

Relevamiento de las tecnologías en desarrollo de MIMO, BeamForming, balanceo de carga y reutilización del espectro en la implementación de radios cognitivas

Survey of the technologies in development of MIMO, BeamForming, Load Balancing and reuse of the spectrum in the implementation of cognitive radios

Roberto Daniel Breslin¹; Pablo Narváez¹; Emiliano Horvath¹

Resumen

La necesidad de tener eficiencia de utilización del espectro radioeléctrico, conseguir mayores coberturas y una asignación de recursos, distribuida, cooperativa y colaborativa, da origen a la radio cognitiva, que junto a la tecnología de Múltiples entradas y Múltiples salidas (MIMO) serán la base para el futuro en comunicaciones móviles. Este trabajo propone relevar las líneas de investigación que brindan soluciones a algunas problemáticas subyacentes en estos esquemas planteados sobre tres ejes: formación de haz colaborativo, asignación de recursos centralizada y balanceo de carga con asignación de ancho de banda distribuido.

La solución de cada problemática en forma individual y asignada a una solución tecnológica global, podría constituir la base para un esquema de altas velocidades de transferencia de datos y máxima cobertura.

Palabras clave: radio cognitiva - balanceo de carga - formación de haz colaborativo - análisis de espectro

Citar: Breslin, R. D.; Narváez, P.; Horvath, E. (2018). Relevamiento de las tecnologías en desarrollo de MIMO, BeamForming, balanceo de carga y reutilización de espectro en la implementación de radios cognitivas. *Cuadernos de Ingeniería. Nueva Serie.* [Salta - Argentina], núm. 10: 7-14.

¹ Facultad de Ingeniería -UCASAL, IESIING Salta - Capital, Salta, Argentina.

Abstract

The need to have efficiency in the use of the radioelectric spectrum, to achieve greater coverage and an allocation of resources, distributed, cooperative and collaborative, gives rise to cognitive radio, which together with the technology of multiple entries and multiple outputs (MIMO) will be the basis for the future in mobile communications. This work proposes to highlight the lines of research that provide solutions to some underlying problems in these schemes on three axes: collaborative beam formation, centralized resource allocation and load balancing with distributed bandwidth allocation.

The solution of each problem individually and assigned to a global technological solution, could form the basis for a scheme of high data transfer speeds and maximum coverage.

Keywords: cognitive radio - load balancing - collaborative beamforming - spectrum analysis

Introducción

La sociedad requiere, cada vez más, de los servicios brindados por las telecomunicaciones. El crecimiento de los servicios que pueden ser ofrecidos por los sistemas de comunicación móviles se incrementa acompañado por el desarrollo tecnológico y las demandas de las aplicaciones basadas en servicios.

El mercado de las telecomunicaciones se orienta principalmente a los sistemas de multiplataforma, en donde los dispositivos móviles ocupan un rol preponderante, a su vez, todos los servicios tienden a requerir un mayor volumen en la transmisión de datos, por lo que el incremento de la velocidad y la capacidad de transmisión es la necesidad primordial.

El constante aumento del ancho de banda por los sistemas inalámbricos propició el desarrollo de investigaciones tendientes a la quinta generación de telefonía celular 5G que está prevista para el año 2020 (Jaber et al., 2016; Feng et al., 2016, Zaidi, 2016).

A fin de lograr el objetivo de incrementar mil veces las actuales capacidades, es que se producen desarrollos que tienden a cubrir todos los vacíos posibles de las anteriores tecnologías, tanto en el campo del aprovechamiento del ancho de banda como en el de mejorar los sistemas de transmisión y de expansión de la cobertura.

Sin embargo, las expectativas tienen una limitación, dado el alto grado de saturación que presenta el espectro de frecuencias, especialmente hasta los 10 GH. Es por ello que actualmente se analiza, tanto a nivel nacional como internacional, la forma de reutilizarlo de una mejor manera, para lo cual se han ido desarrollando nuevas tecnologías más acordes al estado actual del arte, como es el caso de los equipos ya existentes en el mercado que cumplen con la Recomendación 802.22, de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), los cuales están enfocados al empleo de técnicas de radios cognitivas en el uso compartido del espectro radioeléctrico no utilizado asignado al servicio de difusión de televisión.

Las redes de radios cognitivas

Sin duda las tecnologías emergentes que mejor definen el entorno en el que se basará la quinta generación de telefonía celular son lo que se denomina radio cognitiva.

La definición de redes de radios cognitivas hace referencia a la posibilidad de implementar redes de dispositivos de comunicación inalámbricos (que no excluyen a los alámbricos) que puedan operar tanto como un receptor/transmisor de datos, como así también, como un repetidor inteligente de datos en una red inteligente, que se adapte dinámicamente a las necesidades instantáneas de la totalidad de los usuarios haciendo uso de las capacidades de retransmisión y de aprovechamiento del ancho de banda.

Una red de radio cognitiva es una técnica para radios, controlada por un software que se desarrolla para incrementar la utilización del espectro de frecuencias de radio que, como se mencionó, tiene un alto grado de congestión.

El concepto se basa en que la mayoría del espectro radioeléctrico permanece asignado pero inactivo por largos periodos de tiempo y, si es aprovechado, su uso se hace más eficiente.

Se establece un sistema de usuarios secundarios y primarios. Se denominan primarios a aquellos que poseen una conexión a una frecuencia licenciada (por ejemplo de telefonía celular). El sistema verifica permanentemente los entornos de radio, y, por sí mismo, encuentra espacios de frecuencia libres para poder ajustar el transmisor y aprovechar esos recursos inactivos a lo largo de sistemas primariamente licenciados. De esta manera cuando los usuarios primarios que tienen asignadas frecuencias licenciadas, no las utilizan por momentos, los usuarios secundarios que también pertenecen a la red pueden usar esas frecuencias a modo de préstamo, hasta tanto el usuario primario las requiera. La clave para hacer viable las redes cognitivas libres de interferencias está en cómo detectar esos «espacios blancos» del espectro de banda ancha y el mayor desafío consiste en generar un mecanismo de coordinación que evite la colisión de usuarios pertenecientes a diferentes redes de radios cognitivas por los mismos espacios en el espectro (Jaswal, 2016).

Tecnologías necesarias

Cuatro tecnologías fundamentales son necesarias para una verdadera red de radio cognitiva:

- Espectro compartido.
- Balanceo de carga dinámico.
- Formación de haz colaborativo-dinámico (Beamforming).
- MIMO.

Con el objeto de permitir que el sistema en su totalidad verifique el estado de la red en función de las necesidades instantáneas de un usuario determinado, en un punto determinado del área de cobertura, con el procesamiento adecuado: la red debe responder brindando el mayor ancho de banda posible (en función de las necesidades), la mejor cobertura y el mejor enlace (camino) para brindar un nivel de señal adecuado al ancho de banda necesario.

Estas tecnologías se plantean dentro de un esquema de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO y es necesario evaluar soluciones a diversas problemáticas

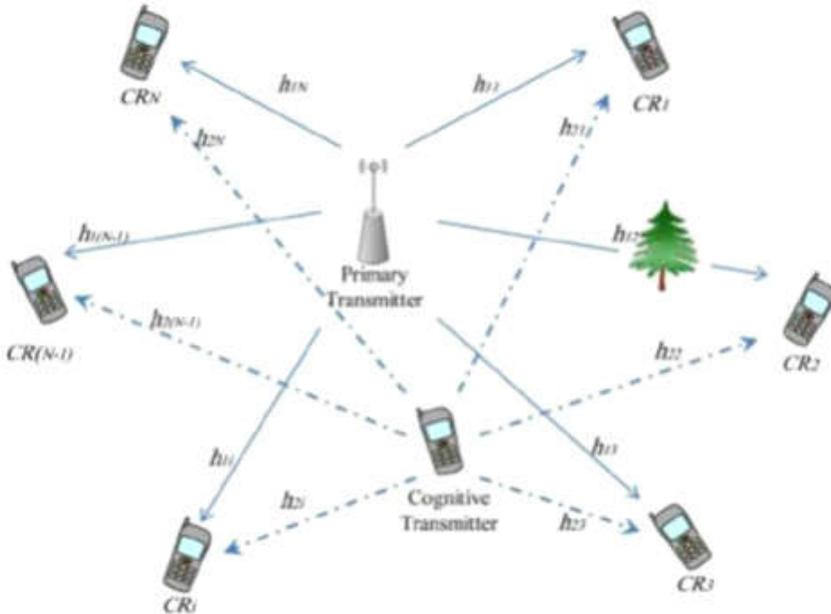


Figura 1: Estructura de radio cognitiva con dispositivos móviles. (Yu,2011).

La problemática de informar a la red

Sin duda para un esquema como el que se plantea, la red debe tener un sistema de procesamiento basado en la información instantánea de cada nodo, por ejemplo las CR (Radio Cognitiva). CSI (*Channel State Information*-Información del Estado del Canal) es una porción de las tramas que brinda información del Estado del Canal en cuanto a los parámetros de *uplink* y *downlink*, pero que actualmente carece de información sobre la propia demanda de ancho de banda. Tomando en consideración el trabajo de Jia et al. (2016), plantea una solución alternativa para las problemáticas de selección del relay adecuado y del alojamiento del espectro, y propone una resolución heurística y centralizada. Así, se puede orientar la problemática emergente de alojamiento de recursos, promoviendo una innovación en el protocolo MAC para su implementación en sistemas basados en *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*. Los resultados experimentales demuestran que el rendimiento de la totalidad del sistema se incrementa notoriamente mediante el uso de *Relay Cooperativo*, que consiste en que cada relay comparta información del estado del canal con los demás y pueda retransmitir información proveniente de otros.

En el trabajo anteriormente citado, se diseñó un protocolo MAC basado en la presunción de una sincronización global, lo cual es muy simple de implementar considerando la existencia de un nodo central en la red.

El tiempo se divide en tramas; en el comienzo de cada trama, los nodos secundarios se comunican con un canal común de control para intercambiar mensajes de control y negociar el alojamiento de recursos que incluyen tanto los canales como los *relays*.

Luego, en el tiempo remanente de la trama, el nodo central comunica a los canales asignados cómo conducir la transmisión de datos.

De esta forma se tiene una primera aproximación de una implementación de recolección de información a un esquema centralizado de toma de decisión e implementación en los usuarios finales de radios cognitivas.

La problemática de la asignación de rutas

Lograr un redireccionamiento de datos en la red que sea energéticamente eficiente y que permita una construcción de rutas en forma conjunta, asignación de los consiguientes *relays* de la ruta y asignación de potencia, es otro de los desafíos fundamentales. Xu et al. (2016), plantean la definición de un nuevo ancho de banda en forma cooperativa con múltiples caminos de enrutamiento (BP-CMPR) y demuestra formalmente una respuesta en NP-hardness (compleja de tiempo polinomial no determinista). Presentan un algoritmo polinomial heurístico de tiempo CMPR para encontrar K caminos de Rutas de nodo- disjuntos de peso mínimo desde origen hasta destino en un gráfico ponderado.

La problemática del sentido del espectro

La detección del espectro de manera cooperativa ha demostrado ser un método eficaz para mejorar el desempeño de detección mediante la explotación de la diversidad espacial. Mientras que la ganancia cooperativa mejora la detección y por lo tanto la sensibilidad que se puede obtener, la detección cooperativa puede incurrir en ciertos gastos indirectos asociados a la cooperación. La sobrecarga se refiere a cualquier tiempo adicional de detección, retraso, energía y operaciones dedicadas a la detección cooperativa y cualquier degradación del rendimiento causada por la detección cooperativa.

Arunkumar y Kumaran (2016) analizan el método de cooperación por los componentes fundamentales llamados elementos de detección cooperativa, incluyendo modelos de cooperación, técnicas de detección, pruebas de hipótesis, fusión de datos, canales de control e informes, selección de usuarios y base de conocimientos.

La problemática del balanceo de cargas

En un sistema radio cognitiva en donde el sistema comienza en un nodo central y la red se va expandiendo a través de nodos de usuarios, usados también como *relays*, se podrán definir diferentes niveles de acceso para cada nivel, usuarios primarios y usuarios secundarios de estos. Habiéndose definido por las técnicas anteriormente vistas los caminos adecuados mediante el uso de los dispositivos, se debe establecer un esquema de priorización para que los usuarios secundarios puedan acceder a los canales de los usuarios primarios manteniendo un esquema de prioridad. También se debe prever devolver la prioridad al canal primario una vez

que el canal secundario ha finalizado la utilización. La adecuada selección de los canales, tomando en cuenta las necesidades del usuario primario y del usuario secundario, es lo que analizan Yu et al. (2011), donde se proponen dos esquemas de priorización y balanceo: 1) el esquema de decisión del espectro basado en la detección y 2) el esquema de decisión del espectro basado en la probabilidad. El segundo esquema está basado en la probabilidad medida en relación con el tráfico, de este modo las decisiones que se toman en cuanto al balanceo de carga darán un mejor resultado al tomar en cuenta el tráfico actual y las estadísticas de largo término de tráfico tanto del usuario primario como del usuario secundario. En este trabajo los autores investigan sobre cómo se debe evaluar el tiempo total de sistema para uno basado en la detección y en el esquema de decisión del espectro basado en la probabilidad, cuando se tienen en cuenta interrupciones del usuario primario, detección de errores y capacidad. Con este fin los autores han diseñado esquemas de detección de espectro multiusuario sobre la base de una reanudación predictiva, en un modelo de cola (PRP) M/G/1. Este esquema hace referencia a la capacidad que tiene cada usuario de sensar el espectro en busca de huecos espectrales y de informar al resto o a una estación central. Cada usuario tiene una respuesta a sus requerimientos basado en un modelo de cola, además se conforma con la información obtenida de cada usuario una base datos para aplicar un modelo predictivo de requerimientos. En el marco del análisis propuesto, diseñan los parámetros adecuados para acortar el tiempo total del sistema.

La problemática de la extensión de cobertura mediante formación de haz (BEAMFORMING)

Para completar un esquema de radio cognitiva y cooperativa se requiere que, una vez establecido el ancho de banda y el mejor camino hacia el usuario final, este tenga una adecuada cobertura de señal. Para cumplir este objetivo se plantea la conformación del haz direccionado al usuario final e implementado mediante nodos primarios adecuadamente seleccionados y retransmitiendo señal en un esquema cooperativo que implica la utilización de los dispositivos de transmisión primarios como un arreglo de antenas con parámetros que impliquen la formación de un haz que apunte el máximo nivel de señal hacia el usuario final, como se puede ver en la figura 2

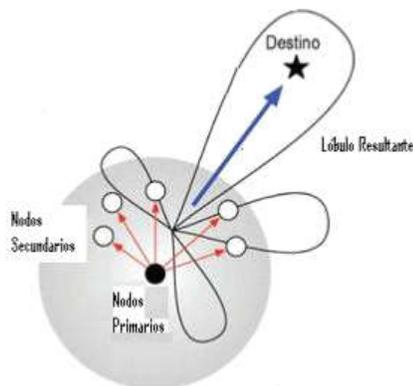


Figura 2: Formación de haz (modificado de www.ece.rutgers.edu/node/1111)

Zeng et al. (2011), derivan las soluciones de forma cerrada para aquellos vectores óptimos de formación de haces y por consiguiente proponen los algoritmos parcialmente distribuidos para implementar la formación óptima del haz, donde cada relé nodo solo necesita la información del canal local y un parámetro global. En segundo lugar, con los canales no recíprocos, se prueba que se pueden alcanzar velocidades de transmisión caracterizadas tanto para el caso de restricción de potencia de suma, como por el poder de potencia individual. Aunque no hay soluciones de forma cerrada disponibles bajo esta configuración, se presentan datos numéricos eficientes.

La formación óptima de haz puede obtenerse por la restricción de potencia suma y con las soluciones óptimas aproximadas bajo las restricciones individuales de potencia.

Conclusiones

Las enunciadas son algunas de las propuestas tecnológicas que aportan la multiplicidad de requerimientos a cubrir para lograr el necesario incremento de las velocidades de transmisión en comunicaciones móviles. Indudablemente las tecnologías pueden variar, pero el esquema de utilización de nodos (relays) que pueden ser los propios dispositivos móviles de los usuarios finales, aprovechando sus antenas para orientar la cobertura en forma colaborativa hacia usuarios con grandes demandas, el análisis de la disponibilidad de ancho de banda de los nodos, para generar centralizadamente caminos en donde se pueda brindar el mayor ancho de banda disponible localmente al usuario demandante y el balanceo de carga en cada dispositivo, para no perjudicar la performance de utilización particular, son los ejes sobre los que las comunicaciones móviles, particularmente la telefonía celular, se encuentran trabajando actualmente, lo que se va a incrementar la posibilidad de brindar servicios de alta velocidad en un futuro cercano.

Referencias

- Arunkumar, A. and Kumaran, S. (January 2016), Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks, *International Journal of Applied Theoretical Science and Technology* Volume 2, Issue 1, pp1012-1018, ISSN: 2454-8065
- Feng, Y. , Yang, Z. , Zhu, W. -P. Li, Q. , and Bin L. (8 June 2016), Robust Cooperative Secure Beamforming for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer in Amplifyand Forward Relay Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume PP, Issue: 99.
- Jaber, M., Imran, M. A. , Tafazolli R. and Tukmanov, A. (2016), 5G Backhaul Challenges and Emerging Research Directions: A Survey, in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1743-1766.
- Jaswal, A., Singh, P. K. and Singh, Y. (2016), 5G: Survey of Technologies and Challenges, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, ISSN:2278-621x
- Junchen, J., Zhang, J., Zhang, Q. (19-25 April 2009), Cooperative relay for cognitive radio networks, Honk Kong University of Science and Technology. Published in: INFOCOM 2009, IEEE Date of Conference: Added to IEEE Xplore: 02 June 2009 ISSN: 0743-166X
- Xu, H., Huang, L., Qiao. C., Zhang, Y. and Sun, Q. (April 2012), Bandwith-Power Aware Cooperative Multipath Routing for Wireless Media Sensor Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Volume 11, Issue 4, ISSN: 1536-1276

- Yu, Y., Hu, R. Q., Bontu, C. S and Cai, Z. (May 2011), Load-Balancing Spectrum Decision for Cognitive Radio Networks, *IEEE Communications Magazine*, Volume 49, Issue 5.
- Zaidi, S. and Affes, S. (2015), Distributed collaborative beamforming designs for real-world applications in relayed and cooperative communications, Published in: *Communications and Networking (COMNET)*, 5th International Conference on, Date of Conference: 4-7 Nov. 2015 Date Added to IEEE Xplore: 15 September 2016 ISBN Information: SPEC Accession Number: 16304802 DOI: 10.1109/COMNET.2015.7566622
- Zeng, M., Zhang, R. , and Cui, S. (April 2011), On Design of Collaborative Beamforming for Two-Way Relay Networks, *IEEE Journal on selected areas in Communications*, Volumen 29, Issue 4.

Recibido: julio del 2017

Aceptado: abril de 2018