

Posicionamiento indoor determinado por la distancia en función de la potencia medida de balizas bluetooth

Marcelo MARINELLI¹, Juan TOLOZA^{2,3}, Nelson ACOSTA²

¹Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales.
Universidad Nacional de Misiones

²Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

³Becario postdoctoral CONICET
marcelo@marinelli@gmail.com, {jmtoloz, nacosta}@exa.unicen.edu.ar

Abstract. El presente artículo presenta una experiencia de captura de datos de dispositivos que emiten señales bluetooth usando una placa tipo Arduino Mega 2560. Se analizan los datos con algunas técnicas y se detalla la magnitud de errores encontrados en las diferentes muestras. Además, se proponen algunas nuevas medidas para intentar alcanzar una mejor precisión en el posicionamiento.

Keywords: Posicionamiento indoor, Balizas Bluetooth, RSSI.

1 Introducción

Los métodos de posicionamiento fueron evolucionando en el tiempo. Los fenicios usaban el sol, la luna y las estrellas para guiarse [1][2]. En la actualidad, se usan micro dispositivos electrónicos [3]. A finales del siglo XX, la aparición de calculadoras y computadoras electrónicas, facilitó grandemente el cálculo; pero la aparición del GPS, poco después, revolucionó la forma de localizar un objeto [4].

Esta tecnología para el posicionamiento en exteriores carece de utilidad en un espacio cerrado como puede ser un edificio. Es difícil usar esta tecnología para distinguir en que habitación o en que planta se encuentra ubicado una persona. Es por ello, que en los últimos años se han presentado diversas soluciones de posicionamiento en espacios interiores. Entre ellas, se encuentra Bluetooth la cual se experimenta aquí y se analiza con diversas técnicas para lograr posicionar un objeto en un ambiente interior.

Bluetooth utiliza frecuencias de radio del orden de 2.4 Ghz, representa una tecnología económica [5], pero es de corto alcance, de esta manera, para cubrir la zona de un recinto, se necesitarían varios dispositivos. El error asociado a la estimación puede encontrarse en torno a los 1.5 metros de precisión. En este sentido, el parámetro RSSI Received Signal Strength Indicator, (Intensidad de la Señal Recibida) no es preciso, motivo por el cual, no se puede estimar con exactitud la

ubicación de un dispositivo, sino que se identifica el entorno en el que se encuentra, en un radio determinado.

En general, los sistemas de posicionamiento heredan características dependientes del tipo de sensor. Algunas de ellas son: Retardo en la propagación, difracción, reflexión y la dispersión que afectan a todos los tipos de señales. Las características propias de la señal son las siguientes [6]:

- **Atenuación por distancia:** A mayor separación entre el emisor y el receptor, la potencia de la señal decrece con el tiempo de forma logarítmica, si el receptor se encuentra a una distancia corta del emisor, la potencia decrece rápidamente y si el receptor se encuentra en un rango de alcance medio, la señal decrece a una velocidad menor.
- **Absorción de la señal:** Cuando la señal atraviesa algún material, la potencia de la misma se debilita o atenúa en mayor o menor intensidad, dependiendo de las características físicas del material y de la frecuencia propia de la onda.
- **Reflexión:** Este fenómeno ocurre, cuando una onda, choca con un obstáculo, parte de la potencia de la señal no se absorbe, sino que es reflejada y la misma puede tener distinta fase que la señal original, dependiendo de las características propias del obstáculo.
- **Dispersión:** Este fenómeno ocasiona que parte de la energía sea irradiada en numerosas direcciones diferentes y ocurre cuando el medio por el cual viaja la señal, está formado por objetos con dimensiones pequeñas, comparados con la longitud de onda propia de la señal. Es el fenómeno contrario a la reflexión, la cual ocurre cuando los objetos poseen dimensiones grandes.
- **Difracción:** Cuando una señal impacta con el borde de un obstáculo, se originan diferentes frentes de onda en distintas direcciones. Los factores de los cuales dependen la intensidad de este fenómeno son: la calidad y tipo del material con el que está compuesto el obstáculo, así como también de la amplitud o fase de onda.

Los tres últimos fenómenos citados anteriormente, dan lugar un fenómeno denominado: Multitrayecto (Multipath) que origina que la señal llegue al receptor a través de diferentes caminos y por lo tanto a diferentes tiempos ocasionando retardos e interferencias en las transmisiones. De esta manera, las comunicaciones inalámbricas en interiores se caracterizan por este fenómeno, donde no solamente existen señales directas entre el emisor y el receptor, sino que también se encuentran señales difractadas, dispersadas y reflejadas por los diferentes obstáculos y objetos que se encuentran en el medio.

En el trabajo desarrollado en [7] se dispone de tres ordenadores portátiles que actúan como emisores de señal Bluetooth y un dispositivo móvil como receptor de la señal Bluetooth. El dispositivo móvil es quien calcula la posición donde se encuentra mediante triangulación de la señal que emiten los tres portátiles.

En [8] se presenta una arquitectura en la que los emisores son de bajo costo y el receptor es un dispositivo móvil. El artículo quiere enfatizar en la ventaja de usar este tipo de arquitectura pasiva de bajo costo.

La plataforma Alipe [9] mezcla diversas topologías para obtener la posición. En esta plataforma por un lado hay dispositivos Bluetooth que envían información sobre su ubicación al realizarle una petición por parte de otro dispositivo Bluetooth cliente. Si el dispositivo al que se le ha realizado la petición no está adaptado para comunicar su posición, el dispositivo cliente que ha realizado la petición registra la dirección Bluetooth remota y busca en una base de datos centralizada la ubicación asociada a esa dirección Bluetooth.

“Follow me” [10] presenta una aplicación práctica para un sistema de posicionamiento en interiores. El sistema consiste en dispositivos Bluetooth rastreadores cuya ubicación es conocida. Estos dispositivos rastreadores están constantemente escaneando dispositivos Bluetooth, cada vez que se detecta un dispositivo se almacena su dirección Bluetooth junto con su ubicación, que es la ubicación del dispositivo rastreador, en una base de datos centralizada. La aplicación ofrecida al usuario es poder obtener su ubicación en el edificio, consultando esa base de datos y publicar la ubicación en una aplicación web como puede ser Twitter.

En el pabellón de Finlandia en la expo de Shanghai 2010 se desarrolló una aplicación para móvil [11] en la que los usuarios podían obtener su posición dentro del pabellón mediante puntos de acceso Bluetooth que calculaban posiciones mediante distribuciones de probabilidad del indicador RSSI.

Los sistemas de posicionamiento en interiores no sólo se limitan el uso de tecnologías inalámbricas también, como se puede ver en [12], se ha desarrollado un sistema de posicionamiento en interiores basado en visión por ordenador, en el que se cuenta con una base de datos de imágenes georeferenciadas que se usa para buscar coincidencias con lo que está viendo el dispositivo móvil en ese momento.

En la mayoría de los sistemas de posicionamiento indoor analizados se opta por estimar la posición usando el indicador de Fuerza de Señal de Recepción (RSSI), recolectando medidas desde distintos puntos para inferir un modelo probabilístico que estima las posiciones una vez que el sistema está en funcionamiento.

Albert Huang [13] utiliza la infraestructura de computadoras existentes en un edificio agregando 30 balizas BT en los puertos USB de las mismas, logrando una exactitud de 3-10 metros, dependiendo de la densidad de baliza en la zona.

Fernández Gorroño [14] utiliza un sistema de posicionamiento en interiores basado en la tecnología Bluetooth para aplicaciones en Dispositivos Móviles (DM), con el objeto de proveer información en estaciones de subterráneos. La característica de este sistema es que el peso de la lógica está en el DM y las balizas son pasivas y de bajo costo.

Sudarshan S. Chawathe [15] estudia los retrasos en la fase de descubrimiento de balizas Bluetooth y propone métodos para aliviarlos de forma de poder utilizarlos para aplicaciones de localización en interiores como, complejos de edificios grandes o terminales de aeropuertos usando coordenadas adecuadas al lugar como número de piso y número de habitación o terminal del aeropuerto y dársena.

La sección 2 presenta el proceso de adquisición de datos, la 3 muestra el análisis que se hace a los datos recavados con algunas técnicas propuestas, aquí se muestran los resultados a los que se llegó luego de procesar los datos. Por último, la 4, presenta las conclusiones y futuros trabajos.

2 Toma de muestras y experimentos realizados

Se diseña un escenario para la toma de muestras en una de las oficinas del edificio INTIA/INCA, de la Facultad de Ciencias Exactas perteneciente a la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Se hacen marcas de precisión en el suelo cada un metro llegando a completar 25 metros. Se toman 100 muestras de cada punto. Las primeras marcas, hasta los 3 metros corresponden al interior de una oficina y hasta los 7 metros a otra oficina contigua. Luego hasta los 25 metros las tomas se hacen en un pasillo del edificio.

Para la toma de datos se especifica un sistema de medición de potencia de dispositivos Bluetooth (BT) remotos (baliza BT) utilizando comandos AT. Para ello, se desarrolla un programa de control residente en la placa Arduino Mega que setea al dispositivo Bluetooth local en modo “master”. De esta forma, se interroga a los dispositivos detectados, se identifican por su dirección MAC y se mide su potencia. La figura 1 muestra un diagrama de los componentes del sistema de adquisición.

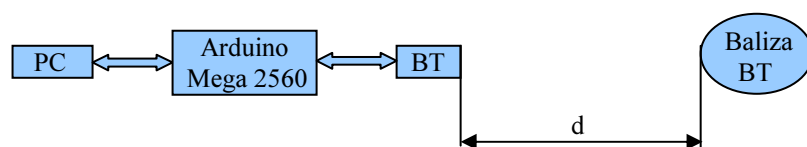


Figura 1. Diagrama de componentes del sistema

Los dispositivos que se usan para adquirir los datos son módulos transeptores de tecnología inalámbrica Bluetooth RS232 TTL V2.0 con chipset RSE.

Para el procesamiento de los datos se desarrolla un programa en Ansi C que, por medio del puerto USB conectado al Arduino, recibe cien datos de medición de potencia y los almacena en un archivo de texto plano.

3 Análisis de los datos con las técnicas propuestas

Los datos obtenidos se vuelcan en una plantilla de cálculo donde se obtienen por cada grupo de datos: la moda, el valor máximo, el mínimo y el promedio. Luego se proponen algunas técnicas novedosas a implementar aplicadas en [16][17][18].

En la figura 2 se observa el comportamiento de cada una de las técnicas aplicadas. Cabe aclarar que el mínimo no se muestra en el gráfico ya que tiene valores extremos que no permiten visualizar con claridad el resto de los resultados obtenidos.

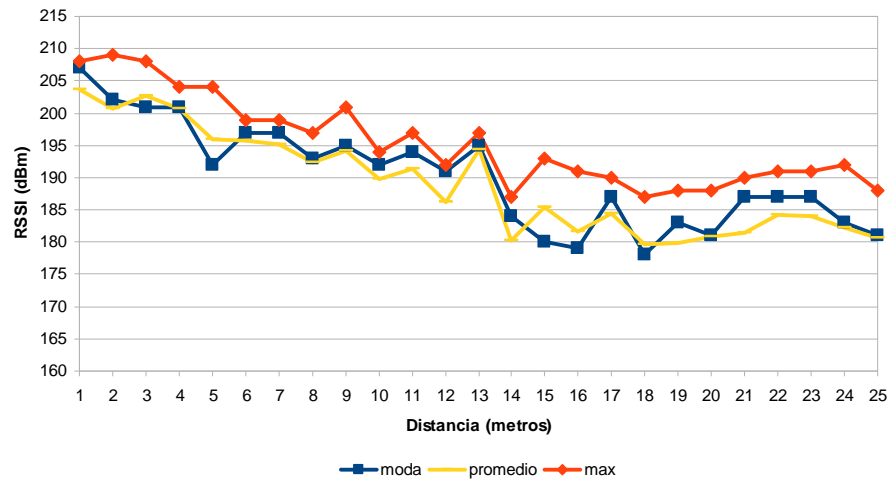


Figura 2. Gráfico de la potencia en función de la distancia

La figura 2 presenta un comportamiento similar para las tres medidas. Cuando la distancia aumenta, el indicador de fuerza de la señal (RSSI) disminuye. Hasta los 3 metros puede verse como el comportamiento es ideal para la moda ya que cada uno de los valores es menor a medida que se aleja de la baliza. No pasa lo mismo con las otras medidas. Al pasar a la oficina contigua, y esto puede ser debido a la presencia de paredes que obstaculizan la señal, la moda oscila bruscamente pero el promedio y los máximos mantienen consistencia hasta los 8 metros inclusive. Desde allí y hasta los 12 metros, el comportamiento es similar para todas las medidas. A los 13 y 14 metros, prácticamente coinciden en valor las tres. Luego, se observan muchas oscilaciones en todas las medidas, esto se puede atribuir a los rebotes de la señal en las paredes del pasillo y en el amoblamiento de las oficinas que se encuentra al paso de la señal.

Ahora si se calcula la regresión lineal de cada una de las medidas se puede observar la distancia entre la medida “ideal” y la real. En el caso de la figura 3, se observa la regresión lineal para el promedio, en la 4 para la moda; y finalmente en la 5, para el máximo. También se muestran las ecuaciones de las rectas en cada caso y el valor de R^2 que representa cuanto se ajusta la recta a los valores reales obtenidos. Cuanto mayor es este valor, significa que mejor se ajusta la regresión a los valores reales.

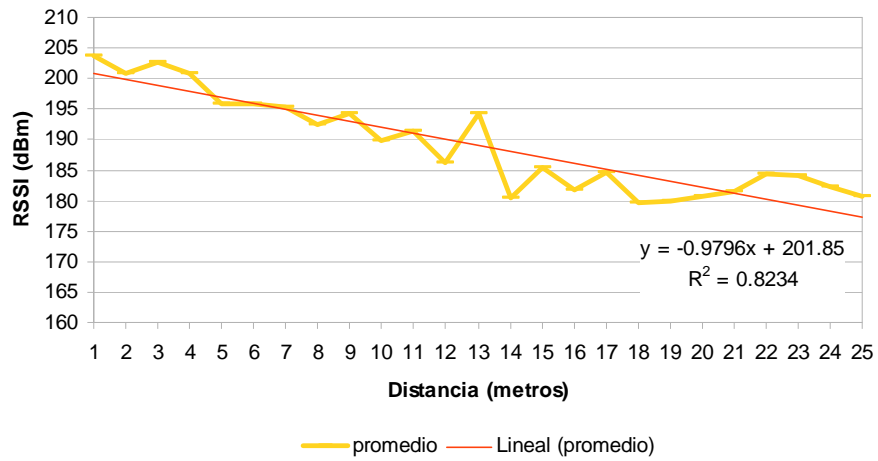


Figura 3. Promedio y su regresión lineal

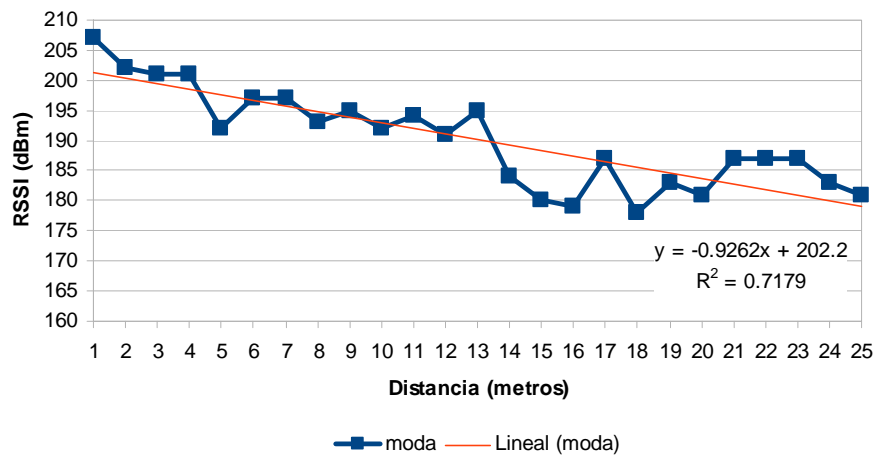


Figura 4. Moda y su regresión lineal

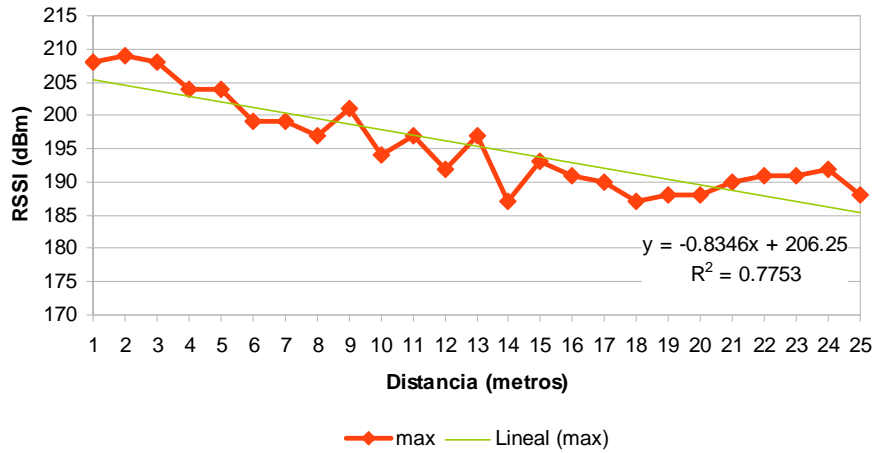


Figura 5. Máximo y su regresión lineal

Según lo analizado la mejor regresión, es decir, el mayor R^2 se da para el promedio. Por lo tanto, el mejor estimador estadístico para el caso estudiado que más se asemeja a un comportamiento lineal es el promedio. Entonces si se aplica a los datos de entrada (RSSI) la ecuación $x = (y - 201.85) / -0.9796$ que se despeja de la que se observa para la regresión ($y = -0.9796x + 201.85$), se puede tener una salida (metros) donde se obtenga una distancia a la baliza de tal manera de estimar su posición relativa.

Las siguientes tres figuras (6, 7 y 8) analizan la magnitud del error cometido entre la medida tomada y la que indicaría la regresión lineal. Esto se realiza luego de aplicar la ecuación despejada para la entrada (x) como se mostró en el caso del promedio. En la figura 6 se muestra el error del promedio, en la 7 de la moda y en la 8 del máximo.

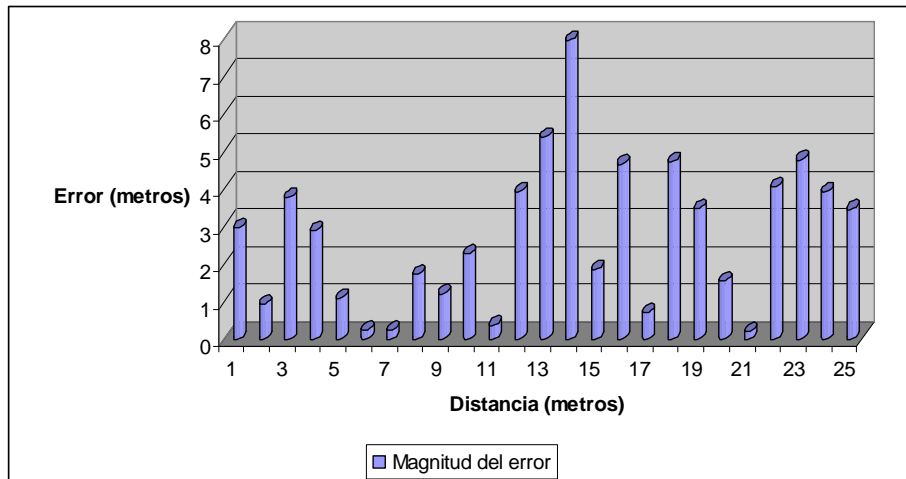


Figura 6. Magnitud del error entre el promedio y su regresión lineal

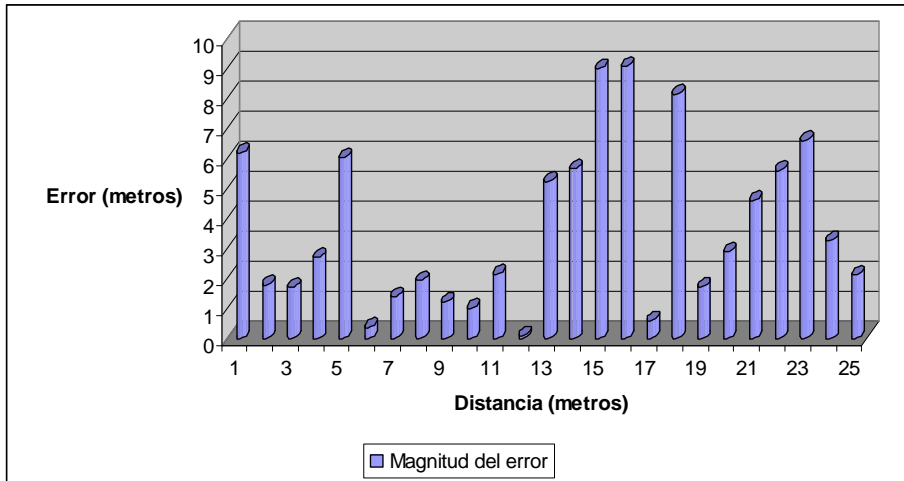


Figura 7. Magnitud del error entre la moda y su regresión lineal

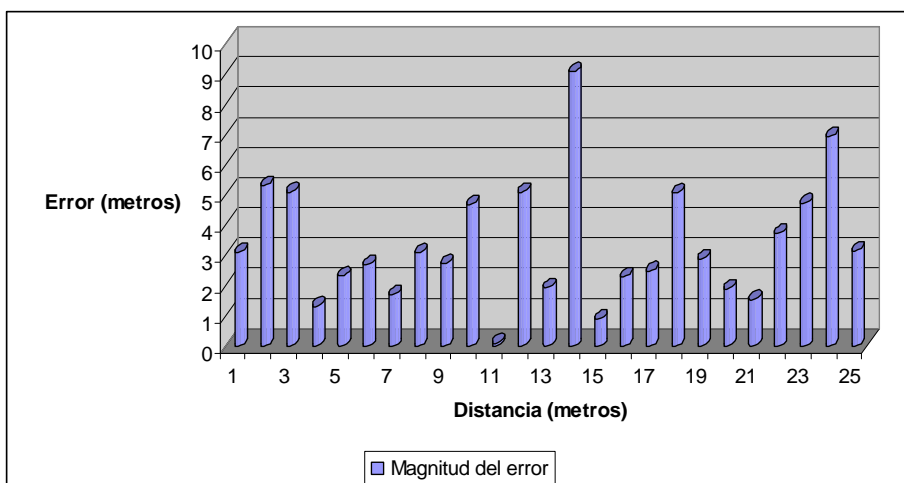


Figura 8. Magnitud del error entre el máximo y su regresión lineal

El error máximo para todos los casos está cercano a los 9 metros cuando la distancia al dispositivo es de 14 metros aproximadamente. El mínimo es 0 para algunos casos. En las tres estimaciones se denota que en el rango medio de distancia es donde se obtiene la mayor magnitud de error. Este fenómeno se puede deber a los obstáculos que debe sortear la señal para llegar al dispositivo y obviamente cuando más se aleja, menor es la recepción. También se observa que cercano al dispositivo de captura el error medido es alto pero no se tienen detalles de su ocurrencia.

4 Conclusiones y trabajos futuros

Se ha presentado un sistema ad-hoc para posicionamiento indoor usando un entorno libre como es Arduino con la posibilidad de ser montado en cualquier móvil. Las técnicas utilizadas muestran que es posible estimar la distancia con un cierto grado de error y por medio de triangulación, localizar un objeto en un ambiente interior. Los errores máximos se encuentran en los 9 metros cuando la distancia es casi del doble. Calculando el promedio de las medidas se obtiene un buen estimador pero no es suficiente para una buena precisión. La moda si bien es la que menos se ajusta a su regresión lineal, también es un buen estimador aunque el error acumulado es el más grande de los tres.

Como futuros trabajos se prevé el desarrollo de técnicas que permitan mejorar la estimación de la distancia a partir de la fuerza de la señal recibida. Se va a tomar mas cantidad de muestras con rangos de distancias que van de a 50cm para verificar la aplicabilidad de las técnicas propuestas en este trabajo y de las futuras a desarrollar. También se va a utilizar el tiempo de vuelo de la señal para verificar los datos obtenidos. Se van a hacer pruebas en un ambiente sin obstáculos para ver el comportamiento de la señal en un ambiente ideal. Además, se van a realizar tomas de datos en un ambiente exterior de manera de analizar su comportamiento.

Como se mencionó anteriormente, algunas de las técnicas que se proponen implementar son: filtro de Kalman con ajuste de la desviación estándar, lógica difusa y redes neuronales. Con ello se busca aumentar la precisión de posicionamiento.

Referencias

1. Rao (2010) Global Navigation Satellite Systems. Tata McGraw-Hill Education, 478 pp.
2. Misra P. & Enge P. (2010) Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance. New York, Ganhga-Jamuna Press, 590 pp.
3. Asdrúbal V. (2004) De la técnica a la modernidad: Construcciones técnicas, ciencia, tecnología y modernidad. Universidad de Antioquia, 263 pp.
4. Maini A. K. & Agrawal V. (2010) Satellite Technology: Principles and Applications. 2nd Edition, John Wiley & Sons, United Kingdom, 704 pp.
5. Hallberg J., Nilsson M., Synnes K. (2003) Bluetooth Positioning. 10th International Conference on Telecommunications, Volume 2, IEEE, pp. 954-958.
6. Stewart J. W. (1983) Introduction to Wave Propagation, Transmission Lines, and Antennas. Navy Electricity and Electronics Training Series. U.S. Navy.
7. S. Feldmann, K. Kyamakya, A. Zapater, Z. Lue, An Indoor Bluetooth-Based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation, in: International Conference on Wireless Networks, 2003.
8. Cheung K., Intille S., and Larson K., 2006. An Inexpensive Bluetooth-Based Indoor Positioning Hack. Proceedings of UbiComp 2006
9. J. Hallberg, M. Nilsson, K. Synnes, "Bluetooth Positioning", The Third Annual Symposium on Computer Science and Electrical Engineering (CSEE 2002), Luleå, Sweden, 27-28 May 2002
10. Polychronis Ypodimatopoulos and Andrew Lippman. 'Follow me': a web-based, location-sharing architecture for large, indoor environments. In Proceedings of the 19th international conference on World wide web (WWW '10). ACM, New York, NY, USA, 1375-1378.

11. Pei, Ling; Chen, Ruizhi; Liu, Jingbin; Tenhunen, Tomi; Kuusniemi, Heidi; Chen, Yuwei; ,
"An Inquiry-based Bluetooth indoor positioning approach for the Finnish pavilion at
Shanghai World Expo 2010," Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010
IEEE/ION , vol., no., pp.1002-1009, 4-6 May 2010
12. Paucher, R.; Turk, M.; , "Location-based augmented reality on mobile phones," Computer
Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society
Conference on , vol., no., pp.9-16, 13-18 June 20
13. Huang, A., "An Inexpensive Bluetooth-Based Indoor Positioning Hack MIT" CSAIL. 2005.
Available at <http://people.csail.mit.edu/albert/pubs/2005-ashuang-sm-thesis.pdf>
14. Fernández Gorroño, J. L. SISTEMA DE GUIADO MULTIMEDIA EN INTERIORES
MEDIANTE DISPOSITIVOS MÓVILES BLUETOOTH.
15. Chawathe, S.S., "Low-latency indoor localization using bluetooth beacons," Intelligent
Transportation Systems, 2009. ITSC '09. 12th International IEEE Conference on , vol., no.,
pp.1,7, 4-7 Oct. 2009
16. Toloza J. (2013) Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión
posicional relativa usando receptores GPS estándar. Tesis Doctoral, Universidad Nacional
de La Plata, 213 pp.
17. Toloza J., Acosta N. & De Giusti A. (2012) "An approach to determine the magnitude and
direction error in GPS system," Asian Journal of Computer Science and Information
Technology, Volume 2 No. 9, pp. 267-271.
18. Acosta N. & Toloza J. (2012) "Techniques to improve the GPS precision," International
Journal of Advanced Computer Science and Applications, Volume 3 No. 8, pp. 125-130.