

TITULO Y PLAN DE TRABAJO A REALIZAR

Aspectos de cancelamiento de interferencias en sistemas inalámbricos de comunicaciones heterogéneos contemplando estándares avanzados.

Objetivos Generales

El problema general en estudio está asociado a nuevas y mejores prestaciones de los servicios previstos en comunicaciones inalámbricas en sistemas heterogéneos los cuales proveen una mayor tasa de transmisión y gran robustez [1]. Entre las aplicaciones básicas posibles se pueden mencionar: comunicaciones móviles de cuarta generación, sistemas WiMAX release 2 (IEEE 802.16m) [3] y LTE advanced [2]. También es posible extender su operación en el contexto de sistemas de radio cognitiva y sistemas cooperativos, los cuales, en la actualidad, están siendo ampliamente estudiados tanto a nivel de investigación académica como en la industria [2] [4].

Desde la perspectiva de procesamiento de señales, se colocará especial atención en aspectos de diseño relacionados con la eficiencia (bajo consumo) y simplicidad de sistemas de comunicaciones digitales de última generación, con particular énfasis en los citados sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Fundamentos

El objetivo del Plan de Trabajo es contribuir al desarrollo de sistemas de comunicaciones de elevada prestación compatibles con los estándares de última generación de la International Telecommunication Union (ITU). Esta entidad definió un conjunto de especificaciones que mejoran las de estándares de tercera generación IMT - 2000 (LTE y/o IEEE 802.16e), que se denominan *IMT Advanced*. Estas nuevas especificaciones implican proveer servicios y aplicaciones con velocidades del orden de 1Gbps para baja movilidad y 100 Mbps para alta movilidad.

Contexto celular heterogéneo [5]: Los nuevos estándares (LTE Advanced y/o IEEE 802.16m), procuran satisfacer las especificaciones de IMT Advanced. Para poder concretar esas velocidades teniendo en cuenta un *esquema celular heterogéneo*, los nuevos estándares incluyen y/o mejoran varios conceptos clave, indirectamente relacionados con técnicas cooperativas.

Debido a la explosión de tráfico de la demanda y con la eficiencia espectral de los enlaces punto a punto en el contexto celular tendiendo a sus límites teóricos, existe la necesidad de incrementar la densidad de los nodos celulares para poder mejorar la capacidad del sistema. En ese sentido, teniendo en cuenta la alta densidad en las redes actuales, la estrategia de división de ganancia en la celda está notablemente limitada por los problemas de alta interferencia intra celda. Además, los altos costos de inversión en infraestructura de nodos (estaciones base) de potencia (macro) limita aún más ese tipo de soluciones.

En el contexto celular heterogéneo, como nueva estrategia, nodos de baja potencia están superpuestos con los nodos macro [6]. Si bien esta estrategia ya estaba prevista en estándares anteriores, el objetivo es poder utilizar las nuevas alternativas como: carrier aggregation y particionamiento de recursos (coordinated multipoint transmission – reception) para optimizar su uso.

Redes heterogéneas son aquellas que conjugan una superposición con la celda macro (de alta potencia) de subceldas con nodos de tipo pico, femto [7] y/o relays, de baja potencia. Además de posiblemente introducir una mezcla de acceso abierto y cerrado de uso, este tipo de redes está caracterizado por una gran disparidad en la potencia transmitida por los distintos nodos. Tal disparidad genera una desventaja relativa de los nodos de baja potencia (pico, femto y relay) en relación a los de alta potencia (macro).

También, la superposición con subceldas cerradas genera el problema de compartir recursos físicos con la celda macro, lo que crea agujeros de asignación en la celda en general. La introducción de nodos de baja potencia en una red macro crea un desbalance entre la cobertura de uplink y downlink. Debido a la mayor potencia transmitida por la estación base macro, el límite de handover se desplaza más cerca del nodo de menor potencia, lo cual puede conducir a problemas severos de interferencia en el uplink ya que las unidades móviles servidas por la estación base macro crean una fuerte interferencia a los nodos de baja potencia. Dado que, además, algunas de las celdas femto pueden tener acceso restringido, esto crearía un agujero de cobertura macro y exacerbaría el problema de interferencia.

Algunas soluciones posibles son las siguientes [5]:

- **Frecuencias múltiples:** Una solución simple para evitar que la cobertura macro se vea afectada por celdas femto cerradas es utilizar una portadora diferente para estas últimas. Si bien esta solución es efectiva, es altamente ineficiente ya que requiere dos portadoras diferentes y crea una indeseable segmentación del ancho de banda.

- **Carrier Aggregation [12]-[17]:** Otro posible escenario es utilizar, por ejemplo, una portadora para la cobertura macro y otra compartida por celdas macro y celdas femto cerradas. La interferencia generada por las celdas femto cerradas sobre la cobertura macro se evita porque se utiliza una portadora única para la macro celda. La otra frecuencia portadora es compartida entre celdas macro y celdas femto cerradas. Un móvil con capacidad de carrier aggregation (CA) (o sea, que pueda usar dos bandas de transmisión con portadores diferentes) se beneficiará de la cobertura completa de la celda macro en una de las portadoras y tendrá una cobertura parcial (fuera de la cobertura de la celda femto) con una segunda portadora. Al mismo tiempo, las celdas femto cerradas continuarán dando cobertura en sus respectivas frecuencia portadora. En ese sentido CA es una herramienta poderosa para redes heterogéneas sin causar pérdida de ancho de banda. Sin embargo, CA requiere poder asignar considerable cantidad de espectro y no es simple de escalar en términos de ancho de banda. Además, el costo de móviles con capacidad de CA también puede ser un problema.
- **Particionamiento de recursos [2]:** En este escenario todos los nodos trabajan con la misma frecuencia portadora para evitar la segmentación del ancho de banda (lo que se aplicaría a cualquier sistema no necesariamente con gran disponibilidad de ancho de banda y para evitar móviles con capacidad de CA). Como discutido antes, los nodos de baja potencia en la misma portadora que el de alta potencia generan problemas severos de interferencia en celdas femto cerradas y limitan la cobertura de los otros tipos de nodos de baja potencia. Es posible entonces considerar técnicas de coordinación de interferencias para resolver esos problemas. Para hacer uso eficiente de redes heterogéneas es necesario un esquema de manejo de interferencias que adapte las diferentes cargas de tráfico y el diferente número de nodos de baja potencia en las diferentes áreas geográficas. El rol del *particionamiento de recursos* para manejo de interferencias es crítico. Para ser útil, en general, el particionamiento de recursos deberá estar acompañado de técnicas de cancelamiento de interferencias. Los nuevos estándares prevén para el particionamiento de recursos comunicación coordinada entre estaciones bases macro (interfaz X2). Esta información se puede usar en el caso de celdas pico, femto abiertas y relays, pero no en el caso de nodos femto cerrados. En este último caso es posible utilizar solo información estática sensada por el nodo macro. La granularidad del recurso negociado es un subframe (tiempo-frecuencia). La principal motivación detrás del particionamiento de recursos es posibilitar la expansión de rango de la celda de baja potencia a través del *sesgo de celda*. En un caso típico, la expansión de rango de celda tiene como objetivo mejorar la capacidad del sistema y un sesgo de celda se aplica a los nodos de baja potencia. El valor del sesgo se refiere al umbral que dispara el handover entre dos celdas. Un sesgo positivo significa que el móvil conmutará a una pico celda cuando la diferencia en la potencia de señal entre la celda macro y la pico caiga por debajo del valor de sesgo. El nodo de alta potencia (estación base macro) informa al nodo de baja potencia (estación base pico) de cuales recursos serán utilizados. De esta manera, también los nodos de baja potencia tienen información del patrón de interferencia de la estación base de alta potencia y pueden de esa forma diagramar a sus propios usuarios de manera de protegerlos.

Objetivos específicos

- **Modelado del contexto celular heterogeneo:** Siguiendo el contexto de aplicación, la definición de un modelo suficientemente general para el modelado del contexto celular heterogéneo puede seguir las pautas de modelos simplificados disponibles [8] o modelos derivados teniendo en cuenta sus limitaciones [9]-[11].
- **Análisis de las estrategias de particionamiento de recursos:** Las estrategias de particionamiento de recursos tienen considerables particularidades dependiendo del contexto heterogéneo en las cuales se apliquen. El objetivo en esta línea de trabajo es individualizar los aspectos dominantes de esas estrategias, de manera de poder modelarlos adecuadamente [2].
- **Técnicas de cancelamiento de interferencias que utilicen información del particionamiento de recursos:** En forma complementaria a las estrategias de particionamiento de recursos para poder trabajar en un contexto heterogéneo desde la perspectiva del tráfico de datos, el cancelamiento de las señales de adquisición y control residuales es esencial [5].

Metodologías

Las técnicas de particionamiento de recursos pueden efectivamente mitigar la interferencia del canal de datos en un contexto heterogéneo. Sin embargo, la interferencia de los canales de adquisición y las señales de control aún son un problema, ya que son necesarias por compatibilidad con estándares previos. El conflicto de los canales de adquisición de estaciones base de diferente potencia se podría evitar en sistemas FDD

(multiplexado por división en frecuencia para enlace bidireccional), pero no para el caso de sistemas TDD. No existe solución para las señales de control, tanto para FDD como para TDD.

Sin una reducción de interferencia adicional de los canales de adquisición y las señales de control, solo sería posible el manejo de valores de sesgo medios (6 a 10 dB) [7], lo que limita el potencial de la técnica de extensión de rango de celda mediante particionamiento de recursos. La reducción de interferencias asegura que el móvil puede detectar y adquirir una celda débil y entonces medir e informar a la red el valor medido, lo cual es un requisito para el handover y la extensión de la celda.

La reducción de interferencia asociada a las señales de control tiene un rol importante en el desempeño del sistema. Una señal de control como interferencia, estando aún presente solo en una pequeña fracción del nodo de interés, puede degradar considerablemente el desempeño de la técnica de codificación (turbo-códigos) y la relación señal a interferencia más ruido; como consecuencia, las ventajas potenciales de la extensión de rango de celda pueden reducirse considerablemente. Dado que los canales de adquisición y las señales de control son emitidos a la máxima potencia necesaria para alcanzar al móvil en el límite de la celda, es posible pensar una solución sobre dicha unidad móvil [5].

Receptor con cancelamiento de interferencias: La principal justificación para procurar una solución de reducción de las interferencias causadas por los canales de adquisición y las señales de control en el móvil es que las interferencias serán lo suficientemente fuertes como para poder estimarse y substraerse. Los canales de adquisición se transmiten en todas las celdas, lo que significa que la interferencia generada por estos está asociada a los canales de adquisición de los nodos vecinos. Esta estructura conduce al diseño de un cancelador de interferencias: el móvil decodifica la señal más fuerte, realiza la estimación de canal hacia la celda interferente, cancela la señal interferente y continúa el procedimiento hasta que los canales de adquisición son adquiridos. Un procedimiento similar puede seguirse para reducir la interferencia de las señales de control de nodos vecinos.

En el escenario citado y con los antecedentes mencionados el Plan de Trabajo se desarrollará con la siguiente metodología:

- [1] Se estudiarán los diferentes contextos de modelado de redes celulares heterogéneas disponibles, así como posibles generalizaciones para adecuar esos modelos a aspectos de los estándares avanzados [8]-[11].
- [2] Se analizará las estrategias de particionamiento de recursos para el contexto celular heterogéneo, poniendo en evidencia tanto un contexto simplificado como aspectos de aplicación prácticos [2]-[3].
- [3] Se diseñarán técnicas de cancelamiento de interferencias, en principio asociadas al móvil, que tengan en cuenta: decodificación, estimación de canal de la señal de origen y cancelamiento específico [5]-[7].

Hitos de Evaluación

El Plan de Trabajo se desarrollará en base a las siguientes etapas cronológicas, cada una de aproximadamente 6 meses:

- 1) Estudio del estado de los estándares disponibles (LTE Advanced, IEEE 802.16m) y el modelado del contexto celular heterogéneo, analizando aspectos (limitaciones, generalizaciones) de dicho modelado.
- 2) Implementación en software de simulación del modelo celular heterogéneo.
- 3) Análisis de las técnicas de particionamiento de recursos asociadas a los estándares procurando aislar aspectos de un contexto heterogéneo de interés.
- 4) Estudio y modelado del contexto heterogéneo de interés usando el modelado y los estándares previstos.
- 5) Estudio y evaluación de técnicas de cancelamiento de interferencias en el contexto modelado.
- 6) Diseño, evaluación y generalización de técnicas de cancelamiento de interferencias en el contexto celular heterogéneo.

Lugar de trabajo

El Laboratorio de Procesamiento de señales y comunicaciones, en el cual se desarrollará el doctorado, forma parte del Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica (IIIE) "Alfredo Desages". Este Instituto desarrolla sus actividades dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras (DIEC) de la Universidad Nacional del Sur, y fue creado por resolución 17/97 de la Asamblea Universitaria de la Universidad Nacional del Sur.

Este instituto está compuesto por los grupos de Sistemas Digitales, Sistemas de Programación, Comunicaciones, Dinámica de Sistemas y Control. El potencial de trabajo coordinado de estos grupos posibilita el desarrollo de actividades científico-tecnológicas en áreas de fundamental importancia para el desarrollo del país.

Disponibilidad de Fondos

Las actividades desarrolladas en el marco de la beca solicitada se encuadran en una serie de iniciativas en la temática, asociadas al Laboratorio de Procesamiento de Señales y Comunicaciones, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras, Universidad Nacional del Sur. La participación del becario estará relacionada con los proyectos de investigación aplicada que allí se desarrollan. En particular

- **PICT-2008-0182**, “Técnicas avanzadas de procesamiento de señal para reducción de imperfecciones de RF en sistemas de comunicaciones de última generación”. Director: Dr. Juan Cousseau. Vigencia: 2010-2012
- **PGI 2009**, “Modelado y compensación de imperfecciones de RF en sistemas de comunicaciones de última generación”, Código del proyecto: 24/K044. Acreditado en el Programa de Incentivos. Director: Des. Juan Cousseau / Fernando Gregorio. Vigencia: 2010-2012
- **PIP 112-200801-01024**, “Técnicas de Procesamiento de Señales Avanzadas con Aplicaciones en Telecomunicaciones”. Director: Dr. Juan Cousseau. Vigencia: 2010-2012.

Referencias

- [1] H. Holma and A. Toskala, “LTE for UMTS, OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, Wiley, 2009.
- [2] E. Hossain, D. Kim and V. K. Bhargava, “Cooperative cellular wireless networks”, Cambridge Univ. Press, New York, 2011.
- [3] A. Sassan, “Mobile WiMAX : a systems approach to understanding the IEEE 802.16m radio access network”, Academic Press, 2011.
- [4] M. Kottkamp, “LTE-Advanced Technology Introduction, Application Note 03.2010-1MA169_1e”, Rohde Schwartz, 2010.
- [5] A. Damjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Son and D. Malladi, “A survey on 3GPP heterogeneous networks”, IEEE Wireless Commun., pp.10-21, June, 2011.
- [6] G. Boudreau *et al.*, “Interference Coordination and Cancellation for 4G Networks,” IEEE Commun. Mag., Apr. 2009.
- [7] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, “Femtocell Networks: A Survey,” IEEE Commun. Mag., 2008.
- [8] A. D. Wyner, “Shannon-theoretic approach to a Gaussian cellular multi-access channel,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 40, no. 6, pp. 1713–1727, Nov. 1994
- [9] J. Xu, J. Zhang and J. G. Andrews, “On the Accuracy of the Wyner Model of Cellular Networks”, IEEE Trans. on Wireless Commun., May 2011.
- [10] J. Xu, J. Zhang and J. G. Andrews, “On the Accuracy of the Wyner Model in Cellular Downlink”, IEEE Int. Conf. Commun., Japan, September 2011.
- [11] J. Xu, J. Zhang and J. Andrews, “When does the Wyner model accurately describe an uplink cellular network?”, IEEE Globecom, Miami Florida, Dec. 2010.
- [12] K. Pedersen, F. Frederiksen, C. Rosa, H. Nguyen, L.Uzeda Garcia and Y. Wang, “Carrier aggregation for LTE Advanced: Functionality and performance aspects”, IEEE Commun. Mag., pp.89-95, June, 2011.
- [13] G. Yuan, X. Zhang, W. Wang and Y. Yang, “Carrier Aggregation for LTE Advanced mobile communication systems”, IEEE Commun. Mag., pp.88-93, Feb. 2010.
- [14] H. Wang, C. Rosa and K. Pedersen, “Uplink Component Carrier Selection for LTE-Advanced Systems with Carrier Aggregation”, IEEE Int. Conf. Commun (ICC), Aalborg, Denmark, June 2011.
- [15] Z. Zou, C. Guo, Z. Zeng and S. Shi, “A Dynamic Adjusting Carrier Coverage-Based Load Balancing Scheme in LTE-Advanced System Based on Carrier Aggregation”, 7th Int. Conf. Wireless Commun., Networking and Mobile Computing (WiCOM), Wuham, China, Sept. 2011.
- [16] L. Liu, M. Li, J. Zhou, X. She, L. Chen, Y. Sagae and M. Iwamura, “Component Carrier Management for Carrier Aggregation in LTE-Advanced System”, IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Budapest, Hungary, May 2011.
- [17] M. Iwamura, K. Etemad, M. Fong, R. Nory and R. Love, “Carrier Aggregation Framework in 3GPP LTE-Advanced”, IEEE Commun. Mag., Aug. 2010.