

Sistema de identificación y localización simbólica utilizando una red sensorial de nodos ultrasónicos

J. Guevara⁽¹⁾, A. Jiménez⁽¹⁾, F. Seco⁽¹⁾, C. Prieto⁽¹⁾, J. Ealo^(1,2), J. Roa⁽¹⁾ y K.Koutsou⁽¹⁾
{jguevara, arjimenez, fseco, cprieto, jealo, javieroa, kkoutsou} @iai.csic.es

⁽¹⁾Instituto de Automática Industrial - CSIC

Ctra. Campo Real Km 0.2; 28500 La Poveda. Madrid (España)

⁽²⁾ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle - (Colombia)

Resumen

El presente trabajo plantea el desarrollo e implementación de un sistema de identificación y de localización simbólica de personas mayores o con discapacidad en espacios interiores. Para ello se ha desarrollado una red de sensores ultrasónicos basándose en una plataforma comercial, la cual se ha estudiado y mejorado para conseguir una zona de cobertura completa en el entorno de trabajo. Dentro de las mejoras realizadas se destacan la incorporación de micrófonos omnidireccionales para permitir el mejor ángulo de escucha de las señales emitidas por el usuario y el aprovechamiento de los ecos ultrasónicos reflejados de forma a aumentar el área de cobertura con la menor cantidad de sensores.

Palabras clave: Localización, Posicionamiento en interiores, Ultrasonidos, Ecos múltiples

1 Introducción

Existe una creciente necesidad de desarrollar tecnologías que permitan ayudar a personas mayores o con discapacidad a mejorar su calidad de vida, así como también al trabajo desarrollado por el personal de asistencia [12] [1]. Tecnologías como los sistemas de localización los cuales permiten supervisar de forma sistemática y automática la presencia de las personas mayores o con discapacidad, pudiendo incluso analizar sus pautas de movimiento o nivel de actividad, y permitiendo encontrar cualquier persona de forma inmediata.

En el campo de la asistencia a personas mayores han sido desarrollados diversos sistemas de localización utilizando técnicas sensoriales tales como: ultrasonidos [6] [4], señales de radio [13] [14], señales infrarrojas [9]. Sin embargo, todavía no existe una tecnología ideal de localización para espacios inteligentes en interiores [7].

En el IAI-CSIC se ha desarrollado un sistema de localización formada por una red de sensores ultrasónicos, basándose en una plataforma comercial la cual se ha estudiado y mejorado para cumplir los objetivos marcados en el proyecto Ari-

adna. Para conseguir una zona de cobertura completa, se han incorporado unos micrófonos omnidireccionales y se ha modificado la electrónica de acondicionamiento en la primera etapa de procesamiento, para permitir el mejor ángulo de escucha de las señales codificadas emitidas por una serie de tags ultrasónicos que porta el usuario. El diseño del sistema ultrasónico contempla la ubicación del tag ultrasónico emisor sobre el pecho de la persona mediante un colgante del cuello, y la ubicación de la red de micrófonos en el techo del entorno interior, ya que de esta forma se maximiza la capacidad de detección minimizando la densidad de micrófonos requeridos. El sistema es capaz de suministrar una localización simbólica indicando en que habitación se encuentra cada una de las personas que portan un tag ultrasónico. La red de sensores está conectada por una conexión serie a un PC central que lee la información de identidad. Este PC envía la información al sistema de gestión de alto nivel que representa gráficamente la planta del edificio y la ubicación de cada una de las personas que portan el tag. El sistema ultrasónico tiene el potencial de permitir una localización física de alta precisión (errores de 20 centímetros) sin mas que aumentar la densidad de micrófonos en el entorno. Este es un resultado no contemplado en el proyecto original, pero que se destaca por la posibilidad de ampliar los servicios que se puedan suministrar basándose en esta información de localización precisa.

En la sección 2 se describe la plataforma comercial Hexamite la cual se pretende mejorar aumentando el área de cobertura que posee. Las modificaciones del sistema se realizan en dos etapas distintas: en la sección 3 se presenta la modificación de los receptores ultrasónicos para aumentar el área de detección del sistema, y en la sección 4 se describe la distribución de la ubicación de los tags y los receptores ultrasónicos que permite maximizar el área de detección. Por último en las secciones 5 y 6 se presentan los resultados finales obtenidos con el sistema desarrollado y las conclusiones finales.

2 Red sensorial ultrasónica

Como plataforma base de la red sensorial se utilizo el equipo Hx5 de Hexamite [5]. El mismo esta compuesto por una red de varios receptores ultrasónicos (HX5M) que se comunican entre si utilizando un bus RS-485. Uno de los lectores se conectan a un único nodo controlador (HX5C) encargado de transmitir los datos a una PC por puerto RS-232. El PC se encarga representar gráficamente la ubicación de cada una de las personas. Por último el sistema cuenta con un conjunto de emisores, denominados tags, que portará cada persona. Cada tag emite un código identificador único lo cual en principio permite localizar hasta 1024 tags simultáneamente. Para disminuir la probabilidad de que las señales de dos o más tags operando en la misma zona interfieran entre si, el intervalo de emisión se realiza en forma aleatoria dentro de un rango de tiempo de emisión configurable por el usuario. El código esta compuesto por 32 bits, cada bit compuesto por 20 longitudes de onda (16 bits de sincronización, 10 bits para del código de identificación del tag, y 6 bits de corrección de error). La codificación se realiza por FSK utilizando dos frecuencias distintas: una frecuencia de 39,216 kHz que representa el bit 1 y una frecuencia de 40,816 kHz que representa el bit 0. Finalmente la duración total de la señal emitida por cada tag es de 13 ms.



Figura 1: Componentes del sistema Hexamite: A) Tag emisor B) Lector ultrasónico

3 Aumento del área de detección

El área de detección del sistema de localización de Hexamite está limitada por el ángulo de emisión/recepción de los tags/monitores y por la intensidad de la señal emitida. Para aumentar el ángulo de recepción de los monitores se plantea reemplazar los receptores del Hexamite por micrófonos omnidireccionales WM-61 de Panasonic [10]. Estos últimos están diseñados para trabajar con señales de frecuencia audible (20 Hz a 20 kHz), sin embargo el trabajo de caracterización del micrófono muestra la factibilidad de usar el mismo en la frecuencia de 40 kHz como receptor omnidireccional tal como se observa en la figura 2. A continuación se re-

sume las características principales obtenidas por el sistema Hexamite modificado que utiliza el micrófono WM-61 de Panasonic.

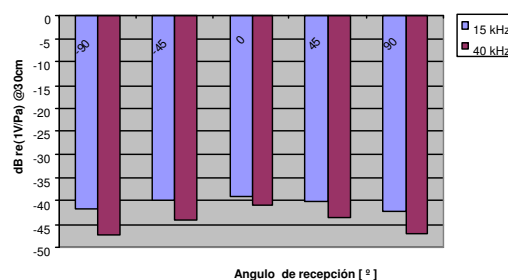


Figura 2: Sensibilidad del micrófono WM-61.

3.1 Sensor WM-61 de Panasonic

El sensor WM-61 ha sido utilizado en el sistema de localización implementado en el proyecto 3D-LOCUS [11], obteniéndose grandes ventajas gracias a su completa omnidireccionalidad en la recepción. Sin embargo para su implementación en el sistema Hexamite es necesario diseñar una etapa de acondicionamiento para eliminar las señales de frecuencias audibles y compensar la limitada sensibilidad que presenta el micrófono a la frecuencia de trabajo de 40 kHz.

El circuito utilizado para el micrófono WM-61 (figura 3), es un filtro pasabanda de segundo orden, con una frecuencia central de 40 kHz y un ancho de banda de 2 kHz. Tiene una ganancia de 2 la cual fue seleccionada tomando en cuenta la atenuación que presenta el micrófono a la frecuencia de 40 kHz y la mínima relación señal ruido que permite una correcta detección por parte del sistema de Hexamite.

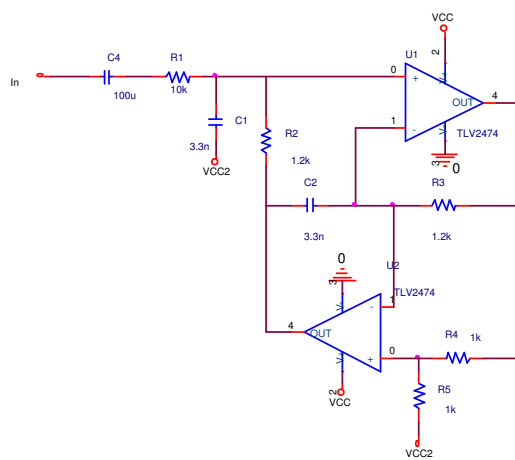


Figura 3: Circuito de adaptación para el micrófono WM-61.

El circuito presenta una atenuación mínima de 20 dB en las frecuencias audibles de 20 Hz a 20 kHz, de forma a evitar que el ruido de ambiente correspondiente a dichas frecuencias interfiera con la señal transmitida por los tag.

3.2 Angulo de recepción

En la figura 4 se presenta el patrón de recepción obtenido por el sistema Hexamite y el implementado con los micrófonos WM-61. Para cada ángulo se realizaron 100 medidas verificando que los sistemas detecten correctamente el código del tag emisor. Se puede observar que el sistema que utiliza el sensor Hexamite presenta un ángulo de recepción de 55°, mientras que el micrófono WM-61 permite obtener un ángulo de detección de 180°.

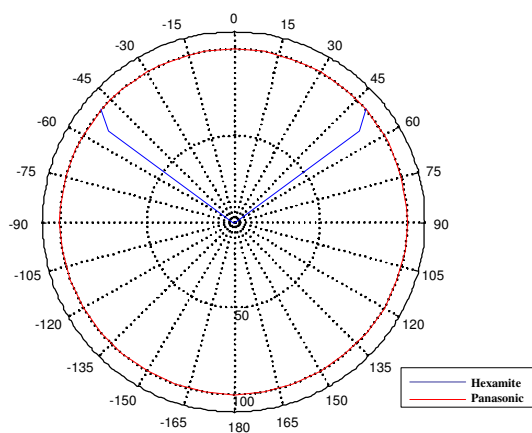


Figura 4: Patrón de recepción del sistema Hexamite y del implementado con los micrófonos WM-61.

3.3 Rangos de recepción

En la figura 5 se muestra los rangos de distancia obtenidos por el sistema Hexamite y el micrófono WM-61 de Panasonic. Se realizaron 100 medidas para cada distancia y se calculó el porcentaje de detecciones válidas del tag de cada sistema. Se puede observar en la gráfica que ambos detectan correctamente a los tags casi el 100% de las veces hasta una distancia de 7m. A partir de los 8 metros de distancia las mediciones no cumplen con la relación inversa entre el porcentaje de detección y la distancia. Este problema se debe a las reflexiones múltiples que sufre la señal emitida y que interfiere con los datos transmitidos por el tag. Veamos como ejemplo la figura 6 en la que se observa las señales recibida por el sensor Hexamite a una distancia de 9 metros. A dicha distancia el Hexamite no pudo detectar la señal del tag, mientras que el micrófono de Panasonic lo detectó un 60% de las veces. En la figura se puede apreciar la información del código enviada por el tag esta dis-

torsionada y no se puede determinar el tag emisor. También se observa que la señal se extiende por encima de los 13 ms que envía el tag. Si bien esto podría deberse a la señal remanente que presentan los sensores con una alta sintonización, esta señal contiene información alternada de ceros y unos, por lo tanto es más probable que se deba a la presencia de ecos múltiples acoplados a la señal.

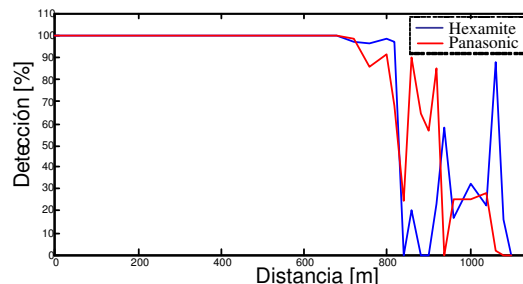


Figura 5: Porcentaje de medidas correctas al aumentar el rango para el sistema Hexamite y el implementado con los micrófonos WM-61.

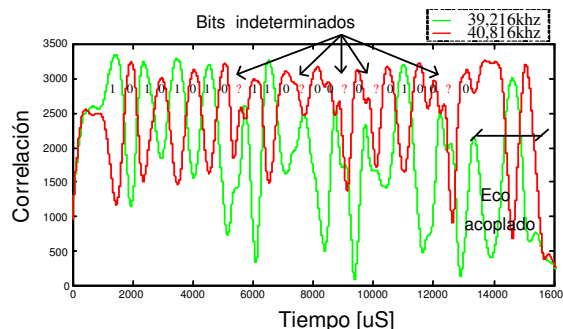


Figura 6: Señal decodificada recibida por el receptor Hexamite a una distancia de 9 m.

Los resultados mostraron que el rango de medición esta limitado por los ecos múltiples generados por los objetos presentes en el entorno de trabajo, incluyendo los límites del entorno tales como el suelo, paredes, techo, etc. Efectivamente el rango de medición de los sistemas probados está por debajo de los 8 metros, aún cuando se pudo ver que el sistema podía algunas veces detectar tags hasta una distancia de 11 metros. Sin embargo, los ecos múltiples generan zonas, entre los 8 y 11 metros de distancia, donde la detección es nula o inclusive se obtienen lecturas falsas.

4 Distribución de tags y sensores ultrasónicos

En este apartado se estudia la ubicación de los tags y los receptores ultrasónicos de forma a max-

imizar el área de detección con la menor cantidad de receptores posible.

4.1 Ubicación de los tags en la persona

Se estudió la forma de colocar el tag sobre la persona, asumiendo que los lectores están situados bajo el techo que es el sitio de menor intrusión y crea el camino más despejado de transmisión del ultrasonidos entre tag y lector [2] [3]. Si el tag se coloca mirando hacia el techo, se vio que no existía ninguna ganancia al comparar el uso de los lectores modificados para ser omnidireccionales respecto al caso de receptores de Hexamite no modificados. Además un tag, orientado para apuntar al techo no es operativo, ya que implica colocarlo sobre la cabeza de las personas. Si el tag se coloca sobre el pecho de una persona (lugar más discreto y preferido por los usuarios), el eje de emisión del ultrasonido se puede orientar para que sea paralelo al suelo. El tag ubicado en forma horizontal, tiene las siguientes propiedades:

- Genera un área sin detección cuando la persona está en un círculo centrado y debajo del lector
- Para $h = 1,5$ m (ver figuras 7 y 8) el radio de este círculo d es de aproximadamente 1 metro.
- El área de emisión, o proyección ultrasónica sobre el techo es de $28,9$ m^2 (ver figura 8)

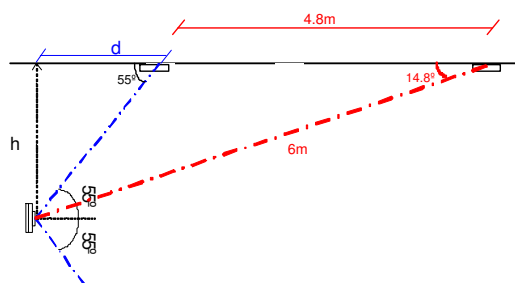


Figura 7: En rojo la zona de iluminación ultrasónica sobre el techo (limitado por los 55° de emisión y el alcance máximo de unos 6 metros). Vista alzado.

Sin embargo si se coloca el tag orientado hacia arriba con un ángulo de 35° con respecto a la horizontal, entonces conseguimos (ver figuras 9 y 10):

- Un ángulo de emisión de 90° con respecto al plano del techo (con lo cual se elimina ese círculo de 1 metro de radio que aparecía en la figura 8)
- Hay mayor cobertura sin disminuir el alcance del tag

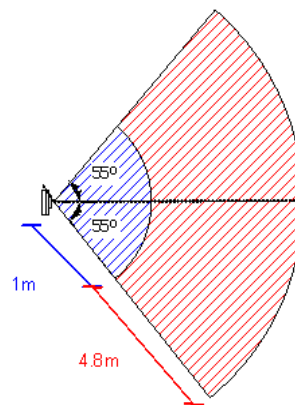


Figura 8: En rojo la zona de iluminación ultrasónica sobre el techo ($28,9$ m^2 para $h=1.5$ m) (limitado por los 55° de emisión y el alcance máximo de unos 6 metros). Vista superior.

- Un área de emisión de 32 m^2

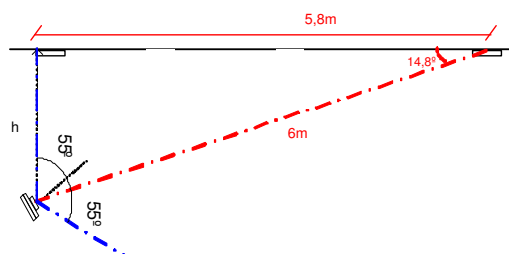


Figura 9: En rojo la zona de iluminación ultrasónica sobre el techo cuando el eje de emisión del tag se orienta 35 grados sobre la horizontal. Vista alzado.

Además si aumentamos el patrón de emisión horizontalmente, mediante el acoplamiento de 2 transductores a 90° , o de 3 transductores a 35° , conseguimos un ángulo de emisión de 180° . Se alcanza de esta forma un área de emisión de $52m^2$ (ver figura 11).

4.2 Ubicación de los receptores ultrasónicos sobre el techo

Asegurar línea de vista en todo momento no es posible [8] (Obstrucción de muebles, personas, etc). Por ello, también estudiamos la idea de utilizar los ecos reflejados sobre las paredes cuando no hay línea de vista entre el tag y el monitor con el objetivo de conseguir la máxima cobertura pero requiriendo menos nodos receptores en la infraestructura (ver figura 12).

Si asumimos que el receptor lo colocamos bajo el techo a 3 metros de la pared, el peor de los casos se da cuando la persona (o el tag) está justo debajo

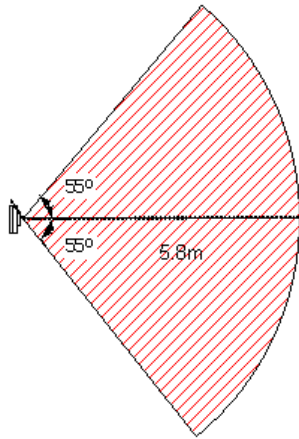


Figura 10: En rojo la zona de iluminación ultrasónica sobre el techo (32 m² para h=1.5 m) cuando el eje de emisión del tag se orienta 35 grados sobre la horizontal. Vista superior.

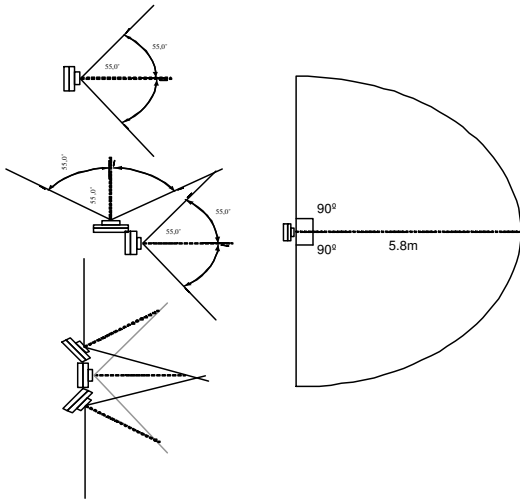


Figura 11: Aumento del patrón de emisión horizontal acoplando varios transductores (mas de 180° no se obtiene ya que quedaría bloqueada la señal por el propio pecho o cuerpo de la persona).

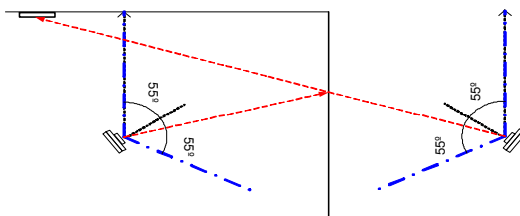


Figura 12: Idea de utilizar la reflexión en las paredes para detectar el tag incluso cuando no hay visión directa entre el tag y el receptor (la pared actua como un espejo, y aparece un tag virtual detrás de esta).

del lector ($x=2.8$ m), tal y como se muestra en la figura 13, que es cuando no hay vision directa tag-receptor y el recorrido de la señal es máximo (6 m). En la figura se aprecia como a 2.8 metros de la pared se obtiene un 50% de detecciones, y a 2 metros o menos de la pared aumenta por encima del 80% de detecciones.

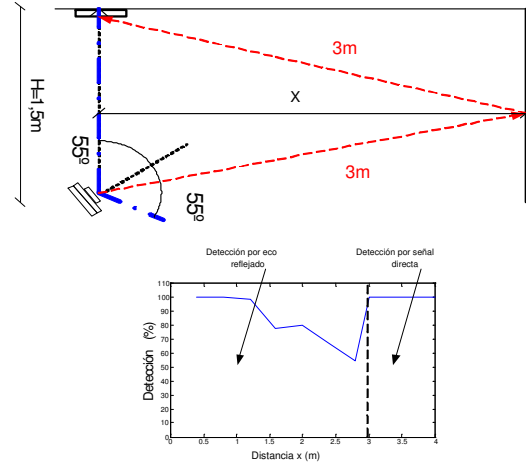


Figura 13: Detecciones cuando una persona se acerca a una pared (comienza a 4 metros de ella hasta que casi se pega a ella). Entre 4 y 3 metros la transmisión es directa del tag al receptor. De 3 a 1.5 las detecciones rondan el 70% de todas las emisiones, y muy cerca de la pared las detecciones son totales.

5 Resultados Obtenidos

En las pruebas realizadas se consideraron dos tipos de habitaciones de distintas dimensiones: una pequeña de 17,6 m² y otra más grande de 48,6 m². Una foto del sistema implementado en las pruebas se observa en la figura 14. En ambas se ubicaron los receptores ultrasónicos tomando en cuenta las consideraciones expuestas en la sección 4.2.

En la figura 15 se observan los resultados de las pruebas de detección, en habitación pequeña, con receptores ubicados en el techo y separados de las paredes para aprovechar los reflejos en estas. Se probaron 4 distintas configuraciones de tags utilizando uno, dos y tres emisores todos con inclinación de 35°, además de un tag sin inclinación. En cada configuración se realizaron tres trayectorias dentro del entorno de trabajo. Los resultados muestran que es posible obtener una detección del 90% cuando utilizamos dos o tres transductores en cada tag. Esto permite una cobertura de un área de 17,6 m² con solo tres receptores ultrasónicos, lo que nos da una densidad de monitores por área de 1 receptor por cada 6 m².



Figura 14: Foto del sistema implementado para las pruebas en la habitación grande. Se observa uno de los cuatro receptores ultrasónicos y el tag emisor.

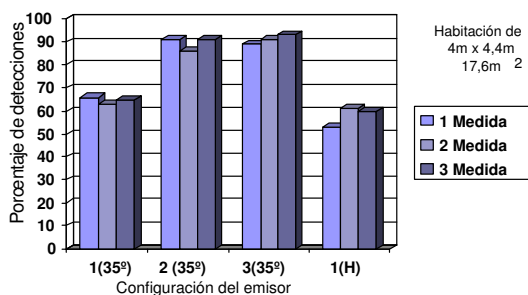


Figura 15: Pruebas de detección en habitación pequeña de 17.6 m² utilizando 3 receptores. Se muestran los casos de un solo tag, 2 y 3 tags (inclinados hacia arriba unos 35°, respectivamente con etiquetas 1(35°), 2(35°), 3(35°)) y el caso de 1 tag sin inclinar hacia arriba (1-H).

En la figura 16 se observa los resultados de las pruebas de detección en la habitación grande. Nuevamente el mayor porcentaje de detección se obtiene utilizando dos o tres transductores en cada tag. En este caso se obtuvo una cobertura de un área de 48,6 m² con cuatro receptores ultrasónicos, lo que nos da una mejor densidad de monitores por área que en el caso de la habitación pequeña. Esto se debe a que existe un mejor aprovechamiento de los ecos reflejados para la detección de los tags. Finalmente se obtiene 1 receptor por cada 12 m².

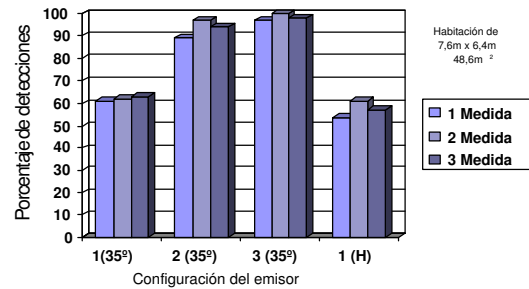


Figura 16: Pruebas de detección en habitación grande de 48.6 m² utilizando 4 receptores. Se muestran los casos de un solo tag, 2 y 3 tags (inclinados hacia arriba unos 35°, respectivamente con etiquetas 1(35°), 2(35°), 3(35°)) y el caso de 1 tag sin inclinar hacia arriba (1-H).

6 Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló e implementó un sistema electrónico de localización simbólica en espacios interiores. El sistema se ha desarrollado basándose en una plataforma comercial la cual se ha estudiado y mejorado para conseguir una mayor área de cobertura con la menor cantidad de nodos posible. Para conseguir estos resultados, los cambios realizados sobre la plataforma base ultrasónica fueron los siguientes:

- Aumento de la omnidireccionalidad de los receptores
 - Incorporando micrófonos omnidireccionales y la electrónica asociada en los receptores.
 - Además permite la ubicación superior de los receptores que es donde se obtiene una mayor cobertura al minimizar las oclusiones.
- Modificación del patrón de emisión del tag
 - Colocando el tag con un ángulo de 35° con respecto al eje horizontal, aumentándose la insonificación ultrasónica sobre el techo

- Aumentando el ángulo de emisión horizontal utilizando mas de una transductor
- Distribución de receptores en lugares y de forma estratégica
 - Ubicación de los faros considerando ecos reflejados
 - Detección del tag aún sin LOS (obstáculos)
 - Menor cantidad de faros por unidad de área

Finalmente con el sistema implementado se ha conseguido un densidad de monitores por área de 1 receptor por cada $6 m^2$ (en habitación pequeña) y de $12 m^2$ (en sala grande).

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la ayuda recibida por parte del IMSERSO que financió el proyecto Ariadna.

Referencias

- [1] Cesta, A., Pecora., F. (2005) “The RoboCare Project: Intelligent Systems for Elder Care”, *Proceedings of the AAAI Fall Symposium on "Caring Machines: AI in Elder Care"*, Estados Unidos.
- [2] Ghidary, S., Tani, T., Takamori, T., Hattori, M. (1999) “A new Home Robot Positioning System (HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors”, *IEEE SMC Conf., Tokyo*.
- [3] Hazas, M., Ward, A. (2003) “A High Performance Privacy-Oriented Location System”, *In Proceedings of PerCom 2003: First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, Estados Unidos.
- [4] Helal, A., Winkler, B., Lee, C., Rand, L., Giraldo, C., Kuchibhotla, S., Mann, W.,(2003) “Enabling Location-Aware Pervasive Computing Applications for the Edlerly”, *First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*.
- [5] Hexamite, (2006) HX5 reference guide, Hexamite, Australia.
- [6] Hori, T., Nishida, Y., Murakami, S., Aizawa, H., Mizoguchi, H.,(2004) “Distributed Sensor Network for a Home for the Aged”, *in Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*.
- [7] Jiménez, A., Seco, F., Prieto, C., Roa, J., (2004) “Tecnologías sensoriales de localización para entornos inteligentes ”, *WAC-World Automation Congress. ISIAC.*, España.
- [8] Morgado, F., Jiménez, A., Seco, F. (2004) “Ultrasound-Based 3D-Coordinate Measuring System For Localization Of Findings in Paleo-rchaeological Excavations”, *I Congreso español de informática - Simposio de Computación Ubicua e Inteligencia Ambiental.*, España.
- [9] Noury, N., Hervé, T., Rialle, V., Virone, G. (2000) “Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors”, *in Proc. IEEE-EMBS "Microtechnologies in Medicine and Biology,"*, Francia.
- [10] Panasonic, Omnidirectional Back Electret Condenser Microphone Cartridge WM-61, Panasonic, Estados Unidos.
- [11] Prieto, J., Jiménez, A., Guevara, J., Ealo, J., Seco, F., Roa, J., Ramos, F. (2007) “Subcentimeter-accuracy localization through broadband acoustic transducers”, *EEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP'2007)*.
- [12] R, Reddy. (2006) “Robotics and Intelligent Systems in Support of Society”, *IEEE Intelligent Systems*.
- [13] Stanford, V., (2002) “Using Pervasive Computing to Deliver Elder Care”, *IEEE Pervasive Computing*.
- [14] Wang, Q., Shin, W., Liu, X., Zeng, Z., Oh, C., AlShebli, B., Caccamo, M., Gunter, C., Gunter, E., Hou, J., Karahalios, K., Sha, L. (2006) “An Open System Architecture for Assisted Living”, *In IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*.