

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/272815602>

Técnicas de localización de nodos inalámbricos mediante redes de sensores

Conference Paper · July 2013

CITATION

1

READS

622

1 author:



[Jose Rugeles](#)

Military University Nueva Granada

10 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

SEE PROFILE

Técnicas de localización de nodos inalámbricos mediante redes de sensores

José de J RUGELES, jose.rugeles@unimilitar.edu.co

Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones, Grupo de Investigación GISSIC, Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Cundinamarca, 111111, Colombia

Deiby LEON, u1400483@unimilitar.edu.co

Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones, Grupo de Investigación GISSIC, Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Cundinamarca, 111111, Colombia

RESUMEN

Este artículo analiza la problemática de la radiolocalización en espacios cerrados, tema de gran interés tanto para la academia, como la industria por su enorme potencial para el desarrollo de aplicaciones utilizando dispositivos móviles. En primer lugar se examinan los escenarios de localización más comunes y se presenta una contextualización respecto a las tecnologías empleadas en la actualidad para el desarrollo de sistemas de radiolocalización; posteriormente se describen las técnicas de localización basadas en distancias y/o ángulos y las técnicas de localización independientes de estos parámetros junto con los métodos de refinamiento más comunes que permiten realizar una estimación más ajustada de la posición. Finalmente se presentan los resultados de las simulaciones realizadas para los algoritmos de localización: superposición de anillos basados en RSSI y Fingerprinting, los cuales hacen parte de una herramienta de análisis de escenarios de radiolocalización desarrollada en Matlab.

Palabras Claves: Redes de sensores inalámbricos, Técnicas de localización, Métodos de refinamiento, RSSI, Fingerprinting, Matlab.

1. INTRODUCCION

Las tecnologías satelitales son sin duda las más utilizadas en los sistemas de localización modernos, destacándose el sistema americano GPS (Global Positioning System) y el ruso GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System). Estas tecnologías resuelven el problema de localización en espacios abiertos, pero se quedan cortas en espacios cerrados, debido a la atenuación de las señales dentro de las edificaciones.

Encontrar la posición física (longitud, latitud y altitud) de un objeto en movimiento dentro de un edificio es un problema que la ciencia ficción resolvió hace mucho tiempo, pero que actualmente representa un gran reto para las diversas tecnologías inalámbricas modernas. Ubicar un automóvil dentro de un parqueadero, localizar a una persona en un centro comercial o establecer la ruta tomada por una persona que ingresa a una edificación, son problemas comunes aún sin resolver; que representan pérdida de tiempo, incomodidades

o riesgos para el control de la seguridad en grandes centros urbanos. En los últimos años se han explorado diversas alternativas que buscan resolver este problema. Algunas de ellas se han desarrollado utilizando tecnologías como WiFi [5], bluetooth, o etiquetas activas RFID empleando RTLS (Real Time Locating System) y tecnologías móviles como CDMA o GSM [10]. Otros esfuerzos se encaminan hacia la utilización de las redes de sensores inalámbricos con tecnologías como Ultra Wide Band o Zigbee [4],[13]. Una gran cantidad de productos comerciales se encuentran disponibles para tareas de localización en espacios cerrados, algunos muy especializados para aplicaciones militares o de logística, pero no hay una tecnología que a nivel masivo permita aún resolver este problema.

Este documento describe algunas de las técnicas de localización y refinamiento más conocidas y presenta la simulación de un escenario de localización de 30 y 100 nodos distribuidos en áreas de 50, 100 y 200 metros cuadrados. Se presentan los resultados para los algoritmos: superposición de anillos basados en RSSI y Fingerprinting, integrados en una herramienta de radiolocalización desarrollada en Matlab, la cual hace parte del sistema software del testbed CRS-WA (*Cognitive Radio Sensor for Wireless Applications*), sistema implementado para el desarrollo de investigaciones en radio cognitiva y redes de sensores inalámbricos dentro del Grupo de Investigación en Seguridad y Sistemas de Comunicación (GISSIC) de la Universidad Militar Nueva Granada en Colombia.

2. ESCENARIOS DE LOCALIZACIÓN

Un escenario de localización, como el que muestra la figura 1, está conformado por un conjunto de mínimo tres nodos de referencia cuyas coordenadas (X_{Nr1}, Y_{Nr1}) , (X_{Nr2}, Y_{Nr2}) y (X_{Nr3}, Y_{Nr3}) establecen un área o perímetro de localización y uno o más nodos móviles (X_{M1}, Y_{M1}) de los cuales se desconoce su ubicación. En uno de los posibles escenarios (Escenario 1) los nodos fijos pueden funcionar como receptores (P_{rx1} , P_{rx2} , P_{rx3}) desde donde se pueden medir algunos parámetros de la señal enviada por cada uno de los nodos móviles como son: potencia recibida, expresada como la señales RSSI (Received Signal Strength Indicator) indicadas en la figura 1 como (RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3), el ángulo de llegada (θ_1 , θ_2 , θ_3) o el tiempo que tardan las señales (t_1 , t_2 , t_3) en viajar desde el nodo transmisor hasta los nodos receptores. En otro de los escenarios

(Escenario 2), los nodos fijos funcionan como transmisores (T_{X1} , T_{X2} y T_{X3}) y el nodo móvil es el receptor (P_{Rx}). El cálculo de la posición puede realizarse directamente en este nodo, si se tiene suficiente poder de cómputo, o en un punto externo E_1 (Escenario 3) que recibe los parámetros medidos con los cuales estima la posición y que puede o no, realimentar las coordenadas estimadas al nodo móvil.

El procesamiento de las señales puede realizarse en cada uno de los nodos fijos, lo cual se conoce como procesamiento distribuido; o las señales son enviadas a un solo nodo procesador para allí realizar los cálculos de la posición desconocida, lo que se conoce como procesamiento centralizado.

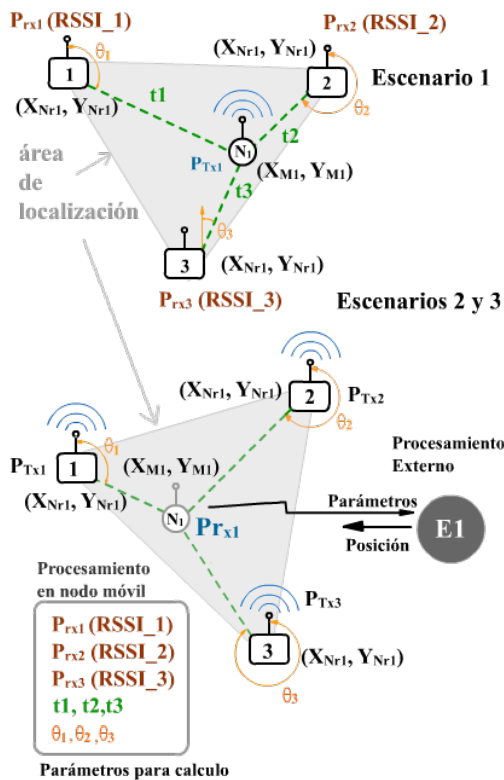


Figura 1. Escenarios de localización nodo móvil transmisor. Fuente: Autores.

La localización se desarrolla en tres fases: primero se realiza la estimación de la distancia y/o ángulo, posteriormente se calcula la posición aproximada y por último se hace un refinamiento de la posición. Las técnicas de localización pueden de tres tipos: basadas en distancias, en ángulos o independientes de distancias y/o ángulos. Cualquiera de ellas, busca recopilar mediante mediciones de parámetros de las señales de radio, suficiente información del entorno que permita establecer la ubicación del nodo móvil. Para realizar estas medidas se deben tener en cuenta los requerimientos en cuanto al hardware necesario en cada nodo y las capacidades de procesamiento, según la técnica a utilizar. Entre las técnicas más empleadas se encuentran: RSSI (Received Signal Strength Indication), ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Delay of Arrival), AoA (Angle of Arrival) y RTOF (Round Trip Time Of Flight), Fingerprinting y APIT (Approximate Point In Triangulation).

La figura 2 describe el escenario para las tecnologías de radiolocalización planteado en [1], donde se relacionan las técnicas de localización, las tecnologías y los niveles de resolución alcanzados. Claramente se puede ver que la tecnología Ultra Wide Band permite resoluciones muy altas, del orden de 10 centímetros y que las resoluciones más bajas se obtienen con tecnologías de telefonía móvil como GSM o CDMA en el orden de más de diez metros. En un rango intermedio se encuentran las tecnologías WLAN con resoluciones entre uno y diez metros. La mejor resolución después de UWB, en el orden de un metro, se alcanza al utilizar métodos híbridos entre tecnologías de radiofrecuencia y señales infrarrojas o ultrasónicas.

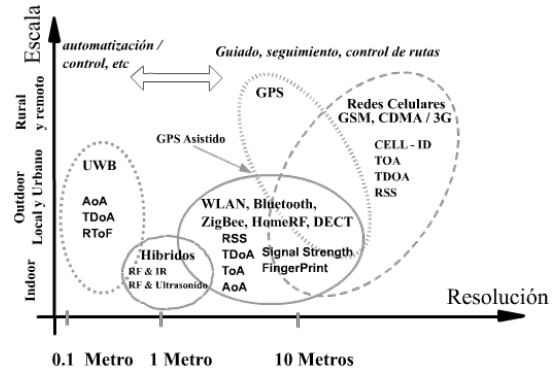


Figura 2. Tecnologías de localización

Algunos de los diseños e implementaciones de sistemas de radiolocalización que se destacan son: WiTracker [5], CoBot [6], FILA [7], COCKTAIL [8], Cricket [9], CILOS [10], ISILON [11] y LOCUS [12].

3. TECNICAS BASADAS EN DISTANCIAS

Indicador de Intensidad de señal recibida (RSSI):

Si se conoce la intensidad de potencia de una señal en un receptor, se podría estimar la distancia a la cual está ubicado el transmisor. Aunque pareciera simple, esta técnica presenta significativos errores ocasionados por las pérdidas de trayecto dependientes de las características físicas del entorno [4]. En espacio libre el desvanecimiento de una señal de radio se puede modelar como $1/d^2$, mientras que en condiciones de terreno es posible modelarlo como $1/d^n$ donde, $2.5 < n < 4.5$, dependiendo del terreno y los factores del entorno [3]. El factor de *path loss* puede encontrarse de forma experimental para un ambiente determinado. Entre los modelos más utilizados se encuentran: Free Space y Two-Ray Ground y al considerar los modelos en espacios cerrados se incluyen factores adicionales que tienen en cuenta las pérdidas por muros, pisos y objetos.

La señal RSSI está disponible en los circuitos integrados de radiofrecuencia utilizando en todo tipo de receptores inalámbricos. Uno de los más utilizados en las redes de sensores inalámbricos es el CC2420 de la empresa Texas Instruments, para este dispositivo la potencia recibida en dBm se puede calcular mediante la ecuación Ec.(1).

$$P = RSSI_VAL + RSSI_OFFSET [dBm] \quad (1)$$

En esta expresión RSSI_VAL corresponde a un registro de 8 bits con signo y con complemento a 2 y el valor del RSSI_OFFSET es de aproximadamente -45dB, el cual se ajusta empíricamente durante el proceso de diseño y fabricación del circuito integrado. La empresa Texas Instruments desarrolló un módulo de localización (*location engine*) para el circuito integrado CC2431 junto con un software para procesar las señales RSSI que permite estimar la localización de los nodos inalámbricos, aunque en las nuevas versiones del circuito integrado este módulo no está disponible.

Aunque en la actualidad las señales RSSI no son el método más confiable para implementar sistemas de radiolocalización, se vislumbra como una de las técnicas con mayor potencial para masificar la tecnología de radiolocalización por su bajo costo de implementación [3].

Tiempo de Llegada (TOA)

En este método la distancia r_{TOA} entre dos nodos es directamente proporcional al tiempo que tarda la señal en propagarse desde un punto a otro, como se observa en la ecuación Ec.(2), donde c corresponde a la velocidad de la luz, t_1 al tiempo en el cual se envía la señal desde el nodo 1 al nodo 2 y t_2 es el tiempo en el cual se recibe la señal en el nodo 2.

$$r_{TOA} = c * (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Esta técnica requiere de un sistema de sincronización entre nodos y del envío de información de los tiempos dentro de los paquetes.

Diferencia en el tiempo de llegada (TDOA)

Utiliza la medición de la diferencia de tiempos que tarda en llegar una señal radiada desde un nodo móvil hasta cada una de las estaciones fijas o los tiempos que tardan en llegar las señales enviadas desde las estaciones hasta el nodo móvil como se puede observar en la figura 3.

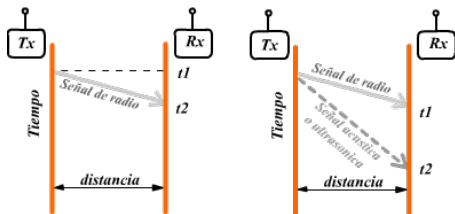


Figura 3. Medida de distancia con ToA y TDoA
Fuente: Autores.

La distancia se puede obtener mediante la ecuación (3). Además de la señal de radio, se requiere enviar otra señal, que puede ser acústica o ultrasónica.

$$d = (V_r - V_s) * (t_s - t_r - t_{\text{retardo}}) \quad (3)$$

Donde, V_r es la velocidad de propagación de la señal de radio frecuencia, V_s la velocidad de propagación de la señal acústica o ultrasónica, t_r el tiempo que tarda la señal de radio, t_s =tiempo de la señal acústica o ultrasónica y t_{retardo} = tiempo fijo de espera. Los errores en la medida utilizando TDoA son del orden de los centímetros. Las desventajas de esta técnica radica en la necesidad de un hardware adicional y en el poco alcance debido

a la baja velocidad de propagación del sonido. Se tienen referencias de implementaciones con señales ultrasónicas con errores de 3 cm en áreas de 3 metros [3].

4. TECNICAS BASADAS EN ÁNGULOS

Ángulo de Llegada (AOA)

También conocido como dirección de llegada. Con mínimo dos medidas angulares se puede determinar la posición aproximada de la fuente, como se observa en la figura 4. Este método necesita de un grupo de antenas directivas o un conjunto de receptores, separados uniformemente [25]. En algunos casos se utilizan un sistema de rotación para las antenas en los nodos de referencia o se utiliza un arreglo de antenas fijas con un hardware de conmutación electrónica que se sincroniza con el sistema de adquisición de datos y permite determinar el ángulo de llegada de las señales. Esta técnica se utiliza en sistemas de *direction finding* (DF) empleados en localización militar en bandas HF, VHF y UHF comercializados por empresas como SAAB.

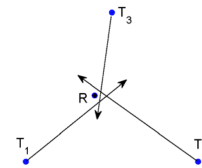


Figura 4. Técnica de localización basada en ángulos de llegada AoA.
Fuente: Autores.

5. TÉCNICAS INDEPENDIENTES DE ANGULOS Y DISTANCIAS

Son técnicas que suponen datos previamente almacenados como mediciones de RSSI o LQI (Link Quality Indicator), los cuales permiten determinar un cambio de estado o reconocer patrones en las señales provenientes de nodo móvil. Estas técnicas se aplican de forma alternativa o paralela a las técnicas basadas en distancia [2],[16].

Fingerprinting (Huella Digital)

Esta técnica utiliza datos previamente almacenados y se realiza en dos fases. La fase *off-line* o de entrenamiento training y la fase *on-line* o de posicionamiento. Durante la primera se realizan mediciones de RSSI o LQI en puntos de referencia predefinidos; con esta información se genera una matriz o lista de datos preestablecidos, como se observa en la figura 5.

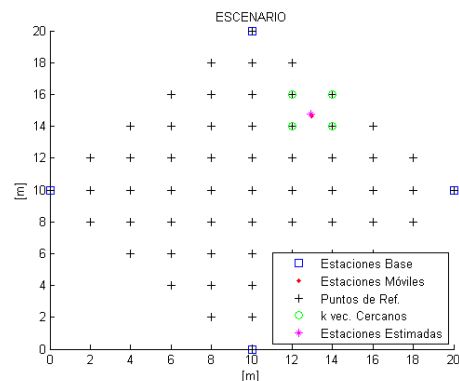


Figura 5. Escenario de localización con Fingerprinting
Fuente: Autores.

Posteriormente, las estaciones base o nodos de referencia miden la potencia de un nodo móvil ubicando dentro del escenario de en la fase *online* y mediante un algoritmo de localización se comparan las magnitudes, se establecen los vecinos más cercanos y se calcula finalmente su ubicación del nodo. Algunas experiencias muestran el uso de técnicas de inteligencia artificial para realizar estos procesos [13], [18].

Punto Aproximado en Triangulación (APIT)

Este método utiliza en una estimación basada en la reducción del área objetivo mediante la superposición de triángulos como se puede observar en la figura 6. Requiere de una red con nodos transmisores de referencia. Combina la información conocida de los nodos de referencia con el tamaño de las áreas estimadas hasta llegar a una estimación del área con mayor probabilidad de contener el nodo que se quiere localizar [2].

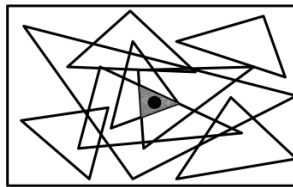


Figura 6. Método APIT
Fuente: Autores

6. MÉTODOS DE REFINAMIENTO

Una vez establecida un área aproximada, el sistema de localización utiliza un método de refinamiento para establecer las coordenadas finales de la localización. En la tabla 1 se presenta un listado con los métodos más utilizados en los sistemas de localización y se relaciona con cada uno de ellos alguno de los trabajos más destacados.

Método de refinamiento	Referencias
Máxima Probabilidad o Verosimilitud	[14]
Mínimos cuadrados	[15]
Vecinos más cercanos	[16]
Escalamiento multi dimensional	[17]
Redes neuronales	[18]
Algoritmos bio-inspirados	[19]
Centroide	[20]
DV-hop	[21]
Filtro de Kalman	[22]
Cramer Rao	[23]
Montecarlo	[24]

Tabla 1. Métodos de refinamiento
Fuente: Autores

6. HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

Se implementó en Matlab una herramienta que permite realizar análisis de diversos escenarios y técnicas localización para redes de sensores inalámbricos. A través de la interface gráfica es posible ajustar la cantidad de nodos fijos de referencia, establecer el algoritmo de localización a utilizar y variar la cantidad de nodos móviles para los cuales se quiere encontrar la posición. En la figura 8, se puede apreciar la interface con un escenario de cuatro estaciones base de referencia y un conjunto

de estaciones móviles distribuidas de forma aleatoria dentro del área de análisis.

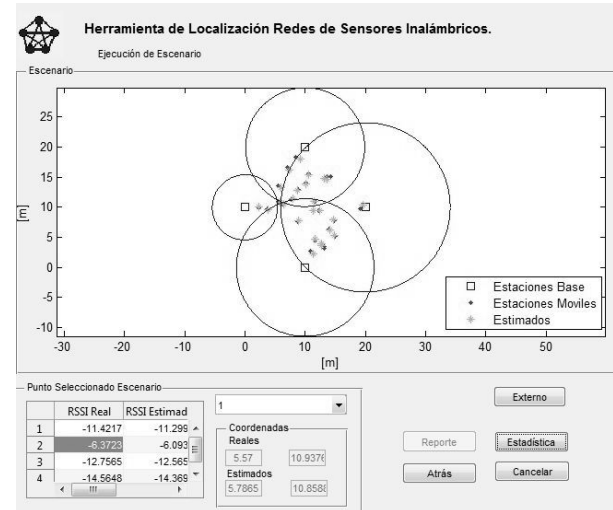


Figura 8. Interface de configuración de la herramienta de localización
Fuente: Autores.

El usuario configura los parámetros requeridos por el modelo de localización como son la frecuencia de operación y las potencias de los radios. Una vez realizada la simulación, puede moverse por cada uno de los nodos móviles, conocer la ubicación estimada y el valor del nivel de intensidad de potencia calculada para ese punto. El software con todas las posiciones calculadas, genera un reporte estadístico con los resultados. De esta forma es posible analizar el comportamiento del algoritmo al aumentar la cantidad de nodos de referencia o modificar alguno de sus parámetros.

Algoritmo 1: Superposición de anillos basado en RSSI

Se configuraron en el software los parámetros de cada uno de los elementos de la simulación. La frecuencia se ajusta a 2.45 GHz, la potencia de transmisión en 100 mW y las ganancias de las antenas en 3dBi. Se configuraron los nodos móviles como transmisores con potencia P_{Tx} [dBm]. Con la señal RSSI [dBm] recibida en cada uno de los nodos fijos se calcula la distancia aproximada desde el nodo móvil a cada una de las estaciones base y se traza un círculo o anillo por cada una de ellas. En la figura 9 se observa un escenario con tres nodos de referencia, la posición real y estimada de cada nodo resultado de la simulación.

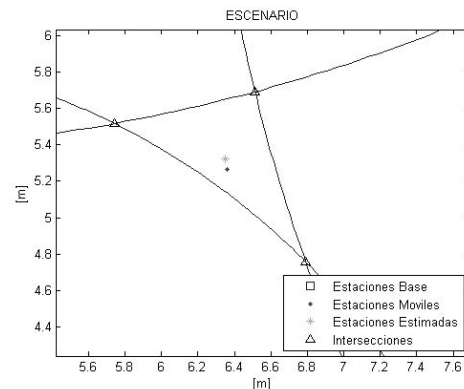


Figura 9. Detalle de la ubicación real y estimada de un nodo móvil
Fuente: Autores

La intersección de los círculos permite establecer un área probable para la localización del nodo. Como técnicas de refinamiento de la localización se utilizaron los métodos del centroide [20] y vecinos más cercanos [16]. Como resultado de la simulación se midió la distancia de error promedio en la ubicación de cada nodo. Se aumentó el número de nodos de referencia y se registraron los errores obtenidos. Los resultados de las simulaciones bajo estas condiciones se presentan en la tabla 2. En la figura 10 se puede apreciar como disminuye el error a medida que aumenta el número de estaciones base.

# E. Base	Estaciones móviles:30			Estaciones Móviles: 100		
	[Áreas m ²]			[Áreas m ²]		
	50	100	200	50	100	200
3	0,438	0,631	0,953	0,454	0,708	0,987
4	0,325	0,483	0,683	0,327	0,496	0,654
5	0,311	0,495	0,615	0,298	0,425	0,613
6	0,260	0,396	0,532	0,281	0,368	0,553
7	0,262	0,377	0,523	0,261	0,368	0,520
8	0,243	0,327	0,475	0,245	0,343	0,480
9	0,230	0,306	0,463	0,226	0,322	0,459
10	0,221	0,302	0,459	0,215	0,303	0,429

Tabla 2. Errores algoritmo RSSI en metros para 30 y 100 nodos móviles
Fuente: Autores

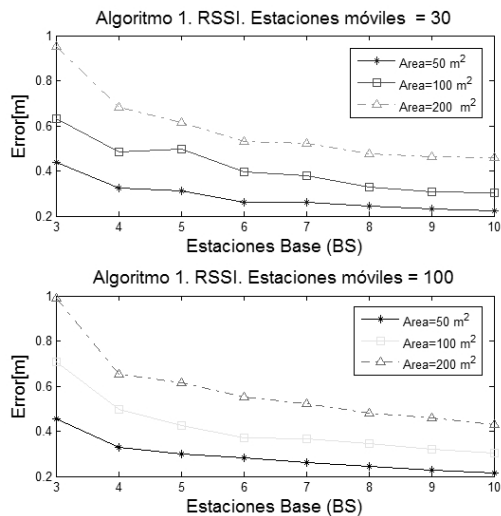


Figura 10 . Evolución del error para el algoritmo RSSI
Fuente: Autores.

Algoritmo 2: Fingerprinting

Se configuró un escenario de localización con puntos de referencia separados uniformemente, y con los mismos parámetros de la simulación basada en RSSI. Las estaciones fijas de referencia se variaron entre 3 y 10, el número de estaciones móviles entre 30 y 100 y el área del escenario se modificó entre 50, 100 y 200 metros cuadrados. El algoritmo de refinamiento utilizando fue el método del centroide [20]. Los resultados de las simulaciones realizadas se observan en la tabla 3. La figura 11 muestra el comportamiento del error a medida que se aumenta la cantidad de nodos de referencia.

# E. Base	Estaciones móviles:30 [Áreas m ²] - Entramado =1m			Estaciones Móviles: 100 [Áreas m ²] -Entramado =5m		
	50	100	200	50	100	200
3	0,299	0,621	0,382	1,801	1,534	1,614
4	0,230	0,230	0,249	1,527	1,804	1,241
5	0,232	0,218	0,243	1,426	1,441	1,265
6	0,233	0,215	0,211	1,471	1,537	1,265
7	0,205	0,217	0,194	1,601	1,286	1,222
8	0,212	0,208	0,186	1,712	1,476	1,219
9	0,209	0,198	0,173	1,551	1,489	1,190
10	0,210	0,197	0,175	1,663	1,342	1,211

Tabla 3. Resultado de simulaciones algoritmo Fingerprinting.
Fuente: Autores.

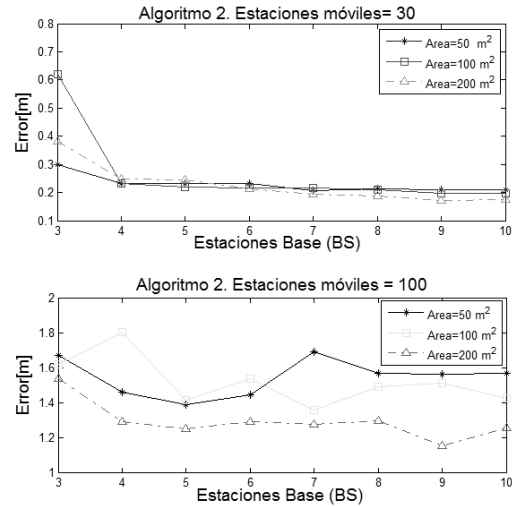


Figura 11 . Evolución del error para el algoritmo Fingerprinting
Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES

La herramienta de simulación implementada en Matlab permite el análisis de diversos escenarios de localización. Es posible ajustar los parámetros de ubicación, potencia los transmisores y receptores, del número de nodos de referencia y de la cantidad de nodos móviles utilizados en la simulación. Así como seleccionar el algoritmo de localización. El artículo presentó los resultados para los algoritmos de superposición de anillos RSSI y Fingerprinting.

Para el caso del algoritmo de RSSI, el aumento de tres a cuatro nodos de nodos de referencia tiene un efecto importante en la disminución del error de localización, pasando de 0.98 a 0.68 metros en un área de 200 metros cuadrados. Después de 6 nodos el incremento del error no es muy significativo

En el algoritmo de Fingerprinting se puede ver que en un escenario de entramado de 1 metro y con más de tres nodos de referencia se obtienen errores con un promedio de 0,2 metros para áreas de simulación de 50, 100 y 200 metros cuadrados. Al aumentar el tamaño del entramado a cinco metros, el error promedio esta alrededor de 1.3 metros para el área de simulación mas grande (200 metros cuadrados). El error máximo se obtuvo con cuatro nodos de referencia para un área de 100 metros cuadrados.

Es necesario sintonizar los algoritmos implementados en la herramienta mediante el ajuste de parámetros obtenidos con campañas de medición tanto en espacios abiertos como cerrados, de manera que se puedan validar los resultados obtenidos con las simulaciones y se logre disminuir la magnitud del error.

La localización empleando señales de radio, es un tema no resuelto donde la evolución de las técnicas de localización y los métodos de refinamiento, así como el desarrollo de tecnologías tales como las redes de sensores inalámbricos; la radio definida por Software y la radio cognitiva permitirán que un futuro cercano las aplicaciones de localización en espacios cerrados sean una realidad.

REFERENCIAS

- [1] H. Liu, S. Member, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, 2007.
- [2] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. a. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks," *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '03*, p. 81, 2003.
- [3] A. Boukerche and A. A. F. Loureiro, *Algorithms for Wireless Sensor Networks: Present and Future CO*. pp. Wiley, 2009.
- [4] Y. Chen and C. Yang, "A RSSI-based algorithm for indoor localization using ZigBee in wireless sensor network," *Proc. of the 15th ...*, pp. 2–7, 2009.
- [5] Y. Zhao, H. Zhou, and M. Li, "WiTracker: An Indoor Positioning System Based on Wireless LANs," *2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, pp. 1–4, Sep. 2010.
- [6] J. Biswas and M. Veloso, "WiFi localization and navigation for autonomous indoor mobile robots," *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4379–4384, May 2010.
- [7] K. Wu and L. M. Ni, "FILA: Fine-grained indoor localization," *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*, pp. 2210–2218, Mar. 2012.
- [8] D. Zhang, Y. Yang, D. Cheng, S. Liu, and L. M. Ni, "COCKTAIL: An RF-Based Hybrid Approach for Indoor Localization," *2010 IEEE International Conference on Communications*, pp. 1–5, May 2010.
- [9] A. Kapse, "Using cricket sensor nodes for Pioneer robot localization," *2009 International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 2008–2013, Aug. 2009.
- [10] E. D. Lara and S. Saroiu, "CILoS: a CDMA indoor localization system," *of the 10th international conference on*, 2008.
- [11] J. Yuan, X. Wang, L. Dong, N. Li, and F. Wang, "ISILON-An intelligent system for indoor localization and navigation based on RFID and ultrasonic techniques," *2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 6625–6630, Jul. 2010.
- [12] J. Prieto and J. Guevara, "Performance evaluation of 3D-LOCUS advanced acoustic LPS," *IEEE TRANSACTIONS ON Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 8, pp. 2385–2395, 2009.
- [13] A. Taok, N. Kandil, S. Affes, and S. Georges, "Fingerprinting Localization Using Ultra-Wideband and Neural Networks," *2007 International Symposium on Signals, Systems and Electronics*, pp. 529–532, Jul. 2007.
- [14] X. Sheng and Y. Hu, "Maximum likelihood multiple-source localization using acoustic energy measurements with wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 1, pp. 44–53, Jan. 2005.
- [15] I. Guvenc, C.-C. Chong, and F. Watanabe, "Analysis of a Linear Least-Squares Localization Technique in LOS and NLOS Environments," *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007-Spring*, no. 3, pp. 1886–1890, Apr. 2007.
- [16] T. Lin and P. Lin, "Performance comparison of indoor positioning techniques based on location Fingerprinting in wireless networks," *International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, pp. 1–6, 2005.
- [17] M. Trosset, "The out-of-sample problem for classical multidimensional scaling," *Computational Statistics & Data Analysis*, 2008.
- [18] J. Tian and H. Shi, "Study of localization scheme base on neural network for wireless sensor networks," *IET Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks 2007 (CCWMSN07)*, vol. 2007, pp. 64–67, 2007.
- [19] R. V. Kulkarni and G. K. Venayagamoorthy, "Bio-inspired Algorithms for Autonomous Deployment and Localization of Sensor Nodes," *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, vol. 40, no. 6, pp. 663–675, 2010.
- [20] L. Tan, F. Luo, and K. Liu, "Weighted centroid location algorithm in wireless sensor network," *IET International Communication Conference on Wireless Mobile and Computing (CCWMC 2011)*, no. 2, pp. 414–418, 2011.
- [21] L. Gui, T. Val, and A. Wei, "Improving Localization Accuracy Using Selective 3-Anchor DV-Hop Algorithm," *2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, pp. 1–5, Sep. 2011.
- [22] D. Liu, Y. Xiong, and J. Ma, "Exploit Kalman filter to improve Fingerprinting-based indoor localization," *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 2290–2293, Dec. 2011.
- [23] K. Papakonstantinou, D. Slock, and S. Antipolis, "Cramer-Rao Bounds for Hybrid Localization Methods in LoS and NLoS Environments," *IEEE 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops*, 2010.
- [24] Z. Liang, X. Ma, and X. Dai, "Extended Monte Carlo algorithm to collaborate distributed sensors for mobile robot localization," *Robotics and Biomimetics, 2007. ROBIO ...*, pp. 1647–1652, 2007.
- [25] C. Park, D. Park, J. Park, Y. Lee, and Y. An, "Localization Algorithm Design and Implementation to Utilization RSSI and AOA of Zigbee," *2010 5th International Conference on Future Information Technology*, pp. 1–4, 2010.