

Temas de tesis 2015 - Maestría en Ingeniería Electrónica

Plataforma experimental para la evaluación de redes de radio cognitivo: CREEP (Cognitive Radio Experimental Evaluation Platform)

Proyecto financiado con recursos de la Secretaría de Educación Pública Responsable técnico: Dr. Marco Aurelio Cárdenas Juárez

La tecnología de radio cognitivo (o cognoscitivo) se visualiza como la solución definitiva a la aparente escasez del espectro electromagnético en la actualidad, satisfaciendo la demanda de espectro que requerirán las redes de comunicaciones inalámbricas de siguiente generación [1]. El objetivo principal de radio cognitivo es maximizar la utilización del espectro, habilitando para tal efecto el acceso dinámico de usuarios sin licencia (usuarios secundarios o cognitivos) a bandas de frecuencias asignadas a usuarios licenciados (usuarios primarios). De este modo, un requerimiento básico en radio cognitivo es que los usuarios secundarios no causen interferencias con las señales de los usuarios primarios. Por lo tanto, los usuarios secundarios requieren una monitorización continua de las actividades de los usuarios primarios para detectar las partes no utilizadas de espectro para poder llevar a cabo una transmisión oportunista (o dinámica) y al mismo tiempo evitar causar interferencia al usuario primario. Además, dado que los usuarios primarios tienen prioridad con respecto al uso del espectro, los usuarios cognitivos deben incluir otras funcionalidades para ser capaces de detectar eficientemente señales de los usuarios primarios en caso de que un usuario principal se active durante la transmisión del usuario secundario y de reubicar al usuario secundario a otro canal no utilizado. En resumen, los usuarios secundarios de redes de radio cognitivo deben ser capaces de realizar las siguientes cuatro funciones básicas [2]:

- **Percepción de espectro:** la función de la percepción consiste en la identificación de los agujeros del espectro, manteniendo los niveles de interferencia en los usuarios primarios al nivel más bajo posible.
- **Gestión:** consiste en seleccionar el canal que mejor se adapte a las necesidades de comunicación de los usuarios.
- **Movilidad:** los usuarios cognitivos deben abandonar el canal en caso de que el usuario principal inicie una transmisión de datos. Por lo tanto, los usuarios cognitivos deben ser capaces de mantener la transmisión de datos del usuario secundario durante la transición a otro agujero en el espectro sin problemas.
- **Compartición de recursos:** los usuarios secundarios de la red cognitiva debe implementar los métodos de planificación de espectro para compartir el espectro imparcialmente.

Entre estas funcionalidades, la percepción de espectro juega lo que se considera el papel más importante en radio cognitivo, ya que permite la identificación de los agujeros del espectro, lo que es fundamental en el enfoque de acceso dinámico al espectro (DSA). La funcionalidad de percepción del espectro se puede implementar como el mecanismo principal utilizado por los usuarios cognitivos (o secundarios) en la identificación de los agujeros del espectro o bien como un servicio de respaldo a los proveedores de servicios de bases de datos con el fin de proporcionar información actualizada sobre el estado (ocupado / inactivo) de bandas de frecuencia objetivo. Una revisión tutorial en la percepción del espectro de radio cognitivo puede encontrarse en [3], [4]. Por lo tanto, los radios cognitivos son capaces de detectar y analizar los datos recogidos a partir de su entorno de radiofrecuencia (RF) y de reconfigurar sus parámetros de funcionamiento para adaptarse a situaciones diferentes. Características que les permiten alcanzar un uso eficiente del espectro electromagnético y los hacen adecuados para muchas aplicaciones como las comunicaciones militares, de seguridad pública, seguridad nacional, así como para los mercados comerciales de las comunicaciones inalámbricas.

La problemática que atiende este proyecto se enmarca en los temas de medición de ocupación, percepción y decisión de espectro para redes de radio cognitivo. En este sentido, conocer la ocupación del espectro es importante por varios aspectos. En primera instancia proporciona información sobre las bandas de frecuencias

que están subutilizadas y a las que se puede acceder de manera dinámica por usuarios sin licencia. Además, los resultados de las mediciones se pueden utilizar para generar modelos estadísticos que permitan evaluar el desempeño de nuevas técnicas y algoritmos de radio cognitivo. Más allá de lo anterior, las estadísticas de ocupación serán de gran importancia en la definición de nuevas políticas públicas por parte de los organismos reguladores (IFT en México) respecto a la asignación del espectro electromagnético en un futuro cercano.

Más aún, en la literatura los esfuerzos de investigación se han centrado en el desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales para percibir el espectro electromagnético y para decidir cuáles de los agujeros de espectro disponibles se adaptan mejor a las necesidades de comunicación de un usuario cognitivo en específico. Sin embargo, la evaluación del desempeño de estos algoritmos se lleva a cabo mediante simulaciones Monte Carlo en la computadora, asumiendo que se conocen datos que en la práctica no están disponibles para los radios cognitivos o bien se hacen estimaciones de parámetros muy sensibles para el sistema, lo que puede deteriorar el desempeño de los algoritmos en un ambiente real. En contraste, este proyecto plantea un enfoque práctico para validar los resultados analíticos obtenidos.

Aunado a lo anterior, las labores de investigación y de formación de especialistas de alto perfil en el área de procesamiento de señales para comunicaciones, requieren de una gama flexible de actividades que van desde el trabajo teórico hasta la implementación y desarrollo de prototipos basados en los algoritmos diseñados. Esto último, derivado de la creciente necesidad de articular la cooperación entre actores que son parte del escenario de la innovación como lo son el gubernamental, industrial, académico y social. Para lograrlo, es preciso contar con los implementos y equipamiento adecuados para llevar a cabo investigación congruente con las demandas actuales a nivel internacional. Además, para conseguir la formación de recursos humanos de alta calidad es necesario fomentar la investigación en nuevas tecnologías que resuelvan problemas abiertos en comunicaciones inalámbricas de acuerdo con las tendencias globales.

Considerando las premisas anteriores, en este proyecto se propone la integración de una plataforma experimental para la evaluación del desempeño y emulación de redes de comunicaciones inalámbricas de siguiente generación. Particularmente, de redes con nodos cooperativos que utilizan la tecnología de radio cognitivo, la cual se visualiza como la solución definitiva a la aparente escasez del espectro electromagnético que se percibe en la actualidad.

El proyecto consiste en implementar y probar los modelos teóricos en una plataforma real basada en Simulink o GNU radio (www.gnuradio.org) y USRP (del inglés Universal Software Radio Peripheral, <http://www.ettus.com>). Cabe destacar que GNU Radio, es un conjunto de herramientas de desarrollo de software libre y de código abierto que proporciona bloques de procesamiento de señales para implementar radios definidos por software. Asimismo, los productos USRP son radios definidos por software alojados en una computadora (emulación) que representan una plataforma de hardware relativamente barata para la tecnología de radio cognitivo, y es comúnmente utilizado por distintos laboratorios de investigación y universidades alrededor del mundo.

Objetivos y metas del proyecto

A continuación se presenta el objetivo general, los objetivos específicos y las metas a alcanzar con la realización de este proyecto.

Objetivo general

Estudiar experimentalmente el desempeño de los algoritmos de procesamiento de señales diseñados para medir la ocupación del espectro, identificar eficientemente los agujeros del espectro y decidir las bandas de frecuencia que satisfacen los requerimientos de los distintos usuarios de una red de radios cognitivos.

Objetivos específicos

Existe una gran variedad de problemas abiertos, tanto prácticos como teóricos, en las áreas de medición, percepción y decisión de espectro para radio cognitivo. En una primera instancia de esta investigación, motivado por los requerimientos actuales, se describen a continuación los objetivos específicos de este

proyecto, los cuales contribuyen a la mejora del desempeño de algoritmos de procesamiento de señales para radio cognitivo.

- Definir un procedimiento mejorado para llevar a cabo mediciones de ocupación de espectro precisas con equipamiento especializado.
- Implementar una plataforma experimental para la emulación de unidades y redes cooperativas de radios cognitivos basada en Simulink o GNU Radio y Universal Software Radio Peripheral.
- Analizar el problema de percepción de espectro en una red centralizada de radio cognitiva cooperativa que toma decisiones duras y suaves en el centro de fusión en el caso práctico en que se perciben múltiples bandas de frecuencias.
- Estudiar experimentalmente los efectos de la incertidumbre en la potencia del ruido sobre el rendimiento de algoritmos como el detector de energía [5], y compararlo con el desempeño de algoritmos propuestos, así como el detector ciego localmente óptimo (BLOD) [6] y el detector semiciego localmente óptimo (SBLOD) [7].
- Comprobar las técnicas y esquemas propuestos en el área de decisión de espectro para radio cognitivo en un ambiente práctico.

Metas

- Implementar experimentalmente los algoritmos diseñados y demostrar la eficacia y ventajas de las nuevas técnicas para medir la ocupación del espectro y para detectar señales de usuarios primarios enterradas en ruido en redes cooperativas de radio cognitivo.
- Configurar experimentos para decidir cuáles agujeros del espectro se adaptan mejor a las necesidades de un radio cognitivo en una red cooperativa.
- Formar y capacitar recursos humanos especializados a nivel licenciatura, maestría y doctorado en la tecnología de radio cognitivo.
- Consolidar la infraestructura para investigación del posgrado en ingeniería electrónica (opción telecomunicaciones) de la Facultad de Ciencias.
- Diseminar los resultados de investigación obtenidos en el proyecto a través de diferentes medios, ya sea electrónicos, escritos o presentaciones en conferencias con arbitraje estricto.



Figura 1. Emulación de terminal de radio cognitivo para llevar a cabo percepción de espectro usando Simulink (o GNU Radio) y USRP.

Vinculación

El proyecto está vinculado con el grupo de procesamiento de señales para comunicaciones (SPCOM Group) de la Escuela de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad de Leeds, Reino Unido. Dicho grupo, que comparte intereses en esta línea de investigación, es liderado por el Prof. Mounir Ghogho.

Temas de tesis

A continuación, se presentan los temas de tesis disponibles en el marco de este proyecto:

Tema de tesis # 1. Evaluación experimental de algoritmos de percepción de espectro para radio cognitivo.

Director: Dr. Marco Aurelio Cárdenas Juárez, Co-director: Dr. Enrique Stevens Navarro

El objetivo de la tesis es implementar en una plataforma experimental los algoritmos de detección de señales con un buen desempeño en el régimen de la muy baja razón señal a ruido al tiempo que mantienen una complejidad computacional relativamente baja, como el detector de energía, el BLOD y el SBLOD. Asimismo, estudiar experimentalmente el desempeño de los algoritmos de procesamiento de señales para detectar eficientemente la presencia de usuarios primarios en una banda de frecuencias específica. Finalmente, emular una configuración de red cooperativa centralizada con decisiones suaves para llevar a cabo la percepción cooperativa del espectro y así identificar eficientemente bandas de frecuencias subutilizadas. Una revisión tutorial sobre comunicaciones cooperativas en radio cognitivo puede encontrarse en [8].

Tema de tesis # 2: Percepción de espectro multicanal para radio cognitivo.

Director: Dr. Marco Aurelio Cárdenas Juárez, Co-director: Dr. Ulises Pineda Rico.

Investigaciones teóricas anteriores han considerado esquemas de redes cooperativas centralizadas de radio cognitivo, cuyo desempeño ha sido estudiado para llevar a cabo la percepción del espectro tomando decisiones globales duras y suaves en el centro de fusión. En estos estudios, se considera que la percepción del espectro se realiza en un solo canal. Sin embargo, en el contexto de radio cognitivo, la percepción del espectro debe realizarse a través de un conjunto de bandas de frecuencias con el fin de encontrar eficientemente bandas subutilizadas disponibles dentro del espectro electromagnético para la transmisión de datos, como se puede ver en la Figura 2. Investigaciones recientes han abordado el problema del compromiso entre el tiempo de percepción y la tasa de transmisión de datos usando percepción del espectro multi-canal [9] pero estos consideran que las ganancias del canal son constantes. En este tema de tesis se propone implementar estos algoritmos en una plataforma experimental, lo que es de utilidad para encontrar el número óptimo de usuarios para la percepción de cada canal, maximizando la tasa de transmisión de datos mientras que se proporciona una evaluación realista. Lo anterior dado que las ganancias del canal se pueden considerar aleatorias y desconocidas.

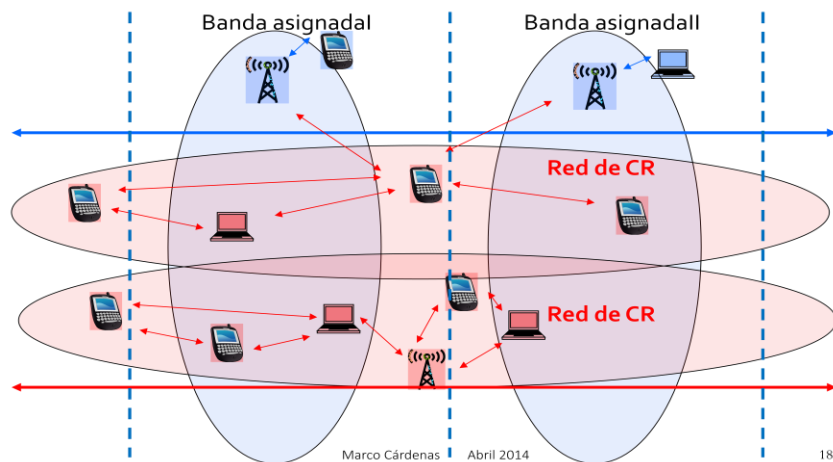


Figura 3. Percepción de espectro multicanal para radio cognitivo

Perfil del estudiante

Los temas de tesis planteados anteriormente requieren, de forma general, que el estudiante tenga gusto por la programación e interés por la implementación de prototipos en tarjetas de radios definidos por software. Además, interés por adquirir mayores conocimientos de procesamiento de señales, estimación y detección, probabilidad, programación y simulación y emulación de sistemas de comunicaciones. Por lo tanto, **el perfil del estudiante puede ser de ingeniería telemática, telecomunicaciones, eléctrica, electrónica, bio-**

electrónica, análisis y procesamiento de señales, tecnologías de la información, etc. Cursos sugeridos en 3er semestre: modelado y simulación en las telecomunicaciones y/o comunicaciones inalámbricas.

Referencias.

- [1] I. F. Akyildiz, W. -Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *Computer Networks Elsevier*, 50(13), 2127 - 2159, Sep. 2006
- [2] B. Wang and K.J.R. Liu, "Advances in cognitive radio networks: A survey," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 1, pp. 5-23, 2011
- [3] J. Lundén, V. Koivunen, and H. V. Poor, "Spectrum exploration and exploitation for cognitive radio: Recent advances," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 124, no. 5, pp. 123 – 140, May 2015
- [4] E. Axell, G. Leus, E. G. Larsson, and H. V. Poor, "Spectrum sensing for cognitive radio: State-of-the-art and recent advances," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 29, no. 3, pp. 101-116, May 2012
- [5] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *Proc. IEEE*, vol.55, pp. 523 - 531, Apr. 1967
- [6] M. Ghogho, M. Cardenas-Juarez, A. Swami, and T. Whitworth, "Locally optimum detection for spectrum sensing in cognitive radio," in *Proc. 4th IEEE Conf. on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Commun.*, Hannover, Ger., Jun. 2009
- [7] M. Cardenas-Juarez, M. Ghogho, and A. Swami, "Semi-blind locally optimum detection for spectrum sensing in cognitive radio," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Dallas, TX, Mar. 2010, pp. 2962- 2965
- [8] I.F. Akyildiz, B. F. Lo, and R. Balakrishnan, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey," *Elsevier Physical Communication*, vol. 4, pp. 40 – 62, 2011
- [9] G. Hattab and M. Ibnkahla, "Multiband spectrum access: Great promises for future cognitive radio networks," *Proceedings of the IEEE*, vo. 102, no. 3, Mar. 2014