

GESTIÓN DE RECURSOS RADIO EN EL MARCO DE LOS SISTEMAS 3G

J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí
Universitat Politècnica de Catalunya
jorperez, sallent, ramon @ tsc.upc.es

1.- INTRODUCCIÓN

La evolución de las necesidades de los usuarios hacia aplicaciones multimedia ha conducido al mundo de las comunicaciones móviles a concebir la llamada 3G, en la que la W-CDMA aparece como tecnología dominante. La flexibilidad inherente a W-CDMA justifica la revolución tecnológica que ello supone, al menos desde el punto de vista europeo, donde la experiencia tanto de suministradores como de operadores se centra en la tecnología TDMA, de la mano de GSM.

En el contexto de los sistemas 3G, en el que se esperan aplicaciones multimedia muy diversas que llevarán asociados distintos requerimientos en términos de QoS (Quality of Service), toma una gran relevancia el efectuar una adecuada gestión de los recursos radio, dado que el espectro radioeléctrico es escaso y por él los operadores han pagado grandes cantidades en concepto de adjudicación de licencias. Las estrategias Radio Resource Management (RRM) son las encargadas de realizar dicha gestión.

El problema con que se encuentra el operador de red es ofrecer un sistema en el que se maximice el número de usuarios para un conjunto de requisitos de QoS. En este problema se pueden distinguir dos aspectos:

1. Planificación de red, esto es, el diseño de la infraestructura de la red en términos de número de células, posición de las células, número y arquitectura de los nodos de concentración, etc.
2. Asignación de recursos radio, esto es, para un despliegue de red dado, la manera en que se gestionan dinámicamente los recursos con el fin de satisfacer la demanda instantánea de los usuarios que se van desplazando por la red.

En el marco de los sistemas 2G (por ejemplo GSM) el principal problema es la planificación de la red. La calidad subjetiva de voz percibida se controla principalmente a través de una asignación adecuada de frecuencias a las distintas células que permita disponer de una C/I (relación señal a interferencia) suficiente. Por otro lado, la probabilidad de bloqueo es el otro parámetro de calidad de la red fundamental y se controla proporcionando un número suficiente de frecuencias a cada célula y, en segundo término, añadiendo más células a la estructura de la red. Por lo tanto, puede decirse que en una red basada en TDMA hay un valor prácticamente constante para la máxima capacidad dado un despliegue de red, ya que las actuaciones en cuanto a gestión de recursos radio a corto plazo (del orden de decenas ó centenas de milisegundos) no tienen demasiado impacto en un escenario en el que el servicio soportado (voz) requiere de un canal con calidad constante y estrictas restricciones de retardo.

En el marco de los sistemas 3G la situación es significativamente distinta. En primer lugar, los sistemas W-CDMA no tienen un valor constante para la máxima capacidad de la red, ya que ésta está directamente relacionada con la cantidad de interferencia en el interfaz aire. En segundo lugar, el entorno de operación multiservicio hace que en muchos casos no sea necesario ofrecer un retardo constante, de manera que se abre la posibilidad de explotar las funciones de RRM para gestionar de una manera más adecuada los distintos requerimientos de QoS.

En este contexto, y puesto que a las estrategias RRM se les atribuye un papel relevante en 3G debido a que los algoritmos serán específicos de cada fabricante y su eficiencia se mostrará en el momento en que el tráfico UMTS empiece a ser significativo, esta comunicación pretende identificar algunas de las estrategias RRM que serán de relevancia, plantear mecanismos de evaluación de dichas estrategias mediante simulación y mostrar algunos resultados que permiten valorar el impacto e importancia de las mismas. En particular, en la Sección 2 se

describen las diferentes estrategias RRM, en la Sección 3 se describe un simulador de sistema capaz de evaluar y comparar entre sí distintas soluciones RRM y en la Sección 4 se presentan algunos resultados obtenidos con dicha plataforma de simulación. Finalmente, la Sección 5 recoge las principales conclusiones derivadas del presente estudio.

2.- ESTRATEGIAS RRM

Entre las estrategias RRM puede citarse:

1. Control de admisión. Se encarga de decidir o rechazar una petición de nueva conexión que lleva asociados ciertos parámetros de QoS. Esta decisión debe basarse en la interferencia que incorporaría esta conexión en caso de aceptación y si la misma podría poner en peligro las garantías de QoS de las conexiones previamente aceptadas. Debe aplicarse de manera coherente tanto al enlace ascendente como descendente.
2. Control de congestión. Debe afrontar situaciones de sobrecarga de la red, en las que la evolución dinámica de la red pone en peligro las garantías de QoS de las conexiones en curso. Las actuaciones del control de congestión deben ir en la dirección de reducir la interferencia de una manera inteligente.
3. Selección del formato de transmisión. Esta estrategia se encarga de las decisiones a corto plazo en cuanto a la velocidad de transmisión más adecuada en cada momento. En el caso del enlace ascendente la decisión se toma de manera descentralizada en cada uno de los móviles, mientras que en el enlace descendente la operación es centralizada, efectuándose las decisiones en función de las necesidades globales.

Los procedimientos de handover tienen un impacto significativo en las estrategias anteriores, de manera que el diseño de las mismas ya debe realizarse teniendo en cuenta los efectos derivados del traspaso de la comunicación entre células, incluida la capacidad de las redes W-CDMA de permitir la conexión a más de una célula al mismo tiempo (soft handover).

3.- SIMULADOR DE SISTEMA UTRA-FDD

El estudio por simulación de un sistema de comunicaciones celulares puede resultar extremadamente complejo y requerir unos tiempos de computación muy elevados si se pretende incorporar un modelo de simulación realista en el que se tengan en cuenta muchos de los efectos que se producen en un entorno radio móvil. Nótese que por un lado los aspectos de señal requieren trabajar a nivel de muestras de chips (en el caso W-CDMA la duración de un chip es de 260 ns), mientras que los aspectos de tráfico y movilidad requieren simulaciones de órdenes de magnitud de minutos. Por ello resulta habitual abordar las simulaciones a dos niveles:

1. Simulación de enlace, para contemplar los aspectos de la capa física (codificación, entrelazado, fadings del canal, sincronización, estimación de la respuesta impulsional, propagación multicamino, etc.). En esta simulación se considera una única célula, un único usuario y el efecto de los demás usuarios se modela como ruido.
2. Simulación de sistema, para contemplar los aspectos de capas superiores (protocolo MAC, gestión de retransmisiones, algoritmos RRM, movilidad, tráfico, handover, etc.). En esta simulación se considera la presencia de varias células en el entorno, con varios usuarios en ellas que pueden disfrutar diferentes servicios. Utiliza los resultados obtenidos del simulador de enlace.

Para la evaluación de algoritmos RRM es importante disponer de simuladores dinámicos a nivel de sistema, con el fin de que se pueda observar la evolución temporal del mismo ante las distintas estrategias de gestión a estudiar.

A continuación se describe el modelo de simulador dinámico de sistema UTRA-FDD que permite el estudio, evaluación y comparación de distintas estrategias RRM. Dicho simulador de sistema se alimenta de los resultados que proporciona cualquier simulador de enlace en forma de curvas de tasa de error en función de E_b/N_0 .

Las entradas del simulador de sistema son principalmente las características del escenario a evaluar: número y posición de las estaciones base, número de usuarios de cada clase de servicio, requisitos de QoS de cada uno de ellos y parámetros de los algoritmos RRM que se pretende evaluar en las simulaciones.

Desde el punto de vista funcional, la Figura 1 muestra los procedimientos involucrados en el simulador. Inicialmente, el módulo “Network deployment” permite ubicar las estaciones base y los móviles. El módulo RRM es el elemento central del simulador, ya que es el responsable de llevar a cabo las diferentes estrategias RRM. El módulo RRM actúa según el comportamiento de los terminales móviles en cuanto a generación de tráfico y movilidad. El simulador incorpora módulos que implementan las trayectorias de los móviles, calculan las pérdidas de propagación y deciden las estaciones base del Active Set según los algoritmos de handover. Similarmente, los modelos de generación de tráfico generan paquetes según el tipo de servicio y se mantienen en un buffer para su transmisión sobre el interfaz radio. El mecanismo de control de potencia es responsable de determinar la potencia transmitida en cada caso para obtener la E_b/N_0 target deseada. Según esta potencia y la posición de cada terminal se calcula la E_b/N_0 resultante en cada caso teniendo en cuenta las condiciones de interferencia generadas en el sistema. Finalmente, la interacción con el simulador de enlace lleva a decidir las transmisiones correctas y erróneas en una determinada trama. Los buffers se actualizan según el resultado de cada transmisión y dependiendo también de la disponibilidad de mecanismos de retransmisión.

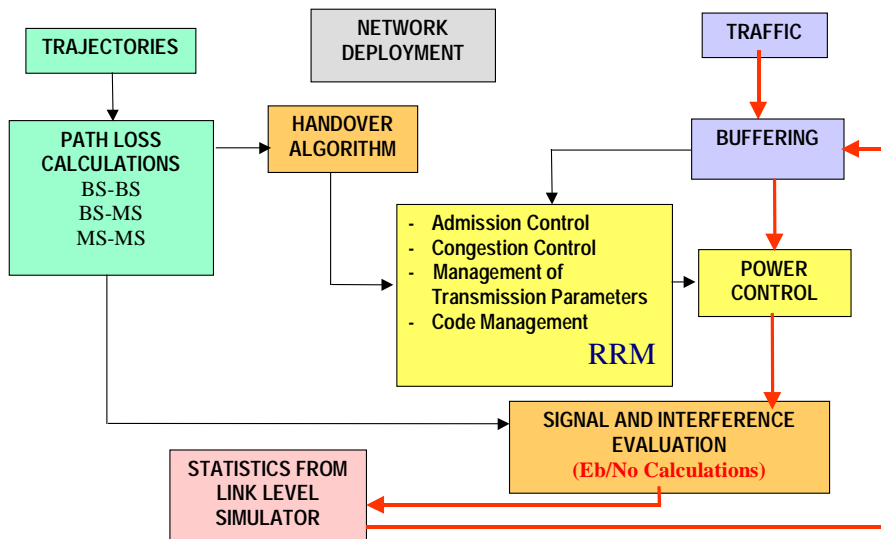


Figura 1. Diagrama de bloques del simulador.

El simulador ha sido desarrollado sobre plataforma Opnet, permitiendo estudiar un amplio rango de RABs (Radio Access Bearer) así como aplicaciones correspondientes a las cuatro clases de servicio identificadas en UMTS: Conversacional, Streaming, Interactiva y Background.

4.- EJEMPLO: CONTROL DE ADMISIÓN EN DOWNLINK

A diferencia del enlace ascendente, en que el control de admision se suele realizar en base al control de factor de carga, en el enlace descendente se plantea un algoritmo basado en el control de la potencia transmitida por el Nodo-B. En concreto, la condición a evaluar para decidir la aceptación de una nueva petición de connexion en la trama i -ésima es:

$$P_{AV}(i) + \Delta P_T(i) \leq P_T^*(i) \tag{1}$$

$$P_{AV}(i) = \frac{\sum_{j=1}^T P_T(i-j)}{T} \quad (2)$$

donde $P_{AV}(i)$ es la potencia media transmitida en las últimas T tramas, $\Delta P_T(i)$ es la estimación del incremento de potencia necesario debido a la nueva petición (nótese que puede variar a lo largo del tiempo) y $P_T^*(i)$ es el umbral de admisión, que también puede variar a lo largo del tiempo.

A pesar de la simplicidad del algoritmo, éste puede proporcionar unas prestaciones eficientes mediante un ajuste adecuado de los parámetros. En particular, a continuación nos centraremos en:

- La manera de estimar la demanda de potencia ΔP_T .
- El impacto del umbral de admisión P_T^* . Modificando este umbral la admisión puede ser más suave o estricta y afectar a la calidad observada por los usuarios.
- Impacto del período de promediado T. Para sobreponer la alta variabilidad del canal radio y de los patrones de interferencia, las medidas de la potencia transmitida deben promediarse en el tiempo y de nuevo ello implica un compromiso de diseño.

Como parámetros más destacados de la simulación citar que la potencia máxima transmitida es 43 dBm, se considera un único servicio (videotelefonía) de naturaleza CBR (Constant Bit Rate), cuya RAB se detalla en la Tabla 1. El objetivo de calidad se fija en términos de PER (Packet Error Rate), al 2%. La duración media de las llamadas es de 3 minutos. El factor de ortogonalidad es 0.4. Las peticiones de admisión procedentes de handover siempre se aceptan.

Tabla 1. Transport formats de la RAB para videotelefonía.

Tipo TrCH		DCH
Tamaño TB, bit		640
TFS	TF0, bits	0×640
	TF1, bits	2×640 (64 Kb/s)
TTI, ms		20

Pasemos a estudiar el impacto de la estimación del incremento de potencia necesario debido a la incorporación de la nueva petición, ΔP_T . Un criterio de estimación razonable sería tomar la potencia media demandada por usuario a lo largo de las últimas T tramas, de manera que se obtendría la siguiente estimación adaptativa:

$$\Delta P_T(i) = \frac{\sum_{j=1}^T \left(\frac{\sum_{k=1}^{n_{i-j}} P_{Tk}(i-j)}{n_{i-j}} \right)}{T} \quad (3)$$

$n_{i,j}$ es el número de usuarios que transmiten en la trama (i-j). A efectos de comparación, y para apreciar la importancia del término ΔP_T en el proceso de admisión, se considera también una estimación pesimista:

$$\Delta P_T = P_{Ti}(90\% CDF) \quad (4)$$

En este caso la estimación se toma como el percentil del 90% de la potencia requerida por usuario. Por simulación se obtiene la CDF (Cumulative Distribution Function) para distintos niveles de carga, y de ésta se encuentra que $\Delta P_T = 17.48$ dBm para una carga ofrecida al escenario de 160, $\Delta P_T = 9.63$ dBm para 120 Erlangs y $\Delta P_T = 22.1$ dBm para 200 Erlangs.

La Tabla 2 presenta la probabilidad de admisión para los dos criterios, fijando el resto de parámetros de algoritmo a $P_{AV}(i)$ promediada sobre $T=100$ tramas y un umbral fijo de $P_T^* = 35$ dBm. No se aprecian diferencias significativas, al igual que en términos de PER, lo que parece indicar que la forma en que se estime ΔP_T tiene un impacto limitado en el proceso de admisión global.

Tabla 2. Probabilidad de admisión y PER para dos estimaciones diferentes de ΔP_T .

Carga ofrecida (Erlangs)	Probabilidad de admisión		Packet Error Rate	
	Criterio Time Average	Criterio 90% CDF	Criterio Time Average	Criterio 90% CDF
120	100 %	100 %	2.00 %	2.00 %
160	94.33 %	93.97 %	2.87 %	2.83 %
200	56.31 %	55.34 %	8.20 %	7.83 %

El impacto del umbral máximo de potencia, P_T^* , se muestra en las Figuras 2 y 3. En este punto, se consideran umbrales fijos de $P_T^* = 25, 30, 35$ dBm. En concreto, la Figura 4 muestra la probabilidad de admisión para diferentes cargas y se observa que para un valor restrictivo como es 25 dBm se rechazan muchas peticiones con una carga de 160 Erlangs en el escenario. Por otro lado, políticas de admisión poco restrictivas (35 dBm) proporcionan una probabilidad mucho más alta de limitación en potencia (esto es, la probabilidad de que la estación base no tenga suficiente potencia para servir a todos los usuarios), y por lo tanto la Packet Error Rate aumenta (ver la Figura 3).

Estos resultados apuntan la existencia de un umbral óptimo para cada nivel de carga, sugiriendo un mecanismo de admisión con umbral adaptativo basado en la estimación del nivel de carga. La Tabla 3 resume el umbral óptimo aproximado para un doble objetivo: 1) Obtener unas prestaciones controladas (por ejemplo $PER < 2.5\%$), y 2) Obtener una probabilidad de admisión tan alta como sea posible.

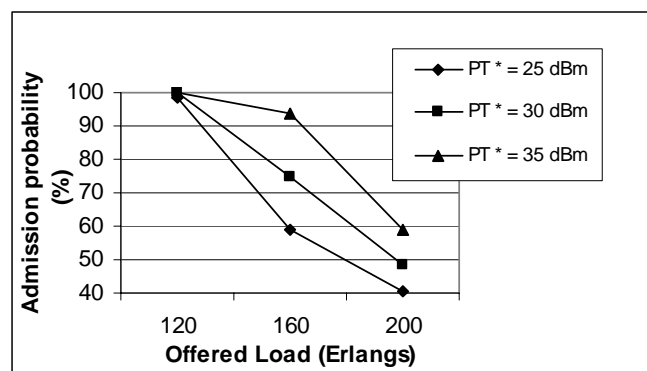


Figura 2. Probabilidad de admisión para distintos umbrales.

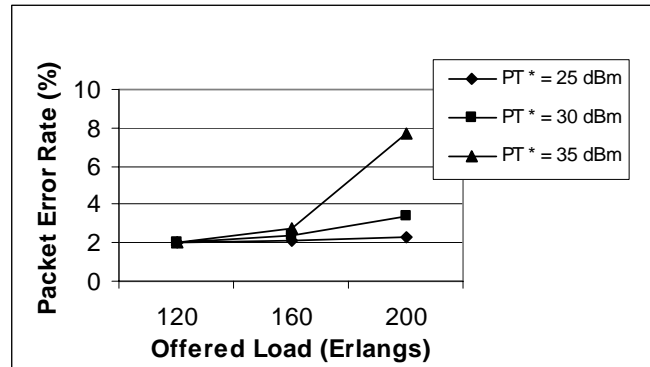


Figura 3. Packet Error Rate para diferentes umbrales.

Otro importante aspecto del algoritmo de admisión es determinar la estimación de la potencia media transmitida $P_{AV}(i)$, ya que como se ha citado antes ésta puede presentar fuertes variaciones. Las Figuras 4 a 7 analizan el impacto de los diferentes períodos de promediado, centrándose en el caso $P_T^* = 25$ dBm y mostrándose un período representativo de 5 minutos. Se analiza:

1) Carga media (120 Erlangs).

1.a) Si T es bajo (T=100 en la Figura 4) hay períodos cortos en los que, debido a la alta variabilidad de la potencia transmitida requerida, ocurre que $P_{AV}(i) > P_T^*$ y, por lo tanto, se rechazan algunas llamadas (en este caso admisión del 98% y PER=2%).

1.b) Si T es alto (T=5000 en la Figura 5), el suavizado que provoca el mayor período de promediado evita rechazos de llamadas innecesarias (en este caso admisión del 100% y PER=2%).

Por lo tanto, sería deseable un período de promediado relativamente largo para evitar los efectos puntuales y poco frecuentes de potencias requeridas excesivamente grandes (si la carga no es muy alta la potencia requerida tampoco debe serlo).

2) Alta carga (200 Erlangs).

2.a) Si T es bajo (T=100 en la Figura 6) es posible aprovechar los períodos donde la potencia que transmite el Nodo-B es más baja de lo habitual (admisión del 41% y PER=2.25%).

2.b) Si T es alto (T=5000 en la Figura 7), un efecto de ondas aparece en la forma de $P_{AV}(i)$ y se reducen los períodos de aceptación de llamadas (admisión 35% y PER= 2.23%).

Por lo tanto, sería deseable un período de promediado relativamente corto para evitar efectos de memoria demasiado grandes.

Tabla 3. Umbral óptimo para diferentes cargas..

Carga ofrecida (Erlangs)	Umbral óptimo
120	>35 dBm
160	30 dBm
200	25 dBm

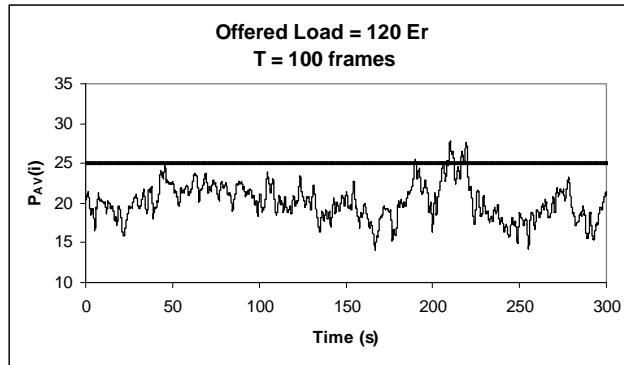


Figura 6. Muestra de la potencia transmitida promediada.

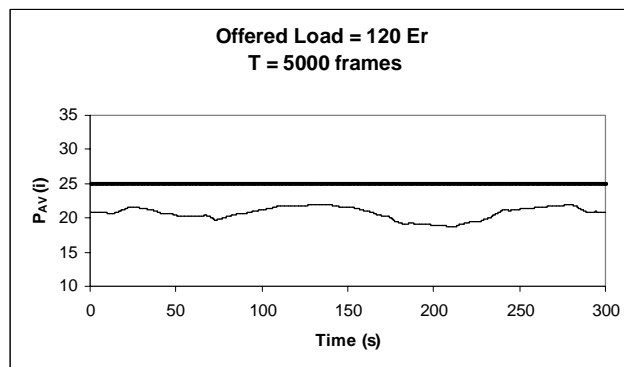


Figura 7. Muestra de la potencia transmitida promediada.

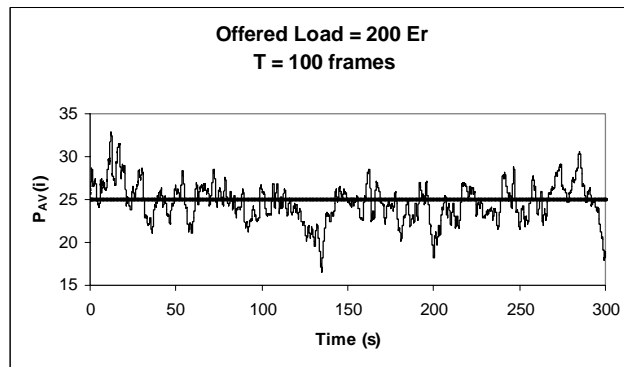


Figura 8. Muestra de la potencia transmitida promediada.

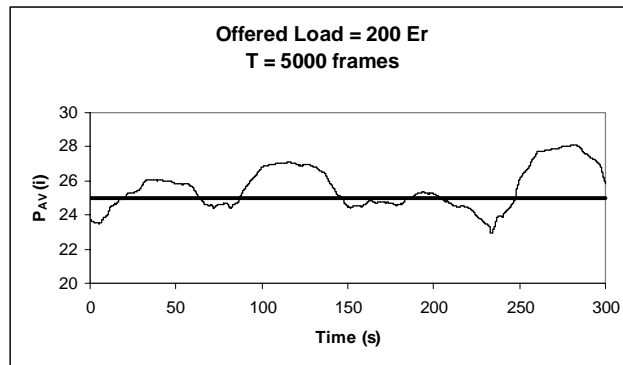


Figura 9. Muestra de la potencia transmitida promediada.

5.- CONCLUSIONES

Esta comunicación ha pretendido poner de manifiesto la importancia de las estrategias RRM en el marco de los sistemas 3G y la necesidad de una intensa evaluación de los distintos algoritmos mediante simulación. También se ha descrito la estructura de un simulador de sistema desarrollado a tal efecto. Como ejemplo se ha evaluado un algoritmo de control de admisión para el enlace descendente.

6.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto Arrows, parcialmente financiado por la Comisión Europea (IST 2000-25133) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (TIC2001-2222).