

# CARACTERIZACIÓN DE GPRS A NIVEL DE ENLACE PARA CONFIGURACIONES MULTISLOT

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-** The link level performance of GPRS has been usually studied considering the case where a single slot is allocated to each user. However, one important feature of GPRS that increases the user data rate and reduces the transmission delay is the possibility to assign several slots to each user. In this context, the aim of this paper is to investigate, under different operating conditions, the link level dynamics in multislot operation.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema de comunicaciones móviles GPRS (General Packet Radio Services) fue desarrollado con el objetivo de poder ofrecer servicios de transmisión de datos mediante un sistema basado en la conmutación de paquetes. La mayor eficiencia espectral de GPRS en comparación con sistemas basados en la conmutación de circuitos, como es el caso de GSM, se debe al multiplexado estadístico de varios usuarios en un único slot (ó ranura temporal) y a la introducción del concepto *capacity on demand*. Además, el sistema GPRS permite incrementar las tasas de transmisión, hasta un valor máximo teórico de aproximadamente 171kbps, mediante la utilización de múltiples slots por usuario sobre una misma portadora (nos referiremos a este escenario en el resto del artículo como configuración multislot).

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. Mientras que las simulaciones a nivel de enlace consideran los aspectos relativos a la capa física, los estudios a nivel de sistema contemplan los aspectos relativos a capas superiores a la vez que modelan el comportamiento de una red celular.

Los diferentes estudios llevados a cabo hasta la fecha sobre las prestaciones de sistemas en configuración multislot se han centrado exclusivamente en aspectos relativos al funcionamiento a nivel de sistema y no a nivel de enlace. Estos estudios utilizan resultados a nivel de enlace obtenidos para simulaciones en los que se asigna un único slot por usuario. Este enfoque supone que la transmisión de distintos bloques RLC (*Radio Link Control*) en diferentes slots de una misma trama TDMA presenta un funcionamiento, a nivel de enlace, totalmente incorrelado. Esta suposición

puede ser justificada en estudios que no dependen de la variabilidad temporal del sistema. Sin embargo, las variaciones temporales de la calidad a nivel de enlace radio pueden ser de considerable importancia cuando consideramos el estudio de técnicas de gestión adaptativa de recursos radio, como por ejemplo *Link Adaptation*. El objetivo de este artículo es, pues, caracterizar el rendimiento de GPRS a nivel de enlace radio para el caso de configuraciones multislot.

## II. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO A NIVEL DE ENLACE PARA CONFIGURACIONES MULTISLOT

### A. Configuraciones multislot en GPRS

El estándar GPRS/GSM define 29 clases distintas de configuración multislot [1]. Cada una de estas clases asigna distinto número de slots para la recepción y para la transmisión a la vez que impone distintas restricciones de utilización. En función de la clase de configuración multislot, del número de canales disponibles y de la carga del sistema, distintos bloques RLC pertenecientes a una misma trama LLC (*Logical Link Control*) pueden ser transmitidos en diferentes canales físicos de manera simultánea y en paralelo.

Una característica importante y que afectará de manera considerable al análisis realizado en esta investigación es el hecho de que los slots asignados a un mismo usuario no tienen porqué ser contiguos en una misma trama TDMA. Por consiguiente, la elección de los slots asignados a un mismo usuario podría afectar al rendimiento a nivel de enlace para el caso de configuraciones multislot. Este potencial efecto es objeto de estudio en este artículo.

### B. Probabilidad de Correlación

El tiempo de coherencia [2] para el sistema GPRS, operando a 900MHz, es aproximadamente igual a: 10 tramas GPRS para una velocidad del móvil de 5km/h, 1 trama para 50km/h y un slot y medio para 250km/h. Teniendo en cuenta estos valores, existe la posibilidad de que las condiciones de transmisión en slots de una misma trama TDMA estén correladas, lo cual puede afectar al rendimiento obtenido a

nivel de enlace en cada uno de estos slots. En el resto del artículo nos referiremos a este potencial efecto como efecto de correlación.

Considerando el efecto descrito anteriormente, las señales recibidas en los slots 0 y 6 de la figura 1 podrían estar correladas. La figura 1 ilustra una transmisión multislot en la que el bloque RLC 1 es transmitido utilizando el slot 0 en 4 tramas TDMA consecutivas, mientras que el bloque RLC 2 es transmitido utilizando el slot 6 en las mismas 4 tramas TDMA. La mencionada correlación puede deberse tanto a la correlación entre señales recibidas en slots de una misma trama, como a la correlación entre señales recibidas en slots de distintas tramas. Ambas correlaciones pueden, pues, influenciar el estado en el que se reciben los distintos bloques RLC después de la decodificación, es decir con o sin error. Dicha influencia es objeto de estudio en esta investigación.

Un factor importante en el estudio presentado en este artículo es el espaciamiento entre los slots seleccionados para la transmisión multislot (*slot spacing*). El caso ilustrado en la figura 1 corresponde a un espaciamiento de 5 slots. El espaciamiento máximo para GPRS es de 6 slots. Un espaciamiento de 0 slots corresponde al caso en que la transmisión se lleva a cabo mediante slots contiguos en una misma trama.

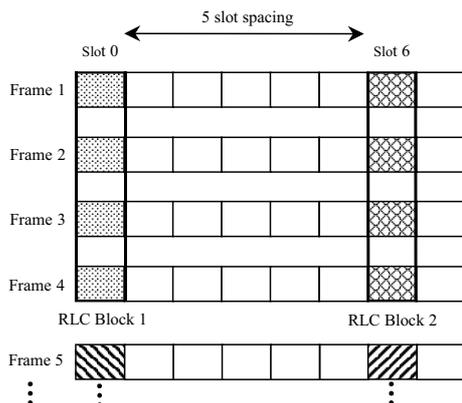


Fig. 1. Transmisión multislot.

El estudio presentado en [3] mostró que el parámetro usualmente utilizado para caracterizar las prestaciones a nivel de enlace (es decir el BLER, *Block Error Ratio*), no puede ser utilizado para la caracterización de la calidad a nivel de enlace para el caso de configuraciones multislot, puesto que no refleja el efecto del desvanecimiento rápido (*fast fading*). Para llevar a cabo este estudio definimos, pues, un nuevo parámetro denominado Probabilidad de Correlación,  $P_c$  (*Correlation Probability*). Este parámetro define la probabilidad de que un bloque RLC transmitido utilizando un slot Y en 4 tramas consecutivas, sea recibido con el mismo estado después de la decodificación (es decir, con error o sin error) que otro bloque RLC transmitido utilizando otro slot X de las mismas 4 tramas (véase [3] para una descripción matemática de este parámetro). Considerando el ejemplo de la figura 1, la probabilidad  $P_c$  representa la probabilidad de que el bloque RLC transmitido utilizando el slot 6 (bloque número 2) sea recibido con error si el bloque RLC transmitido en el slot 0 (número 1) es

recibido con error, o bien sea recibido sin error si el bloque RLC número 1 es también recibido sin error.

### III. RESULTADOS

#### A. Herramienta de simulación

El análisis del rendimiento de GPRS a nivel de enlace para configuraciones multislot ha sido llevado a cabo utilizando una versión software mejorada del emulador presentado en [4]. La característica principal de esta herramienta de simulación es el hecho de que la cadena de transmisión GPRS es modelada mediante una base de patrones de error obtenida previamente con el simulador COSSAP. El efecto de la codificación y decodificación de canal se incluye posteriormente en un simulador C/C++. El interés del uso de esta base de patrones de error para modelar los efectos de la transmisión por el canal radio reside en la considerable disminución del tiempo de simulación [5]. Información más detallada sobre la herramienta de simulación puede ser encontrada en [3].

#### B. Condiciones de evaluación

Los resultados presentados en este artículo han sido obtenidos para una frecuencia de 900MHz y considerando los modelos de canal TU (*Typical Urban*) y RA (*Rural Area*) definidos por la especificación GSM 05.05 [6]. Para el canal TU, el estudio ha sido realizado para velocidades del móvil de 5 y 50km/h, mientras que para el canal RA las simulaciones han sido llevadas a cabo para una velocidad de 250km/h.

Puesto que el sistema bajo análisis es un sistema TDMA, los simulaciones han sido realizadas para el caso de un sistema limitado por interferencia cocanal. Dicha interferencia ha sido modelada de acuerdo con las directrices de simulación descritas en [6]. Para las simulaciones llevadas a cabo se ha supuesto que experimentamos el mismo CIR (relación señal a interferencia) medio (mantenemos las variaciones por desvanecimiento rápido) en las 4 tramas GPRS consecutivas necesarias para transmitir un mismo bloque RLC. En cuanto a los interferentes multislot, éstos han sido modelados o bien como un único usuario multislot o bien como 8 usuarios independientes a los que se le han asignado un único slot. En el primer caso, que denominaremos Escenario de Interferencia 1 (EI1), los distintos slots de un usuario multislot son interferidos por el mismo usuario interferente, mientras que en el segundo caso (Escenario de Interferencia 2, EI2) la interferencia recibida en cada uno de los slots del usuario transmisor será diferente y estará incorrelada entre sí.

#### C. Resultados

Esta sección analiza y cuantifica el efecto de la correlación sobre la probabilidad  $P_c$  bajo distintas condiciones de operación, es decir bajo distintas velocidades del móvil, espaciamiento de slots, CIR medio y esquemas de codificación de GPRS. Nos centraremos inicialmente en el caso EI1.

La figura 2 muestra el efecto de la velocidad del móvil sobre la probabilidad  $P_c$  para diferentes espaciamentos de slots, un CIR medio de 4dB y considerando el esquema CS2 (GPRS dispone de 4 esquemas de codificación CS1-4, siendo CS1 el esquema más robusto y CS4 el menos robusto). En primer lugar, podemos destacar que el valor numérico de  $P_c$  es bastante diferente para las tres velocidades consideradas. Además, el valor de  $P_c$  es significativo para las bajas y medias velocidades, lo cual demuestra que el rendimiento a nivel de enlace para cada uno de los slots de una transmisión multislot no está incorrelado. Por otro lado, la figura 2 también muestra la dependencia de  $P_c$  con el espaciamento entre los slots utilizados en función de la velocidad considerada. Para la velocidad de 5km/h, la probabilidad  $P_c$  es importante y no se ve afectada por dicho espaciamento, lo cual sugiere que para esta velocidad la manera en cómo serían seleccionados los slots para una transmisión multislot no tendría un impacto significativo. En cambio, podemos observar, para una velocidad de 50km/h, una disminución de aproximadamente el 8% para  $P_c$  cuando transmitimos dos bloques RLC con un espaciamento de 6 slots comparado con el caso en el que el espaciamento es de 0 slots (slots contiguos). Esta disminución sugiere que bajo estas condiciones de operación la correlación entre slots de una misma trama es menos importante, y por lo tanto la selección de los slots utilizados en la transmisión multislot puede influenciar las prestaciones a nivel de enlace. El caso de una velocidad de 250km/h presenta ciertas peculiaridades. El tiempo de coherencia previamente calculado indica que se obtiene una correlación del 50% al cabo de tan sólo un slot y medio. Para esta velocidad y como puede observarse en la figura 2, la probabilidad  $P_c$  decae inicialmente cuando aumenta el espaciamento entre slots pero incrementa una vez alcanzado un espaciamento de tres slots. Este efecto es debido a una importancia cada vez más creciente de la correlación entre slots de tramas distintas dentro de la probabilidad  $P_c$ .

El CIR medio también influye el efecto de la correlación sobre  $P_c$  puesto que las simulaciones realizadas han mostrado que para CIRs altos el efecto del espaciamento entre slots sobre  $P_c$  disminuye considerablemente [3].

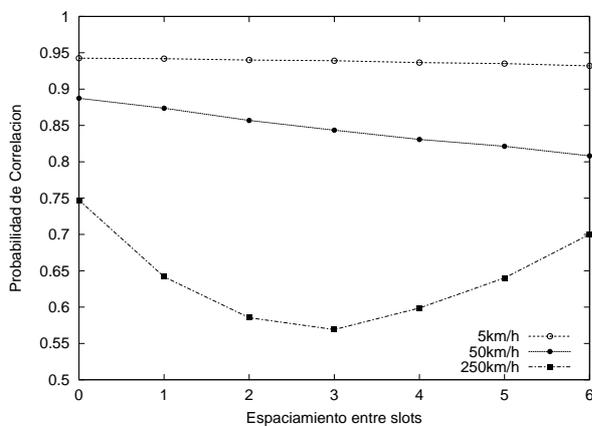


Fig. 2. Impacto de la velocidad y el espaciamento entre slots sobre  $P_c$  (EI1, CIR=4dB y CS2).

Otro parámetro que influye de manera considerable el efecto de la correlación sobre la probabilidad  $P_c$  es el esquema de codificación empleado. La figura 3 muestra dicha probabilidad para los diferentes esquemas de GPRS,

una velocidad de 50km/h y un espaciamento entre slots de 4. Los resultados obtenidos indican que, independientemente del esquema utilizado, la probabilidad  $P_c$  decae inicialmente cuando aumentamos el CIR y aumenta a partir de cierto valor de CIR. Lo que difiere entre cada uno de los esquemas de codificación es el valor del CIR a partir del cual aumenta la probabilidad  $P_c$  [3]. Además, las gráficas de la figura 3 muestran claramente como cuanto menos protección introduce un esquema, mayor valor de CIR requiere para que  $P_c$  vuelva a aumentar. Por otro lado, también podemos observar que para bajos valores del CIR obtenemos mayores valores de  $P_c$  para los esquemas menos robustos, mientras que ocurre lo contrario a medida que aumenta el CIR [3].

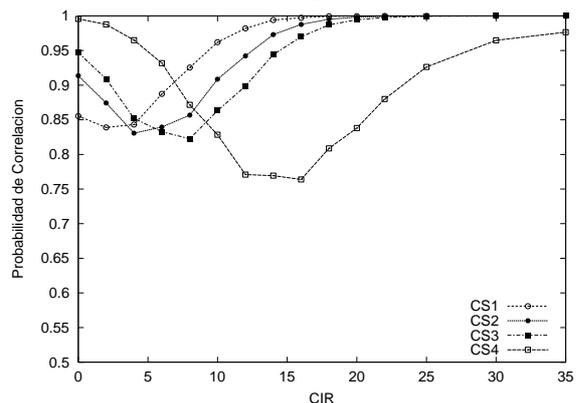


Fig. 3.  $P_c$  para los distintos esquemas de codificación de GPRS en función del CIR medio (EI1, espaciamento de 4 slots y velocidad de 50km/h).

Todos los resultados mostrados anteriormente corresponden al escenario de interferencia EI1. En el caso de EI1, los distintos slots asignados a un mismo usuario son interferidos por el mismo usuario interferente. Otra posibilidad es que cada uno de los slots de un usuario multislot reciba interferencia de distintos interferentes (EI2). El objetivo del resto de esta sección es analizar el efecto que el patrón de interferencia tiene sobre los estudios ya realizados y previamente descritos.

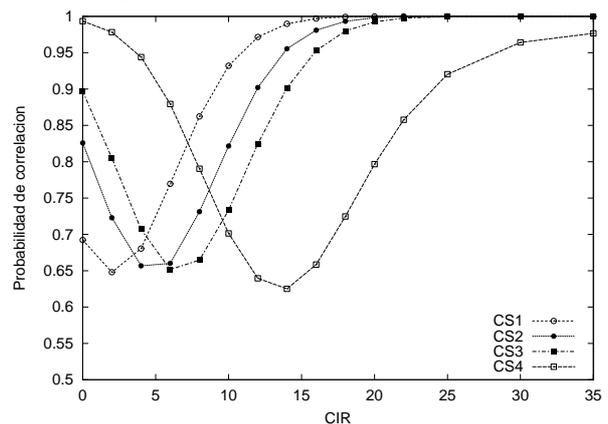


Fig. 4.  $P_c$  para los distintos esquemas de codificación GPRS en función del CIR medio (EI2, espaciamento de 4 slots y velocidad de 50km/h).

En primer lugar, es interesante resaltar, al comparar las figuras 3 y 4, que los valores numéricos de la probabilidad  $P_c$  para los dos escenarios de interferencia difieren. Esto se debe al hecho de que bajo las condiciones de operación de EI1 la probabilidad  $P_c$  es influenciada por la correlación entre las señales recibidas desde el transmisor y la correlación entre las señales recibidas desde el interferente multislot. En cambio, para el caso EI2 la correlación entre las señales recibidas desde los distintos interferentes

disminuye, lo cual se traduce en valores numéricos de  $P_c$  más bajos que para EI1. La reducción de la probabilidad  $P_c$  para el escenario EI2, comparado con el escenario EI1, es incluso más importante para las bajas velocidades del móvil.

A pesar de obtener diferentes valores numéricos de la probabilidad  $P_c$ , los resultados mostrados en las figuras 3 y 4 indican que las conclusiones obtenidas para el caso de EI1 respecto al efecto sobre los valores de la probabilidad  $P_c$ , tanto del CIR medio como del esquema de codificación empleado, se mantienen para el escenario de interferencia EI2 [7].

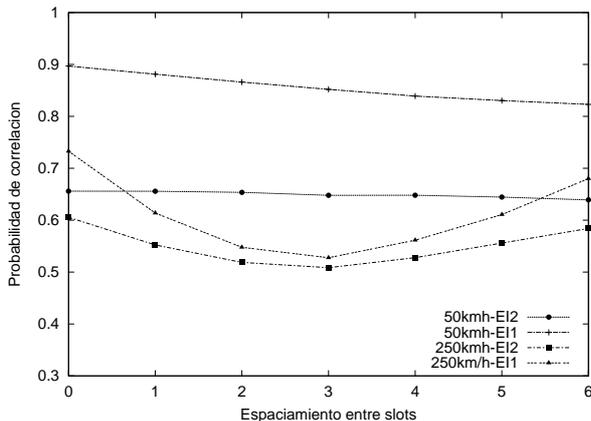


Fig. 5. Impacto de la velocidad y el espaciamiento entre slots sobre  $P_c$  (CIR=2dB y CS1).

Por otra parte, sí que se observa en la figura 5 una diferencia de comportamiento entre los dos escenarios de interferencia respecto al efecto del espaciamiento entre slots sobre la probabilidad  $P_c$ . Cabe recordar que en el caso de EI1, los resultados obtenidos sugieren que el espaciamiento entre slots puede tener un impacto considerable sobre el rendimiento a nivel de enlace para velocidades del móvil medias o altas. Como muestra la figura 5, este impacto es reducido de manera considerable para el caso de EI2. Considerando EI1, una velocidad de 50km/h y las condiciones de operación de la figura 5, el valor de la probabilidad  $P_c$  varía un 7.4% entre el caso en que se transmiten dos bloques RLC con un espaciamiento entre slots igual a 6 y en el que se transmiten utilizando slots contiguos. Como indican los resultados de la figura 5, esta diferencia se ve reducida hasta un 1.6% para el caso de EI2. Por lo tanto, teniendo en cuenta la escasa diferencia obtenida para la probabilidad  $P_c$  en el caso de EI2, se podría incluso considerar que el efecto del espaciamiento es insignificante para este escenario. En este caso, el rendimiento de GPRS a nivel de enlace podría pues considerarse como independiente de los slots seleccionados para la transmisión multislot. Los distintos análisis llevados a cabo han mostrado que esta conclusión sería también aplicable para diferentes CIR medios y los esquemas de codificación CS2 y CS3. En cuanto al esquema CS4 los resultados obtenidos han mostrado que aunque el efecto del espaciamiento entre slots sobre la probabilidad  $P_c$  disminuye también de manera considerable para el escenario EI2 comparado con el escenario EI1, la reducción no es lo suficientemente importante como para concluir que el efecto del espaciamiento entre slots es insignificante.

Los resultados obtenidos bajo las condiciones de operación de la figura 5 también muestran que para la velocidad de 250km/h el efecto del espaciamiento entre slots

es significativamente más pequeño para EI2 que para EI1. En efecto, la diferencia entre el valor de la probabilidad  $P_c$  cuando se transmiten dos bloques RLC con un espaciamiento entre slots igual a 3 y el valor cuando se transmiten en dos slots contiguos, pasa de un 20.5% para el escenario EI1 a un 9.7% para el escenario EI2. Aunque la reducción de dicha diferencia es muy importante para velocidades de 250km/h, el efecto del espaciamiento entre slots sigue presente incluso para el escenario de interferencia EI2. La investigación realizada también ha demostrado que la misma observación es válida para distintos CIR medios y los otros esquemas de codificación. Por consiguiente, podríamos concluir que, para velocidades de 250km/h, el rendimiento a nivel de enlace para configuraciones multislot puede depender de los slots seleccionados para la transmisión.

Los estudios realizados también muestran una diferencia numérica de la probabilidad  $P_c$  entre el escenario EI1 y EI2 para las velocidades de 5km/h. Sin embargo, en este caso el efecto del espaciamiento entre slots para EI2 es el mismo que para EI1 (véase figura 2); es decir que la probabilidad  $P_c$  no varía en función del espaciamiento entre slots. Por lo tanto, podemos concluir que para bajas velocidades, e independientemente del patrón de interferencias considerado, el rendimiento a nivel de enlace para configuraciones multislot puede ser independiente de los slots utilizados.

#### IV. CONCLUSIONES

Este artículo ha presentado un análisis del rendimiento de GPRS a nivel de enlace para transmisiones multislot. La investigación llevada a cabo ha demostrado que el rendimiento en distintos slots de una misma trama GPRS está correlado. Asimismo los resultados presentados han mostrado que dicha correlación depende de distintos parámetros, entre ellos el escenario de interferencia, el espaciamiento entre slots, la velocidad del móvil, el esquema de codificación empleado y el CIR medio.

#### REFERENCIAS

- [1] ETSI, "GSM 05.02; Multiplexing and multiple access on the radio path", version 7.3.0, Release 1998.
- [2] T. Rappaport, "Wireless Communications. Principles & practice". IEEE press. 1996.
- [3] J. Gozalvez and J. Dunlop, "On the Effect of Correlation in Multislot Link Layer Analysis for GPRS", Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, VTC2000-Fall, pp 444-450, Septiembre 2000, Boston, USA.
- [4] J. Dunlop, J. Pons, J. Gozalvez, and P. Atherton, "A Real-time GSM Link Adaptation Hardware Demonstrator", Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, VTC2000-Spring, pp 590-594, Mayo 15-18 2000, Tokyo, Japón.
- [5] J. Gozalvez and J. Dunlop, "High-Speed Simulation of the GPRS Link Layer", Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC2000, pp 989-993, Septiembre 18-21 2000, Londres, UK
- [6] ETSI, "GSM 05.05; Radio Transmission and reception", version 7.1.0, Release 1998.
- [7] J. Gozalvez and J. Dunlop, "Impact of Interference on the GPRS Multislot Link Level Performance", Proceedings of European Wireless, EW2002, pp 473-478, Febrero 2002, Florencia, Italia.