

Algoritmos de asignación de recursos de radio en redes LTE

Por: Ing. YenkeLL Lliteras Cebada, Especialista C en Telemática, Centro de Gestión Regional Móvil de Camagüey, División Territorial Camagüey; Msc. Carlos Alberto Rodríguez López, Profesor Titular e Ing. Raykel Bardón Sánchez, Profesor Instructor, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
yenkeLL.lliteras@etecsa.cu, crodriguez@uclv.edu.cu, rbardon@uclv.edu.cu

Resumen

Las redes LTE utilizan variados algoritmos de asignación de recursos para distribuir los bloques de recursos de radio disponibles entre los equipos de usuario según la demanda de estos. La elección del mecanismo a implementar tiene un impacto significativo en el desempeño de la red. Este trabajo se propone describir algunos de los algoritmos de asignación de recursos empleados en las redes LTE y mediante simulación mostrar los resultados alcanzados por estos en cuanto a la tasa de transmisión de datos del sistema.

Palabras clave: Bloque de recursos, Algoritmos de asignación de recursos, Redes LTE.

Abstract

LTE networks use diverse resource allocation mechanisms to distribute available radio resources blocks among user terminals according to their demand. The selection of the mechanism to implement has a significant impact on network behavior. This work describes some of the resource allocation techniques deployed in LTE networks, and by means of simulation shows the results obtained by LTE networks concerning data transmission rates of the system.

Key words: Resource Blocks, Resource Allocation Mechanism, LTE Networks.

Introducción

Las redes LTE—*Long Term Evolution*—son la evolución de las redes móviles hacia la cuarta generación. Son redes IP con conmutación de paquetes, creadas para la transmisión de datos a altas velocidades. Con el objetivo de lograr esta evolución se realiza un nuevo diseño de las redes de radio y de conmutación, diferenciándose conceptual y físicamente de las redes 3G de las que procede y estableciendo un nuevo punto de partida para desarrollar las redes móviles.

En las redes LTE la función de asignación de recursos de radio es la encargada de administrar los recursos de transmisión de radio de forma eficiente sobre la base de métricas que gobiernan su ejecución [1]. El mecanismo a emplear tiene implicaciones directas en el desempeño de la red por lo que su elección es

clave a la hora de diseñarla. Existe una amplia variedad de algoritmos de asignación que toman en cuenta para la distribución de los recursos varios parámetros, entre ellos la calidad del canal de radio, la equidad en la asignación de recursos y la demora en la transmisión de los paquetes [2]. El uso de un u otro algoritmo para la asignación de recursos está condicionado por la disponibilidad de estos por el fabricante y la visión del operador sobre los parámetros que inciden con mayor fuerza sobre la calidad del servicio a brindar.

En el presente trabajo se expondrán las características principales de las redes LTE. Posteriormente se realizará una descripción de las principales características de algoritmos de asignación de recursos de radio empleados en las redes LTE. Finalmente, se simularán estos algoritmos para establecer comparaciones en cuanto a su tasa de transmisión de datos.

Arquitectura de redes LTE

La arquitectura de radio de LTE es nombrada EUTRAN —*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*— y está compuesta por los eNB —*enhanced Node B*— y los UE —*User Equipment*—. Los eNB se encargan de todas las transmisiones de radio del sistema, incluyendo los *handovers*. De esta forma se eliminan los RNC —*Radio Network Controllers*— utilizados en la tecnología anterior, transfiriendo la inteligencia del sistema a los eNB en la interfaz de radio. Los eNB se conectan entre ellos mediante la interfaz X2. Los UE son los equipos móviles de los usuarios.

Las redes LTE soportan diversos anchos de banda, desde 1.4, 3, 5, 10, 15 hasta 20 MHz. Con la funcionalidad de agregación de portadoras se permite la unión de 5 portadoras de 20 MHz hasta alcanzar los 100 MHz en LTE-A —*LTE-Advanced*—. En el enlace descendente se utiliza la modulación OFDM —*Orthogonal Frequency Domain Multiplex*—, con subportadoras de 15 kHz y modulaciones QPSK, 16QAM, 64QAM y 256QAM. Cada 12 subportadoras se forma lo que se conoce como recurso de bloque —*RB*— que es la unidad mínima asignada a un UE para transmitir en el dominio de la frecuencia [3]. La trama conformada tiene una duración de 10ms y se divide en 10 TTI —*Time Transmission Interval*—. A su vez cada TTI se separa en dos slots de 0,5 ms. El TTI es la unidad mínima otorgada a los UE para transmitir en el dominio del tiempo. En la Figura 1 se aprecia la composición de un RB.

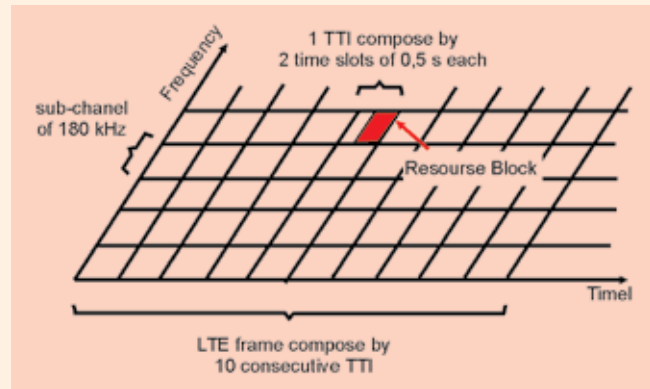


Figura 1: Esquema RB. (Fuente [2])

La modulación escogida en el enlace ascendente es SC-FDM —*Single Carrier Frequency Domain Multiplex*—, al tener mejor razón de potencia pico a promedio, lo que permite transmitir con mayor potencia sin ampliar el tamaño del amplificador y ahorrar batería del móvil [4]. Para lograr mayores velocidades en la transmisión se utilizan algoritmos MIMO —*Multiple In Multiple Out*— en las antenas del eNB y del UE. LTE puede estar duplexada en frecuencia, FDD —*Frequency Division Duplex*— o en tiempo, TDD —*Time Division Duplex*—. En TDD se dedican determinados slots para la transmisión ascendente y otros para la descendente de forma configurable, por lo que las velocidades alcanzadas por el sistema son menores. En la Figura 2 se muestra la estructura de la trama TDD en LTE.

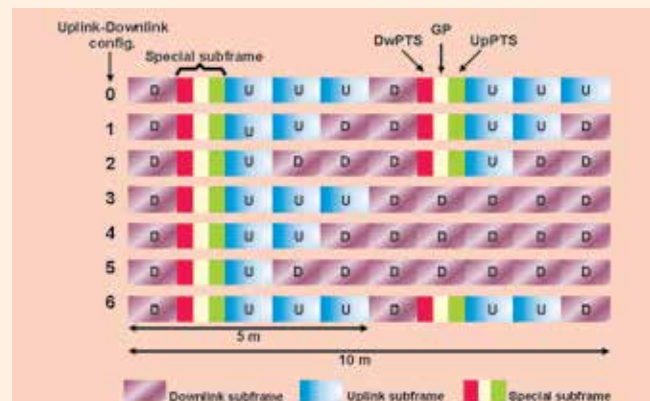


Figura 2. Esquema trama TDD. (Fuente [4])

Asignación de recursos de radio

Los algoritmos de asignación de recursos de radio se encuentran en la capa de control de acceso al medio en la interfaz de radio y se implementan en los eNB. La reserva puede hacerse en el dominio de la frecuencia si se reparten los RB entre los UE que los solicitan durante cada TTI. También se puede hacer en el dominio del

tiempo al reservarse en cada TTI todos los RB existentes a determinado UE. La cantidad de RB disponibles depende del ancho de banda del sistema como se demuestra en la (Tabla 1).

Ancho de banda MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Bloque de recursos	6	15	25	50	75	100

Tabla 1. Número de bloques de recursos según ancho de banda (Fuente: [5]).

Para distribuir los RB existentes entre los UE que los solicitan, los algoritmos de asignación deben tener en cuenta varios factores que han motivado la creación de diversas métricas. Uno de estos factores es la equidad en la distribución de los RB, puesto que debe tratar de servir a todos los UE que soliciten transmitir, siempre que tenga los recursos suficientes para repartirlos. Si no fuera capaz de entregar facilidades de transmisión en un instante determinado debe priorizar a los que ya hicieron la solicitud sobre los que realizan una nueva demanda de transmisión.

Otro factor a tener en cuenta en el proceso de asignación de recursos es que el estado del canal de radio no es el mismo para todos los UE en el dominio del tiempo, la frecuencia y el espacio. El asignar recursos a los UE que experimentan una mayor relación señal a interferencia más ruido (SINR)— *Signal to Interference plus Noise Ratio*— permite la obtención de mayores tasas de transmisión mediante el uso de esquemas de modulación y codificación más eficientes. En la ecuación 1 se define el SINR:

$$SINR = \frac{S}{(\sum_{i=1}^n I + R)} \tag{1}$$

donde S es la señal recibida en Watts, I es la sumatoria de la potencia interferente recibida de los n elementos de red que transmiten simultáneamente en Watts y R el ruido ambiental en Watts.

El retardo de los paquetes es otro aspecto a tener en cuenta por parte de los algoritmos de asignación de recursos, puesto que aplicaciones como la voz sobre LTE, videoconferencias y videollamadas, entre otras son sensibles al retardo de los paquetes, de forma tal que la reducción del tiempo de transmisión es una forma de mejorar la calidad del servicio.

Existen otros parámetros a considerar en la confección de los algoritmos de asignación de recursos de radio como el llenado de los buffers de los UE en la recepción, el llenado de los buffer de los UE en la transmisión, la

tasa mínima de transmisión garantizada o la tasa de pérdidas de paquetes máxima permisible.

El tiempo de cómputo para realizar los cálculos que permiten la asignación de recursos es muy importante, puesto que en 1 ms se debe calcular toda la reservación de canales del próximo TTI. Debido a esto, la complejidad de los algoritmos no debe ser muy elevada; de lo contrario, se puede ver afectada la capacidad computacional del eNB.

A continuación se explican algunos algoritmos de asignación de recursos de radio empleados en redes LTE.

Round Robin

El mecanismo Round Robin (RR) fue creado para las redes de datos y es utilizado para manejar colas de paquetes en computadoras. En las redes LTE se aplica mediante la división de los RB disponibles entre la cantidad de pedidos de transmisión de los UE conformando una cola circular [6]. 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. En la Ecuación 2 se describe la métrica del algoritmo,

$$RR = T - T_s \tag{2}$$

donde T es el tiempo y Ts es el tiempo en que le fue asignada anteriormente la petición. A mayor valor de la métrica mayor prioridad para ofertar el RB.

Este es un mecanismo justo desde el punto de vista de las oportunidades de transmisión, puesto que todo UE que intente transmitir datos podrá hacerlo. Sin embargo, no tiene en cuenta las condiciones del canal y asigna recursos a UE que no pueden alcanzar esquemas de modulación y codificación elevados en detrimento de los que sí tienen condiciones instantáneas superiores con las que se alcanzarían mayores velocidades de transmisión.

Maximum Throughput

Este es un mecanismo de asignación de recursos de radio que toma en cuenta las condiciones del canal y 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 [5]. La métrica empleada se describe en (Ecuación 3):

$$m(n,k) = \max RT(n,k,t) \tag{3}$$

donde $RT(n, k, t)$ es la razón de transmisión de datos a alcanzar por el UE en el bloque de recursos k por el usuario n en el TTI t , calculada según el esquema de modulación y codificación correspondiente de acuerdo al CQI reportado. Mientras mayor sea el resultado de la métrica, mayor es la prioridad para asignarle los recursos al UE.

MT 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. MT logra tasas de transmisión elevadas al asignar el canal al UE que tenga las mejores condiciones de propagación y por ende esté en condiciones de alcanzar el mayor esquema de codificación y modulación de todos los UE en ese instante de tiempo. Esta situación posibilita elevar el *throughput* del sistema en general; sin embargo, la calidad de servicio para los UE que se encuentran alejados del eNB o bajo condiciones de elevadas pérdidas en la propagación de la señal puede degradarse seriamente y dejarlos sin servicio en casos extremos aunque se encuentren bajo la cobertura de la celda.

Blind Equal Throughput

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 [7]. 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. Si el UE continúa siendo el de mayor métrica se le asignará el RB y se seguirá comparando con el resto de los UE hasta que su métrica sea inferior al de otro UE, en ese caso se continúan entregando RB al nuevo UE que tiene la mayor métrica hasta agotarlos todos. En la ecuación 4 se presenta la métrica del algoritmo,

$$BET = \frac{1}{RTP(n,t)} \quad (4)$$

donde $RTP(n, t)$ es el *throughput* pasado del UE n dentro del rango de tiempo t .

Los UE que tienen un menor *throughput* acumulado acaparan los RB hasta tanto no tengan el mismo *throughput* que el resto. Este sistema es justo desde el punto de vista de que es capaz de brindar a los UE que se encuentran lejos del eNB el mismo *throughput* que a los que se encuentren cerca, sin embargo se degrada el desempeño de la celda porque no se explotan las

condiciones del canal para permitir la transmisión a los UE que tienen posibilidades de obtener mejores esquemas de modulación y codificación.

Proportional Fair

El mecanismo de Proportional Fair (PF) tiene en cuenta la información que brinda el canal y a la vez trata de proporcionar una equidad al tener en cuenta el *throughput* pasado del UE [8]. En la ecuación 5 se presenta la métrica del algoritmo,

$$PF = MT \times BET = \max RT(n,k,t) \times \frac{1}{RTP(n,t)} \quad (5)$$

donde $RT(n, k, t)$ es la razón de transmisión de datos a alcanzar por el UE en el bloque de recursos k por el usuario n en el TTI t , calculada según el esquema de modulación y codificación correspondiente de acuerdo al CQI reportado y $RTP(n, t)$ es el *throughput* pasado del UE n dentro del rango de tiempo t . 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 en el menor tiempo posible.

Simulación y resultados

Para analizar las características de los algoritmos de asignación de recursos de radio se ha utilizado el software libre de simulación de redes de eventos discretos ns3. El escenario recreado consiste en un eNB con una celda omnidireccional y 16 UE estáticos. Los 16 UE forman una malla centrada en el eNB con una separación en los ejes x y y de 2000 metros, distribuidos en filas de 4 UE, como se puede observar en (Figura 3).

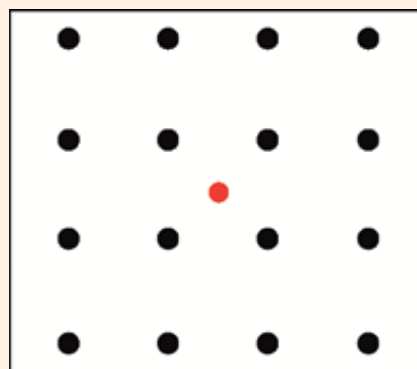


Figura 3. Distribución eNB y UE en simulación. (Fuente: elaboración propia)

El tipo de distribución de los bloques de recursos empleado por la red es el tipo 0, entregando 2 bloques de recursos como mínimo a cada UE que lo solicite durante

los 25 segundos que dura la simulación. Las características fundamentales de la simulación se presentan en la (Tabla 2).

Parámetro de simulación	Valor
Portadora EPS	GBR_CONV_VIDEO
Ancho banda	25RB (5MHz)
Potencia eNB	22 dBm
Potencia UEs	10dBm
Altura eNB	3 m
Altura UE	1,5 m
Figura de ruido eNB	9 dB
Figura de ruido UE	12 dB
Modelo de propagación	Friis

Tabla 2. Datos de la simulación. (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 4 se muestra los resultados de la simulación de la función distribuida acumulada (CDF) del *throughput* total de la celda.

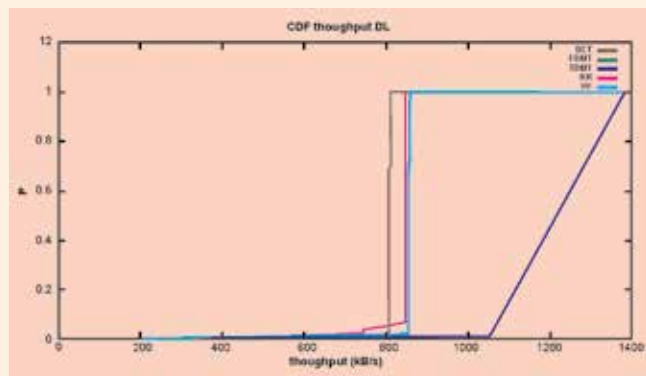


Figura 4. CDF de *throughput* total de celda en enlace descendente.

Se constata como FDMT y TDMT tienen los mismos valores, que son los mayores de los algoritmos simulados. PF y RR tienen un comportamiento muy similar y le siguen a continuación a los algoritmos MT. FDBET es la que alcanza menores valores de *throughput* en la distribución. En la tabla 3 se muestran los valores del *throughput* total de la celda.

Algoritmos de asignación de recursos de radio	Throughput (kB/s)
FDBET	805.87932
FDMT	1379.71476
PF	852.1168
RR	839.28464
TDMT	1379.71476

Tabla 3. *Throughput* total de la celda. (Fuente: elaboración propia).

Los valores de la tabla corroboran lo expuesto en la distribución anterior. Se puede observar que FDMT y TDMT alcanzan el mayor *throughput* de todos los algoritmos analizados, seguido por PF, RR y FDBET con menores valores. Estos resultados confirman que los algoritmos de asignación de recursos de radio que tienen en cuenta el estado del canal obtienen en general un mejor desempeño del sistema al darle la oportunidad a los UE de alcanzar mayores esquemas de modulación y codificación.

Para el análisis de la equidad de la distribución de recursos se utiliza el índice de Jain cuya fórmula viene dada por (Ecuación 6):

$$J = \frac{(\sum x_i)^2}{n \sum x_i^2} \tag{6}$$

donde n es el número de elementos de la distribución y x_i es cada elemento de la distribución. En la tabla 4 se pueden observar los valores del índice de equidad de Jain obtenido de la simulación.

Algoritmos de asignación de recursos de radio	Índice de justicia de Jain
FDBET	0,999229698
FDMT	0,062500522
PF	0,857861684
RR	0,875804313
TDMT	0,062500522

Tabla 4. Índice de equidad de Jain. (Fuente: elaboración propia).

Se puede deducir que FDMT y TDMT no son equitativos en la distribución de los recursos entre los UE.

Todos los UE transmitieron 12 bytes cada uno, excepto el UE 11 que acaparó la transmisión de la celda durante todo el tiempo. PF y RR logran una equidad similar mientras que FDBET prácticamente logra que todos los UE tengan el mismo desempeño.

En consecuencia, los métodos que logran una equidad en la distribución de los recursos tienen un *throughput* mucho menor que los algoritmos que toman en cuenta el estado del canal y viceversa.

Conclusiones

Los algoritmos de asignación de recursos de radio en las redes LTE tienen la responsabilidad de administrar los bloques de recursos de forma eficiente. Para lograr su objetivo crean métricas que se enfocan en determinadas características del servicio a partir de las cuales priorizan la distribución. La elección del método a emplear por la red tiene un gran impacto sobre el *throughput* total del sistema y la calidad del servicio.

Mediante la simulación, se pudo observar que los algoritmos de asignación enfocados al estado del canal aumentan el *throughput* total de la celda, pero pueden ocasionar negaciones de servicio a los UE con pobres condiciones de propagación; mientras que los enfocados en la equidad de la distribución de los recursos brindan valores de *throughput* menores.

De este modo, el presente trabajo demuestra la viabilidad de realizar simulaciones para encontrar el mecanismo de asignación más eficiente a utilizar en las redes LTE. Esta es una forma de evaluar el comportamiento de la red con distintas técnicas de asignación de recursos en distintos escenarios que permite comparar su rendimiento final. ▀

Referencias bibliográficas

- [1] Sesia, Stefania., Baker, Matthew.,Touk, Issam. et al. LTE – The UMTS Long Term Evolution:from Theory to Practice. vol.1.Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009, pp 54-56.
- [2] Capozzi, F., Piro, G.,Piro, L.A., Boggia, G., and Camarda, P. "Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks: Key Design Issues and a Survey", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 15, no. 2, (June/2012):678-700.
- [3] 3GPP TS 36.211 V12.4.0 LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. Febrero, 2015.
- [4] Khan, Farooq. LTE for 4G Mobile broadband, vol. 1.Cambridge: Cambridge University Press, 2009, p 22.
- [5] Dahlman, Erik., Parkvall, Stefan. And Sköld, Johan. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, vol. 1. Oxford: Elsevier, 2011, pp 98-100.
- [6] Mahida, Siddhart. and 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, (January/2014): 17–19.
- [7] Dong, Yangyang. "LTE MAC Scheduler investigation". Tesis de Maestría, Universidad de Bremen, Bremen, septiembre 2011.
- [8] Fouziya, S. and Nakkeeran, R. "Study of Downlink Scheduling Algorithms in LTE Networks". Journal of Networks, vol. 9, no. 12, (December/2014): 3381-3391.

(Artículo recibido en abril de 2015 y aprobado en mayo de 2015)