bastón de ayuda, que generalmente la persona con discapacidad visual usa (ver sección 3.5).

Cuando el “Wiimote” detecta la presencia de un emisor infrarrojo, es capaz de determinar la posición (o ángulo, tal como se explicó en la sección 3.1) en la que éste se ubica en un plano perpendicular a la dirección en la cual apunta la cámara infrarroja. Sin embargo, este dato, a pesar de ser necesario, no es suficiente para determinar la posición del usuario relativa a la habitación. Para lograr esto, se debe utilizar un segundo “Wiimote” que determine la posición del emisor infrarrojo desde otra perspectiva. Teniendo estas dos vistas es posible determinar la ubicación del emisor y, por tanto, del usuario, a través de un proceso de triangulación.

El proceso de triangulación consiste en tomar los datos de cada “Wiimote” y generar dos rectas. Estas rectas deben pasar por el punto en el cual el “Wiimote” está ubicado, punto que es conocido gracias a los datos iniciales (parámetros iniciales) que son almacenados en el documento XML, y por el punto en el cual se ubica el usuario, el cual se desconoce a priori. Sin embargo, como es posible, gracias al “Wiimote”, conocer el ángulo generado por esta recta, se puede calcular de forma precisa, la ubicación de la proyección de esta recta en el muro opuesto de la habitación. Con este segundo punto, para el cual ya se tienen los datos, es posible calcular la ecuación de la recta asociada. Como esto se realiza para ambos “Wiimotes”, se puede calcular la intersección de las dos rectas, que corresponde a la posición exacta del usuario, que es precisamente lo que deseábamos obtener.

A priori esto es útil sólo para habitaciones rectangulares. Por tanto, ¿es posible generalizar esta solución para cualquier tipo de habitación? La respuesta es afirmativa. Esto es posible puesto que los muros descritos anteriormente no deben ser “reales”. Para una solución general, el sistema es capaz de crear muros “virtuales”, los que corresponden a los lados del cuadrilátero que circunscribe a la habitación. De esta forma es posible proyectar la recta sobre los lados de este cuadrilátero y así obtener los mismos resultados explicados anteriormente, sin importar la forma de la habitación.

El hecho de que la proyección “traspase” los límites de la habitación no debiera convertirse en problema puesto que aunque esto ocurra, la intersección de las dos rectas jamás debiera estar fuera de los límites de la habitación.

En el caso general, cabe destacar que la posición del punto de origen debe corresponder a la esquina inferior izquierda del cuadrilátero que circunscribe a la habitación. Esta convención permite simplificar los cálculos realizados por el algoritmo. Ahora

bien, se nota que está restricción depende solamente de la forma en la cual se mire la habitación, por lo que cualquier esquina del cuadrilátero indicado puede corresponder a la esquina inferior izquierda. Por tanto, al fijar este punto se debe respetar la convención para la definición de todas las otras posiciones descritas en el documento XML que representa la habitación.

Este resultado general es bastante interesante, puesto que permite modelar muchas habitaciones de forma muy similar, describiendo los muros como objetos en la habitación, de tal forma que se informe al usuario de su presencia.

La única limitación encontrada en el sistema se presenta en el caso de una habitación cuadrada. En este caso particular, el algoritmo impide que dos Wiimotes sean ubicados en las esquinas opuestas de la habitación y en el mismo ángulo con respecto a los muros. Si ese fuera el caso, el algoritmo no es capaz de triangular la posición del usuario. ¿La razón? Al estar ubicados de forma perfectamente simétrica, los Wiimotes miran el mismo plano, por lo que entregan la misma información al algoritmo, la que es insuficiente para poder calcular la posición del usuario. ¿Cómo se puede lidiar con esta limitación? La solución en este caso se limita sencillamente a ubicar los controles de tal forma que compartan un muro o que sean ubicados con ángulos distintos con respecto a los muros aunque permanezcan en esquinas opuestas. De esa forma se elimina la simetría y cada Wiimote sería capaz de presentar datos asociados a distintos planos para calcular la posición del usuario, permitiendo realizar la triangulación sin ningún problema.

Las ecuaciones utilizadas para realizar el cálculo de las rectas y el proceso de triangulación se presentan en las figuras 5 y 6.

Una explicación gráfica de la forma en que estas ecuaciones son utilizadas para realizar el cálculo del proceso de triangulación, se muestra en la Figura 7. El entorno o habitación se ve como un sistema de coordenadas en dos dimensiones, donde el punto de origen del plano (X=0, Y=0) corresponde a la esquina inferior izquierda. En este plano, los dos Wiimotes (colocados uno en la esquina inferior izquierda y el otro en la esquina superior izquierda) permiten definir un espacio “triangulable”, de modo que cualquier objeto dentro de este espacio puede ser mapeado con exactitud.

$$\begin{aligned}
 Y - Y_{wi1} &= m_1(X - X_{wi1}) \\
 Y - Y_{wi2} &= m_2(X - X_{wi2})
 \end{aligned}$$

donde, $m_i = \frac{Y_{pi} - Y_{wi}}{X_{pi} - X_{wi}}$;

(X_{pi}, Y_{pi}) : Proyección de la recta asociada al Wiimote i

(X_{wi}, Y_{wi}) : Posición asociada al Wiimote i

Figura 5. Ecuación general para dos rectas cualquiera generadas en el proceso de triangulación

$$X = \left[\frac{(m_2 X_{w2} - m_1 X_{w1}) - (Y_{w2} - Y_{w1})}{(m_2 - m_1)} \right]$$

$$Y = m_2 \left[\frac{(m_2 X_{w2} - m_1 X_{w1}) - (Y_{w2} - Y_{w1})}{(m_2 - m_1)} \right] - m_2 X_{w2} + Y_{w2}$$

Figura 6. Solución utilizada para la intersección de dos rectas, dada la Ecuación de la Figura 5

Realizando esta iteración para el cálculo de la triangulación de los objetos en el entorno de forma constante, es posible reconocer la dirección en la que la persona se está desplazando. Teniendo estos dos datos, es decir, la dirección en la que se dirige y su posición, es posible determinar si se está acercando a alguno de los obstáculos que han sido registrados en el mapa XML del espacio o habitación.

Esto permite indicarle al usuario la ubicación de los obstáculos de distintas formas. Por ejemplo, podría indicarle al usuario la ubicación de un objeto cercano sólo si se dirige hacia él. También podría ser capaz de describirle todos los objetos que se encuentran a su alrededor, a una cierta distancia, indicándole el ángulo en el que se encuentran los objetos, dada la dirección en la que se está moviendo el usuario. Este paradigma de orientación es bien conocido por las personas con discapacidades visuales, y se le conoce por el “paradigma del reloj”.

En la figura 8 se presenta un prototipo de la aplicación desarrollada. El bastón contiene un LED infrarrojo en la parte superior, mientras que al fondo, sobre el pedestal de madera que se observa, se puede ver uno de los “Wiimotes” captando los datos de posición y desplazamiento.

Se recomienda también que, para maximizar el área de visualización de los Wiimotes y, en consecuencia, el área de mapeo de la aplicación, los Wiimotes sean ubicados en las esquinas de la habitación. Así es posible aprovechar de mejor forma el ángulo de apertura con el que cuentan los Wiimote.

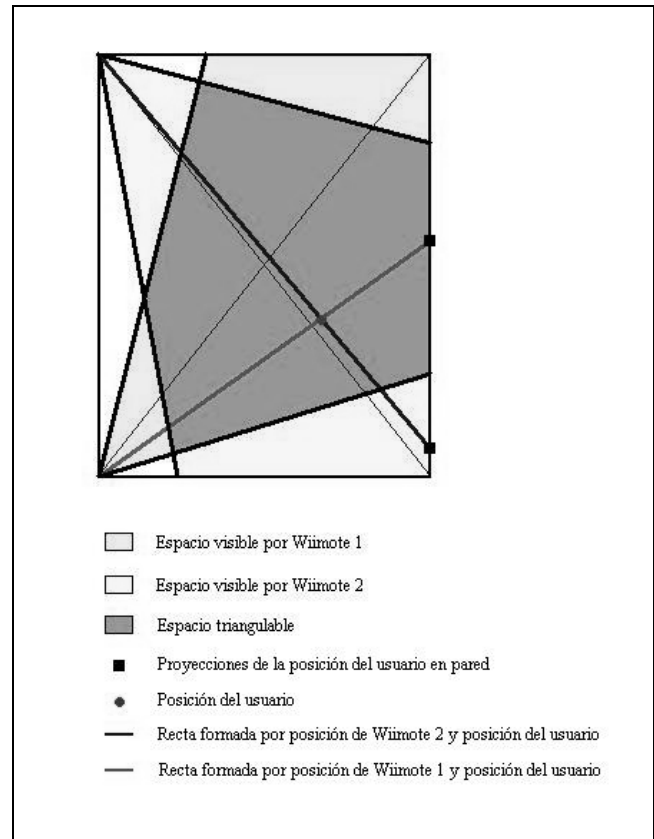


Figura 7. Ejemplo de triangulación con "Wiimotes"

3.4 Transmisión de la información

Puesto que se tiene la posición del usuario y se reconoce si se dirige a algún obstáculo, es necesario que el sistema sea capaz de transmitirle esta información a la persona que se desplaza. Para lograr esto, se implementó una segunda aplicación que es capaz de transmitir dicha información al usuario de forma auditiva, del tipo "text-to-speech". De esta manera, un usuario con discapacidad visual puede recibir la información, sin mayor problema, como un mensaje de alerta (de voz) emitido por el computador a través de un parlante simple.

El tipo de información o mensajes entregados a estas personas no tiene por objetivo indicarle los movimientos precisos que debe realizar, sino que se le entrega una guía que le permite decidir cuál es la siguiente acción de desplazamiento a tomar. Por ejemplo, si la persona se dirige a una mesa, el sistema no puede indicarle si debe esquivarla, puesto que no sabe si se dirige a ella a buscar algo. Por esta razón, el sistema se limita a indicarle al usuario si se dirige a un objeto y le indica qué objeto es. Esta información le debiera permitir al usuario decidir qué acción tomar.

Para transmitir el audio se requiere un parlante conectado a un computador, ya sea un laptop o un PC de escritorio. En la Figura 8 se presenta un ejemplo del laptop y los parlantes utilizados en el prototipo desarrollado.



Figura 8. Prototipo. El usuario sostiene un bastón con un emisor infrarrojo. Al fondo (sobre pedestal de madera) se encuentra un Wiimote captando los datos de posición y desplazamiento



Figura 9. Prototipo con parlantes y computador usados en la aplicación

3.5 Bastón aumentado

Tal como se ha mencionado en las secciones anteriores, en nuestro prototipo se utilizó un LED emisor de luz infrarroja, incrustado en un bastón.

El último paso en la implementación de nuestro prototipo requería un “objeto aumentado” [10]. Para determinar el mejor objeto a aumentar, se utilizó la metodología propuesta en [11].

El primer paso en esta metodología consistía en determinar las características que se debían incorporar al objeto, sin definir aún cuál sería este objeto. Las características o requisitos funcionales que debía tener el objeto eran: (1) debe ser capaz de emitir una luz infrarroja que pueda ser captada por el Wiimote; (2) debe estar ubicado *en* el usuario, pues debe moverse conforme el usuario se mueve; (3) debe ser lo suficientemente pequeño y liviano como para no entorpecer el movimiento del usuario.

Una vez que se tenían las características o nuevas funcionalidades a agregar en el objeto aumentado, se procedió a buscar todos los

“objetos candidatos”. Entre estos objetos, además del bastón, se incluyeron varios elementos de vestir como anteojos, zapatos, sombreros y abrigos. Como siguiente paso se hizo una descripción sintáctica y semántica de cada objeto, utilizando las plantillas que se proveen en [11].

Con toda esta información se seleccionó el mejor candidato para ser el objeto a aumentar, es decir, el objeto que mejor puede ser aumentado con las funcionalidades requeridas, sin que esto signifique una carga cognitiva importante en la persona que utiliza ese objeto. La metodología utilizada tiene como objetivo, precisamente, el aumentar los objetos de uso cotidiano que representen el mejor esfuerzo cognitivo para los usuarios finales, y todo esto como parte de un proceso tradicional de Ingeniería de Software.

Se determinó que un LED infrarrojo en la parte superior del bastón, era la mejor solución. Las baterías podían estar incrustadas en el mismo bastón, de modo que pasarían inadvertidas. Un pequeño interruptor permitiría encender y apagar este LED, de modo que el usuario solamente lo encendiera en espacios habilitados con la solución propuesta.

El diseño completo del objeto aumentado no se implementó en nuestro prototipo. Se agregó un LED a un bastón, pero no se agregó el interruptor que permite encenderlo y apagarlo. Sin embargo, este bastón nos proveyó con la funcionalidad requerida para probar el prototipo.

4. TRABAJO FUTURO

El trabajo presentado en este paper muestra las principales características con las que cuenta el sistema, sin embargo, hay ciertas mejoras que pueden ser realizadas y que serán parte de la línea de trabajo en el futuro.

Con respecto a la captura de datos inicial, se trabajará en una aplicación que permita realizar el almacenamiento de datos de una forma más intuitiva que la actual. Se propone para esto el desarrollo de un nuevo sistema que permita dibujar el mapa asociado a la habitación, pues la aplicación actual solamente se encarga de interpretar este mapa y generar el archivo XML con los datos necesarios para su funcionamiento.

Con respecto al bastón aumentado, se deben hacer aún algunas pruebas, sobre todo se debe crear y probar un prototipo con la funcionalidad completa (descrita en la sección anterior). Sin embargo, pruebas preliminares han permitido comprobar que no es posible utilizar un sólo LED infrarrojo para la detección de la ubicación del usuario, puesto que en este caso el LED es incapaz de ser captado por los Wiimotes en todos los ángulos posibles. Por esto se realizarán pruebas con un conjunto de LED's infrarrojos, de tal forma de ser capaces de ampliar el espectro de localización. Además, se propone como trabajo futuro integrar al sistema un programa que permita individualizar a las personas dada una orientación o patrón en los LED's infrarrojos. De esta forma el sistema podría ser generalizado para ser utilizado por varias personas en una misma habitación.

Finalmente, otro aspecto a evaluar como trabajo futuro corresponde a la integración de esta aplicación con un dispositivo móvil (PDA o Smartphone) que le provea directamente la información al usuario. De esa forma se podrá permitir que varios usuarios con discapacidad visual puedan utilizar el sistema y moverse por la habitación simultáneamente, usando audífonos o

alguna interfaz háptica. El prototipo actual está limitado a un único usuario desplazándose por el entorno.

5. CONCLUSIONES

Las pruebas preliminares realizadas al sistema son bastante alentadoras, puesto que muestran la correcta funcionalidad de éste. Sin embargo, es importante continuar realizando pruebas en entornos reales, con grupos cada vez más grandes y representativos de las personas con discapacidad visual, para de esta forma no sólo mostrar la correctitud de la aplicación, sino también la generalidad y la utilidad de ésta. Experimentos más rigurosos deben ser diseñados y realizados. Sin embargo, el prototipo desarrollado cumplió con todas las expectativas.

Por otro lado, es importante notar que se ha desarrollado un sistema accesible en cuanto a las herramientas y tecnología utilizadas, de forma que pueda ser efectivamente implementado con un costo muy bajo. El prototipo desarrollado nos muestra que es posible realizar un buen aporte a la integración e independencia de las personas con discapacidad visual, que deben movilizarse en entornos cerrados.

Un aspecto importante a destacar, es que la solución propuesta no solamente le permite a un usuario con discapacidad visual moverse en un entorno cerrado evitando obstáculos. También le podría ayudar a interactuar con el entorno, dado que se tienen mapeados todos los objetos que allí se encuentran. Por ejemplo, si el usuario quiere sentarse a descansar, el sistema le puede indicar dónde se encuentra una silla o un sillón. El prototipo actual ya permitiría hacer esto. Solamente habría que crear un segundo “modo” de interacción con el sistema: además del “modo de orientación y movilidad evitando obstáculos”, se puede fácilmente crear un segundo “modo de interacción con los objetos que hay en el ambiente”.

Reconocemos que al ser un primer prototipo, aún existen mejoras y desafíos que deben ser considerados para robustecer la solución propuesta. Sin embargo, las pruebas realizadas demuestran que la solución presentada resuelve el problema inicialmente planteado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente apoyado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt) de Chile, proyecto No. 1090352.

REFERENCIAS

- [1] Nicholas A. Bradley and Mark D. Dunlop. An experimental investigation into wayfinding directions for visually impaired people. *Comp*, 9:395-403, 2005.
- [2] Vlad Coroama. The chatty environment - a world explorer for the visually impaired. In *Adjunct Proceedings of UbiComp 2003*, pages 221-222, Seattle, Washington, USA, October 2003.
- [3] Simon Holland, David R. Morse, and Henrik Gedenryd. Audio GPS: Spatial audio in a minimal attention interface. In *3rd International Workshop on HCI with Mobile Devices*, pages 28-33, 2001.
- [4] A. Hub, T. Hartter, and T. Ertl. Interactive Localization and Recognition of Objects for the Blind. In *Proceedings of the California State University, Northridge Center on Disabilities 21st Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference (CSUN 2006)*; March 20-25; Los Angeles, CA, USA, 2006.
- [5] Andreas Hub, Joachim Diepstraten, and Thomas Ertl. Design and development of an indoor navigation and object identification system for the blind. In Julie A. Jacko and Andrew Sears, editors, *Proceedings of the ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2004*, Atlanta, GA, USA, October 18-20, 2004, pages 147-152. ACM, 2004.
- [6] J. Sánchez and C. Oyarzún. Asistencia móvil basada en audio para la movilización por medio de microbús de personas ciegas. In Sánchez J., editor, *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, páginas 377-396. Lom Ediciones S.A., 2007.
- [7] J. Sánchez and M. Saenz. Orientación y movilidad en espacios exteriores para aprendices ciegos con el uso de dispositivos móviles. *Revista Anales de la Universidad metropolitana*, 8(2):47-66, 2008. Venezuela.
- [8] Y Sonnenblick. An indoor navigation system for blind individuals. *Proceedings of the 13th Annual Conference on Technology and Persons with Disabilities*, 1998.
- [9] Amanda Williams and Daniela Karin Rosner. Wiimote hackery studio proposal. In Marcelo Coelho, Jamie Zigelbaum, Hiroshi Ishii, Robert J. K. Jacob, Pattie Maes, Thomas Pederson, Orit Shaer, and Ron Wakkary, editors, *Proceedings of the 4th International Conference on Tangible and Embedded Interaction 2010*, Cambridge, MA, USA, January 24-27, 2010, pages 365-368. ACM, 2010.
- [10] Ishii, H., and Ullmer, B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. *Proceedings of ACM CHI'97*, Atlanta, Georgia, USA, 1997.
- [11] Guerrero, L. A., Ochoa, S. and Horta, H. Developing Augmented Objects: A Process Perspective. *Journal of Universal Computer Science*, Vol. 16, No. 12, 2010, pp. 1612-1632.