

# ALGORITMO COORDINADO DE ASIGNACIÓN DE CANAL PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES EN ENTORNOS DE TRÁFICO HETEROGÉNEO

Alberto Rodríguez Mayol<sup>(1)</sup>, Javier Gozávez<sup>(1)</sup>, J. Sánchez Soriano<sup>(2)</sup>, N. Llorca<sup>(2)</sup>, M. Pulido<sup>(2)</sup>.

[alberto.rmayol@gmail.com](mailto:alberto.rmayol@gmail.com), [j.gozalvez@umh.es](mailto:j.gozalvez@umh.es), [joaquin@umh.es](mailto:joaquin@umh.es), [nllorca@umh.es](mailto:nllorca@umh.es), [manpul@umh.es](mailto:manpul@umh.es).

<sup>(1)</sup> Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones

<sup>(2)</sup> Centro de Investigación Operativa

Universidad Miguel Hernández, Avda de la Universidad s/n, 03202 Elche, España.

**Abstract-** The scarce radio spectrum imposes hard limitations on designing wireless systems. Powerful methods for sharing radio resources in the most efficient way are required to provide high-capacity communication services, with increasing QoS demands. Channel assignment schemes are responsible for deciding which available channel is allocated to an incoming call. This paper proposes a channel assignment scheme that bases its allocation decision on the instantaneous received and produced interference levels. The performance of the proposed scheme in a packet mobile radio system is compared against that obtained considering the traditional random assignment mechanism and other published FCA algorithms. This paper shows the system performance improvements that can be obtained with the proposed scheme and analyzes its optimum configuration in a mixed service scenario considering the user behaviour during the channel assignment procedure.

## I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de gestión de recursos radio constituyen una herramienta imprescindible para el aprovechamiento óptimo del espectro radioeléctrico que se requiere en las redes de comunicaciones móviles actuales. La necesidad de estas técnicas se debe principalmente al incremento constante de la demanda de servicios de voz junto con la introducción de servicios de datos y multimedia con exigentes requisitos de ancho de banda y otros parámetros de calidad de servicio. Las técnicas de asignación de canal influyen directamente sobre el rendimiento de la red que perciben los usuarios. Estas técnicas se encargan de asignar, distribuir y liberar los canales disponibles entre los usuarios y los servicios de acuerdo a ciertas restricciones de QoS (calidad de servicio) o de sistema. Los sistemas actuales de comunicaciones móviles distribuyen los canales disponibles en la red entre las distintas celdas mediante un criterio de asignación fija (FCA). Posteriormente, a cada llamada entrante se le asigna un canal escogido aleatoriamente (RCA). RCA constituye una técnica simple cuya principal ventaja es la de que la utilización de todos los canales, y por tanto, de cada uno de los equipos RF, es uniforme. Sin embargo, no es capaz de atender eficientemente las diferentes necesidades de calidad de servicio de los distintos tipos de usuario [1].

Por otro lado, en [2] se proponían un grupo de esquemas de asignación en los que la elección del canal se basaba en la calidad experimentada en las transmisiones anteriores en cada canal disponible. Se comprobó que la mejora en el rendimiento obtenido respecto al algoritmo RCA se debía a que las asignaciones realizadas en cada celda mostraban una

coordinación implícita con las asignaciones de las celdas interferentes cocanales. Continuando dicha línea, en este trabajo se propone un algoritmo de asignación diseñado para aumentar la coordinación en la asignación entre las celdas cocanales interferentes de manera explícita mediante la elección del canal con un menor nivel de interferencia recibida y provocada en el momento de la asignación.

## II. ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DE CANAL COORDINADO

El objetivo del algoritmo de asignación de canal propuesto es minimizar la cantidad de interferencia recibida y provocada que se genera por cada nueva transmisión. Esto se consigue aplicando el siguiente sistema de asignación: para cada BTS en donde se recibe una solicitud de canal se evalúa, para cada uno de los canales disponibles en la celda, el nivel de interferencia que se recibiría en dicha celda y el nivel de interferencia que se provocaría a las celdas cocanales interferidas por ella, si se realizara la asignación del canal evaluado. Tras evaluar todos los canales disponibles de la misma forma, se asigna el canal con una menor interferencia, ya sea recibida o provocada. Este proceso es equivalente a minimizar la siguiente función de utilidad evaluada sobre cada uno de los canales disponibles en la celda:

$$U(i) = w(I_1 + I_2) + (1 - w)(I_1' + I_2') \quad (1)$$

En la función de utilidad (1) se utiliza la siguiente notación:  $i$  representa el canal evaluado,  $I_1$  e  $I_2$  representan los niveles de interferencia recibidos provenientes de las BS cocanales del primer y del segundo anillo respectivamente mientras que  $I_1'$  e  $I_2'$  representan los niveles de interferencia que se provoca a las celdas situadas en el primer y en el segundo anillo de celdas cocanales interferidas por la BTS donde se realiza la asignación. Por su parte, el parámetro  $w$  o *weight* refleja el tipo de comportamiento del algoritmo en cuanto a la importancia que concede a la interferencia que recibe de otras celdas frente a la interferencia que puede provocar. Su valor puede variar entre 0 y 1. Para un valor de 0, el algoritmo se comporta de manera generosa, es decir, sólo tiene en cuenta la interferencia que la asignación provoca a las demás BTSs. Si  $w$  toma el valor de 1, únicamente considerará la interferencia recibida, por lo que el comportamiento es egoísta. Un valor de  $w$  de 0.5 toma en cuenta por igual ambos tipos de interferencia. En principio, se estableció un mismo valor de *weight* para todos los

usuarios. Por otro lado, la interferencia puede ser estimada bien de manera exacta, o bien de manera aproximada. El cálculo exacto de interferencia se realiza mediante la información de las distancias entre las BTSs y las MSs, los niveles de potencia de transmisión y la aplicación del modelo de propagación de Okumura-Hata. El coste de esta variante del algoritmo puede ser en la realidad considerablemente alto, por lo que se propuso como alternativa la estimación aproximada de la interferencia, que se realiza contando el número de BSs cocanales del primer o segundo anillo que utilizan el mismo canal que está siendo evaluado. En este segundo caso, dado que la interferencia causada por una BTS del segundo anillo es menor que la de una BTS del primer anillo, para unas condiciones de transmisión similares (potencia transmitida), se emplea el factor  $\zeta$  para ponderar la importancia relativa de aquéllos frente a éstos últimos. Dadas las condiciones del entorno de simulación que se exponen en el punto III, el valor de este factor se fijó en 0.15.

Hay que recalcar que la separación entre interferencia recibida y provocada sólo se puede aplicar en un escenario de celdas sectorizadas. Si se considera un escenario omnidireccional, la interferencia que una celda provoca a las demás y la interferencia que recibe de ellas es aproximadamente igual, y por tanto, carece de sentido distinguir entre ambos valores. Sin embargo, en un escenario sectorial, una celda recibe interferencia de un grupo determinado de celdas mientras que provoca interferencia a un grupo distinto de celdas. Por lo tanto, en general, las interferencias recibida y provocada tendrán valores diferentes en un escenario sectorial. Adicionalmente, se propusieron funciones de utilidad alternativas a la función aditiva expresada en (1) y se comparó su rendimiento. Ninguna de las funciones de utilidad evaluadas consiguió un rendimiento superior al de la función aditiva, que se escogió finalmente por ser la más sencilla y evidente de todas las funciones propuestas.

Este trabajo supone que la entidad encargada de realizar la asignación dispone de la información de la ocupación de canales en todas las celdas cocanales que puedan interferir o ser interferidas por la celda donde se requiere la asignación. Esta suposición es realista, dado que en GSM-GPRS, que ha sido el sistema empleado en el presente simulador, la entidad BSC, encargada de la asignación, controla el interfaz radio de un número considerable (varios centenares) de celdas a través de las BTSs. En el caso de que alguna de las celdas implicadas no esté controlada por la misma BSC que realiza la asignación, se podría ignorar la interferencia proveniente de esas celdas o bien realizar una asignación aleatoria o incluso comunicar distintas BSCs a través de una MSC. El ancho de banda en principio no es un problema a nivel de núcleo de red. Por otro lado, tan sólo hace falta considerar un conjunto reducido de celdas vecinas cocanales para obtener un rendimiento alto, como se podrá ver en los resultados de la simulación.

Los esquemas de asignación presentados siguen la filosofía de los esquemas IA-DCA (*Interference Adaptation-Dynamic Channel Allocation*) [3] pero con importantes diferencias. En primer lugar, los algoritmos se han propuesto para operar en una red con asignación FCA. Por otro lado, los esquemas IA-DCA tienden a valorar únicamente la interferencia recibida en sus decisiones [3]. Esto resulta en un rendimiento inferior, como se ha podido comprobar en el

presente estudio. Los algoritmos aquí presentados muestran que en un escenario sectorial, considerar tanto la interferencia recibida como la provocada es considerablemente mejor. Se puede contrastar el efecto de considerar o no la interferencia provocada a las demás estaciones base variando el valor del parámetro de *weight* que se mencionó anteriormente. En el estudio llevado a cabo en este trabajo se simuló distintas variantes del algoritmo propuesto con configuraciones diferentes de los parámetros de la función de utilidad.

### III. ENTORNO SIMULACIÓN

Para la comprobación del rendimiento de los algoritmos propuestos se ha empleado una herramienta de simulación a nivel de sistema que emula, a nivel de ráfaga, la transmisión de paquetes de datos en un sistema tipo GPRS. El simulador, controlado por eventos, modela la capa RLC/MAC (*Radio Link Control/Medium Access Control*) y la capa física del sistema. Ha sido implementado en C++ usando la librería CNCL (*Communication Networks Class Library*) desarrollado por ComNets en la *Aachen University of Technology*.

Parámetro	Valor
Tamaño clúster	4
Radio celda	1km
Sectorización	120° / Omnidireccional
Interferencia modelada	1º y 2º anillo de interferentes
Canales por sector/celda	16
Usuarios por sector/celda	8
Tipo tráfico	H.263 video: 2 usuarios/sector WWW: 3 usuarios/sector Email: 3 usuarios/sector
Modelo pérdidas enlace	Okumura-Hata
<i>Shadowing</i>	Distribución log-normal Desviación estándar 6dB
Desvanecimiento rápido	Distancia de decorrelación 20m Incluido mediante <i>Look-Up Tables</i> (LUTs) Sólo para usuarios WWW e email
ARQ protocol	Mensajes Ack/Nack enviados cada 16 bloques RLC
Período de actualización de LA	100ms

Tabla 1. Configuración de simulación.

Se han implementado dos tipos de redes celulares. Una consiste en macroceldas de antenas omnidireccionales mientras que la otra modela sectores cocanales de celdas trisectorizadas. También se ha implementado un modelo de movilidad para los usuarios. Se considera únicamente el enlace descendente por soportar una mayor carga. Las solicitudes son atendidas según una cola FIFO. Se han implementado tres tipos de usuarios: WWW, email y H.263, con modelos distintos de tráfico pero sin considerar particiones de los canales a priori entre ellos. La carga de usuarios por celda (3, 3 y 2 respectivamente) es moderada – baja para poder apreciar adecuadamente la influencia de los algoritmos de asignación. Cada usuario utiliza el canal hasta que transmite sus datos completamente o hasta que finaliza la transmisión de H.263 en tiempo real. En el modelo de H.263, el tiempo de inicio de transmisión de cada trama está predeterminado. Cuando una trama no acaba de transmitirse antes de iniciarse la transmisión de la siguiente, se desecha por completo (trama transmitida con retardo). Se emplea el algoritmo de LA de GPRS, basado en cuatro esquemas de codificación. LA selecciona cada 100ms el esquema que

maximiza el *throughput*. La precisión estadística viene asegurada para cada uno de los escenarios por la simulación de la transmisión de más de 30 millones de bloques de datos. En la Tabla 1 se muestran los principales parámetros de configuración del simulador empleado. Para una exposición completa de la herramienta, consúltese [4].

#### IV. RESULTADOS

La Tabla 2 compara, para la red sectorizada, el rendimiento del sistema para los algoritmos de asignación de canal propuestos (A1T, E2T y A2T) frente al obtenido usando el esquema RCA y la propuesta minBLER [2]. El esquema minBLER se basa en el registro de la calidad experimentada en cada una de las transmisiones de cada canal y en la asignación del canal que había obtenido una mejor calidad de transmisión (medida como la tasa de bloques transmitidos con error, *Block Error Rate*) en las conexiones anteriores. Esto provocaba una coordinación implícita entre las estaciones base cocanales interferentes, las cuales evitaban utilizar los mismos canales que sus vecinas, pero sin realizar ningún intercambio de información entre ellas. Mientras que la propuesta A1T estima la interferencia de manera aproximada considerando sólo el primer anillo de celdas cocanales interferentes (2 en el escenario sectorizado), el esquema A2T considera tanto el primero como el segundo anillo. La propuesta E2T es similar a A2T pero estima la interferencia de manera exacta. En los tres casos se ha considerado un *weight* de 0.5. Todas las configuraciones del esquema propuesto mejoran el rendimiento de sistema comparadas con las opciones RCA y minBLER. Es importante señalar que los algoritmos propuestos consiguen un reparto más equitativo de los recursos ya que no sólo aumenta el rendimiento en valor medio sino que aumentan el rendimiento de los usuarios peor servidos, como se deduce del importante incremento del rendimiento mínimo garantizado para el 95% de las muestras.

	RCA	MinBLER	A1T	E2T	A2T
Throughput medio (kbps)	18.2	18.64	18.9	19.19	19.2
Throughput mínimo garantizado para el 95% de las muestras (kbps)	3	8	6	15.22	0
BLER medio (%)	6.45	5.59	5.02	4.54	4.52
BLER máximo garantizado para el 95% de las muestras (%)	15.3	4	12.0	11.09	10.9
Retardo normalizado medio (ms/kbit)	61.6	60.46	59.4	58.66	58.6
	5		7		6

Tabla 2. Parámetros de rendimiento en el escenario sectorizado.

La mejora en todos los parámetros de rendimiento se debe a una menor BLER, inducida por la tendencia de las celdas a evitar la transmisión simultánea en los mismos canales. Al percibir una menor interferencia en el sistema, el algoritmo de LA tiende a utilizar los esquemas de codificación menos robustos y con una mayor tasa binaria, lo cual contribuye a mejorar el *throughput*. El mejor rendimiento según la Tabla 2 se consigue con el algoritmo A2T en el caso del escenario sectorizado. Es necesario por tanto considerar dos anillos de interferentes ya que el número de BTSs interferentes en el primer anillo es demasiado reducido como para tener una buena estimación de la

interferencia asociada a cada asignación. Por otro lado, el algoritmo de cálculo aproximado, A2T, es capaz de obtener unos resultados muy similares a los del esquema de cálculo exacto, E2T, que debería ser el mejor algoritmo. Por tanto, se escogerá el esquema A2T por tener un coste de implementación mucho menor.

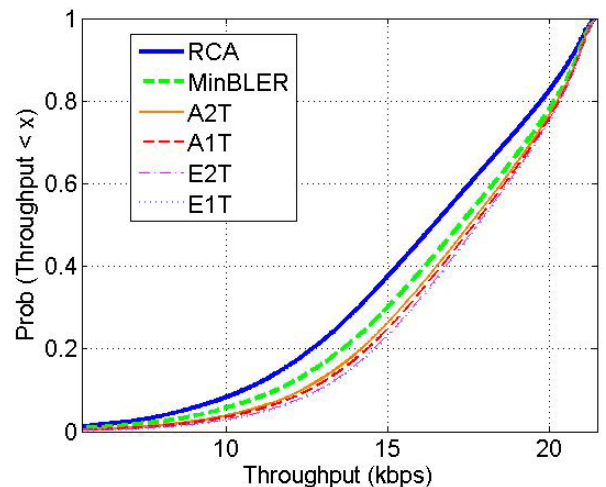


Fig. 1. CDF del *throughput* de los esquemas propuestos (omnidireccional).

La Fig. 1 muestra la función de distribución acumulativa del parámetro de *throughput* de algunos de los algoritmos propuestos (las siglas de la leyenda ya han sido comentadas más arriba para la Tabla 2) y de los esquemas empleados para su comparación, para el escenario omnidireccional. Se puede apreciar que para todas las condiciones posibles, es mejor considerar un solo anillo de interferentes, a diferencia del escenario sectorial, en el que el máximo rendimiento se obtenía al considerar dos anillos. Esto se debe a que en este caso, la información de la ocupación de canales en las seis BTSs interferentes del primer anillo es suficiente para tener una buena estimación de la interferencia total, y no es necesario recurrir a la información de las BTSs del segundo anillo. El coste será menor al tener que considerar BTSs que están más próximas entre sí. Los algoritmos de cálculo exacto y de cálculo aproximado tienen un rendimiento similar por lo que se preferirán estos últimos. El mejor algoritmo para el escenario omnidireccional es por tanto el A1T.

En la Fig. 2 se muestra el *throughput* a nivel de sistema y a nivel de servicios H.263 y WWW obtenido para distintos valores de *weight* empleando el esquema A2T en un escenario de celdas trisectorizadas. Se puede observar que el mejor rendimiento se obtiene cuando se considera de igual manera la interferencia provocada y la interferencia recibida, es decir, cuando se emplea un *weight*=0.5. Los comportamientos egoístas, con *weight*>0.5, empeoran el rendimiento a nivel de sistema. Esto se debe a que las elecciones que realiza cada BTS intentan minimizar principalmente la interferencia recibida, pero no atienden suficientemente a la interferencia que otras BTSs recibirán. Ignorar completamente la interferencia provocada a otras BTS (*weight*=1), como se proponía en [3], afecta considerablemente al rendimiento. Por otro lado, un comportamiento generoso, con *weight*<0.5, tampoco beneficia al rendimiento del sistema. Esto se debe a que, aunque se considera más la interferencia que reciben el resto de BTSs, no se tiene en cuenta apropiadamente la

interferencia que recibirá el usuario que utilice el canal. Los valores extremos de *weight* deben evitarse puesto que empeoran considerablemente el rendimiento de todos los usuarios.

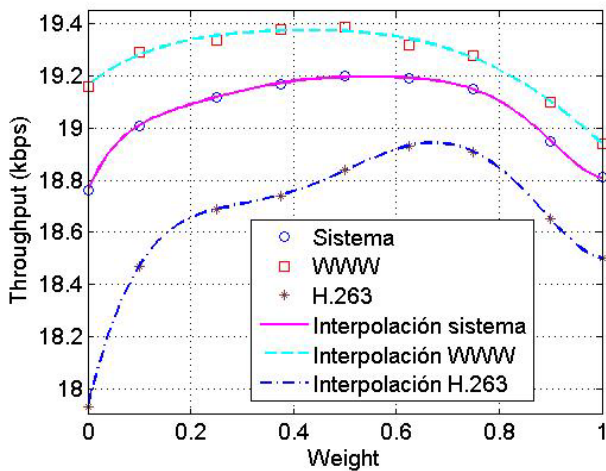


Fig. 2. Throughput de sistema, de WWW y de H.263 para distintos valores de *weight* empleando el esquema A2T con sectorización de 120°.

Por otro lado, hay que recalcar que los servicios no guardan una tendencia idéntica entre ellos. Mientras que el servicio WWW empeora menos para los valores generosos que para los valores egoístas de *weight*, para el servicio H.263, el rendimiento mejora para los valores ligeramente egoístas. En el GPRS simulador implementado, el modelo de tráfico de vídeo H.263 en tiempo real tenía un patrón de transmisión más continuo que el del modelo de WWW o email. Por esta razón los usuarios de H.263 permanecían por lo general usando un mismo canal durante períodos más prolongados que el resto de usuarios. Al retener más tiempo el canal, era más perjudicial para ellos recibir un canal con una peor calidad de enlace al principio de la transmisión. Basándose en estas observaciones, se propuso un algoritmo que asignara diferentes valores a los diferentes tipos de usuario, en función del rendimiento obtenido frente al *weight*. En el algoritmo A2T con *weights* diferentes, se le asignó un valor de *weight*=0.5 a los usuarios de WWW y de email mientras que a los de H.263 se les asignó un valor de *weight*=0.65, es decir, ligeramente egoísta.

La Tabla 3 muestra algunos parámetros importantes de rendimiento para cada servicio. A nivel de sistema, el rendimiento de los algoritmos con *weights* diferentes o con *weight*=0.5 es casi idéntico. El comportamiento ligeramente egoísta de los usuarios de H.263 les beneficia levemente mientras que no empeora apreciablemente el rendimiento del resto de usuarios. Por otro lado, hay que recalcar que los usuarios de vídeo H.263 en tiempo real son los que más se benefician de la propuesta A2T, con mejoras en el *throughput* medio de hasta el 8.4%. Esto se traduce en una mejora apreciable de la calidad de servicio percibida por el usuario, medida en términos de porcentaje de tramas de vídeo transmitidas sin retardo y porcentaje de tramas transmitidas sin retardo y con una BLER<=5%. Una BLER<=5% no supone una degradación de la imagen apreciable [5].

		RCA	MinBLER	A2T $w=0.5$	A2T $w$ dif.
<b>Sistema</b>	Throughput mín. para el 95% de muestras (kbps)	13.3	14.02	15.30	15.31
	Throughput medio (kbps)	18.6	18.82	19.37	19.31
<b>WWW</b>	Throughput medio (kbps)	18.6	18.89	19.39	19.31
	Retardo normalizado (ms/kbit)	70.8	69.21	67.18	67.35
<b>H.263</b>	Throughput medio (kbps)	17.5	18.20	18.84	19.00
	% de tramas sin retardo	72.8	75.16	77.31	77.76
	% de tramas sin retardo y con BLER<=5%	51.4	55.24	58.98	59.98

Tabla 3. Parámetros de rendimiento por servicio en el escenario sectorizado.

### V. CONCLUSIONES

Este trabajo ha propuesto y evaluado un algoritmo de asignación de canal cuyo criterio de asignación se basa en los niveles instantáneos de interferencia recibida y provocada asociados a cada canal disponible. Se han mostrado las mejoras en el rendimiento alcanzadas con el algoritmo propuesto respecto a las técnicas empleadas comúnmente y a otras técnicas propuestas en [2]. Se discute la configuración óptima del algoritmo en función de las condiciones de funcionamiento y de los tipos de servicio implementados en la herramienta de simulación. También se ha comentado que el coste de implementación del algoritmo con una configuración óptima en las redes de comunicaciones móviles actuales es muy bajo.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Generalitat Valenciana, a través del proyecto GV05/189, y del Ministerio de Educación y Ciencia de España y de los fondos FEDER bajo los proyectos TEC2005-08211-C02-02 y MTM2005-09184-C02-02.

### REFERENCIAS

- [1] LEUNG, Y.F., "Adaptive channel allocation methods for distributed MPEG player system over a cellular radio network", Proc. of the 6th International Conference on RTCSA, December 1999, pp 220-223.
- [2] GOZALVEZ, J., and GONZALEZ-DELICADO, J.J., "Channel allocation mechanisms for improving QoS in packet mobile radio network", Electronics Letters, January 2005, pp 21-22.
- [3] SALMENKAITA, M., GIMENEZ, J., TAPIA, P., and FERNANDEZ-NAVARRO, M., 'Optimizing the GSM/EDGE Air Interface for Multiple Services with Dynamic Frequency and Channel Assignment', Proc. of IEEE VTC, September 2002, pp 2215-2219.
- [4] GOZALVEZ J. and DUNLOP J., "System Performance and Adaptive Configuration of Link Adaptation Techniques in Packet-Switched Cellular Radio Networks", Computer Networks Journal, Vol. 49, pp 404-426, Oct. 2005.
- [5] HANZO, L., CHERRIMAN, P., and STREIT, J., 'Wireless Video Communications: Second to Third Generation Systems and Beyond', IEEE Press, 2001.