

# MÉTODO PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DEL RADIO CELULAR EN SISTEMAS MULTISERVICIO WCDMA

Dr. Klaus D. Hackbarth  
Departamento de  
Ing. de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail: klaus@tlmat.unican.es

J. Antonio Portilla  
Departamento de  
Ing. de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail: jantonio@tlmat.unican.es

David Rojas  
Departamento de  
Ing. de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail: davines2002@hotmail.com

**Abstract**—The article outlines the studies for developing an analytical model to calculate the optimal cell radius in a WCDMA cell. The model considers multiservice traffic with different binary rates and different GoS requirements. To calculate the optimal cell radius the model reduces all the services to an artificial one, and performs the dimensioning with only this service. The analytical model demonstrates a better performance compared with current methods and even with recursive algorithms.

**Keywords:** WCDMA, Multiservice planning, cell radius calculation, analytical model.

## I. INTRODUCCIÓN

Las redes móviles de 3ª Generación se engloban dentro del termino IMT 2000 que comprende cinco sistemas diferentes con sus correspondientes tecnologías de acceso [1]. En el entorno europeo se ha previsto la implementación del sistema definido como UMTS, cuya tecnología de acceso radio se basa en la técnica WCDMA [2]. Un problema clásico en la planificación de redes celulares es el cálculo del radio celular, que suele considerar principalmente dos aspectos: La limitación por propagación radio, y la limitación por tráfico de usuarios. En los sistemas de 2G, como GSM, el factor limitante más crítico es la propagación radio, puesto que el sistema GSM es un sistema *hard blocking*, es decir, el número de usuarios en el sistema depende de la cantidad de hardware instalado en la estación base. Adicionalmente el cálculo de la capacidad se ha venido realizando considerando principalmente el servicio de voz.

Por el contrario, en los sistemas de 3G, como UMTS, la limitación del radio celular por propagación radio se encuentra altamente interrelacionada con la limitación por tráfico de usuario. Esto se debe a que el sistema WCDMA es un sistema limitado por interferencia, *soft blocking*, es decir, que la interferencia total depende del número de usuarios activos en la célula. Por otra parte el sistema UMTS se define como multiservicio, por lo que el radio celular debe ser calculado teniendo en cuenta estas características.

Las características descritas anteriormente hacen necesaria la investigación de modelos para el cálculo del radio celular en sistemas de 3G. Este artículo describe los resultados de

un estudio sobre un método para el cálculo eficiente de dicho radio celular bajo tecnología WCDMA, considerando tráfico multiservicio y multitasa.

## II. LA PROBLEMÁTICA DEL FACTOR DE CARGA

El cálculo del radio celular en sistemas WCDMA ha sido profundamente estudiado y los resultados se detallan en [3][4][5]. Sin embargo la mayor parte de estos estudios consideran únicamente un solo servicio para realizar el cálculo del radio celular, por lo que no se obtiene una estimación correcta. Los estudios que consideran tráfico multiservicio en el cálculo del radio, se basan principalmente en simulaciones del comportamiento de la célula [6]. Estos métodos presentan el inconveniente que necesitan gran cantidad de datos necesarios para realizar la simulación así como el tiempo de proceso necesario para obtener el radio celular, lo que implica graves penalizaciones a la hora de realizar un despliegue celular en una determinada región.

En los sistemas multiservicio, el cálculo del radio de la célula se realiza mediante el cálculo del radio individual para cada uno de los servicios considerados, eligiendo como definitivo el radio del servicio más restrictivo.<sup>1</sup>

El radio celular para cada servicio individual se calcula mediante la densidad de usuarios del servicio  $i$ ,  $\rho_i$  y el número máximo de usuarios posibles en la célula  $M_i$ , según la siguiente expresión.

$$R_i = \sqrt{\frac{M_i \cdot N_{Sectores}}{\pi \cdot \rho_i}} \quad (1)$$

El valor de  $M_i$  se calcula mediante la división entre el tráfico total ofrecido del servicio  $A_i$  y el tráfico individual de cada usuario, definido por su tasa de llamada  $\lambda_i$  y por su duración media  $\overline{ts}_i$ .

$$M_i = \frac{A_i}{a_i} = \frac{A_i}{\lambda_i \cdot \overline{ts}_i} \quad (2)$$

<sup>1</sup>El radio celular se debe calcular independientemente para los enlaces ascendente y descendente. Por simplicidad en el artículo nos referimos únicamente a una sola dirección, sin mencionarla concretamente.

El número de conexiones activas  $Nac_i$  se calcula mediante la fórmula de Erlang B, considerando el tráfico total  $A_i$  del servicio y su probabilidad de bloqueo  $Pb_i$ , modificados correspondientemente por el factor de interferencia intercelular  $f$ , [7].

$$f(A_i) = B^{-1}(f(Nac_i), Pb_i) \quad (3)$$

Finalmente el número de conexiones activas depende de los factores de carga total asignado al servicio  $L_{Total\_i}$ , y el individual de cada conexión  $k$  del servicio  $i$   $L_{k,i}$ .

$$Nac_i = \frac{L_{Total\_i}}{L_{k,i}} \quad (4)$$

Considerando  $S$  servicios se debe cumplir la siguiente condición:

$$\eta = \sum_{i=1}^S L_{Total\_i} \quad (5)$$

Siendo  $\eta$  el valor total del factor de carga que debe ser inferior a la unidad<sup>2</sup>. Este valor cuantifica el GoS mediante la expresión del NFR:

$$NFR = \frac{1}{1 - \eta} \quad (6)$$

Este valor expresado en  $dB$  define el margen de interferencia,  $MI$  que se aplica en el cálculo del radio por propagación radio.

El problema radica en la forma de asignación de los valores  $L_{Total\_i}$ . Una asignación incorrecta ocasiona que los radio celulares calculados bajo los diferentes servicios sean diferentes, y al considerar como radio celular el más restrictivo de todos ellos, se produzca un aprovechamiento no óptimo de la capacidad, es decir, no se calcula el radio celular óptimo.

El cálculo del radio celular se puede realizar mediante tres métodos diferentes:

- **Método Simple:** Se calcula el radio celular mediante la asignación directa de los factores de carga  $L_{Total\_i}$  a cada servicio  $S_i$ . Su principal ventaja radica en su simplicidad, sin embargo suele conducir a resultados alejados del valor óptimo debido a la posible diferencia entre los factores de carga asignados inicialmente  $L_{Total\_i}$  y los reales  $L_{Real\_i}$ , obtenidos mediante el radio celular calculado.

Se deduce por lo tanto que el resultado del método simple depende altamente de los factores iniciales. La asignación de estos factores puede realizarse de diferentes modos. Una aproximación válida consiste en un promediado entre la densidad de usuarios  $\rho_i$  de cada servicio y su velocidad binaria  $Vb_i$ .

<sup>2</sup>Los operadores suelen ajustar este valor a 0.7 con el propósito de evitar inestabilidades en el sistema.

$$\%L_{Total\_i} = \frac{1}{\text{Min}(Vb_i) \cdot \text{Min}(\rho_i)} \frac{Vb_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^S Vb_i \cdot \rho_i} \quad (7)$$

Resultando la siguiente asignación de los factores de carga:

$$L_{Total\_i} = \%L_{Total\_i} \cdot \eta \quad (8)$$

- **Método Iterativo:** Se parte de una solución calculada con el método simple. Con el radio celular obtenido se obtienen los factores de carga reales de cada servicio  $L_{Real\_i}$ . En el caso de una solución no óptima, la suma de los factores de carga será inferior al valor  $\eta$  definido por el operador. Por lo tanto existe un exceso de factor de carga  $L_{Excess}$  que puede ser repartido entre los servicios con el objetivo de aumentar el radio celular.

$$L_{Excess} = \eta - \sum_{i=1}^S L_{Real\_i} \quad (9)$$

Se pueden considerar diferentes métodos para la redistribución del factor de carga en exceso  $L_{Excess}$ . El más básico considera el reparto igualitario entre todos los servicios, sin embargo este método desfavorece claramente al servicio más restrictivo, puesto que se aumenta linealmente la capacidad de todos los servicios. Una reasignación de mayor rendimiento consiste en asignar un factor mayor del exceso al servicio  $j$  cuyo radio celular es el más restrictivo, y una asignación igualitaria entre el resto de los servicios.

$$L_{Total\_j} = f_{assign} \cdot L_{Excess} + L_{Total\_j} \quad (10)$$

$$j/R_j = \text{Min}(R_i) \forall i = 1 \dots S$$

$$L_{Total\_i} = \frac{(1 - f_{assign}) \cdot L_{Excess}}{S - 1} + L_{Total\_i} \quad (11)$$

$$i \neq j$$

Donde  $f_{assign}$  expresa el factor de asignación priorizado al servicio más restrictivo.

La ventaja principal del método iterativo frente al método simple consiste en la mejor utilización de la capacidad total, con el correspondiente incremento en el radio celular. Su desventaja principal consiste en su dependencia de la solución inicial, al igual que el método simple, y del método de reparto del factor de carga en exceso  $L_{Excess}$ . Finalmente para cada método de reparto utilizado se debe estudiar la convergencia del método iterativo, para evitar inestabilidades.

- **Método Analítico:** Consiste en la deducción de un modelo matemático que calcule el radio óptimo bajo cualquier escenario de servicios y cualquier tipo de

condiciones iniciales, expresadas en función de  $\eta$ , y de los parámetros de cada servicio  $S_i$ . El inconveniente de estos métodos consiste en la dificultad en su diseño y la necesidad de verificación mediante simulación.

En las siguientes secciones se propone un modelo para el método analítico basado en la reducción del problema multi-servicio a un servicio artificial y se comparan los resultados obtenidos con este método con los obtenidos mediante los métodos simple e iterativo.

### III. MODELO ANALÍTICO

El modelo propuesto se denomina de reducción o método reducido puesto que reduce el problema inicial del reparto de capacidad en un sistema multiservicio a la asignación de toda la capacidad a un único servicio artificial. Para ello se parte de un radio celular artificial, típicamente  $R_{art} = 1000m$  y considerando la densidad de usuarios  $\rho_i$ , la tasa de llamada  $\lambda_i$  y su duración media  $\overline{ts}_i$ , se obtienen los tráficos ofrecidos  $A_i$  de cada uno de los servicios en la célula artificial.

La relajación del conjunto de servicios a un único servicio artificial se realiza mediante un proceso que toma como base el método de Lindgerberg [8]. El servicio artificial queda definido mediante los parámetros: Velocidad binaria  $Vb_{eq}$ , tasa de llamadas equivalente  $\lambda_{eq}$ , duración equivalente de llamadas  $\overline{ts}_{eq}$ , probabilidad de bloqueo equivalente  $Pb_{eq}$ , factor de actividad equivalente  $\sigma_{eq}$  y densidad de los usuarios artificiales  $\rho_{eq}$ . Todos estos parámetros se calculan mediante una reducción de los correspondientes parámetros de los servicios de entrada mediante expresiones como la de la ecuación 12.

$$Vb_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^S f_1(A_i \cdot Vb_i)}{\sum_{i=1}^S f_2(A_i \cdot Vb_i)} \quad (12)$$

Donde  $f_1$  y  $f_2$  son las funciones que definen la reducción, ver [9].

El factor  $Eb/No$  del servicio equivalente se calcula mediante una reducción lineal simple partiendo de los valores  $(Eb/No)_i$  de todos los servicios.

Con este nuevo servicio se obtiene una solución del radio celular, asignando todo el factor de carga  $\eta$  a este servicio. Mediante este radio celular se calculan los factores de carga individuales de cada servicio, mediante el proceso descrito en la sección II.

$$L_{Relaxed-i} = f(R_{Relaxed}, S_i) \quad (13)$$

Donde  $S_i$  define los parámetros de cada servicio.

Los factores de carga reales se obtiene mediante la reducción simple al factor de carga  $\eta$ , fijado inicialmente, según la siguiente ecuación.

$$L_{Total-i} = \frac{L_{Relaxed-i}}{\sum_{i=1}^S L_{Relaxed-i}} \cdot \eta \quad (14)$$

Con estos factores de carga se repite el proceso de cálculo del radio celular, obteniéndose una nueva solución del radio celular  $R_i$  individual para cada servicio. Sin embargo en este caso se cumple que  $R_i \cong R_j, \forall i, j \in S$ , es decir todos los servicios tienen aproximadamente el mismo radio, con lo que el radio obtenido es el óptimo para esa configuración de servicios.

### IV. RESULTADOS

La primera versión del modelo analítico se ha implementado dentro de un algoritmo en un programa denominado WCDMA CRE (Estimador de Radio Celular en WCDMA) desarrollado dentro del proyecto IST-REPOSIT [10]. Este algoritmo realiza el cálculo del radio celular considerando, no solo las características de tráfico multiservicio, sino también la propagación radio, mediante el método de Okumura-Hata [11] con la modificación del COST 231 [12] y la limitación en potencia debida al control de potencia no ideal. En este estudio, para verificar el rendimiento del método reducido, se considera únicamente la limitación por capacidad de la célula.

En el estudio siguiente se ha comparado el modelo analítico reducido con el método simple y el iterativo, con las condiciones descritas en la sección III. Para este ejemplo se configuró el escenario de servicios que se ofrece en la tabla I.

TABLE I  
ESCENARIO DE SERVICIOS

Parámetro	Servicio 1	Servicio 2	Servicio 3
Tipo	Voz	Datos	Datos
Vb	12.2	64	144
Pb	0.01	0.05	0.05
$\lambda$	3	2	2
$\overline{ts}$	180	500	500
$\sigma$	0.5	1	1
$\rho$	30	15	5

Los valores de la proporción de los factores de carga iniciales  $\%L_{Total-i}$  sobre  $\eta$  de cada servicio, definidos según la ecuación 7 se muestran en la tabla II.

TABLE II  
ASIGNACIÓN DE FACTORES DE CARGA

Servicio	%Factor de Carga
Voz 12.2Kbps	0.179
Datos 64Kbps	0.469
Datos 144Kbps	0.352

El estudio se realizó mediante un barrido en el margen de interferencia,  $MI$ , desde 2 dB hasta 5 dB que supone valores de  $\eta$  desde 0.369 hasta 0.683. Los valores del radio celular<sup>3</sup> obtenidos se muestran en la tabla III

TABLE III  
RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

MI	M. Simple	M. Iterativo	M. Reducido
2	479	680	678
2.4	580	772	774
2.8	665	849	851
3.2	732	914	919
3.6	792	972	977
4	844	1022	1030
4.8	929	1106	1115
5	948	1124	1132

Se puede observar que el modelo analítico obtiene resultados superiores en todos los casos menos para el valor del margen de interferencia  $MI = 2dB$ . Esto se debe a que un margen de interferencia de valor bajo implica un valor de  $\eta$  bajo, lo que deriva en bajo tráfico y un empeoramiento en la estimación del servicio artificial y por lo tanto la pérdida de rendimiento en el modelo analítico reducido.

Por otra parte tanto el algoritmo iterativo como el método simple, parten de valores de factor de carga que se aproximan a los valores finales. Si se degradan los valores iniciales, los resultados del método simple y del algoritmo iterativo empeoran.

Los resultados se muestran gráficamente en la figura 1.

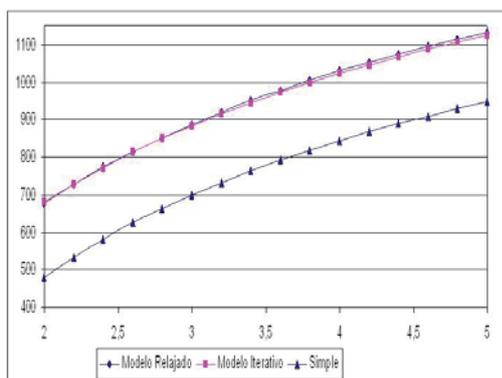


Fig. 1. Comparación del radio celular calculado según los diferentes métodos

## V. LÍNEAS FUTURAS

El modelos analítico descrito anteriormente se encuentra actualmente en un periodo de pruebas y corrección. Por lo tanto la primera línea de trabajo consiste en someter al modelo

<sup>3</sup>Radio celular expresado en metros

a una batería de pruebas con objeto de comprobar su fiabilidad.

Este modelo calcula un radio celular cuasi-óptimo basado en la condición de segregación de tráfico, es decir, se divide la capacidad entre los diversos servicios considerados. Esta previsto, a partir de los resultados obtenidos, desarrollar un modelo analítico para el cálculo del radio celular bajo agregación de tráfico, es decir, considerando toda la capacidad disponible para todos los servicios<sup>4</sup>. Esto implica una optimización mayor de la capacidad de la célula con el consiguiente aumento del radio celular.

Finalmente se están desarrollando dos simuladores basados en OMNET [13] y NS [14] respectivamente para la verificación de los resultados obtenidos mediante el modelos analítico de tráfico segregado y como herramienta para el desarrollo del modelo para el tráfico agregado.

## AGRADECIMIENTOS

Los trabajos y estudios que han dado origen a este artículo se han beneficiado de los fondos del proyecto Europeo IST -REPOSIT IST-2001-34692

## REFERENCES

- [1] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, Wiley and Sons (2001).
- [2] T. Ojanperä and R. Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Artech House, 1988.
- [3] K. Gilhouse, I. Jacobs, R. Padovani, A. Viterbi, L. Weaver, *On the Capacity of a Cellular CDMA System*, IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol 40, N°2, May 1991.
- [4] D. Bem, M. Nawrocki, W. Wiecekowsky, R. Zielinski *Modelling Methods for WCDMA Network Planning*. IEEE Vehicular Technology Conf 2001
- [5] K. Sipilä, Z. Honkasalo, J. Laiho-Steffens, A. Wacker, *Estimation of Capacity and Required Transmission Power of WCDMA Downlink Based on a Downlink Pole Equation*. Proc. 2000 IEEE 51 st Vehicular Technology Conference, 15.-18. May 2000, Tokyo, Japan
- [6] K. Sipilä, M. Jäsberg J. Laiho-Steffens, A. Wacker *Static Simulator for Studying WCDMA Radio Network Planning Issues* VTC99 Conference IEEE; Houston (Texas)
- [7] C. Kyn d'Avila, M. D. Yacoub *The linear method to evaluate the frequency reuse efficiency of cellular CDMA systems*. Global Telecommunications Conference 99.
- [8] K. Lindberger., *Dimensioning and Design Methods for Integrated ATM Networks*, ITC 14, 1994.
- [9] K. Hackbarth, J.A. Portilla *Analytical model for the optimal WCDMA cell radius design under multiservice scenarios*, Internaction Conference on Network Optimization, Paris, 2003 *En revisión*
- [10] Página web del proyecto REPOSIT <http://www.temagon.gr/reposit/>
- [11] M. Hata, *Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services*, IEEE Trans on Veh Tech, Vol VT-29, N° 3 (Aug 1980) 317-325.
- [12] COST 231, *Digital mobile radio towards future generation systems, Final Report*. COST Telecom Secretariat, European Commission (Brussels, Belgium, 1999).
- [13] Simulador OMNET <http://whale.hit.bme.hu/omnetpp/>
- [14] The Network Simulator NS- 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

<sup>4</sup>En el modo de funcionamiento operativo de UMTS, todos los servicios acceden a toda la capacidad. Sin embargo a efectos de planificación es conveniente realizar segregación de tráfico, en forma de segregación de los factores de carga, para garantizar el GoS individual de cada servicio, hasta disponer de modelos verificados de agregación de tráfico