

ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DE CANAL PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

Juan Jesús González Delicado
Área de Teoría de la Señal y
Comunicaciones
Universidad Miguel Hernández

Javier Gozávez
Área de Teoría de la Señal y
Comunicaciones
Universidad Miguel Hernández
j.gozalvez@umh.es

Javier Evangelio
Área de Teoría de la Señal y
Comunicaciones
Universidad Miguel Hernández

Abstract- A new quality-based channel allocation mechanism is presented and evaluated in this paper. This mechanism decides which channel to allocate to an incoming communication based on the quality experienced by previous transmissions in all available channels. To estimate the channel quality, this paper proposes to use the Block Error Rate (BLER), a quality measure already available in GPRS networks. The performance achieved with our mechanism has been compared to that experienced when using the traditional random channel allocation scheme, and the results obtained confirm that the proposed mechanism outperforms the random allocation strategy.

I. INTRODUCCIÓN

La reciente evolución del sector de las comunicaciones móviles no sólo se ha caracterizado por un importante aumento del número de usuarios y la introducción de nuevos servicios multimedia, sino también por un considerable aumento en la demanda y las expectativas de una mejora en la calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) por parte de los usuarios. Estas circunstancias obligan a los operadores de telefonía móvil a desarrollar técnicas que permitan utilizar de forma más eficiente los escasos recursos radio disponibles. La eficiente utilización de dichos recursos es llevada a cabo mediante las denominadas técnicas de gestión de recursos radio (RRM, *Radio Resource Management*), como pueden ser los mecanismos empleados para la asignación de canales o *Link Adaptation* (LA).

El funcionamiento de LA se basa en adaptar el modo de transporte empleado (véase codificación de canal y/o modulación) a las condiciones experimentadas en el enlace radio. Para realizar esta adaptación, el algoritmo debe obtener una estimación de la calidad del canal radio y decidir, en función de dichas estimaciones y basándose en un criterio predefinido, que modo de transporte es el óptimo. Para poder utilizar LA es imprescindible la existencia de distintos modos de transporte en el sistema. Aunque GPRS (*General Packet Radio Service*), sistema sobre el cual se basa este trabajo, utiliza una sola modulación (GMSK) sí que dispone de cuatro esquemas de codificación de canal (CS), cuyas características se muestran en la Tabla 1. Como se puede observar en esta tabla, cada CS se caracteriza por una tasa binaria distinta ya que la cantidad de bits de datos (carga útil) que puede ser transportada por un bloque radio varía en función del CS empleado. En consecuencia, cada

CS proporciona un grado de compromiso diferente entre robustez ante errores y tasa binaria de información, lo cual posibilita la aplicación de LA en el sistema GPRS.

Esquema de codificación	Factor del código	Bits de datos (Carga útil)	Tasa binaria (kbps)
CS1	$\frac{1}{2}$	181	9.05
CS2	$\approx \frac{2}{3}$	268	13.4
CS3	$\approx \frac{3}{4}$	312	15.6
CS4	1	428	21.4

Tabla 1: Esquemas de codificación de canal de GPRS.

En cuanto a las técnicas de asignación de canal para la transmisión de datos en modo paquete, la mayoría de los trabajos realizados y publicados hasta la fecha se han centrado en la forma de distribuir y gestionar los canales disponibles en un entorno en el que coexisten sobre el mismo espectro radioeléctrico los sistemas GSM y GPRS. Dicha distribución y gestión se realiza mediante el concepto de capacidad bajo demanda y en función de las necesidades en términos de calidad que cada tipo de servicio requiere; algunos ejemplos pueden encontrarse en [1].

Por el contrario, este artículo se centra en el mecanismo o técnica a emplear para asignar uno de los canales libres a una nueva transmisión GPRS. Para ello, se considerará un escenario en el que existe un número de canales dedicado exclusivamente a la transmisión de datos en modo paquete, y que dichas transmisiones se realizan utilizando el algoritmo de LA. En [2], se demostró que el mecanismo utilizado para asignar los canales libres a un nuevo usuario/transmisión puede influir en el rendimiento del sistema y el funcionamiento de LA. Los mecanismos de asignación de canal generalmente empleados (p.e. asignación aleatoria o secuencial) no utilizan ninguna información específica para realizar la asignación. Sin embargo, en este artículo se propone y evalúa un sencillo mecanismo de asignación que asigna el canal por el que una nueva transmisión debe llevarse a cabo, en función de la calidad que experimentaron las transmisiones anteriores por cada uno de los canales disponibles.

II. ENTORNO Y HERRAMIENTAS DE TRABAJO

El estudio de los sistemas de comunicaciones móviles mediante simulaciones suele realizarse en dos etapas que se analizan por separado: nivel de enlace y nivel de sistema. En las simulaciones a nivel de sistema se tienen en cuenta aspectos como la estructura celular, la movilidad de los usuarios, la interferencia cocanal y los efectos de atenuación

(*path loss*) y desvanecimiento lento (*shadowing*). Por el contrario, los estudios a nivel de enlace simulan una única transmisión, a nivel de bit, donde se tiene en cuenta el efecto del desvanecimiento rápido (*fast fading*). Para estudiar el comportamiento global del sistema, estos dos niveles deben ser unidos por medio de simples interfaces, comúnmente denominadas *Look-Up Tables* (LUT).

A. Simulaciones a nivel de enlace

Para el estudio a nivel de enlace, se ha utilizado una herramienta de simulación que modela la cadena completa de transmisión de GPRS [3]. Dicho simulador implementa los esquemas de codificación y modela los efectos de la transmisión radio mediante una base de patrones de error que fue previamente obtenida utilizando el software COSSAP. El interés principal de esta metodología radica en una reducción considerable del tiempo de simulación, sin realizar sacrificios en términos de la precisión de los resultados obtenidos. El estudio ha sido llevado a cabo siguiendo las indicaciones del ETSI [4].

B. Simulaciones a nivel de sistema

Para las simulaciones a nivel de sistema se ha desarrollado un simulador de eventos discretos implementado en C++ [2]. Este simulador trabaja a nivel de ráfaga (*burst*), lo que permite modelar las rápidas variaciones de la calidad del canal, representada en forma de CIR (relación señal a interferencia), y por lo tanto mejorar la precisión de los resultados obtenidos. El simulador modela el enlace descendente de una estructura macrocelular sectorizada, con un número fijo de usuarios por sector. Aunque se ha implementado la movilidad de usuarios dentro de cada sector, no se han considerado mecanismos de traspaso de llamada. Tampoco se han tenido en cuenta algoritmos de control de potencia o de *Frequency Hopping* puesto que ambos pueden influenciar el funcionamiento de LA, y la interacción entre estas técnicas no es el objeto de estudio de este trabajo. En la Tabla 2 se muestra un resumen de la configuración utilizada en el simulador.

C. Interfaz entre nivel de enlace y nivel de sistema

Teniendo en cuenta la importancia de la interfaz utilizada entre los estudios a nivel de enlace y a nivel de sistema para una correcta evaluación del rendimiento de un sistema, en especial de un sistema adaptativo, y siguiendo las indicaciones de [5], este trabajo ha empleado unas interfaces que trabajan a nivel de *burst* y permiten incluir el efecto del desvanecimiento rápido en los estudios a nivel de sistema. Para ello, el simulador utiliza dos LUT's, LUT-1 y LUT-2. LUT-1 consiste en una CDF (*Cumulative Distribution Function*) del BER (tasa de bits con error) para un valor de CIR concreto. A partir del CIR experimentado durante un *burst*, a nivel de sistema, se selecciona la LUT-1 adecuada y haciendo uso de un proceso aleatorio se obtiene un valor de BER. Es importante destacar que mediante esta técnica se introduce el efecto del *fast fading* en las simulaciones a nivel de sistema. Este proceso se repite para los cuatro *bursts* utilizados para transmitir un bloque radio (RLC), y a partir de estos cuatro valores, se calcula la media y la desviación estándar del BER; estos dos valores se tomaran como entradas para la LUT-2 (se dispone de una LUT-2 distinta

para los cuatro esquema de codificación de GPRS). A partir de la LUT-2 correspondiente, y del valor medio y desviación estándar del BER experimentados durante la transmisión de un bloque radio, obtendremos un valor de BLER (tasa de bloques recibidos con error) que permitirá decidir si el bloque ha sido transmitido con o sin error. Ejemplos gráficos de LUT-1 y LUT-2 pueden ser encontrados en [5].

Parámetro	Valor
Tipo de entorno	Urbano / Suburbano
Nº de celdas cocanal	25
Sectorización	120°
Nº de coronas interferentes	2
Tamaño del cluster	4
Radio de las celdas	1Km
Nº de canales por sector	16 (8 canales x 2 portadoras)
Nº de canales por usuario	1
Nº de usuarios por sector	8
Distribución del tráfico	www: 50% de usuarios e-mail: 50% de usuarios
Modelo de <i>path loss</i>	Okumura-Hata
Modelo de <i>shadowing</i>	Ley log-normal: Desviación estándar 6dB Distancia decorrelación 20m
Velocidad del móvil	50 Km/h
Tipo ARQ	Rechazo selectivo
Tamaño ventana ARQ	64 bloques RLC
Periodo de confirmación ARQ	16 bloques RLC

Tabla 2: Configuración del simulador a nivel de sistema

D. 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. Puesto que este trabajo se basa en servicios de tipo *best-effort*, el algoritmo de LA 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.

El algoritmo de LA implementado en este trabajo utiliza para el inicio de la transmisión de cada nuevo paquete, el último esquema de codificación empleado en la transmisión anterior. Para el intervalo de tiempo que define la regularidad con la que se decide que esquema es óptimo, se considera un intervalo de 100ms.

III. ALGORITMOS DE ASIGNACIÓN DE CANAL

El objetivo de esta investigación es el diseño de un nuevo algoritmo de asignación de canal que mejore el rendimiento del sistema y el funcionamiento de técnicas adaptativas como LA. Existen principalmente dos formas de mejorar el funcionamiento de LA. La primera consiste en reducir los niveles de interferencia para aumentar la calidad del canal, y la segunda consiste en estabilizar la calidad, de forma que el número de cambios de codificador de canal sea menor. Una mayor calidad significa la posibilidad de utilizar

un codificador de canal menos robusto y con una tasa de transmisión mayor, mientras que una calidad más estable se traduce en un menor número de cambios de codificador y, por tanto, en una reducción de la señalización que estos cambios implican. En este apartado se describen algunos algoritmos existentes y se propone un nuevo algoritmo que pretende mejorar los resultados de éstos.

Uno de los mecanismos más simple y más ampliamente utilizado es el algoritmo de asignación aleatoria. Este algoritmo asigna un canal aleatoriamente de entre los canales disponibles. Sus principales ventajas son, por un lado, su simplicidad, y por otro, el hecho de que todos los canales, y por tanto todos los equipos radio, son utilizados uniformemente, lo que evita la sobrecarga de canales/equipos. Otro mecanismo analizado en [2] es la asignación secuencial. Este algoritmo asigna los canales libres de forma secuencial desde el inicio de la trama TDMA. El objetivo de este tipo de asignación era conseguir un entorno donde la calidad de canal fuese más estable, reduciendo así la variabilidad en el número de interferentes que un usuario puede experimentar. A costa de reducir esta variabilidad, se aumentan los niveles de interferencia que experimentan los canales situados al principio de la trama. Con una calidad más estable se espera que las técnicas adaptativas de gestión de recursos radio mejoren su funcionamiento, y por lo tanto el rendimiento del sistema. Sin embargo, como se demostró en [2], el algoritmo de asignación secuencial no mejora las prestaciones del algoritmo de asignación aleatoria; la diferencia de prestaciones observada es debida al incremento del nivel de interferencia producido por el algoritmo de asignación secuencial. Este incremento empeoró la calidad de las transmisiones (mayor BLER medio) y aumentó la variabilidad del canal radio (véase BER), con lo que se perjudicó el funcionamiento de LA.

Los algoritmos de asignación aleatoria y secuencial se caracterizan por el hecho de que no utilizan ninguna información acerca de los canales disponibles para realizar su asignación. En [6], se sugiere la idea de asignar los canales disponibles basándose en la calidad experimentada en cada uno de estos canales durante las transmisiones anteriores, aunque no se propone ni se evalúa el método a seguir o las medidas de calidad a utilizar. Siguiendo esta idea, en este trabajo se ha diseñado un algoritmo de asignación de canal inteligente, que asigna los canales disponibles a los nuevos usuarios/transmisiones en función de la calidad experimentada durante transmisiones anteriores. Para esta investigación, la medida que proponemos utilizar para la estimación de la calidad de cada canal es el BLER. El interés principal de esta medida radica en que está ya disponible, a través de protocolos ARQ, en sistemas como GPRS; el receptor debe enviar al emisor una indicación de los bloques recibidos con error para tramitar su retransmisión. Por otro lado, aunque el BLER es una medida que representa adecuadamente la calidad final experimentada por el usuario, podría tener el inconveniente de necesitar un número significativo de medidas para obtener una media que refleje de manera fiable la calidad de canal. Esto es debido a que, por cada bloque transmitido, el valor de BLER será 1 ó 0, según haya sido transmitido con o sin error.

El algoritmo que proponemos, denominado minBLER, asigna el canal disponible (véase slot para el caso de los sistemas TDMA) que en media ha experimentado un menor BLER en las transmisiones anteriores. Para su funcionamiento, este algoritmo mantiene, para cada canal, un array (ventana) donde se almacenan las medidas de calidad (BLER) de las transmisiones anteriores. Cuando el array se llena, las medidas más antiguas son eliminadas para dejar espacio a las nuevas. Por lo tanto, un parámetro importante para el funcionamiento y rendimiento del algoritmo, y que ha sido extensivamente estudiado en este trabajo, es el tamaño de la ventana utilizada; como se mostrará en la siguiente sección, este parámetro produce un importante efecto en el funcionamiento del algoritmo. Cuando la estación base necesita asignar un canal, el algoritmo examinará los recursos de que dispone y obtendrá una medida de calidad representativa de cada canal libre. Para ello, el algoritmo debe realizar un filtrado de las medidas del historial de cada canal libre; inicialmente se ha considerado un filtrado simple, consistente en una media. Una vez el algoritmo ha calculado la medida de calidad para cada canal, asignará al nuevo usuario/transmisión aquel canal que haya experimentado en el pasado la mayor calidad, es decir el menor BLER.

IV. RESULTADOS

Puesto que el algoritmo de asignación aleatoria es generalmente el más utilizado, en esta sección se comparan los resultados obtenidos mediante el algoritmo minBLER con los obtenidos empleando el algoritmo de asignación aleatoria. Al centrarnos en servicios de tipo *best-effort*, el principal parámetro para comparar los algoritmos es la velocidad de transmisión o *throughput* (kbps). Aparte del valor medio del *throughput*, también consideramos el *throughput* mínimo experimentado por el 95% y 99% de las muestras; estas dos últimas medidas proporcionan indicadores más estrictos de la calidad de servicio que proporciona el sistema. Otros parámetros de interés son el retardo normalizado (cociente entre el tiempo necesario para transmitir un bloque de datos y el tamaño de dicho bloque) y el BLER experimentado durante las transmisiones. Parámetros como el porcentaje de utilización de cada esquema de codificación o del esquema óptimo, y el número de cambios de esquema por unidad de tiempo proporcionan información sobre el funcionamiento del algoritmo de LA.

La Figura 1 muestra el *throughput* mínimo experimentado por el 95% de las muestras, utilizando el algoritmo de asignación aleatoria o el algoritmo minBLER, en función del tamaño de ventana. Aunque con distintos valores numéricos, hemos observado un comportamiento muy similar para el *throughput* medio y el *throughput* mínimo experimentado por el 99% de las muestras. En primer lugar, cabe destacar que los resultados indican claramente que el algoritmo minBLER proporciona un rendimiento superior al obtenido mediante el algoritmo de asignación aleatoria. En el caso del algoritmo minBLER, se puede observar que para tamaños de ventana entre 20 y 2304 bloques RLC, el *throughput* aumenta al incrementar el tamaño de la ventana, y que a partir de un tamaño de 2304 bloques éste se estabiliza. Este efecto es debido a que con un mayor número de medidas se puede obtener una media más

fiable y representativa de la calidad del canal, y por lo tanto se mejora el funcionamiento del algoritmo; como se ha comentado, este comportamiento es cierto hasta un valor determinado del número de medidas. Esta mejora también repercute en el rendimiento obtenido con LA. Por un lado, el porcentaje de utilización del esquema óptimo pasa de 76.76% para un tamaño de 20 bloques a 78.55% para un tamaño de 2304 bloques, lo que indica que el algoritmo de LA ha tomado más decisiones correctas. Por otro lado, mientras el porcentaje de utilización del esquema menos robusto (CS4) es 74.33% para un tamaño de ventana equivalente a 20 bloques RLC, este valor aumenta a 76.93% para un tamaño de ventana de 2304 bloques, lo que indica que las condiciones de calidad de canal han sido más favorables utilizando el algoritmo minBLER con un tamaño de ventana superior. El hecho de que los resultados para el algoritmo minBLER se establezcan a partir de cierto valor del tamaño de ventana influye a la hora de dimensionar los recursos necesarios (memoria) para implementar el algoritmo minBLER en un sistema real; en efecto, observamos que a partir de un tamaño de ventana de 2304 bloques no se obtienen mejoras en las prestaciones y no sería necesario emplear tamaños mayores.

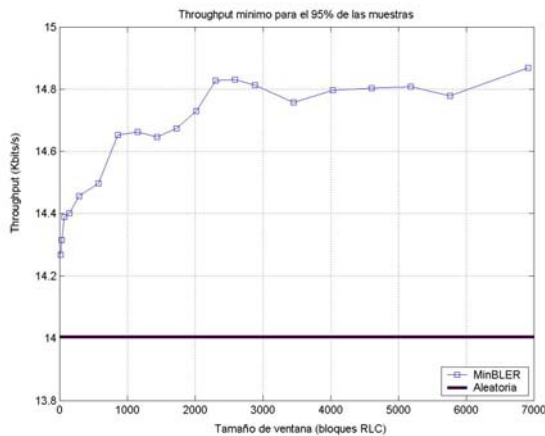


Figura 1: *Throughput* mínimo para el 95% de las muestras

Utilizando la información que proporciona la figura 1, la Tabla 3 muestra los valores de *throughput* obtenidos para el algoritmo de asignación aleatoria y para el algoritmo minBLER, utilizando el mejor tamaño de ventana (6912 bloques). Las diferencias entre un tamaño de ventana de 2304 o 6912 bloques son mínimas, por lo que triplicar la memoria necesaria para tan ligero incremento no sería justificable en un sistema real, sin embargo aquí se utiliza el tamaño de 6912 simplemente como punto de comparación. Como se puede observar, aunque el algoritmo minBLER proporciona una leve mejora en valores medios, este algoritmo aumenta de forma considerable los parámetros de calidad de servicio más estrictos y en particular mejora la calidad de los usuarios/transmisiones que con el algoritmo de asignación aleatoria obtenían peor rendimiento. Como puede observarse en la Tabla 4, los mejores resultados obtenidos para el algoritmo minBLER también se traducen en un mejor funcionamiento del sistema y en mejoras de la calidad de las transmisiones. En cuanto al funcionamiento del algoritmo de LA, estas mejoras se traducen en una reducción de la carga de señalización. En efecto, mientras que el número medio de cambios de CS solicitado por LA

cuando se emplea el algoritmo de asignación aleatoria es de 2.25, esta cifra disminuye hasta 2.04 con el algoritmo minBLER.

	<i>Throughput</i> medio	<i>Throughput</i> mínimo para 95% muestras	<i>Throughput</i> mínimo para 99% muestras
Random	18761.73	14004.46	10880.55
MinBLER	19159.27	14868.19	12159.20
Ganancia	2.12%	6.17%	11.75%

Tabla 3: *Throughput* (bps) para los algoritmos Aleatoria y MinBLER

	BLER	Utilización del CS óptimo	Utilización de CS4	Retardo normalizado (95% muestras) en ms/kbit
Random	4.97%	75.86%	73.02%	107.55
MinBLER	4.27%	78.73%	77.17%	102.28

Tabla 4: Funcionamiento del sistema para Random y MinBLER

V. CONCLUSIONES

Este trabajo ha presentado y evaluado un algoritmo de asignación de canal inteligente (minBLER) que elige el canal a asignar a un nuevo usuario o transmisión en función de la calidad experimentada en cada uno de los canales disponibles durante las transmisiones anteriores. En particular, el algoritmo propuesto asigna aquel canal que experimentó, en valor medio, una mayor calidad. El rendimiento de este algoritmo ha sido comparado con el comúnmente utilizado, algoritmo de asignación aleatoria. Los resultados obtenidos demuestran que el algoritmo propuesto mejora tanto el rendimiento del sistema como el funcionamiento de técnicas adaptativas de gestión de recursos radio (p.e. LA). Además, el estudio ha demostrado y analizado la influencia, en su rendimiento, del número de medidas de calidad utilizadas por el algoritmo minBLER. Los resultados indican que existe un número de medidas óptimo que maximiza las prestaciones y minimiza el coste de implementación del algoritmo minBLER.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo económico de Bancaja-UMH para la realización de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] P. Lin y Y-B. Lin, "Channel Allocation for GPRS", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol 50, No 2, pp 375-387, Marzo 2001.
- [2] J. Gozalvez y J. Dunlop, "Effect of Slot Allocation Mechanisms on the Performance of Link Adaptation", en *Proceedings of European Personal Mobile Communications Conference, EPMCC2003*, pp 286-290, Abril 2003.
- [3] J. Gozalvez y J. Dunlop, "High-Speed Simulation of the GPRS Link Layer", en *Proceedings of the IEEE PIMRC2000*, pp 989-993, Septiembre 2000.
- [4] ETSI, "GSM 05.05; Radio Transmission and reception", version 7.1.0, Release 1998.
- [5] J. Gozalvez y J. Dunlop, "Link Level Modelling Techniques for Analysing the Configuration of Link Adaptation Algorithms in Mobile Radio Networks", en *Proceedings of European Wireless 2004*, pp 325-330, Febrero 2004.
- [6] J. Dunlop et al., "Performance of a Statistically Multiplexed Access Mechanism for a TDMA Radio Interface", *IEEE Personal Communications Magazine*, pp. 56-63, Junio 1995.