

Software de planificación de sistemas celulares CDMA basado en Matlab.

Elena Olmo, Pablo Martínez Olmos, Luis Salamanca Miño, Juan José Murillo Fuentes
elenaoc@gmail.com, olmos@us.es, salamanca@us.es, murillo@us.es

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.

Abstract—In this paper, we present a simple tool for the radio planning of a cellular CDMA network. Hereafter, we refer to it as P-UMTS. It has been developed under Matlab® environment for teaching purposes. The user can choose an arbitrary map and then set the CDMA access, radio devices and traffic features of the cellular network. Once the design has been completed, the user can also run simulations to test the behavior of the cellular system under several traffic conditions. The main objective of P-UMTS is to provide coverage analysis and statistics about not served users. Although P-UMTS has not the potential of commercial applications, it provides the user with deeper understanding about cellular CDMA networks and its planning.

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta una herramienta para realizar el dimensionamiento y posterior estudio mediante simulación de la calidad del mismo en términos de usuarios no servidos o bloqueados. En adelante nos referiremos a la aplicación como P-UMTS (*Planning-UMTS*). Dicho software ha sido desarrollado con fines docentes y pretende dar una visión práctica en temas de diseño de redes celulares. La utilización de herramientas autodidactas y que aporten un mayor grado de practicidad se ha tornado como un aspecto crucial para la incorporación del sistema Universitario Español al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). La aplicación P-UMTS es de código abierto aunque ha sido desarrollada en Matlab®. A diferencia de un entorno de simulación de gran profundidad de análisis en cuanto a métodos y posibilidades de simulación, el software que presentamos en este artículo no tiene como finalidad lograr un potencial similar, sino enfatizar los conceptos básicos de planificación de sistemas celulares basados, en particular, en las tecnologías de acceso CDMA: capacidad, grado de servicio, interferencia interna y externa o *cell breathing*, entre otros.

La organización del presente artículo es la siguiente: a continuación realizamos una breve introducción al sistema de acceso múltiple CDMA para en la sección III repasar los conceptos básicos de planificación radio en CDMA y cómo éstos se llevan a cabo utilizando la herramienta de trabajo desarrollada.

II. FUNDAMENTOS DE CDMA.

El diseño de una red celular CDMA es más complejo que el diseño de una red con acceso múltiple TDMA. CDMA es una técnica de espectro ensanchado en la cual todos los usuarios utilizan simultáneamente el mismo ancho de banda

para transmitir, independientemente de la tasa binaria que utilice cada uno. La señal de información, con una tasa de símbolo R_s , se multiplica por una secuencia de ensanchado de tasa binaria R_c . El acceso múltiple se consigue mediante la utilización de códigos ortogonales que conforman la señal de información de cada usuario (DS-SS-SSS), de tal forma que, para el receptor correspondiente, las transmisiones del resto de usuarios se manifiestan como ruido aproximadamente blanco y aditivo. Dicho proceso puede apreciarse en la figura Fig.1. U_i representa al usuario i -ésimo y C/I (dB) es la relación portadora a interferencia en el receptor.

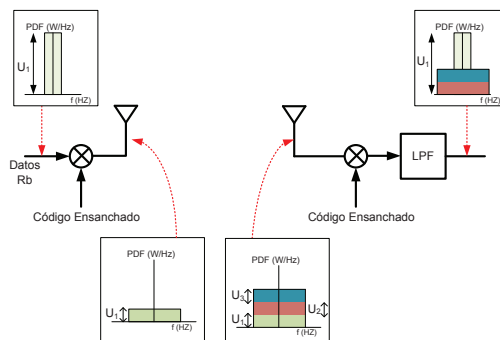


Fig. 1. Acceso múltiple CDMA

Si el tiempo de chip se mantiene constante, se consiguen distintos regímenes binarios variando la relación R_c/R_s . Este es el caso de UMTS y para el que se ha diseñado la aplicación P-UMTS. Tanto la tasa demandada como el número de usuarios condicionan la interferencia en cada receptor, limitada por la máxima relación C/I (dB) permitida. Por tanto, a medida que el tráfico por estación crece, aumenta el nivel de interferencia y los radios efectivos de cobertura se reducen, es lo que se conoce como *cell breathing* [1].

III. PLANIFICACIÓN SISTEMAS CELULARES CDMA CON EL SOFTWARE DESARROLLADO.

La planificación radio tiene por finalidad realizar los cálculos de cobertura y capacidad con objeto de optimizar el despliegue de estaciones base. En razón al despliegue predominante en la actualidad del sistema UMTS-FDD, P-UMTS ha sido implementado para sistemas CDMA que utilicen distintas bandas para los enlaces ascendente (UL) y descendente (DL). En esta sección comentaremos las distintas

etapas en las cuales dividimos el proceso de planificación y simulación de una red celular con acceso múltiple CDMA. Simultáneamente se introducirá la herramienta P-UMTS para ilustrar dichos procesos.

A. Caracterización del entorno

La caracterización del entorno es el primer paso en la planificación de la red celular. Definir el tipo de terreno (urbano, suburbano, rural...) es un parámetro fundamental para el cálculo de la cobertura de cada celda. Será necesario también una estimación del tráfico basada en métodos empíricos en cuanto a densidad clientes y tipos de servicio esperados en cada zona.

La pantalla principal de la aplicación P-UMTS nos permite el acceso a la herramienta *Map creator* desde la barra de menús, que nos permite cargar un mapa de bits sobre el cual definiremos los distintos tipos de terreno mediante zonas rectangulares, cada una de las cuales se diferencia con un color distinto. En la figura Fig.2 se muestra un ejemplo de mapa cargado sobre el que se ha definido un terreno base, en este caso suburbano (claro), y una zona central de terreno urbano (oscuro). La aplicación nos pide también las dimensiones del mapa cargado, para posteriores cálculos.

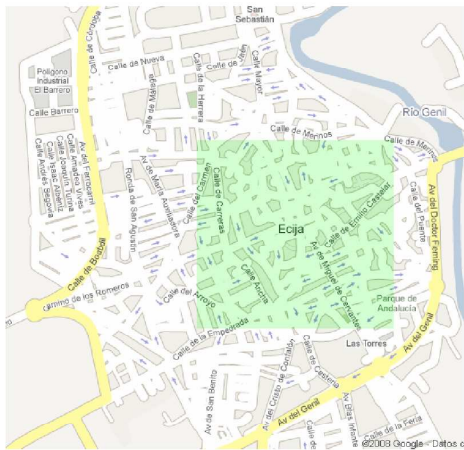


Fig. 2. Mapa cargado y definición del terreno

B. Análisis capacidad y balance de enlaces

A diferencia de un sistema con acceso múltiple TDMA, en CDMA cobertura, tráfico cursado y distribución geográfica de los usuarios están relacionados entre sí, con lo que la planificación es más compleja y, generalmente, se recurre a simulaciones.

Para garantizar unos objetivos de cobertura, un determinado despliegue sólo será efectivo si el tráfico cursado se ajusta a los parámetros de diseño. Los valores de capacidad y cobertura deben garantizar el cumplimiento del requisito de calidad de recepción en todas las ubicaciones del escenario de

planificación. Lo que se traduce en que el valor e_b/n_0 debe ser superior a un mínimo que depende del tipo de servicio [1]:

$$\frac{(P_{tik}G_i/A_{ij})/R_k}{(I_{ext} + I_{int} + N)/W} \geq (e_b/n_0)_k, \quad (1)$$

donde P_{tik} es la potencia del transmisor i -ésimo para el servicio k -ésimo, G_i es la ganancia de dicho transmisor, A_{ij} son las pérdidas de propagación para llegar al usuario j -ésimo, R_k es la tasa binaria del servicio, I_{ext} e I_{int} son las potencias de interferencia extra-celular e intra-celular, N la potencia de ruido y W el ancho de banda.

La capacidad se define como la intensidad de tráfico (A, medido en Erlangs) que puede cursarse en una celda, con un grado de servicio (GoS), y puede no alcanzarse (condición de bloqueo) con probabilidad p_{out} . Ésta ha de estudiarse para ambos enlaces de forma independiente. La capacidad en el enlace ascendente, para un determinado objetivo de calidad, está determinada por el número de elementos de procesado en la estación base, K , y la interferencia total en dicho enlace. Ésta puede expresarse como [5]:

$$I_{total} = I_{ext} + I_{int} \propto \frac{1}{1 - X_{UL}}, \quad (2)$$

donde X_{UL} es el factor de carga del enlace ascendente, que depende del número de usuarios de cada servicio. El modelo Viterbi-1995 [3] nos permite obtener la intensidad de tráfico máxima (A) en función de la probabilidad de desbordamiento p_{out} , el factor de carga X_{UL} , el número de elementos de procesado K y la relación e_b/n_0 requerida por el servicio. La capacidad en el enlace descendente está limitada por la potencia máxima disponible en la estación base para canales de tráfico. En este caso, se utiliza el modelo de Viterbi-Gilhausen.

Supuesto que la cobertura es sectorizada y el diámetro del sector es d se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{8A}{3\sqrt{3}\rho}}, \quad (3)$$

donde ρ (Erlang/ Km^2) es la densidad de tráfico prevista durante la etapa de caracterización del entorno.

Finalizado el análisis de capacidad, a continuación hay que analizar la viabilidad desde el punto de vista radioeléctrico, realizando un balance de potencia en cada enlace. Los balances de enlace permiten determinar los niveles de potencias y alcances en las células, suponiendo unas condiciones de propagación genéricas. De nuevo se analizan separadamente el enlace ascendente y descendente, escogiendo el valor más restrictivo entre ambos para cada tipo de servicio. Un análisis exhaustivo del balance de potencias puede encontrarse en [1] y [5].

Para realizar un análisis de capacidad y un balance de enlaces con la herramienta P-UMTS, debemos cargar un mapa previamente guardado con *Map creator*, para a continuación configurar todos los parámetros necesarios. P-UMTS utiliza un modelo de Okumura-Hata para el cálculo de las pérdidas de propagación. La configuración por defecto es la usual para la tecnología CDMA-UMTS y sólo faltaría configurar qué tipos

de servicio vamos a encontrar en cada zona. Podremos elegir entre servicios de voz y servicios de datos en modo circuito y paquete a distintas tasas. En la figura Fig.3 se muestra la ventana de configuración. Configuraremos la densidad de tráfico, ρ ($Erlang/Km^2$), por cada terreno y servicio seleccionando la opción correspondiente. Los servicios de tráfico de paquetes se han transformado en valores en Erlangs utilizando un modelo adecuado.

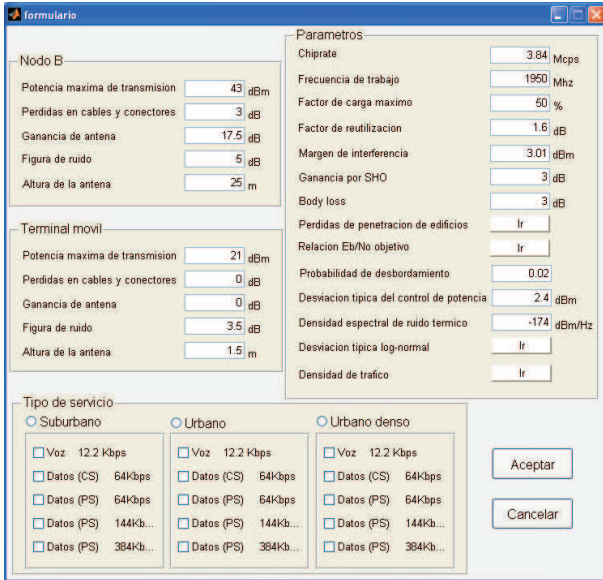


Fig. 3. Datos para el cálculo de la cobertura y capacidad

Una vez realizada la configuración de los parámetros, pasamos a realizar el cálculo de la distancia máxima entre emplazamientos según el tipo de terreno. Tenemos la posibilidad de calcular esta distancia utilizando análisis de capacidad, balance de enlaces o ambos métodos. Una vez realicemos el cálculo, seleccionamos la opción de mostrar resultados. En la figura Fig.4(a) se muestran los resultados obtenidos para el balance de enlaces y en Fig.4(b) para el análisis de capacidad, así como una tabla con los casos más restrictivos. Como podemos apreciar, en este caso el análisis de cobertura es el que limita la máxima distancia entre estaciones base (1.07 Km en terreno suburbano y 0.71 Km en terreno urbano).

C. Cálculo de las posiciones de las estaciones base

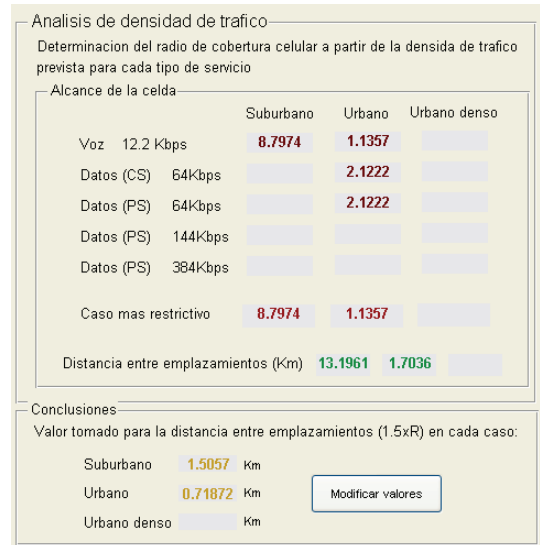
Con el valor de distancia obtenido para cada tipo de terreno, se determina la superficie de la célula y el número de emplazamientos de estaciones base necesarios, distribuyéndose éstos por la zona de estudio de manera que la separación entre ellos coincida aproximadamente con las distancias calculadas. La aplicación P-UMTS realiza una primera distribución de estaciones base de forma automática. Siguiendo con el ejemplo anterior, la aplicación nos mostrará la ventana de la figura Fig.5.

D. Simulación

La evaluación de las prestaciones de los sistemas de comunicaciones y la optimización de los mismos, se basa fun-



(a)



(b)

Fig. 4. Resultados balance de enlaces (a) y Resultados análisis de capacidad (b).

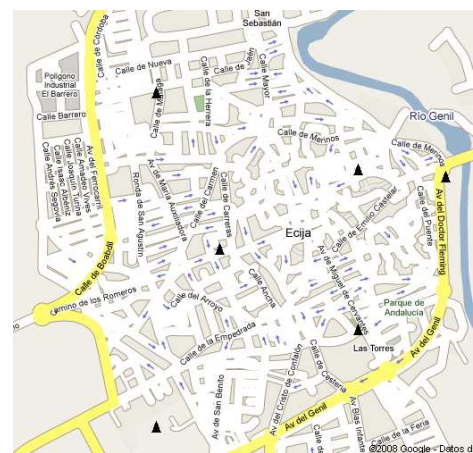


Fig. 5. Distribución de estaciones base en el mapa cargado

damentalmente en su modelado, bien en términos analíticos o bien apoyados en simulaciones que reproducen mediante programas de ordenador, con el grado de detalle deseado, y hasta donde sea posible, el comportamiento de los sistemas. En general el modelado analítico resulta complejo a poco que se usen modelos realistas.

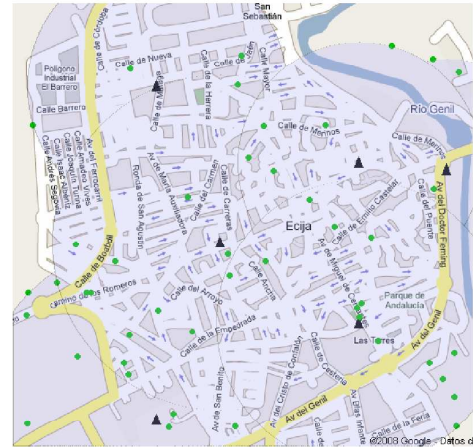
En P-UMTS se utiliza el modelo de simulación a nivel de sistema propuesto en [2]. Este modelo supone la consideración de un conjunto de situaciones instantáneas (snapshots) o muestras incorreladas de la posición de los móviles. Este tipo de simulación, si bien resulta apropiado para estimar valores medios de las potencias recibidas y sus varianzas, no permite analizar la evolución temporal de la potencia de los móviles. Esto presenta algunas dificultades, especialmente para el análisis de los traspasos y en el estudio del efecto de sombra (shadowing).

Una vez tenemos una primera distribución de las estaciones base en el mapa cargado, se abre el menú de simulación en la aplicación, donde introduciremos datos de densidad de usuarios o estaciones móviles (EM) y de servicios. Por defecto aparecerán los valores que se derivan de los datos que fueron utilizados en el cálculo del radio de la celda y que se corresponden con las condiciones de diseño del sistema. El objetivo es poder modificar dichos datos para analizar el comportamiento del sistema ante diferentes situaciones. También es posible ajustar el número de veces que se repetirá la simulación antes de obtener los resultados (método de Monte Carlo) y el error permitido en el bucle de ajuste de potencias. En el ejemplo, hemos configurado una densidad de usuarios en zona suburbana de 10 (EM/Km_2) y de 15 (EM/Km_2) en zona urbana. En ésta última, el 80% serán conexiones de voz y las dos conexiones de datos consideradas (64 kpbs en modo paquete y circuito) supondrán un 10% del tráfico cada una. En zona suburbana, únicamente consideramos servicios de voz.

Terminada la simulación, se mostrará sobre el mapa la ubicación de los usuarios del sistema simulados. Se mostrarán en color verde aquellos que hayan sido servidos y en rojo los que no. Aparecerá además un informe de simulación en el que se detallan el número de usuarios, totales y por tipo de servicio, presentes en el sistema, el número de usuarios servidos en cada caso y el porcentaje sobre las cifras totales. Los resultados de simulación para el ejemplo desarrollado en este artículo se muestran en la figura Fig.6. Como podemos ver, todos los usuarios han sido servidos satisfactoriamente.

IV. RESUMEN

En este artículo hemos presentado una herramienta, basada en Matlab [®], de planificación radio de entornos celulares con tecnología de acceso CDMA. Se han introducido también los conceptos básicos de dicha tecnología, así como el proceso de planificación, distinguiendo sus pasos fundamentales y cómo estos se plasman en la aplicación presentada. La aplicación ha sido desarrollada con fines docentes con el objetivo no de ofrecer al usuario un gran potencial en cuanto a métodos de simulación y de diseño, sino una sencilla herramienta para



(a)

| Resultado de la Simulación | | | |
|--|----------|-------------------|------------|
| Numero total de usuarios en el sistema: 45 | | | |
| Numero total de usuarios servidos: 45 (100%) | | | |
| Tipo de servicio | Usuarios | Usuarios servidos | Porcentaje |
| Voz 12.2 Kbps | 43 | 43 | 100 |
| Datos (CS) 64Kbps | 1 | 1 | 100 |
| Datos (PS) 64Kbps | 1 | 1 | 100 |
| Datos (PS) 144Kbps | | | |
| Datos (PS) 384Kbps | | | |

(b)

Fig. 6. Ubicación de usuarios (a) y tabla de resultados (b).

asimilar los conceptos básicos en la planificación de sistemas CDMA.

REFERENCES

- [1] J.M Hernando Rábanos, C. Lluch Mesquida *Comunicaciones Móviles de Tercera Generación UMTS* Telefónica Móviles España, 2ª edición, 2001.
- [2] V. Martínez, Leandro de Haro Ariet, J. Hernando Rábanos. *Sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación IMT-2000 (UMTS)*. Fundación Airtel Vodafone.
- [3] A. Viterbi, *Principles of Spread Spectrum Communication*. Ed. Addison-Wesley, 1995.
- [4] A. Viterbi, K. Gilhousen, E. Zehavi. *Soft Handoff Extend CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity*. Mobile Communications 1994: 541-551.
- [5] J. Maciej, A. Mischa Dohler and Hamid Aghvami. *Understanding UMTS radio network modelling, planning and automated optimisation : theory and practice*. Chichester : John Wiley & Sons, cop. 2006.