

CONFIGURACIÓN DEL ALGORITMO DE LINK ADAPTATION EN FUNCIÓN DE LA CARGA DEL SISTEMA

Javier Gozávez

Department of Electronic and Electrical Engineering
University of Strathclyde (Glasgow, UK)
e-mail : j.gozalvez@ieee.org

John Dunlop

Department of Electronic and Electrical Engineering
University of Strathclyde (Glasgow, UK)
e-mail : j.dunlop@eee.strath.ac.uk

Actualmente, en el Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Miguel Hernández (Elche, España)

Abstract- Link Adaptation is an adaptive radio link technique designed to efficiently use the available radio resources. Since the basis of Link Adaptation is to adapt the selected transport mode according to the channel quality conditions, its performance will depend on the dynamics of these conditions and the ability of the system to adapt to such dynamics. This ability is influenced by the LA updating period, which defines how regularly a decision is made on the most suitable transport mode. In this context, this paper analyses the performance of Link Adaptation for various updating periods under different system loads affecting the channel quality dynamics.

I. INTRODUCCIÓN

Link Adaptation (LA) es una técnica de gestión adaptativa de recursos radio cuyo objetivo es el uso eficiente de los escasos recursos radio disponibles por parte de un operador de telefonía móvil. Aunque LA fue inicialmente propuesta durante la fase de selección del estándar UMTS, su uso ha adquirido una importante relevancia en el marco de la evolución de los sistemas GSM y UMTS.

El algoritmo de LA selecciona, en función de la calidad del enlace radio y de acuerdo a un predeterminado criterio, el esquema de codificación más apropiado de entre los disponibles. Aunque la aplicación de LA en el estándar EDGE considera no sólo un cambio de esquema de codificación sino también un cambio de modulación, este trabajo sólo considera cambios de esquema de codificación, puesto que el estudio se basa en el sistema GPRS (General Packet Radio Services), el cual sólo considera el uso de la modulación GMSK.

El rendimiento de LA depende, entre otros, de la precisión de las medidas de la calidad del enlace radio, de las variaciones de dicha calidad y de la efectividad del algoritmo para adaptarse a dichas variaciones. Esta efectividad depende, en gran medida, del período de actualización del algoritmo de LA (*LA updating period*). Este parámetro define cada cuanto tiempo LA evalúa la calidad del enlace radio con el fin de seleccionar el esquema de codificación más apropiado. Para el ajuste del período de actualización es importante tener en cuenta la presencia de un balance entre la habilidad del algoritmo de LA para adaptarse a rápidas variaciones de la calidad del enlace radio, y la carga de señalización asociada a

su uso (dicha carga es debida principalmente al número de cambios de esquema de codificación solicitados por el algoritmo). De este modo, podríamos considerar que un período de actualización es óptimo si produce el mejor rendimiento a la vez que minimiza el número de cambios de esquema de codificación, y por lo tanto, la carga de señalización asociada al uso de LA. Si la calidad del canal radio varía de manera lenta, no sería necesario utilizar un corto período de actualización, ya que podría aumentar la carga de señalización de manera innecesaria. Por consiguiente, el período debería ser establecido en función de la dinámica de las variaciones de la calidad del enlace radio. Puesto que dicha dinámica puede depender de las condiciones de operación del sistema, el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el rendimiento del algoritmo de LA para distintos valores del período de actualización y bajo diversas condiciones de operación del sistema. En particular, este análisis se centra en diversas cargas del sistema.

Esquema de codificación	Factor de codificación	Bits de datos	Tasa (kbits/s)
CS1	1/2	181	9.05
CS2	$\approx 2/3$	268	13.4
CS3	$\approx 3/4$	312	15.6
CS4	1	428	21.4

Cuadro 1. Características de los esquemas de codificación de GPRS

II. NORMA GPRS

La interfaz radio GPRS ha sido definida siguiendo un modelo de capas [1]. El trabajo presentado en este artículo se centra en las capas física y RLC/MAC. La norma GPRS define cuatro esquemas de codificación, CS1 a CS4, para la transmisión de datos. La protección contra errores en la transmisión radio varía para cada uno de estos esquemas de codificación. Por consiguiente, también varía el número de bits de datos que se pueden transmitir en un bloque RLC para cada uno de estos esquemas. De este modo, los distintos esquemas de codificación de GPRS ofrecen un balance entre tasa y protección a los errores de transmisión, lo cual justifica el uso de LA para GPRS. El cuadro 1 resume las principales características de los distintos esquemas de codificación de GPRS.

III. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

El estudio por simulación de un sistema de comunicaciones móviles suele llevarse a cabo mediante simulaciones a dos niveles distintos: a nivel de enlace y a nivel de sistema. Aunque este estudio se centra en el rendimiento de LA a nivel de sistema, los efectos de la capa física son incluidos en las simulaciones mediante la interfaz descrita en la sección III.C.

Para el estudio a nivel de sistema se ha implementado un simulador orientado a objetos [2] que trabaja a nivel de burst y modela la calidad del enlace radio por medio de la relación señal a interferencia (CIR, *Carrier to Interference Ratio*).

A. Modelado de la red celular

El simulador implementado modela una red celular de macroceldas con sectorización de 120° y un tamaño de agrupación igual a cuatro. Aunque la movilidad de los usuarios dentro de cada sector ha sido implementada, no se han considerado mecanismos de *handover*. Cada celda tiene un radio de 1km y se han asignado dos portadoras a cada uno de los sectores. Para el cálculo de las pérdidas básicas de propagación (*pathloss*) se ha utilizado el modelo de Okumura-Hata, cuya validez para distancias inferiores a 1km ha sido demostrada en [3]. El desvanecimiento lento (*shadowing*) ha sido modelado mediante una ley log-normal con una desviación estándar de 6dB y una distancia de decorrelación de 20 metros.

El objetivo de esta investigación es estudiar la configuración del algoritmo de LA para diversas cargas del sistema. El simulador modifica la carga cambiando el número de usuarios presentes en el sistema. A cada usuario le es asignado un único canal de manera aleatoria y en base a un mecanismo FCFS (*First-Come-First-Served*). El usuario mantiene el canal asignado hasta que toda su información haya sido transmitida sin error. Para garantizar una transmisión correcta de la información, el simulador implementa un protocolo ARQ de acuerdo con las normas GPRS [2]. En este estudio sólo se considera el enlace descendente.

B. Modelos de tráfico

Este trabajo considera dos tipos de servicios: WWW y e-mail. El modelo de WWW utiliza una conexión TCP distinta para la transmisión de cada fichero o objeto en una página web. El modelo de e-mail considera la distribución del tamaño de los e-mails bi-modal puesto que estos también pueden ser utilizados para la transferencia de ficheros. Para ambos modelos de tráfico, la transmisión de un nuevo paquete de datos no empieza hasta que la transmisión previa haya finalizado, es decir hasta que todos los datos hayan sido recibidos sin error. Para el trabajo realizado, el tráfico ha sido distribuido al 50% entre estos dos servicios y todos los canales de cada sector están disponibles tanto para usuarios de WWW como de e-mail.

C. Interfaz entre simulaciones a nivel de enlace y a nivel de sistema

La interfaz entre las simulaciones a nivel de enlace y a nivel de sistema ha sido implementada mediante un conjunto de *Look-Up Tables* (LUT). Las LUTs corresponden a curvas

de tasa de error, ya sea a nivel de bloque o a nivel de burst, en función de la calidad del enlace radio.

Para este trabajo, se ha implementado un tipo de LUT bastante sofisticada que modela el comportamiento a nivel de burst e introduce los efectos del desvanecimiento rápido a nivel de sistema. Este tipo de modelado permite, pues, representar la calidad a nivel de bloque RLC, no sólo en función de la calidad media experimentada en los cuatro bursts utilizados para la transmisión de dicho bloque sino también en función de la distribución de dicha calidad. Como muestra la figura 1, la interfaz está compuesta por dos grupos de LUTs. LUT-1 permite obtener la calidad del enlace para un burst, representada mediante la tasa de error de bit (BER, *Bit Error Rate*), en función del valor de CIR medio experimentado durante dicho burst. El tipo de modelo empleado para LUT-1 corresponde a una cdf (*cumulative distribution function*) del BER para cada valor del CIR medio considerado. Por lo tanto, este modelo requiere un proceso aleatorio para poder extraer el BER de un burst dado a partir de la cdf. El uso de un proceso aleatorio permite incluir el efecto del desvanecimiento rápido a nivel de sistema, ya que para un mismo CIR medio podemos obtener distintos valores de BER. Una vez extraído el BER para los cuatro bursts utilizados para la transmisión de un mismo bloque RLC, se calcula el BER medio y la desviación estándar del BER para este bloque y se extrae un valor del BLER (*Block Error Rate*) a partir de LUT-2. El BLER representa una medida de la calidad a nivel de bloque. Ejemplos gráficos de LUT-1 y LUT-2 pueden encontrarse en [2].

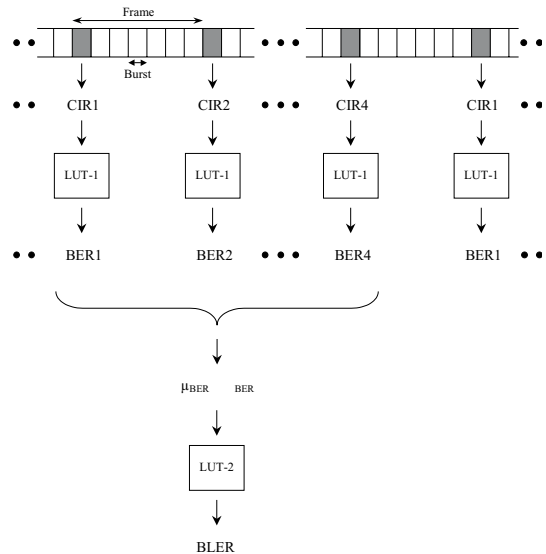


Fig. 1. Interfaz entre simulaciones a nivel de enlace y a nivel de sistema

IV. ALGORITMO DE LINK ADAPTATION

El objetivo de LA es utilizar el esquema de codificación óptimo en función de la calidad del enlace radio que experimenta el sistema. Para este trabajo, se considerará óptimo, aquel esquema de codificación que maximice la velocidad de transmisión (*throughput*), definida como:

$$Velocidad = R_{CS} \times (1 - BLER_{CS}) \quad (1)$$

donde R_{CS} y $BLER_{CS}$ representan la tasa y BLER, respectivamente, para un determinado esquema.

Un elemento clave en el funcionamiento de LA son los umbrales de cambio de codificación (*LA switching thresholds*). Estos umbrales definen los valores de la calidad del enlace radio a partir de los cuales es necesario realizar, de acuerdo al criterio de selección definido, un cambio de esquema de codificación. Teniendo en cuenta la interfaz utilizada en nuestro estudio para modelar los efectos de la capa física, los umbrales consisten en un conjunto de puntos que representan una combinación de BER medio y desviación estándar del BER. Un ejemplo de los umbrales aparece en la figura 2, la cual representa la velocidad de transmisión para cada uno de los esquemas de codificación.

El algoritmo de LA implementado para este trabajo utiliza el esquema de codificación CS4 para el inicio de la transmisión de cada nuevo paquete. Por otro lado, y aunque no está contemplado en la norma GPRS, en esta investigación se permiten los cambios de esquema de codificación para la retransmisión de bloques RLC con el fin de que las conclusiones obtenidas no estén condicionadas por las características particulares de GPRS.

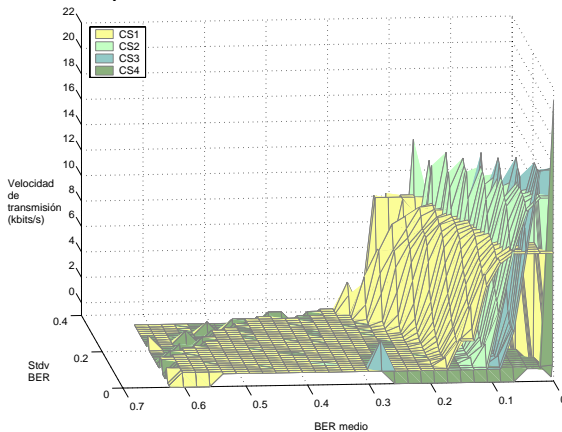


Fig. 2. Velocidad de transmisión y umbrales de cambio

V. CONFIGURACIÓN DE LINK ADAPTATION

A. Condiciones de evaluación y parámetros

El objetivo de este trabajo es analizar el rendimiento de LA para distintos períodos de actualización y bajo diversas cargas del sistema. Para ello, el estudio considera cargas de 8, 16, 24 y 36 usuarios por sector. Estas cargas representan, respectivamente, una ocupación media de los canales disponibles del 20%, 45%, 67% y 93%. Por otro lado, el análisis ha sido realizado para períodos de actualización de 20ms, 60ms, 100ms y 200ms. Un período de 20ms es el mínimo posible, ya que equivale al período de transmisión de un bloque RLC. Los resultados que se muestran a continuación corresponden a los usuarios que utilizan el servicio WWW y circulan a una velocidad de 50km/h.

En nuestro estudio, podemos considerar un período de actualización como óptimo si maximiza el rendimiento del sistema (en nuestro caso la velocidad de transmisión) y minimiza la señalización asociada al uso de LA. En este contexto, el estudio llevado a cabo considera los siguientes parámetros de evaluación: la cdf de la velocidad de

transmisión, la velocidad de transmisión media y el número medio de cambios de esquema de codificación por segundo.

Con el fin de garantizar la obtención de resultados con una buena precisión estadística, cada escenario de evaluación ha considerado la transmisión de al menos 30 millones de bloques RLC en la celda central de nuestra red.

B. Resultados

Las figuras 3 a 6 muestran la cdf de la velocidad de transmisión para los cuatro períodos de actualización y las distintas cargas del sistema consideradas en este estudio. Los resultados obtenidos muestran que, independientemente del período de actualización considerado, el rendimiento disminuye a medida que aumenta la carga. Estas gráficas también muestran que, para todas las cargas consideradas, el período de 20ms incrementa el número de muestras con baja velocidad de transmisión pero también proporciona la mejor velocidad de transmisión a un porcentaje de usuarios que varía con la carga. En efecto, mientras que este porcentaje corresponde al 77% de las muestras para una carga de 8 usuarios por sector, el porcentaje disminuye hasta el 50% para una carga de 36 usuarios.

Los resultados de las figuras 3 a 6 también muestran que el rendimiento de LA para los períodos de 60, 100 y 200ms es bastante similar para usuarios con bajas velocidades de transmisión. El interés por el uso de períodos más cortos sólo aparece para altas velocidades de transmisión, puesto que para estas velocidades el rendimiento disminuye conforme aumenta el período de actualización. Sin embargo, y como lo demuestran los resultados del cuadro 2, el uso de cortos períodos de actualización aumenta el número de cambios de esquemas de codificación y por lo tanto la señalización asociada al uso de LA. La elección del período de actualización presenta, pues, un balance entre rendimiento y carga de señalización.

En cuanto a la velocidad de transmisión media, los resultados del cuadro 3 muestran que un período de 20ms siempre obtiene peor rendimiento que un período de 60ms (la diferencia aumenta con la carga). En cuanto a los demás períodos, el rendimiento obtenido con 100ms es muy parecido al obtenido con 60ms, y sólo empieza a decrecer si consideramos un período de 200ms.

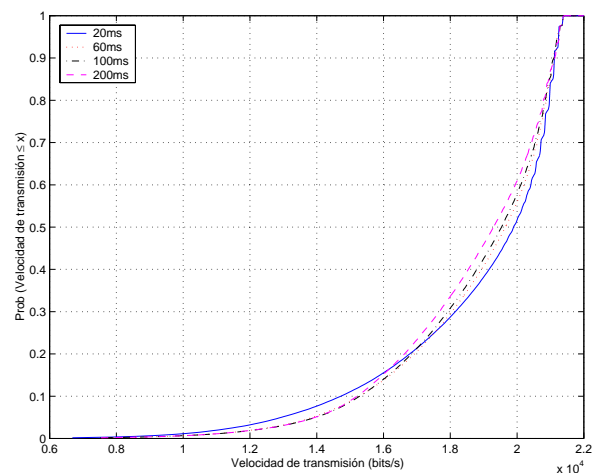


Fig. 3. Cdf de la velocidad de transmisión (8 usuarios por sector)

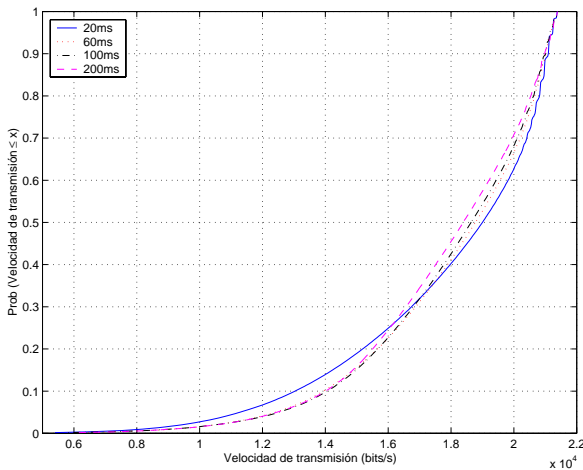


Fig. 4. Cdf de la velocidad de transmisión (16 usuarios por sector)

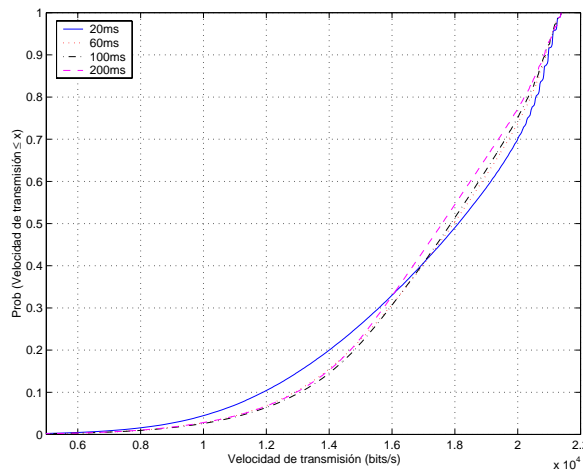


Fig. 5. Cdf de la velocidad de transmisión (24 usuarios por sector)

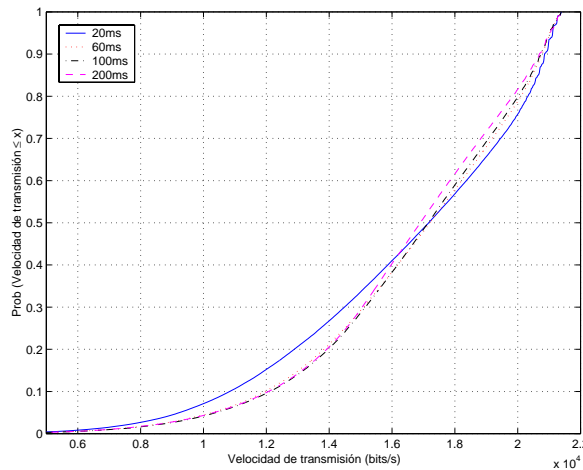


Fig. 6. Cdf de la velocidad de transmisión (36 usuarios por sector)

Si el objetivo del diseño del algoritmo de LA no es garantizar el mejor rendimiento medio, sino garantizar que el 95% de las muestras experimentan la mayor velocidad mínima de transmisión posible, los resultados del cuadro 3 muestran que el rendimiento con un período de 20ms es claramente inferior al obtenido con los demás períodos. En efecto, mientras que el período de 20ms garantiza, para una carga de 16 usuarios por sector, una velocidad superior a 11,28kbit/s

para el 95% de las muestras, el período de 100ms garantiza una velocidad superior a 12,53kbit/s.

Período	20ms	60ms	100ms	200ms
Carga:8	8.39	3.65	2.21	1.10
Carga:16	10.82	4.33	2.54	1.22
Carga:24	12.75	4.86	2.78	1.30
Carga:36	14.59	5.28	2.96	1.35

Cuadro 2. Número medio de cambios de esquema de codificación por seg.

Período	20ms		60ms		100ms		200ms	
	Med	Mín	Med	Mín	Med	Mín	Med	Mín
Carga:8	18.81	12.95	18.83	13.87	18.77	13.98	18.63	13.97
Carga:16	17.94	11.28	18.04	12.41	17.99	12.53	17.86	12.47
Carga:24	17.21	10.24	17.36	11.28	17.35	11.43	17.18	11.31
Carga:36	16.46	9.24	16.73	10.27	16.73	10.41	16.59	10.33

Cuadro 3. Velocidad de transmisión media y mínima velocidad para el 95% de las muestras (kbit/s)

VI. CONCLUSIONES

El análisis llevado a cabo indica que, para altas cargas del sistema, el beneficio de utilizar un período de actualización de 20ms es cuestionable. Además, este período reduce tanto la velocidad de transmisión media como la velocidad mínima que se puede garantizar al 95% de los usuarios. Sin embargo, un período de 20ms permite obtener el mejor rendimiento para una significativa cantidad de muestras en el caso de cargas bajas o medianas. Por otro lado, cuanto más corto es el período de actualización, mayor es la señalización asociada al uso de LA. Todas estas observaciones permiten concluir que la configuración del algoritmo de LA debería estar basada en el criterio de calidad de servicio seleccionado por el operador. En efecto, la configuración debería depender de si, por ejemplo, el objetivo de LA es disminuir el número de usuarios con bajas velocidades de transmisión a la vez que se disminuye la carga de señalización, o bien aumentar la velocidad de transmisión a un determinado grupo de usuarios.

REFERENCIAS

- [1] ETSI, "GSM 03.64; Overall description of the GPRS radio interface. Stage 2", version 6.1.0, Release 1997.
- [2] J. Gozalvez and J. Dunlop, "On the Dynamics of Link Adaptation Updating Periods for Packet Switched Systems", in Proceedings of the Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2001, pp 609-614, Septiembre 2001, Aalborg, Dinamarca.
- [3] K. Feher, "Wireless Digital Communications: Modulation and Spread Spectrum Applications", Prentice Hall, 1995.