UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

http: revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index

VISIÓN ELECTRÓNICA

VISIÓN INTEGRADORA

Monitorización y apuntamiento para radios cognitivos mediante dispositivos autónomos

Sensing and pointing for cognitive radios using autonomous search devices

***E. Rodriguez Colina*[a], *M. López Villaseñor*[b], *O. Gandarilla Carrillo*[c],**

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:
Enviado: Septiembre de 2014
Recibido: Septiembre de 2014
Aceptado: Diciembre de 2014

Palabras clave:
Monitorización en radios cognitivos
Sistemas autónomos de apuntamiento
Patrones de radiación

RESUMEN

Este trabajo está motivado por la función de monitorización requerida en redes de radios cognitivas. Para este fin, se diseñaron e implementaron dos dispositivos autónomos para la búsqueda de señales electromagnéticas. Uno de ellos se mantiene fijo, mientras el otro realiza la búsqueda para optimizar el apuntamiento de sus antenas. El dispositivo que realiza la búsqueda, transmite una señal que debe ser regresada por el otro dispositivo, la potencia de la señal es evaluada para cada posición. Una vez terminada la búsqueda se decide en qué ubicación se obtuvo la mayor potencia de la señal recibida, habilitando entonces la transmisión entre dos usuarios. En este trabajo también se muestran los patrones de radiación a diferentes distancias y un análisis para estimar el número de muestras de potencia adquiridas en una posición particular. Además, se realiza una comparación de la potencia obtenida en distintas posiciones, optimizando la búsqueda mediante métodos heurísticos. Una ventaja del sistema propuesto es su autonomía, ya que no requiere de subsistemas para su control y puede operar con una batería o con una conexión a la línea eléctrica. El sistema propuesto mejora el apuntamiento entre dispositivos y por ende la calidad del enlace y la potencia de recepción.

CC BY NC ND

Keywords:
Sensing for cognitive radios
Pointing autonomous devices
Radiation patterns

ABSTRACT

This work is motivated by the monitoring function used in cognitive radio networks. To this end, two autonomous devices for searching electromagnetic signals were designed and implemented. One of them is fixed, while the other one performs the signal search to optimize the antenna pointing. The device that performs the search transmits a signal which must be returned by the other device at each position to evaluate the power. Once the search is completed, it is decided which position has the highest received signal power

[a]PhD en Ingeniería de la Universidad de Cambridge Inglaterra. Actualmente Profesor e Investigador del Depto. de Ing. Eléctrica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa (UAM-I). e-mail: erod@xanum.uam.mx

[b]M. en Ing. de la U. Nacional Autónoma de México, DEPFI. Actualmente Profesor Titular e Investigador del Depto. de Ing. Eléctrica en la UAM-I. e-mail: ixoic@xanum.uam.mx

[c]M. en Ing. de la U. Nacional Autónoma de México. Actualmente Profesor e Investigador del Depto. de Ing. Eléctrica en la UAM-I. e-mail: oton@docencia.izt.uam.mx

Citar este artículo como: E. Rodríguez, M. López & O. Gandarilla, "Monitorización y apuntamiento para radios cognitivos mediante dispositivos autónomos" . Visión Electrónica, algo más que un estado sólido, Vol. 8, No. 2, 19-27, Julio-Diciembre de 2014.

and so, the transmission between two users is enabled. This work also shows the radiation patterns at different distances and, the analysis to estimate the number of samples of the acquired power in a particular position. In addition, a comparison is realized of the acquired power at different positions, optimizing the search using heuristic methods. One advantage of the proposed system is its autonomy, since subsystems for its control are not required and it can operate with either, batteries or a connection to the electric power line. The proposed system optimizes the pointing between devices and therefore, the link quality and the received power are improved.

1. Introducción

El sistema diseñado busca la creación de dispositivos de comunicación que sean adaptables y que puedan hacer un uso eficiente de la potencia de transmisión. Esta línea de investigación se basa en el desarrollo de antenas inteligentes que puedan encontrar de forma automatizada posiciones óptimas para la transmisión. Así mismo, que estos dispositivos permitan caracterizar la recepción de señales electromagnéticas conocidas e identificarlas para poder hacer un uso óptimo del espectro radioeléctrico. El aprovechamiento del espectro se vuelve fundamental en nuestros días y con la ayuda de técnicas de radios cognitivos [1-7] y con el aprovechamiento de antenas inteligentes se puede hacer un uso "oportunístico" y dinámico del espectro radioeléctrico [5].

En la Sección 1.1 y 1.2 se presentan, respectivamente, un panorama general del sistema y el estado del arte para continuar en la Sección 2 con la descripción del sistema diseñado. En la Sección 3 se muestra la metodología seguida para las mediciones y para la creación de los algoritmos de búsqueda. La sección 4 indica los resultados obtenidos y se hace un breve análisis de los mismos y finalmente en la sección 5 se presentan conclusiones.

1.1. Panorama general del sistema

Se desarrollaron dos sistemas autómatas que deben comunicarse entre ellos una vez que se ha realizado una búsqueda del enlace con la mayor potencia. Uno de los sistemas autómatas es llamado sistema autómata esclavo (o esclavo) y el otro sistema autómata maestro (o maestro). Cada uno de estos sistemas tienen dos grados de libertad, horizontal y vertical, moviéndose para lograr la mayor potencia recibida en la dirección de su contraparte.

En la aplicación, el sistema esclavo realiza la búsqueda de la posición donde se presenta la máxima potencia de la señal, para ello el sistema esclavo transmite un dato hacia el sistema maestro y espera un tiempo aproximado de 0.5 seg. para que este último responda. Si después de ese tiempo de espera no obtiene respuesta del sistema maestro supone que éste se encuentra fuera de alcance o desconectado. Si el sistema maestro responde, entonces el sistema esclavo evalúa la potencia de la señal recibida mediante un sistema XBee configurado para recepción y que se explica en el bloque de comunicación [8]. Posteriormente, el sistema esclavo mueve la antena a otra posición y realiza el mismo proceso hasta encontrar la máxima potencia de la señal electromagnética. Mientras el esclavo realiza todo este proceso, el sistema maestro se encuentra inmóvil. Una vez que el sistema esclavo esté alineado en la posición de máxima potencia, los sistemas se encuentran listos para iniciar comunicación. Esta comunicación la realizan dos usuarios, de manera que éstos pueden intercambiar información utilizando la computadora personal tipo PC conectada a cada sistema (maestro y esclavo).

1.2. Estado del arte

Actualmente existe una administración del espectro radioeléctrico que otorga licencias de uso exclusivo para operar en frecuencias fijas. Esta asignación fija de frecuencias ha provocado escasez de bandas de frecuencia libres para operar nuevos servicios. Esto se debe a que muchas bandas están reservadas para ciertos usos, sin embargo en realidad estas bandas no se utilizan o están subutilizadas. La optimización de la distribución del espectro se ha planteado con el desarrollo de Radios Cognitivos 'Cognitive radio Networks (CRN)', que es un modelo de las comunicaciones inalámbricas, en donde los dispositivos de comunicación adaptan sus parámetros de operación para comunicarse eficientemente, evitando interferencias con otros dispositivos [1]. Por este motivo existe una línea de investigación en redes de radios cognitivas que sugiere que el aprovechamiento óptimo del espectro se puede realizar si se implementan nuevas metodologías para el uso de las frecuencias [2]. Los dispositivos de CRN deben ser capaces de detectar frecuencias libres del espectro -espacios blancos- conocidos en la bibliografía en inglés como 'white spaces' y establecer la comunicación en esas frecuencias libres utilizando técnicas conocidas como acceso dinámico del espectro 'dynamic spectrum access' (DSA) [3-7].

La optimización en la detección de señales es muy importante en las aplicaciones de monitorización (sensado) en la detección de radio cognitivo. Por lo tanto

un modelo de la propagación es importante para resolver la adaptabilidad entre radios. El modelado de la propagación de la onda de radio determina la fuerza de una señal transmitida en un punto particular en el espacio para todos los transmisores en el sistema. Por tanto las condiciones de la señal de recepción para los receptores pueden ser evaluadas y las colisiones puede ser detectadas o evitadas. [9]. La tecnología de radio cognitivo tiene como requisito la habilidad para detectar la señal débil que proviene del usuario primario [10]. El mejoramiento en la detección del sensado es usualmente comprometido por condiciones de canales destructivos, en radios cognitivos es difícil distinguir entre el ruido y señales débiles atenuadas por profundo decaimiento [11]. Para mejorar la confianza del sensado en la explotación del uso del espectro han sido propuesto por [12 - 13]. Los modelos optimizados de la propagación para diferentes tecnologías inalámbricas y ambientes han sido propuestas en los artículos [14 - 16].

Un punto importante en el modelado de radio es que los enlaces inalámbricos tienen propiedades probabilísticas demasiado complejas, por lo que es difícil para un radio cognitivo capturar información instantáneamente. Investigaciones recientes en sensado del espectro se han enfocado en la dirección de transmisiones primarias continuas por componente de radio cognitivo y de ahí una monitorización del espectro y apuntamiento óptimo de antenas se vuelve crucial para un buen desempeño de la red.

Generalmente las técnicas de sensado de espectro caen en tres categorías que son detección de energía [17], detección coherente [18] y detección de ciclo estacionario [19].

2. Descripción del sistema

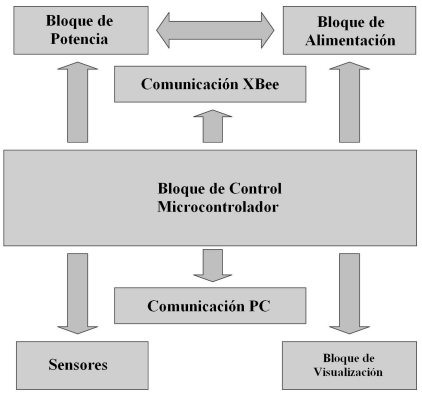
Cada uno de los sistemas de monitorización y auto-apuntamiento cuenta con un sistema electrónico que se encuentra distribuido en seis bloques: control, potencia, visualización, comunicación, alimentación y sensores; que son los encargados de controlar al sistema en general, ver la Figura 1.

2.1. Descripción del sistema

Bloque de control

El bloque de control es parte del cerebro del sistema electrónico. Se encarga de supervisar todo el sistema autómata; entre sus funciones se encuentra el de procesar la información recibida (intensidad de señal de potencia) y a partir de ella generar las señales para llevar a cabo el movimiento de los motores, de manera que sincronice el movimiento horizontal y vertical del sistema autómata; mantener informado al usuario del estado de la búsqueda utilizando una pantalla alfanumérica LCD, establecer la posición donde se aprecia la mayor potencia de la señal, indicar cuándo el enlace está listo para llevar a cabo la transmisión entre los dos dispositivos y controlar todos los aspectos de la comunicación con su entidad gemela.

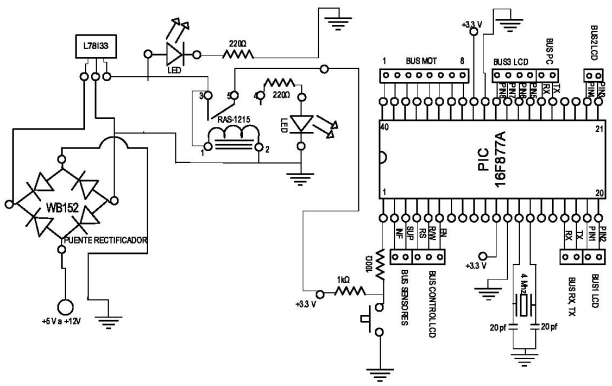
Figura 1. Diagrama a bloques del hardware.



Fuente: Elaboración propia.

El circuito de la placa de control (bloque de control) es la placa principal y tiene un microcontrolador PIC (16F877) como se muestra en la Figura 2. Además, está la etapa de regulación que se encarga de alimentar al microcontrolador, al XBee, a los sensores y a la pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD).

Figura 2. Circuito de la etapa de control.



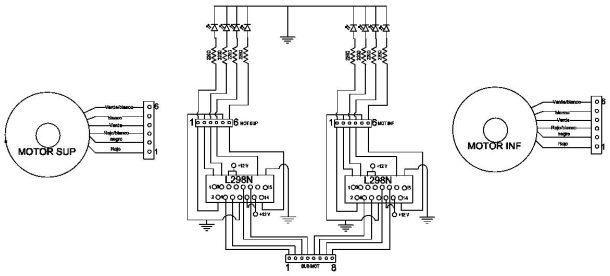
Fuente: Elaboración propia.

Bloque de potencia

El bloque de potencia es el encargado de amplificar las señales de las secuencias, provenientes del bloque de control, que son transferidos hacia los motores de paso, y está constituido por dos dispositivos L298N. Uno de los

motores permite el movimiento en el eje horizontal, mientras que el otro motor permite el movimiento en el eje vertical, ver la Figura 3.

Figura 3. Circuito de la etapa de potencia.



Fuente: Elaboración propia.

Bloque de visualización

El bloque de visualización está compuesto de la pantalla LCD, en la que se mandan mensajes que le permiten al usuario identificar el estado de la aplicación, así como el funcionamiento del dispositivo. Esto incluye las coordenadas de la posición actual del sistema autómata en relación al eje vertical y al horizontal, el valor de la potencia encontrada en cada posición, la posición final donde se encontró la mayor potencia de la señal e indica cuándo está listo para iniciar una comunicación con su entidad gemela.

Bloque de comunicación

El bloque de comunicación está compuesto por el módulo XBee, el convertidor USB-Serial RS232 y por los dos diferentes tipos de antena utilizados.

En el brazo del sistema se encuentra colocado un dispositivo de comunicación inalámbrica, módulo XBee, que permite el intercambio de datos. Además, permite evaluar el nivel de potencia de la señal electromagnética para una recepción a 2.4 GHz y cuenta con 16 canales disponibles.

Para activar la comunicación inalámbrica entre los dos sistemas autómatas, el XBee del maestro se configuró como dispositivo Coordinador y el del esclavo como Dispositivo Final, los dos configurados en modo transparente. En este modo, la información recibida por el módulo XBee se integra a un paquete RF y es transmitida. Mientras que todo lo que ingresa como paquete RF es enviado a la terminal 'Data Out'. Este modo está destinado principalmente a la comunicación punto a punto. El dispositivo XBee tiene un alcance variable, que depende tanto de la potencia del dispositivo como del tipo de antena utilizada (directiva u omnidireccional). Por ejemplo, para una versión de 1mW de potencia, el dispositivo tiene un alcance de 100 metros en línea de vista.

Para llevar a cabo la comunicación entre la PC y el microcontrolador PIC se utiliza el convertidor USB-Serial RS232 que permite convertir señales TTL a niveles de RS232 y viceversa.

La antena utilizada en el maestro es una antena omnidireccional con ganancia de 2 dB y con frecuencia característica de 2.4 GHz mientras que, la utilizada en el esclavo es una antena direccional tipo 'Yagi' de alta ganancia y de frecuencia característica de 2.4 GHz a 2.5 GHz. La elección de la antena omnidireccional para el maestro se debe a que su patrón de radiación permite su localización desde cualquier ubicación radial respecto a la antena isotrópica.

La elección de la antena direccional tipo 'Yagi' para el sistema esclavo se debe a que este tipo de antena es directiva. La ganancia de la antena utilizada es de 15 dB, y provee mayor alcance utilizando la misma cantidad de potencia de transmisión con respecto a la usada en una antena omnidireccional.

Bloque de alimentación

El bloque de alimentación se encarga de suministrar el voltaje y la corriente a todo el sistema, especialmente a la etapa de potencia, que dirige el movimiento de los motores de paso. Esta etapa utiliza una fuente conmutada de una computadora personal tipo PC, ya que tiene la capacidad de proveer la corriente necesaria para alimentar a la etapa de potencia. Además cuenta con un ventilador que sirve para enfriar el sistema electrónico.

Bloque de sensores

El bloque de sensores está compuesto por dos microinterruptores o sensores de posición. Cuando se realiza el proceso de encendido, los sensores son utilizados para colocar al sistema en las coordenadas iniciales de manera que se sincronice la posición física con la posición de coordenada lógica, es decir, la posición que identifica el PIC.

Esto permite que el usuario está informado de la posición de las coordenadas actuales del sistema autómata en relación al eje vertical y al horizontal, así como la ubicación donde se localice la mayor potencia de la señal electromagnética.

3. Metodología

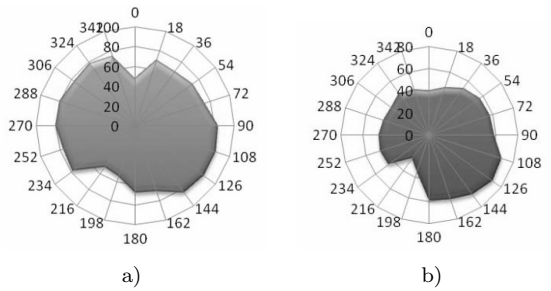
La metodología seguida para el diseño de los dispositivos fue bajo las siguientes premisas: la autonomía de los dispositivos en cuanto al control se refiere, es decir la no dependencia de una PC para su uso, la precisión

en la lectura para la banda de operación seleccionada de $2.4\,GHz$, el bajo costo de los componentes, la caracterización del patrón de la señal y la velocidad de muestreo. En las secciones 3.1 y 3.2 se detalla el cómo se realizaron las mediciones para los patrones de radiación y se describen los algoritmos utilizados para la búsqueda.

3.1. Mediciones

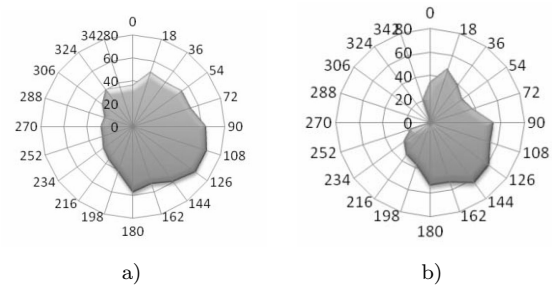
Para la obtención de las mediciones se hicieron diversas pruebas con los dos tipos de antenas: omnidireccional y direccional, la primera utilizada por el maestro y la segunda por el esclavo. Para poder medir efectivamente el alcance y obtener los patrones de radiación, se tomaron muestras de la potencia variando la posición con respecto a un transmisor fijo (sistema maestro). Se hizo la primera medición de potencia con 0° y un radio de $30\,m$ como punto inicial, ver la Figura 4a. Posteriormente, manteniendo el radio constante, se gira 18° en dirección al movimiento de las manecillas del reloj para tomar la siguiente medida de potencia. Así sucesivamente cada 18° hasta completar los 360°. Se repite el mismo procedimiento pero ahora variando el radio de la circunferencia de 30m a: 90, 120, y 240 metros, ver figuras 4 y 5.

Figura 4. Patrón de radiación electromagnético a distancias de a) 30m y b) 90m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Patrón de radiación electromagnético a distancias de a) 120m y b) 240m.

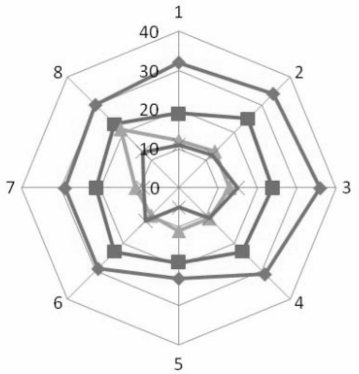


Fuente: Elaboración propia.

En estos patrones de radiación se puede apreciar que el comportamiento de las antenas no es tan directivo a corta distancia, dado este hecho, el sistema de recepción de señal debe discernir entre potencias con poca variación en su recepción. Para distancias mayores a 90 m, esto resultar en una ventaja ya que se tiene una ganancia mayor, debido a la directividad medida, y por lo tanto, una mayor precisión en el apuntamiento.

Los resultados obtenidos de la potencia en dBm para antena omnidireccional (sistema maestro) distintas distancias se muestran en la Figura 6. Como se puede apreciar, la potencia obtenida depende de la distancia y se mantiene de forma similar a distintos radios.

Figura 6. Espectro electromagnético a distintas distancias de la antena maestra.

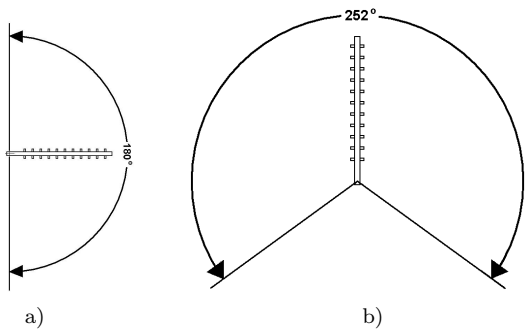


Fuente: Elaboración propia.

3.2. Descripción de los algoritmos de búsqueda

Es importante tener presente que el sistema esclavo realiza la búsqueda de la máxima potencia de las señales electromagnéticas mediante el movimiento en dos grados de libertad, de 180° de movimiento en el eje horizontal, vea la Figura 7a, y de 252° de movimiento en el eje vertical, vea la Figura 7b.

Figura 7. Grados de libertad. (a) Vista superior y (b) Vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

Algoritmos de búsqueda del esclavo

El algoritmo de búsqueda del sistema esclavo comienza por colocar al sistema en las coordenadas iniciales de muestreo, momento en el que transmite una señal para que sea captada por el sistema maestro, ver diagrama de la Figura 8a. El esclavo espera un tiempo aproximado de $0.5\,seg.$ para que el sistema maestro responda y se evalúe la potencia de la señal recibida. En caso de no conseguir respuesta entonces el sistema esclavo considera que el sistema maestro se encuentra fuera de alcance o desconectado. El sistema esclavo, en este proceso de transmisión y recepción para la evaluación de la potencia, realiza primero el giro en el eje horizontal. Este giro se realiza cada 18°, posiciones donde se detiene a tomar las muestras, hasta completar la media vuelta de 180°. Al final de este barrido horizontal establece la posición donde obtiene la máxima potencia. Posteriormente, a partir de ese último punto adquiere las muestras moviéndose en forma vertical, cada 18°. Finalizando con la localización y posicionamiento de la coordenada con máxima potencia de la señal electromagnética, momento en el que manda al sistema maestro una señal indicadora de que se ha encontrado la coordenada donde existe la máxima potencia de señal entre ambos sistemas autómatas y mandando un mensaje en la pantalla LCD para indicar que el sistema está listo para iniciar la comunicación entre los dos usuarios. Además, por cada movimiento de la antena, manda a la pantalla LCD las coordenadas de su ubicación.

Algoritmos del maestro

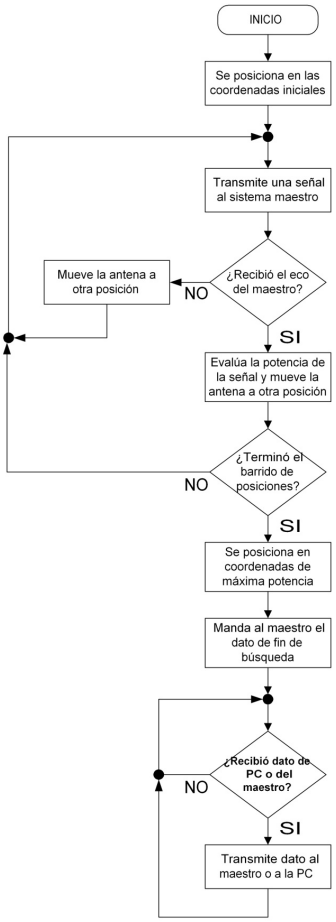
El maestro se mantiene en espera mientras el esclavo termina la búsqueda donde se aprecia la máxima potencia de la señal electromagnética. Para ello inicialmente el maestro se encuentra en espera de un dato proveniente del esclavo; si este corresponde al dato de fin de búsqueda, se prepara para comenzar una comunicación entre usuarios, de lo contrario transmite el mismo dato recibido hacia el esclavo (eco) para permitir a este último encontrar la máxima potencia de la señal electromagnética, ver la Figura 8b.

El maestro fue diseñado igual que el esclavo en cuanto a su estructura se refiere, por lo que tiene la capacidad de girar su antena en los dos grados de libertad. Por lo tanto al energizar al maestro, éste debe posicionarse en las coordenadas iniciales.

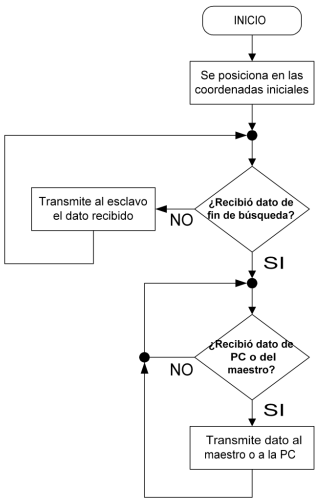
4. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos fundamentalmente están basados en el número de muestras y en los pasos de giro en la búsqueda de los niveles máximos de potencia para el apuntamiento.

Figura 8. Grados de libertad. (a) Vista superior y (b) Vista lateral.



a)



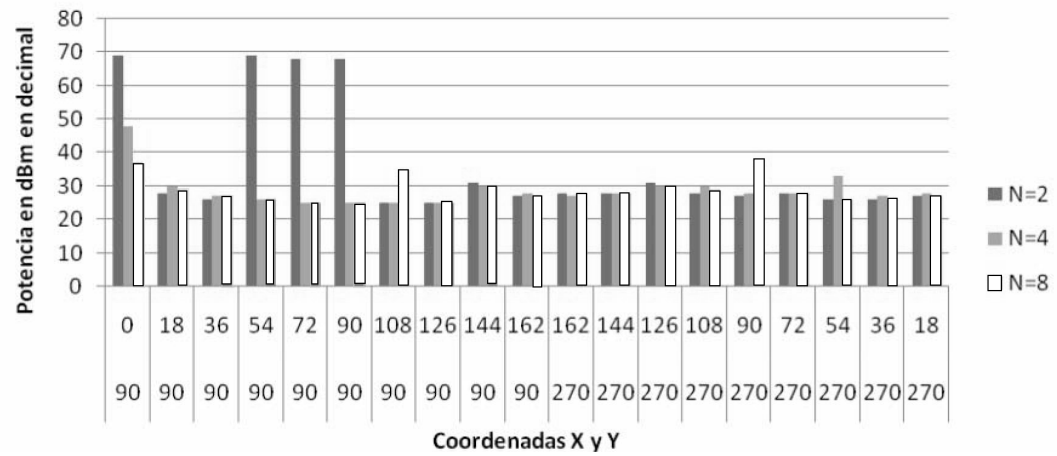
b)

Fuente: Elaboración propia.

4.1. *Análisis del número de muestras adquiridas*

En la gráfica de la Figura 9 se muestra un estudio comparativo de los niveles de potencia de la señal con respecto al número de muestras en cada posición. Estas mediciones se obtuvieron a partir de un número de muestras par, y que corresponden a exponentes de base 2, donde tenemos: $N = 8$, $N = 4$ y $N = 2$. Aclarando que con 8 muestras se tiene mayor precisión en la medición por tener más valores. De estas mediciones se puede deducir por inspección que para ocho muestras ($N = 8$) se tiene la referencia más cercana a la potencia sin variaciones con respecto al caso de 4 muestras. Comparando estos resultados con $N = 2$ se presentan diferencias debidas a irregularidades en los niveles de potencia medidos. De acuerdo con lo anterior se eligió el número de muestras por posición $N = 4$, lo que reduce el tiempo de ejecución de la búsqueda.

Figura 9. Comparación de potencia para $N = 2$, 4 y 8 muestras por posición.



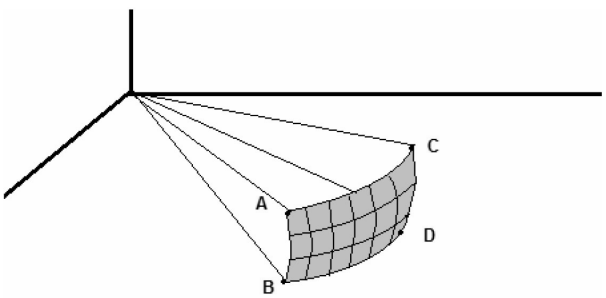
Fuente: Elaboración propia.

4.2. *Medidas de desempeño en la búsqueda de los valores de potencia*

Antes de establecer la precisión del movimiento del sistema es importante mencionar que los motores de paso utilizados son de 1.8^o por paso. Además, se considera que el dispositivo XBee tiene una cobertura de comunicación aproximada de 100 metros para el análisis [8]. Entonces, el desplazamiento con un ángulo de giro de 1.8^o a una distancia de 100 metros es aproximado a 3.14 metros. Para aumentar la precisión de desplazamiento se utilizó un juego de poleas de engrane con una relación de 6, una con respecto a la otra, para lograr una distancia aproximada de 0.5 metros o un ángulo de giro de 0.3^o. Al considerar el mismo grado de precisión para el movimiento horizontal y vertical se tiene un área (A), de no visibilidad, entre los vértices mostrados en la Figura 10, de aproximadamente $A = 0.27\,m^2$.

En relación a las mediciones de las características de la antena para $30\,m$, $90\,m$ y $120\,m$, ver Figuras 4 y 5a, se observan los patrones de radiación con variación mínima debido a la cercanía de la antena transmisora (sistema maestro) de acuerdo a la ganancia. Para $30\,m$ se obtiene un valor máximo en $135\,m$ con un "ancho de haz" de 62°, semejantes resultados se obtienen para $90\,m$ y $120\,m$. Mientras que en las mediciones de potencia para $240\,m$, ver Figura 5b, se obtiene un valor de potencia máxima en 135° con un "ancho de haz" de 28°. Entonces el paso establecido de 18° de giro para encontrar el máximo apuntamiento a la distancias de $240\,m$ es adecuado para el "ancho de haz" de 28°. Además, el sistema de recepción permite obtener el apuntamiento de la máxima potencia con el paso de 18° de giro a distancias cercanas, (aprox. de $30\,m$).

Figura 10. Puntos ciegos del sistema esclavo.



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

En este trabajo se muestra un diseño de dispositivos autónomos para la búsqueda de señales electromagnéticas que sirven para la función de monitorización requerida en radios cognitivos. Se hizo un análisis para estimar el número de muestras de potencia requeridas en una posición particular y así estimar la dirección de apuntamiento de las antenas que proporcione mayor ganancia. El algoritmo implementado considera las características del patrón de radiación de las antenas y, optimiza la búsqueda considerando el menor número de puntos de muestra, reduciendo así el tiempo para alcanzar el apuntamiento preciso con respecto al "ancho de haz" medido y el ángulo de giro. El sistema autónomo propuesto mejora la calidad del enlace y la potencia de recepción utilizando dispositivos de bajo costo, y que pueden ser utilizados fácilmente en la práctica.

Como trabajo futuro se investigará en el desarrollo de nuevos sistemas autónomos y con algoritmos más rápidos y eficientes en la búsqueda de señales electromagnéticas.

5.1. Reconocimientos

Los autores agradecemos a los alumnos de ingeniería electrónica de la Universidad A. Metropolitana Iztapalapa: César Salazar Carlos Humberto, y Alejandro Barrón Gutiérrez por su participación en el armado, puesta en operación y pruebas del dispositivo autónomo.

Referencias

[1] J. Mitola III and J. G.Q Maguire (1999). "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal." IEEE Personal Communications (Wireless Communications) 6(4): 13-18.

[2] Akyildiz, I. F., W. Y. Lee, et al. (April 2008). "A survey on spectrum management in cognitive radio networks." IEEE Communications Magazine 46(4): 40-48.

[3] Akyildiz, I. F., Won-Yeol Lee, et al. (2009). "CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks " Ad Hoc Networks, ScienceDirect Elsevier 7: 810-836.

[4] Cordeiro, C., K. Challapali, et al. (2005). IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios. New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on.

[5] E. Rodriguez-Colina, C. Ramirez-Perez, et al. (2011). Multiple Attribute Dynamic Spectrum Decision Making for Cognitive Radio Networks. Eighth International Conference on IEEE International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, WOCN, Print ISBN: 978-1-4577-0262-4 France: 1-5.

[6] Filin, S., H. Harada, et al. (2011). "International standardization of cognitive radio systems." Communications Magazine, IEEE 49(3): 82-89.

[7] A. M. Wyglinski, M. Nekovee and Y. T. Hou, "Cognitive Radio Communications and Networks" , Principles & Practice, Elsevier, 2010.

[8] XBee-PRO, OEM RF Modules, Product Manual v1.06, 2005, consulta en linea, http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001020_C.pdf, 2013

[9] Gyula Simon, Péter Völgyesi, Miklós Maróti, Ákos Lédeczi, "Simulation-based optimization of communication protocols for large-scale wireless sensor networks," IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, March 8-15, 2003.

[10] Huogen Yu, Wanbin Tang and Shaoqian Li, "Optimization of cooperative spectrum sensing with sensing user selection in cognitive radio networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2011 2011:208.

[11] Zhi Quan, Shuguang Cui, and Ali H. Sayed, "Optimal Linear Cooperation for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks," IEEE JOurnal of selected topics in signal processing, Vol. 2, No. 1, February 2008.

[12] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. Brodersen , "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Proc. 38th Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 2004, pp. 772–776.

[13] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun, vol. 23, pp. 201–220, Feb. 2005.

[14] O. Chipara, G. Hackmann, C. Lu, W.D. Smart, and G.C. Roman, "Practical Modeling and Prediction of Radio Coverage of Indoor Sensor Networks," In ACM/IEEE IPSN, Stockholm, Sweden, 2010.

[15] J. Andersen, T. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation measurements and models for wireless communications channels," IEEE Communications Magazine, 1995.

[16] H. Hashemi , "The indoor radio propagation channel," proc. IEEE, vol. 81, no. 7 , pp. 943-968, July 1993.

[17] M. F. Iskander and Z. Yun, "Propagation prediction models for wireless communication systems," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,The 50th Anniversary Special Issue, vol. 50, no. 3, pp. 662-673, March 2002.