

# PLANIFICACION DE SISTEMAS 3G/4G MEDIANTE EL USO DE Q-ANÁLISIS

## ANDRES NAVARRO CADAVID

Director del Grupo i2t y Docente en la Universidad  
Icesi – Cali  
anavarro@icesi.edu.co  
COLOMBIA

### RESUMEN.

*La planificación de sistemas basados en CDMA, bien sea de tercera o cuarta generación, como es el caso del UMTS europeo o el CDMA-2000, implica enfrentarse al problema del comportamiento dinámico de éstos en cuanto a cobertura y capacidad. La planificación y la operación de estos sistemas implica para el operador enfrentar dos problemas el de la cobertura en el uplink, y el de pilot pollution en el downlink, así como la escasez de potencia para los servicios de gran ancho de banda. En este artículo se propone un método para planificar sistemas 3G/4G usando Q-análisis, una herramienta de la topología matemática desarrollada a principios de los años setenta por R. Atkin y otros. El principal elemento que se presentará es el vector de estructura, que es un invariante topológico que permite comparar dos sistemas y determinar cuál podrá tener un mejor comportamiento.*

### PALABRAS CLAVES

3G/4G  
B3G  
CDMA  
WCDMA  
UMTS

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de tercera generación (3G) y los que se han propuesto para la cuarta generación (4G) están basados en la tecnología CDMA, y aunque se empiezan a poner en servicio los primeros sistemas 3G, existen todavía cuestiones por resolver en su planificación y optimización. Tal vez uno de los mayores problemas es el del balance dinámico entre el up-link y el down-link en condiciones de carga alta o servicios con alta demanda de ancho de banda y el balance de carga entre celdas para compensar el efecto de "respiración" (cell breathing effect) debido al control de potencia.

En la literatura se encuentran usualmente dos etapas para la planificación de los sistemas 3G/4G, que consisten en una planificación inicial "estática" que implica varias iteraciones hasta que converge la capacidad inicial, y una planificación basada en simulaciones dinámicas que sigue a la planificación estática, como se muestra en [4] y [6]

Como se explica en [6], la simulación dinámica consume tiempo y recursos computacionales, por lo

que una planificación de un sistema complejo se hace muy larga y dispendiosa. Sin embargo, al ser el UMTS y el CDMA-2000 sistemas por naturaleza dinámicos, la opción más apropiada para hacer la planificación de éstos es la simulación dinámica.

El mecanismo semi-estático propuesto en [4] puede ser útil para tener una primera aproximación del sistema, sobre todo desde el punto de vista de cobertura inicial, pero no permite estimar el efecto del control de potencia sobre la cobertura de las celdas.

Por otro lado, para enfrentar el problema de la capacidad se han propuesto numerosas aproximaciones, como [8], [2], [7], pero todas éstas parten del supuesto de un sistema con coberturas regulares y no tienen en cuenta los efectos de la difracción de la señal en los edificios, que altera la forma de la cobertura y por ende la "estructura" del sistema.

En cuanto al problema del pilot pollution, también existen propuestas basadas en simulación como la de [5], [9] y [13] que intentan adaptar dinámicamente la potencia de los canales piloto del sistema para reducir el efecto mencionado.

En este artículo se plantea un mecanismo para planificar un sistema 3G/4G utilizando una herramienta de la topología matemática, el Q-análisis o dinámica poliédrica, que se valida por medio de simulaciones dinámicas. Se utilizan dos

invariantes obtenidos del Q-análisis, que son el vector de estructura ó Q-vector y el vector de números de Betti. Esta herramienta se puede utilizar tanto para la planificación inicial, estática como para la adaptación dinámica del sistema a las condiciones cambiantes de tráfico e interferencia Inter-celdas.

El artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se mencionan algunos antecedentes de planificación dinámica asociados al problema de pilot pollution. En la sección 3 se ilustran algunos conceptos básicos de Q-análisis y se define el vector de estructura o de Q-conectividad. En la sección 4 se muestra la relación del vector de estructura con la capacidad y se sugiere su utilización en la planificación dinámica del sistema CDMA. En la sección 5 se explica brevemente cuál sería la forma óptima del Q-vector respecto a la capacidad, y en la sección 6 se mencionan algunas conclusiones y trabajo futuro en esta línea de trabajo.

## 2 ALGUNOS ANTECEDENTES

En Laiho [4], y en Love [5], se describen dos métodos de autotuning para el canal piloto en UMTS, que igual se pueden aplicar a CDMA-2000. El primer método plantea medir el valor del canal piloto en los móviles, y verificar el porcentaje de reportes que estén por encima de un cierto umbral (EcIoThreshold). Si este porcentaje está por encima de un targetCPICHCoverage, entonces se reducen los niveles de potencia de los pilotos del sistema, si el valor está por encima, se aumentan las potencias de los pilotos. Este procedimiento se puede aplicar en forma individual a cada celda, como también propone Laiho. En el caso de Love, se propone un mecanismo de optimización que busca reducir el fenómeno de pilot pollution, y por ende incide positivamente en la capacidad del sistema Este algoritmo requiere tiempos de computo considerables.

Laiho también propone un mecanismo basado en SOM (Self Organizing Maps) para hacer optimización de la red, que requiere ejecutar varias iteraciones. El Q-vector nos da un indicador de optimización inmediato, sin aplicar extensos algoritmos iterativos.

## 3 CONCEPTOS DE Q-ANÁLISIS

El q-análisis permite formalizar un sistema en términos de las relaciones entre los elementos que lo conforman o símlices, que al relacionarse forman un complejo simplicial. Se puede decir entonces, desde este punto de vista descrito por

Atkin, que la estructura de un sistema se representa en forma geométrica y algebraica como un complejo simplicial, formado por los símlices de dimensiones particulares, dependiendo esto último de la información inicial del sistema y el nivel de su descripción matemática. El análisis del modelo del sistema se hace en cada nivel dimensional a través de las cadenas de conectividad las cuales conectan los símlices.

### 3.1 COMPLEJOS SIMPLICIALES

Símplice:

Sea  $\{a_0, \dots, a_n\}$  un conjunto geoméricamente independiente en  $R^N$ . Se define el n-símplice (o n-simplex)  $\sigma$  abarcado por  $a_0, \dots, a_n$  como el conjunto de todos los puntos  $x$  de  $R^N$  tal que:

$$x = \sum_{i=0}^n t_i a_i, \text{ donde } \sum_{i=0}^n t_i = 1$$

y  $t_i \geq 0$  para todo  $i$ . Los números  $t_i$  están unívocamente determinados por  $x$ ; estos son llamados coordenadas baricéntricas del punto  $x$  de  $\sigma$  con respecto a  $a_0, \dots, a_n$

Se puede también definir un símlice en términos de la generalización de una región tetraédrica del espacio a  $n$  dimensiones. La frontera de un  $n$ -simplex tiene  $(n+1)$  0-caras (vértices),  $n(n+1)/2$  1-

caras (bordes), y en general  $\binom{k+1}{i+1}$  i-caras, donde

$\binom{n}{k}$  es el coeficiente binomial.

El símlice recibe dicho nombre por ser el polytopo más sencillo en un determinado espacio.

Se define un *complejo simplicial*  $K$  en un conjunto finito  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  de vértices como un subconjunto no vacío del súper conjunto de  $V$  con la propiedad de que  $K$  es cerrado bajo la formación de subconjuntos. O sea que si  $\sigma \in K$  y  $\tau \subseteq \sigma$  entonces  $\tau \in K$ . Los elementos de  $K$  se llaman *símlices* o *caras*. La dimensión de un *simplex*  $\sigma$  es igual al número de vértices que lo definen menos 1. La dimensión de  $K$  es la máxima dimensión de todos los *símlices* en  $K$  y se denota como  $\dim K$  Un simplex formado por  $(d+1)$  vértices tiene dimensión  $d$  y se llama un  $d$ -simplex ( $\sigma_d$ ). Se puede decir que un simplex 0-dimensional es un punto, un simplex 1-dimensional es un segmento de línea recta, un

simplex bi-dimensional es un triángulo, un simplex 4-dimensional es un tetraedro, etc.

### 3.2 Q-CONECTIVIDAD

El concepto de  $q$ -conectividad, que da lugar al cálculo del vector de estructura ó  $Q$ -vector se define a continuación.

- Dos símlices  $\sigma$  y  $\tau$  están  $q$ -conectados, si existe una secuencia de símlices  $\sigma, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n, \tau$  tal que dos símlices consecutivos comparten una  $q$ -cara, o sea que tienen al menos  $q+1$  vértices en común. Esta cadena se llama una  $q$ -cadena.
- El complejo  $K$  está  $q$ -conectado si dos símlices cualesquiera en  $K$  de dimensión igual o superior a  $q$  están  $q$ -conectados.
- Un  $q$ -circuito en  $K$  basado en  $\sigma_0$  es una  $q$ -cadena que empieza y termina en  $\sigma_0$ . Un  $q$ -circuito  $\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_n, \sigma_0$  se denota como  $(\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_n, \sigma_0) = (\sigma)$ . Su longitud es  $n$ .

La  $q$ -conectividad es una relación de equivalencia, y un invariante topológico. Se asocia  $K$  a su  $Q$ -vector, un vector entero de longitud  $\dim(K)+1$ , cuya  $i$ -ésima celda es igual al número de clases de  $i$ -conectividad.

Una vez se tiene el sistema celular modelado como un complejo simplicial, el vector de estructura o  $Q$ -vector proporciona información acerca de los bloqueos y los niveles de conexión del sistema. Un sistema ideal, como el que muestra en la Figura 1 tiene un  $Q$ -vector de la forma: [1]. Esto significa que hay una alta conectividad en la dimensión uno, y además la dimensión del complejo que lo representa es uno, pues la máxima dimensión de los símlices que lo forman es uno.

Para un sistema no ideal, pero calculado con un modelo de propagación empírico, tipo Hata, como

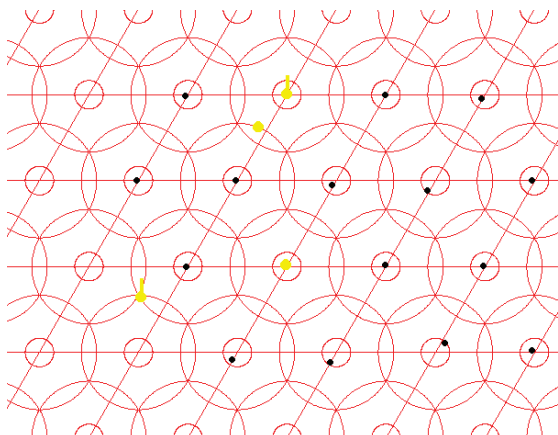


Figura 1 Sistema ideal

el que se muestra en la Figura 2 puede tener un  $Q$ -vector de la forma:  $[1, x]$ , donde  $x$  dependerá de la cantidad de traslapes que existan entre grupos de tres celdas.

## 4 EL Q-VECTOR EN LA CAPACIDAD

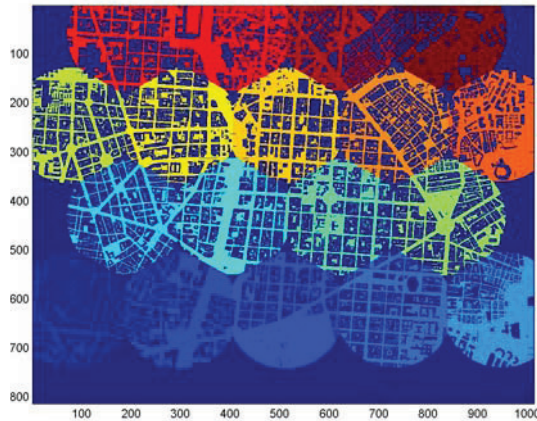


Figura 2 Mapa de mejor enlace sistema ideal con traslapes

La dinámica poliédrica, y en particular el vector de estructura, o  $Q$ -vector nos proporcionan información sobre la capacidad de un sistema CDMA y sobre que tan bien planificado puede estar inicialmente. Sin embargo, los sistemas CDMA son sistemas dinámicos, y por lo tanto es importante para un operador mantener el sistema funcionando en condiciones óptimas de cobertura y capacidad en todo momento.

Se han propuesto algunas alternativas para hacer que el sistema pueda reaccionar ante los cambios de tráfico, tanto en cantidad de tráfico como en tipo de tráfico, pues no es lo mismo el comportamiento que tendrá el sistema ante el tráfico RT de banda angosta que ante el tráfico RT de banda ancha (videoconferencia) o ante el tráfico NRT. Estas alternativas implican el monitoreo constante de los usuarios del sistema, con la consecuente carga de cálculo que esto implica para los diferentes elementos involucrados.

La planificación dinámica de un sistema basado en CDMA implica conocer de alguna forma su comportamiento dinámico para poder reaccionar ante los cambios de éste, por ejemplo aumentando o disminuyendo la potencia del canal piloto en función de la carga de la celda. Los sistemas actuales, utilizan diversos mecanismos que permiten conocer su estado, y podrían utilizarse también para lograr que el sistema reaccione adecuadamente ante los cambios en el tráfico.

Dichos mecanismos están actualmente asociados al control de potencia tanto en uplink como en downlink.

Si se conoce en un momento dado la cobertura original de una celda y la potencia de los terminales móviles, es posible calcular el vector de estructura del sistema y determinar la posible degradación del servicio, y por consiguiente reaccionar hasta que se consiga un vector de estructura adecuado, o se vuelva al vector inicial con el que se dimensionó el sistema.

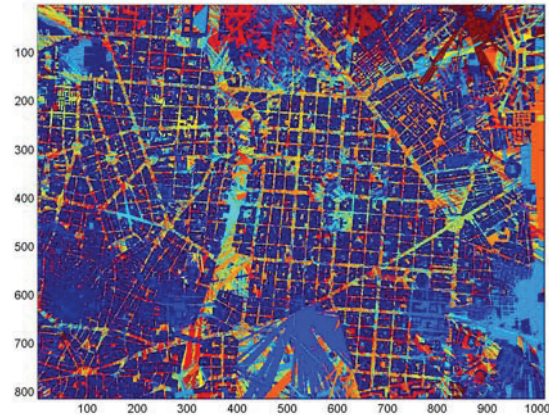
Para lograr esto, lo primero que hay que determinar es cuál sería un vector de estructura "adecuado" desde el punto de vista de capacidad y cobertura. Si se parte de un sistema ideal, se pueden considerar dos casos generales, que nos permiten determinar el vector de estructura "adecuado", el primer caso es el del sistema ideal con coberturas omnidireccionales y el segundo caso es el del sistema ideal con coberturas sectorizadas.

En el caso del sistema ideal con celdas omnidireccionales, podemos considerar dos situaciones también, la primera, como se ilustra en la Figura 1 es la del sistema basado en una retícula hexagonal perfecta, y la segunda tiene en cuenta los posibles traslapes entre más de dos celdas, que se podrían presentar y que implicarían la aparición de un elemento de conectividad en la segunda dimensión. Para el primer caso, el Q-vector del sistema sería de la forma  $Qv=\{1\}$ , y para el segundo caso, el Q-vector del sistema sería de la forma  $Qv=\{1,q\}$ , donde  $q$  representa el número de simples no conectados en la segunda dimensión. Si se parte de esta base, el Q-vector óptimo para determinar la máxima capacidad de un sistema, independientemente del modelo de propagación utilizado o de la forma de las coberturas, será aquel que se aproxime más al Q-vector del sistema ideal.

En la Figura 4 y en la Figura 5 se muestra la evolución en el tiempo de la capacidad del sistema Madrid 1, cuyo mapa de mejor enlace se muestra en la Figura 3 y del sistema ideal, cuyo mapa de mejor enlace se muestra en la Figura 2. El vector de estructura mostrado en la Tabla 1 para estos dos sistemas, muestra las diferencias en dimensiones y valor de los elementos del vector, que sugieren que a mayor número de dimensiones, peor será la capacidad del sistema.

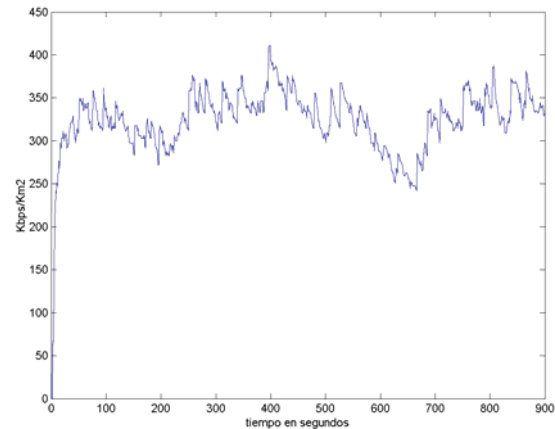
Para el caso del sistema sectorizado, cada sector va a representar un vértice del complejo, y esto dará un valor en el primer elemento del Q-vector asociado al número de sectores del sistema.

Adicionalmente, se obtendrán resultados diferentes si se considera sectorización perfecta o si se considera sectorización imperfecta. Si se considera sectorización perfecta, el Q-vector tendrá una sola dimensión. Si se considera sectorización imperfecta, el Q-vector tendrá al menos dos dimensiones,



**Figura 3 Mapa de mejor enlace Madrid 1**

posiblemente tres. Como se menciona en [11], la sectorización puede ser un factor que afecta la capacidad de forma diferente a la prevista por los modelos ideales, y esto se puede percibir con la forma del Q-vector.



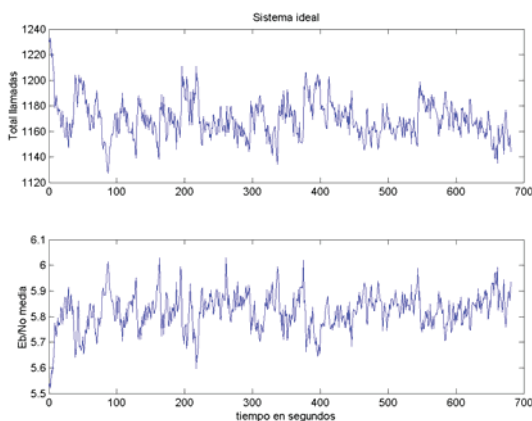
**Figura 4 Capacidad media del sistema Madrid 1 en el tiempo**

La Tabla 1 muestra el cálculo del vector de estructura para varios sistemas calculados en entornos reales, utilizando diferentes modelos de propagación. Para el cálculo de los sistemas ideales, se han utilizado antenas con sectorización imperfecta en el caso del sistema sectorizado. De esta tabla se puede ver que los sistemas que muestran la mayor capacidad, tienen vectores con menores dimensiones, así como los mayores



valores en los elementos del vector se asocian a mejor capacidad.

A partir de la información de coberturas del sistema, se puede obtener un vector de estructura inicial, que permita determinar las condiciones generales en las que podrá operar el sistema. El



**Figura 5 Capacidad media del sistema ideal en el tiempo**

sistema se puede planificar para que el vector de estructura inicial corresponda a la máxima capacidad teórica, evitando la ejecución de simulaciones dinámicas. Una vez se tiene el sistema "óptimo" en condiciones estáticas, cuando el sistema esté operando, habrá que calcular dos vectores de estructura, uno para el downlink y otro para el uplink. En condiciones ideales, se esperaría que los dos vectores sean similares o iguales, pero dada la asimetría que se suele presentar en algunos servicios de datos lo más frecuente será obtener vectores diferentes. Ese sería otro factor a considerar, pues aunque los vectores podrían ser diferentes, es importante determinar el grado de asimetría permitido en el sistema, de acuerdo a la asimetría de los servicios en uso.

## 5 LOS DOS CASOS A EVITAR EN UN SISTEMA ÓPTIMO

En un sistema CDMA, se pueden presentar dos situaciones que no son deseables, la primera es que exista demasiado solapamiento entre coberturas y por lo tanto el factor  $f$  (relación entre la interferencia intercelda y la intracelda) sea muy alto, castigando la capacidad. El otro caso es que se dimensione el tamaño de las celdas adecuadamente, pero bajo ciertas condiciones de carga se contraiga demasiado alguna celda y se cree algún agujero de cobertura, que puede representar caídas de llamadas, si el terminal no puede hacer handoff a alguna celda vecina.

System	Kbps/Km <sup>2</sup>	Eb/No	Q-vector
Munich S3	7.26E+03	7.8	{30,1,1}
Madrid 8	4.15E+03	13.46	{9,13}
Ideal	3.40E+03	5.8	{1,38}
Madrid 11	3.01E+03	8.9	{14,1,1,1,1,1,9}
Madrid 2	4.01E+03	20.6	{34,1,1,1,1,1}
Munich I	4.07E+03	7.9	{11,1,1}
Madrid 3	1.07E+03	6.2	{1,1,1,1,1,1,36}
Valencia 9	482.45	6.02	{2,1,1,1,1,2}
Madrid 5	1.57E+03	14.6	{2,1,1,1,1}
Madrid 1	188.3	2.23	{1,1,1,1,1,1,78}
Madrid 7	3.01E+03	4.3	{1,1,1,1,1,1}

**Tabla 1 Resultados de capacidad y Q-vector**

Por lo tanto, al usar el Q-vector, este nos debe dar la información necesaria para garantizar una cobertura adecuada y la máxima capacidad en la planificación inicial, y nos debe permitir identificar en que momento se presenta un agujero de cobertura en el sistema y dónde está dicho agujero.

El Q-vector como tal, nos permite identificar la existencia de agujeros, pero no nos permite localizar el agujero, por lo que es necesario recurrir a otro mecanismo que bien puede ser la matriz de incidencias directamente o el vector de Betti.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha mostrado brevemente la relación entre el vector de estructura y la capacidad de un sistema 3G/4G, así como su utilidad en la planificación inicial de dicho sistema evitando numerosos cálculos asociados a simulaciones dinámicas.

Así mismo se ha sugerido el uso de dicho vector en la optimización y planificación dinámica de sistemas 3G/4G.

El Q-vector por sí solo no entrega una información completa sobre la estructura de un sistema CDMA, por lo que se piensa en la necesidad de utilizar otros invariantes topológicos que permitan establecer la condición de suficiencia al determinar la similaridad entre sistemas parecidos en su estructura, como puede ser el vector de Betti, el segundo vector de estructura o la matriz de incidencias.

También es posible utilizar el vector de estructura como función de costo en la planificación "tradicional" de un sistema UMTS, reemplazando la función propuesta por [4].

## 7 REFERENCIAS

- [1] Gilhousen K., Jacobs I., Padovani R., Viterbi A., Weaver L. and Wheatley C., III, 1991, "On the capacity of a cellular CDMA system", IEEE Trans. On VT, Vol.40, No. 2, 303-312
- [2] Jung P., Baier W. and SEIL A., 1993, "Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in cellular Mobile Radio Applications", IEEE Trans. On VT, 42, N°3, 357-364
- [3] Viterbi A., 1993, "Elang Capacity of a Power Controlled CDMA System", IEEE JSAC, 11, N°6, 892-900
- [4] Laiho J., 2002. "Radio Network planning and optimization for UMTS". New York, Wiley.
- [5] Love R., Beshir K., Schaefer D. and Nikides R. "A Pilot Optimization Technique for CDMA Cellular Systems". IEEE VTS 50<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference, VTC Fall, Vol. 4, pp No.19-22, Sept. 1999
- [6] Hoppe B. and Lansdtorfer F. "Dynamic Simulator for Studying WCDMA Radio Network Performance". VTC spring 01.
- [7] Das K. and Morgera S. Interference and SIR in Integrated Voice/Data Wireless DS-CDMA Networks- A Simulation Study. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.15, No.8, October 1997.
- [8] Staehle D., Leibnitz K. and Heck C. "A Fast Prediction of the Coverage Area in UMTS Networks".
- [9] HANLY, Stephen. "An algorithm for Combined Cell-Site Selection and Power Control to Maximize Cellular Spread Spectrum Capacity". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.13, No.7, September 1995,pp. 1333-1340.
- [10] Eurescom. P921- D2. Guidelines For UMTS Radio Access Network Design. Project Deliverable. Consulted in <http://www.eurescom.de/~public-web-deliverables/P900-series/P921/D2/index.html> (accessed on may 2002)
- [11] Navarro A., Cardona N. "The influence of propagation model and sectorization over WCDMA capacity. Iasted Communication Systems and Networks (CSN 2002), September 9 –12 2002, Málaga. Spain.
- [12] Veeravalli V., and Sendonaris A. "The Coverage-Capacity Tradeoff in Cellular CDMA Systems". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.48, No.5, Sept. 1999
- [13] Amaldi, E., Capone A., Malucelli F. "Planning UMTS base station location: optimization models with power control and algorithms". Wireless Communications, IEEE Transactions on, Volume: 2 Issue: 5, Sept. 2003 Page(s): 939 -952.