

Título: “Comparación de Desempeño de Algoritmos de Localización en Escenarios Exteriores Reales.”

Autores: Ing. José Alfredo López Urrea, Dra. Erica Cecilia Ruiz Ibarra, Dr. Armando Berumen, M. en C. Ana Lilia González Sánchez, M. en C. Adolfo Espinoza Ruiz.

Grado académico: Ingeniero en Electrónica, Doctor en Ciencias y Mtro en Ciencias.

Nombre de la institución: Instituto Tecnológico de Sonora.

Abstract:

Actualmente existen aplicaciones como el monitoreo de variables físicas, domótica, rastreo de animales, agricultura de precisión, logística etc., que demandan el uso redes inalámbricas de sensores y actuadores (WSAN), donde la localización de la fuente de información es un requerimiento crítico, ya que identifica geográficamente el lugar de ocurrencia de un evento y, facilita responder con acciones oportunas a éste. El presente artículo analiza la pertinencia de emplear la potencia de la señal recibida (RSS) como estimador de distancia en algoritmos de localización, a través de la caracterización del patrón de radiación de módulos transceptores XBee S1, además evalúa el desempeño de algoritmos de localización a 1 salto basados en RSS, en escenarios reales, utilizando el patrón de radiación caracterizado previamente. Como métricas de desempeño se utilizan la precisión, exactitud y complejidad computacional de los algoritmos.

Palabras clave: *WSAN, Localización, RSS, Distancia.*

I. INTRODUCCIÓN

Las WSAN están conformadas por sensores y actuadores distribuidos en un área geográfica de interés que colaboran entre sí para sensor parámetros físicos y

ejecutar acciones en función de las variables físicas medidas [1]. En una WSN, los nodos son desplegados de manera aleatoria donde no existe conocimiento a priori de su localización. La información de posición de los nodos sensores es muy importante, ya que permite determinar la ubicación geográfica de un evento y responder oportunamente a éste, por lo que, la localización precisa de los sensores es un requerimiento crítico en una amplia variedad de aplicaciones [2, 3].

En la actualidad existen diversos métodos de localización de nodos en WSN que utilizan métricas de conectividad para la estimación de la posición, tales como: ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival) y RSS (Received Signal Strength), el cual mide la potencia recibida por el nodo de interés (NOI) y calcula la trayectoria de pérdidas para estimar una distancia basándose en un modelo teórico o empírico de la propagación de la señal [4].

Este artículo presenta dos contribuciones principales, la primera, analiza la pertinencia de utilizar RSSI como estimador de distancia en algoritmos de localización para WSN, para ello se caracteriza el patrón de radiación de módulos transceptores XBee S1 en escenarios exteriores. Una segunda contribución consiste en evaluar mediante simulación, utilizando MATLAB, el desempeño de algoritmos de localización basados en RSS, utilizando el patrón de radiación caracterizado previamente. Como métricas de desempeño se utiliza la precisión, exactitud y complejidad computacional de los algoritmos.

II. METODOLOGIA

2.1. Procedimiento.

Para llevar a cabo esta investigación primeramente se caracterizó el patrón de radiación de los módulos transceptores Xbee S1 que operan a 2.4 GHz en

escenarios exteriores, utilizando el RSSI que proveen dichos módulos en cada transmisión. Se realizaron dos mediciones diferentes para la obtención del patrón de radiación en un escenario real en la explanada al exterior del edificio de registro escolar del Instituto Tecnológico de Sonora. Las mediciones fueron realizadas variando el ángulo de recepción del nodo de interés 10 grados entre cada medición para observar la isotropía de la antena. En el segundo caso, las mediciones fueron realizadas en un grid de 10x10 mts donde la separación entre medición fue de 1 metro, obteniendo un total de 121 mediciones a través del grid. Seguido a esto, se realiza la evaluación de los algoritmos de localización en escenarios exteriores, donde se observan las diferentes métricas de desempeño y se hace una comparación entre estos algoritmos.

Para la medición del patrón de radiación se emplearon módulos Xbee serie 1 con potencia de transmisión de 1mW, velocidad de transmisión de datos de 256kbps y frecuencia de transmisión de 2.4 GHz. La salida de los pines del módulo Xbee son conectados al micro controlador PIC 16F887 de Microchip Technology, el cual tiene una arquitectura de 8 bits, una memoria RAM de 368 bytes y un consumo de energía que puede ser menor a 40 μ A, lo que lo hace una excelente opción para el despliegue de redes de bajo consumo. Finalmente, para el análisis de los algoritmos de localización sobre escenarios exteriores reales, se utilizó una computadora Lenovo Y510p, con procesador Intel i7, 8GB de RAM y 4 GB de memoria de video con tarjeta GeForce 755M. Para el análisis de los algoritmos, se utilizó el software MATLAB versión R2015A.

2.2. Parámetros de evaluación.

Para analizar el patrón de radiación se observa el comportamiento del canal utilizando como métricas de desempeño la asimetría del canal, el caudal eficaz y la isotropía de la antena. En cuanto al análisis de las métricas de desempeño de

los algoritmos de localización, estos se analizan en términos de precisión, exactitud y complejidad computacional de los algoritmos.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis del canal de transmisión.

Para caracterizar el patrón de radiación se colocó en cada esquina del área un nodo de referencia que transmite su potencia hacia el nodo de interés, el cual se va posicionando en cada punto del grid y se midió en el nodo de interés la potencia recibida de los nodos anclas. La Figura 1 muestra el patrón de radiación obtenido de las mediciones realizadas en exteriores, en la que se observan variaciones considerables entre cada punto de referencia, esto puede ser debido a diferentes fenómenos físicos presentes que impiden la transmisión correcta de la señal; como es de esperarse, las mediciones de potencia de la señal recibida, tiende a disminuir mientras incrementa la distancia, debido a la atenuación correspondiente del canal de transmisión. Sin embargo, se presentan casos donde la atenuación de la señal es alta en distancias más cortas que otras con respecto a los nodos de referencia.

3.1.1. Parámetros de desempeño del canal.

Los parámetros de desempeño analizados en este estudio en relación al canal de transmisión son: **Asimetría**, la cual se evalúa al tomar dos puntos de referencia y observar el comportamiento que tiene la transmisión bidireccional de la red. Para verificar lo anterior, se enviaron 100 paquetes por punto de un nodo A hacia un nodo B y viceversa, en un total de 5 metros entre ellos y una separación de 1 metro entre cada medición. **Caudal eficaz**, hace referencia al porcentaje de paquetes correctamente recibidos por un nodo con respecto al total de paquetes enviados. Se realizaron mediciones para observar el comportamiento de ambas

métricas, los resultados para las cinco mediciones se muestran en la Tabla II. De los resultados se aprecia que el canal utilizado presenta un comportamiento simétrico en general. Para el caso del caudal eficaz se observa que, en general, se obtiene un comportamiento aceptable para la transmisión de datos, excepto a los 4 metros de separación, lo cual se atribuye a la interferencia de la señal, esto puede ser ocasionado por la existencia de redes cercanas del área estudiada.

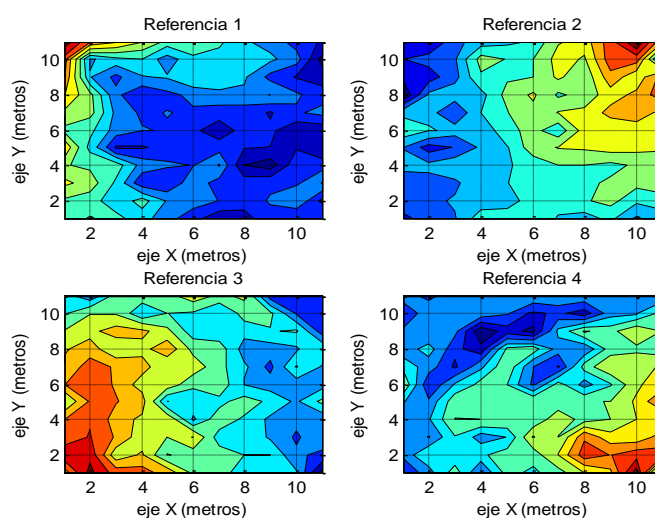


Figura 1. Patrón de radiación de potencias recibidas grid 10x10.

Tabla II. Resultados de Asimetría y caudal eficaz del canal.

Caso/Distancia	1 Mt	2 Mt	3 Mt	4 Mt	5 Mt
# 1 A hacia B	92	70	77	65	95
# 2 B hacia A	86	69	95	65	99
Caudal eficaz #1	92%	70%	77%	65%	95%
Caudal eficaz #2	86%	69%	95%	65%	99%

Por último se observa la **Isotropía**, la cual se utiliza como base para la correcta utilización de la métrica RSS como estimador de distancia, es decir, que la señal transmitida de un nodo sea recibida con la misma potencia en todas las direcciones. En este estudio se observó esta métrica al colocar el nodo transmisor en el centro de una circunferencia con radio de 1 metro, mientras que el receptor

es rotado a través de esta misma con una separación de 10° entre medición. La Figura 2, muestra los resultados obtenidos de las mediciones donde se observa un comportamiento no completamente isotrópico, ya que, la potencia de la señal varía significativamente según el ángulo de transmisión.

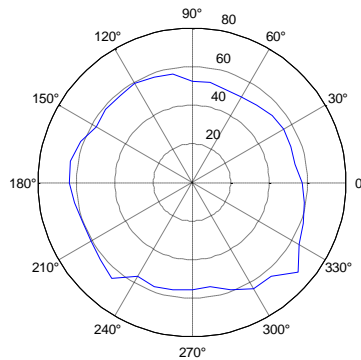


Figura 2. Radiación de potencia de la antena XBee Series 1.

3.2. Evaluación de los algoritmos de localización.

En esta sección se evalúan los parámetros de desempeño para los algoritmos de localización. Estos algoritmos están basados en la métrica RSS como estimador de distancia. En este estudio, se observaron los parámetros de desempeño basándose en los utilizados en la literatura, tales como: **Exactitud**, definido como el valor esperado de los errores de localización y se obtiene a través del error cuadrático medio (MSE), el cual representa la diferencia entre el valor real y el estimado y se expresa por la ecuación (1).

$$MSE = E \left(\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \right) \quad (1)$$

La **Precisión** considera la distribución del error de distancias, mientras que la exactitud considera el valor promedio de estos errores. Cuando dos técnicas son comparadas, la técnica con menor error, es preferida. Por último se estudió la

Complejidad Computacional de los algoritmos, la cual se refiere a la cantidad de recursos requeridos por un algoritmo en particular para resolver un problema, es decir, al número de operaciones matemáticas que se realizan durante su ejecución.

En la Figura 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos a partir de la ejecución iterativa (10,000 veces) de los algoritmos de localización. En la Figura 3 se observa que el error cuadrático de ciertos algoritmos no varía considerablemente, esto es por la naturaleza de algoritmos como el Centroide [5], el cual se muestra estable debido a que no es afectado, puesto que no depende del ambiente en donde la red está desplegada si no de la posición de los nodos de referencia. Sin embargo, el comportamiento de algoritmos como REWL y RWL [6] es variante debido a que la asignación de los pesos de los nodos de referencia depende del rango de la potencia de la señal la cual es muy variante en escenarios reales. En este caso específico, el algoritmo WCL [7] es el que muestra mayor estabilidad puesto que, esta técnica solo asigna pesos según la distancia del nodo de referencia al NOI. Mientras que en la Figura 4 se muestran las curvas de la función de distribución acumulativa donde se observa que el algoritmo del CL tiene la peor precisión con un error de localización de 5 metros en el 80% de los casos. Por otro lado, se observa que el algoritmo WCL, es el que presenta mejor comportamiento al obtener un error de localización menor a 2 metros en el 90% de las ocasiones. Estos resultados, difieren a la literatura, puesto que en las simulaciones estudiadas, el algoritmo de multilateración WLS [8] es el que mejor comportamiento tiene en una gran parte de los casos, esto se puede atribuir al comportamiento del canal de transmisión y sus variaciones inesperadas, las cuales complican la estimación correcta de la distancia.

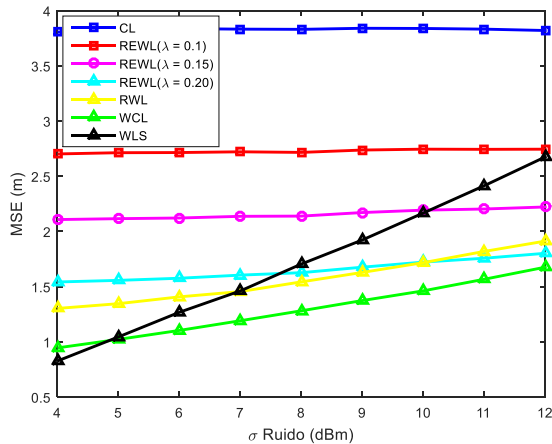


Figura 3. Resultado de MSE de los algoritmos.

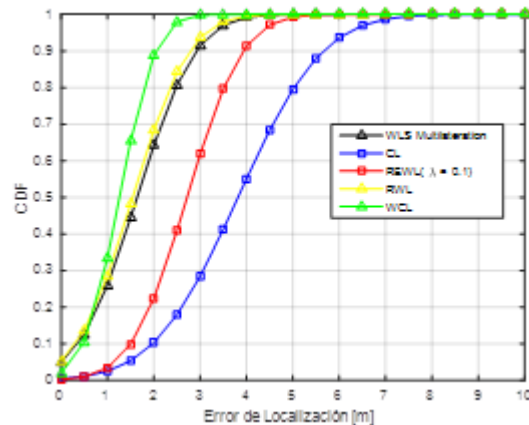


Figura 4. Función acumulativa de los algoritmos.

Para evaluar la complejidad computacional se realizaron varios experimentos con los cuatro algoritmos en función del número de nodos, el resultado se muestra en la Figura 5. Como se puede observar, los algoritmos obtienen un comportamiento similar, excepto el algoritmo REWL, el cual ejecuta un mayor número de operaciones por segundo, debido a que asigna exponencialmente los pesos de los nodos de referencia al obtener el rango de los valores de RSS leídos. No se muestra el comportamiento del algoritmo de multilateración WLS debido a que su complejidad computacional es de $O(n^3)$ y no se podría observar la comparación con respecto a estos algoritmos, debido a que el número de operaciones realizadas por ese algoritmo supera por mucho los mostrados en esta figura.

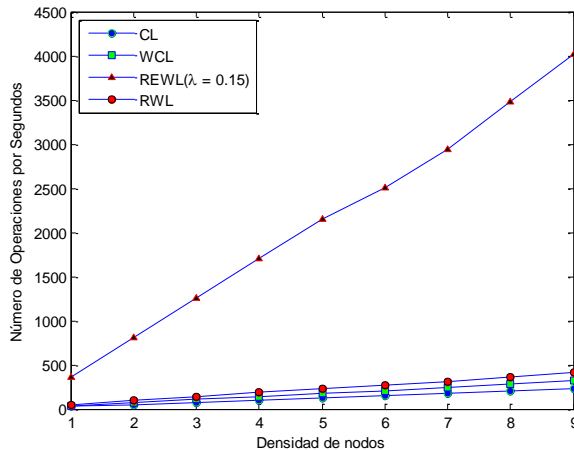


Figura 5. Complejidad Computacional de los Algoritmos

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se realizaron dos tipos de estudios para observar el comportamiento del canal de transmisión utilizado, donde se muestra el comportamiento isotrópico de la antena de los módulos XBee Series 1, mediante el cual se demostró que el comportamiento isotrópico no es exactamente como lo muestra el fabricante; en escenarios reales, las variaciones del canal afectan directamente la transmisión de datos. También, se observó el patrón de radiación de 4 nodos de referencia en un grid desplegado en exterior el cual, aunque muestra bastante variación entre nodos, funciona como caracterización del área utilizada para atribuirle a los niveles de potencia real. Por último, se puede observar el análisis de los algoritmos de localización, que en escenarios reales el comportamiento de las diferentes técnicas difiere con la teoría, pues ciertas técnicas como WLS, utilizan estimadores de distancia con respecto a la intersección de los rangos de comunicación de los nodos, los cuales en escenarios ideales tienen un comportamiento esperado y los hace sencillos de utilizar, sin embargo, en un escenario real, estos estimadores no realizan un

cálculo exacto por las irregularidades presentadas en el ambiente estudiado. De igual manera, en este estudio, se concluye que el algoritmo de localización con más exactitud y precisión es el Centroide Ponderado, que contrasta con lo se presenta en la literatura donde los algoritmos como REWL, RWL y WLS muestran un comportamiento más deseable para la estimación de la posición del NOI. Finalmente, los resultados obtenidos en este experimento, muestran que el RSS es una métrica fiable para la estimación de distancia, ya que el error de localización es menor de los 3 metros en el 60% de los casos. Como trabajo futuro, se pretende realizar el estudio de los algoritmos en un escenario interior, donde se pueda obtener un mayor control del canal de transmisión y observar la concordancia de los resultados experimentales con los de la literatura actual.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] Zhicheng Deng, Xiaotao Bi, Ming Zhu, "An Intelligent Actuator Controller for Wireless Sensor/Actuator Networks". Industrial Electronics and Applications (ISIEA), 2011.
- [2] Erica C. Ruiz, Luis Villaseñor Gonzalez, Jose R. Gallardo, Adolfo Espinoza Ruiz, "A Load balance Clustering Mechanism based on Location-control for Wireless Sensor and Actor Networks". IEICE TRANSACTIONS on Communications Vol.E93-B No.11, 2010.
- [3] Jihoon Kang, Daeyoung Kim, Youngsoo Kim, "RSS Self-calibration Protocol for WSN Localization". IEEE, 2007.
- [4] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine 40(8): 102–114.
- [5] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin. (October 2000). "GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices." IEEE Personal Communications Magazine. Los Angeles, USA, Vol. 7, No. 5, pp. 28-34.
- [6] Christine Laurendeau and Michel Barbeau (November 2009). "Centroid Localization of Uncooperative Nodes in Wireless Networks Using a Relative Span Weighting Method." In: EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. pp. 358-361.
- [7] Blumenthal, J., Grossmann, R., Gólatowski, F., Timmermann, D. (October 2007). "Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks." Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP). Alcalá de Henares, pp. 1-6.
- [8] David Munoz, Frantz Bouchereau, Cesar Vargas and Rogerio Enriquez. 2009, "Position Location Techniques and Applications." Academic Press. pp. 87-89.