

ASIGNACIÓN DE RECURSOS DE RADIO Y COORDINACIÓN DE INTERFERENCIAS INTERCELDA EN REDES LTE

Por: Ing. Yenkel Llitas Cebada, Especialista C en Telemática, Centro de Gestión Regional Móvil, Dirección Territorial Camagüey (DTCM), ETECSA; MSc. Carlos Alberto Rodríguez López, Profesor Titular Universidad Central de Las Villas.
yenkell.llitas@etecsa.cu; crodriguez@uclv.edu.cu



RESUMEN

La elección de los mecanismos de asignación de recursos de radio y de coordinación de interferencia interceldas a utilizar en las redes LTE tiene un gran impacto en la transmisión de datos del sistema. Existen múltiples combinaciones de estas técnicas a utilizar por los operadores en sus redes con diferentes resultados. En el trabajo se simulan varias parejas de estos mecanismos en un escenario para evaluar su desempeño. Finalmente se recomienda el uso de las parejas de mecanismos que logran los mayores valores de *throughput*.

Palabras clave: Asignación de recursos de radio, Bloque de recursos, Coordinación de interferencias interceldas, Reutilización fraccional de frecuencias

ABSTRACT

The choice of radio resources allocation and inter-cell interference coordination techniques to be used on LTE networks has a great impact on system's data transmission. There are several combinations of these techniques that operators may use on the networks with different results. In this paper several pairs of techniques are simulated in a scenario for assessing their performance. Finally, the use of pairs of techniques for achieving higher throughput rates is recommended.

Key words: radio resources allocation, resource block, inter-cell interference coordination, frequency fractional reuse

Introducción

Las redes LTE son redes móviles consideradas de cuarta generación a partir de su release 10 (LTE-Advanced). Presentan una mayor eficiencia espectral, mayores velocidades y menor latencia que sus predecesoras 3G. La arquitectura de radio LTE, conocida como EUTRAN —*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*— es simple [1]. Está compuesta por los UE —*User Equipment*—, los eNB enhanced Node B, las interfaces X2 entre los eNB y las interfaces S1 con los nodos MME y S-GW del EPC —*Enhanced Packet Core*—. Los eNB son los encargados de manejar toda la interfaz de radio del sistema. Ellos son los que realizan la asignación de recursos de radio a los UE para que estos puedan transmitir sus datos. Existen diversos mecanismos para realizar la administración de los recursos de transmisión, guiados por métricas diferentes. El operador debe escoger entre las existentes la que se adecue más a sus necesidades.

Las redes LTE tienen un factor de reutilización de frecuencias 1, por lo que disminuir la interferencia es muy importante para mejorar el desempeño del sistema. Las técnicas de reutilización fraccional de frecuencias son mecanismos de coordinación de interferencias interceldas utilizadas para minimizar las interferencias entre las transmisiones de las celdas vecinas. No obstante, existen muchas variantes de reutilización fraccional de frecuencias a disposición del operador. La elección de la técnica óptima para mejorar el desempeño de la red es un dilema a resolver por el operador.

En el presente trabajo se realizan simulaciones de parejas de técnicas de asignación de recursos de radio y de coordinación de interferencias interceldas para brindar recomendaciones acerca de cuáles de ellas proporcionan el mayor *throughput* al sistema.

Tipos de reutilización de frecuencia

- Reutilización fraccional de frecuencias: familia de técnicas de coordinación de interferencias interceldas utilizada en redes LTE. Consiste en la división del espectro electromagnético en bandas de frecuencias que se asignan entre los eNB vecinos de forma tal que no se interfieran las transmisiones. Las bandas pueden dividir el eNB en diferentes áreas interiores o exteriores [2], provocando que los UE más cercanos al eNB transmitan en bandas distintas a las de los UE más alejados del eNB.

- Reutilización total de frecuencias (FFR): transmite en toda la banda de frecuencia por todos los eNB. La técnica de reutilización dura de frecuencias (HFR) divide el espectro en determinadas sub-bandas de frecuencia y cada celda transmite solamente en la sub-banda de frecuencia asignada a ella.

- Reutilización estricta de frecuencias (STFR): mezcla entre FFR y HFR. El espectro se divide entre una sub-banda común para el centro de las celdas donde se aplicará FFR y una cantidad de sub-bandas que se utilizarán en cada uno de los bordes de las celdas y en las que se aplicará HFR. En total se requiere dividir el espectro en $N+1$ sub-bandas. [3]

- Reutilización blanda de frecuencias (SFR): divide el ancho de banda de la celda en N sub-bandas. En la variante 1 (SFR1) cada celda utiliza una sub-banda para las transmisiones en la zona del borde de la celda y el resto de las sub-bandas para la zona central [4]. En la variante 2 de SFR (SFR2) los usuarios del centro de la celda no tienen acceso a la sub-banda externa.

- Reutilización blanda fraccional de frecuencias (SFFR): divide el ancho de banda disponible en $N+1$ sub-bandas. Las sub-bandas se dividen en una zona central, una media

común a todas las celdas y otra exterior para los UE del borde. Los UE del centro pueden utilizar todas las sub-bandas, incluyendo las pertenecientes a los bordes de las demás celdas, pero lo hacen transmitiendo a baja potencia. [5]

- Reutilización fraccional mejorada de frecuencias (EFFF): divide la banda de frecuencias en sub-bandas que se encuentran distribuidas entre las celdas vecinas [6]. Las sub-bandas de cada celda se dividen en una parte de reutilización 1 y otra parte de reutilización 3. La parte de reutilización 1 puede ser aprovechada por todas las celdas y la parte de reutilización 3 puede usarse nuevamente, pero solo por celdas en un esquema 3×1 .

Técnicas y Mecanismos

Las técnicas de asignación de recursos de radio distribuyen los bloques de recursos (RB) disponibles para la transmisión según determinadas métricas. Estas pueden basarse en el estado del canal de comunicaciones en un instante dado, en reglas matemáticas y en la calidad del servicio, entre otros parámetros. [7]

- Mecanismo *Round Robin* (RR): divide los RB disponibles entre la cantidad de pedidos de transmisión de los UE conformando una cola circular [8]. Si la cantidad de RB es suficiente como para servir a los UE que demandan recursos se distribuyen entre estos equitativamente. Si los recursos no fueran suficientes para brindar a cada uno de los UE la posibilidad de transmitir en el TTI, se formará una cola en la que los primeros en entrar serán los primeros en salir.

- Planificador *Maximum Throughput* en el dominio de la frecuencia (FDMT): asigna el RB al UE que tenga las mejores condiciones de propagación según el indicador de calidad de canal (CQI) de la sub-banda enviado por el UE al eNB [9]. En el dominio del tiempo (TDMT) le asigna al UE que pueda alcanzar la mayor tasa de transmisión todos los RB del TTI, calculados según el indicador de calidad de canal global de toda la banda.

- *Blind Equal Throughput*: se enfoca en lograr que todos los UE tengan el mismo *throughput*. En el dominio de la frecuencia (FDBET) calcula el inverso del *throughput* acumulado dentro de un rango de tiempo de todos los UE [10]. Al UE que tenga la mayor métrica y por ende el menor *throughput* acumulado se le asignará un RB y se volverá a calcular la métrica esta vez añadiendo la transmisión del RB otorgado.

- Mecanismo de *Proportional Fair* (PF): utiliza el *throughput* pasado del UE como un peso del *throughput* esperado de forma tal que los usuarios que experimentaron un menor *throughput* anteriormente sean servidos con prioridad. [11]

Simulación

Los mecanismos de asignación de recursos de radio y de reutilización de frecuencias descritos anteriormente son simu-

lados en el simulador de eventos discretos ns-3. El escenario recreado consta de tres eNB separados a 1km de distancia entre ellos. Cada eNB consta de una celda omnidireccional y tiene alrededor de 16 UE distribuidos en forma de cuadrícula con una separación en el eje x de 250 metros y en el eje y de 200 metros. En la Tabla 1 se muestran los parámetros de las simulaciones.

Tiempo simulación	100 segundos
Portadora EPS	GBR_CONV_VIDEO
Ancho banda	25RB (5MHz)
Potencia eNB	30 dBm
Potencia UEs	10 dBm
Altura eNB	7 m
Altura UE	1,5 m
Figura de ruido eNB	5 dB
Figura de ruido UE	9 dB
Modelo de propagación	Friis

Tabla 1. Características de las simulaciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las simulaciones fueron procesados usando el software Matlab R2014a.

Simulando RR con todas las técnicas de reutilización fraccional de frecuencias, se observa que con HFR y FFR se obtiene el mayor *throughput*, como se puede apreciar en la figura 1, en la función de distribución acumulada (CDF) del *throughput* alcanzado por los UE en la celda 1.

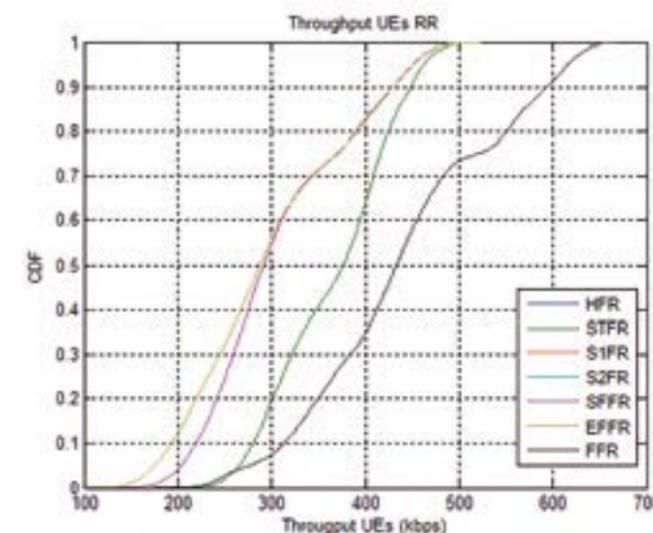


Figura 1. CDF de *throughput* de UEs en celda 1 con RR. Fuente: Elaboración propia.

FFR es la técnica que brinda todos los RB al sistema para su asignación, por lo que de ser posible la transmisión en un ambiente con bajos niveles de ruido brinda la mayor



cantidad de recursos para transmitir y por ende, en ese caso posibilita obtener un *throughput* elevado.

En el caso de HFR limita la interferencia al segmentar totalmente el ancho de banda del sistema, de forma que posibilita alcanzar mayor SINR y mejores esquemas de modulación y codificación, aumentando el *throughput*.

En el caso de FDMT se observa que con HFR y FFR se obtiene el mayor *throughput*, como se puede apreciar en la figura 2, en la función de distribución acumulada (CDF) del *throughput* alcanzado por los UE en la celda 1.

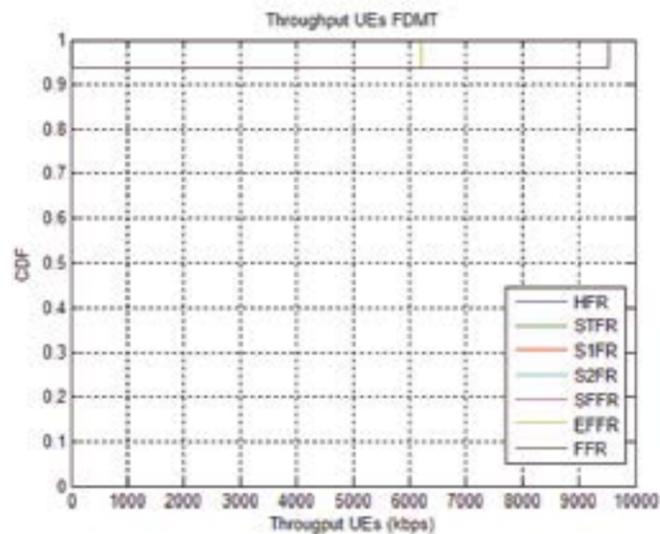


Figura 2. CDF de *throughput* de UEs en celda I con FDMT. Fuente: Elaboración propia.

Con TDMT se puede observar en la figura 3 que HFR y FFR obtienen el mayor *throughput* dentro de las técnicas de reutilización de frecuencias.

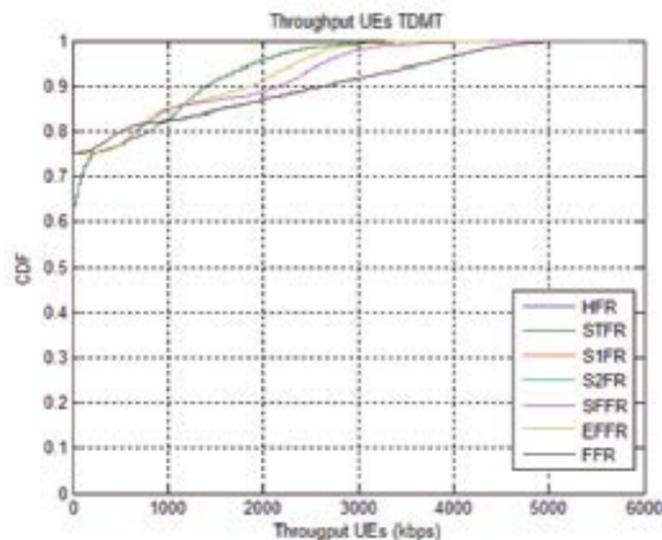


Figura 3. CDF de *throughput* de UEs en celda I con TDMT. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 4, FDBET logra los mayores valores de *throughput* con HFR y FFR.

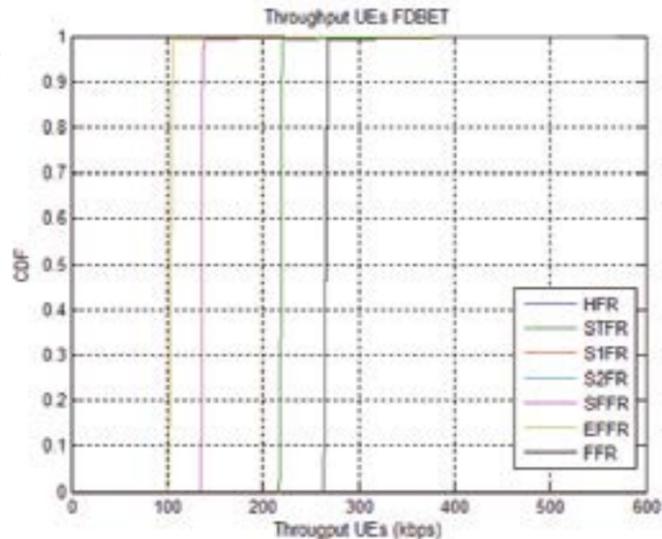


Figura 4. CDF de *throughput* de UEs en celda I con FDBET. Fuente: Elaboración propia.

En las simulaciones PF combinada con EFFT y SFFR logran los mayores valores de *throughput* (Figura 5).

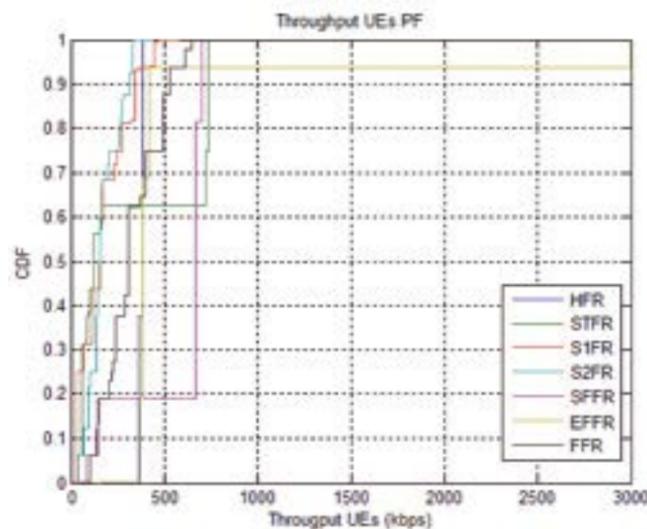


Figura 5. CDF de *throughput* de UEs en celda I con PF. Fuente: Elaboración propia.

La segmentación del espacio lograda por SFFR en tres zonas dentro de la celda, a diferencia del resto de las técnicas que lo hacen en una o dos zonas posibilita el aumento del SINR y del *throughput* en la celda.

El diseño de EFFT permite escoger los mejores RB que se pueden asignar entre todos los disponibles, de forma tal que asigna los de mayor SINR de toda la banda, garantizando alcanzar mejores esquemas de modulación y codificación, aumentando el *throughput*.

Conclusiones

En el trabajo se han realizado simulaciones de varias técnicas de asignación de recursos de radio y de coordinación de interferencias interceldas con el propósito de brindar recomendaciones a los operadores en el momento de utilizar la me-

jor pareja de mecanismos de forma tal que se logre el mayor *throughput* en el sistema. Se recomienda el uso de HFR o FFR en caso de utilizar FDMT, TDMT, RR y FDBET en la red. Si se utiliza PF se recomienda el uso de EFFT o SFFR.

Referencias bibliográficas

- [1] ETSI TS 136 300 V12.4.0. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2. Acceso: octubre 12, 2015. Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/12.04.00_60/
- [2] Chandra, Thapa y Chandrasekhar, C.; "Comparative evaluation of fractional frequency reuse (FFR) and traditional frequency reuse in 3GPP-LTE downlink". *International Journal of Mobile Network Communications and Telematics (IJMNCT)*. vol. 2, no. 4, pp. 45-52, agosto, 2012.
- [3] Ronald, Chang et al. "A Graph Approach to Dynamic Fractional Frequency Reuse (FFR) in Multi-Cell OFDMA Networks". Mitsubishi Electric Research Laboratories, TR2009-037, Cambridge, Estados Unidos de América, julio 2009.
- [4] Huawei. "Soft Frequency Reuse Scheme for UTRAN LTE". 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #41, Atenas, Grecia, mayo 2005.
- [5] Kwon, Young Min. "Power Control for Soft Fractional Frequency Reuse in OFDMA System". Computational Science and its Applications International Conference, Fukuoka, Japón, 2010.
- [6] Xie, Zheng y Walke, Bernhard. "Enhanced Fractional Frequency Reuse to Increase Capacity of OFDMA Systems", Third International Conference on New Technologies, Mobility and Security (IEEE NTMS 2009), egipto, 2009.
- [7] Capozzi, Francesco et al. "Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks: Key Design Issues and a Survey". *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, vol. 15, no. 2, pp. 678-700, junio 2012.
- [8] Mahida, Siddharth y Durvesh, Aslam. "Design and Performance Evaluation of DL MAC Scheduling Model in LTE". *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 2, no. 1, pp. 17-19, junio 2014.
- [9] Dahlman, Eric; Parkvall, Stefan y Sköld, Johan. *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. 1era ed. Oxford: Elsevier, pp. 81-95, 2011.
- [10] Dong, Yangyang. "LTE MAC Scheduler investigation". Tesis de Maestría, Universidad de Bremen, Bremen, septiembre 2011.
- [11] Fouziya, S. y Nakkeeran, R. "Study of Downlink Scheduling Algorithms in LTE Networks". *Journal of Networks*, vol. 9, no. 12, pp. 3381-3391, diciembre 2014.

(Artículo recibido en noviembre de 2015 y aprobado en enero de 2016)

