

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA CELULAR JERÁRQUICO CDMA POR LA ASIGNACIÓN A CELDAS BASADA EN LA MOVILIDAD DE LOS USUARIOS

Aurelio Morales V., Fernando Tagle C.
Sección de Postgrado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
E-mail: ftaglec@ec-red.com

RESUMEN

Las microceldas son una solución conceptual a áreas con alta densidad de tráfico. Un sistema celular jerárquico (microceldas dentro de macroceldas) CDMA, en el cual todos los canales de tráfico son atendidos solamente por un único canal de radio en todas las celdas, y aplica soft handoff entre las celdas, muestra conectividad completa entre las microceldas y las macroceldas que las contienen sin degradación de la capacidad. Para mantener la tasa de handoff de un sistema celular como éste a un nivel aceptable, la movilidad de los usuarios debería ser usada para determinar la asignación a las celdas. En este trabajo, se estudia el incremento de capacidad de un sistema celular jerárquico CDMA debido a la asignación a celdas basada en la movilidad de los usuarios. Tal como se expone en [3], usuarios de movilidad lenta, con velocidad $v < V_0$ (V_0 =velocidad umbral), deberían ser asignados a microceldas, mientras que usuarios de movilidad rápida ($v > V_0$) deberían ser asignados a macroceldas. Por tanto, considerando el estudio anterior y las características de diseño propias de CDMA, un modelo es implementado, de cuya simulación en MATLAB son presentados los resultados junto con las conclusiones respectivas.

ABSTRACT

Microcells are a conceptual solution in areas with high traffic load. A hierarchical CDMA cellular system (microcells overlaid with umbrella macrocells), which shares the same frequency channel across the system (reuse pattern of one) and applies soft handoff between the cells, shown to have full connectivity between the microcells and the overlaying macrocells without capacity degradation. To keep the handoff rate in a two-tier cellular system at an acceptable level, users mobility should be utilized in cell assignment. In this paper, we study the increment of capacity of a hierarchical CDMA cellular system based on users mobility. As it is described in [3], low mobility users (with speed $v < V_0$ = velocity threshold) should undergo handoffs at microcell boundaries, while high mobility users (with speed $v > V_0$) should undergo handoffs at macrocell boundaries. Therefore, considering the previous study and the design characteristics of a CDMA Network, a model is implemented, and after its simulation with MATLAB, the respective results and conclusions are presented.

INTRODUCCIÓN

Tipos de microceldas

La radio comunicación celular fue diseñada para incrementar la capacidad teletráfica en un área de servicio determinado. La demanda para la atención está creciendo rápidamente, y en áreas densamente pobladas el servicio está alcanzando su límite. La solución obvia para el sistema es encoger el tamaño

de la celda y balancear el patrón de agrupamiento de las mismas; es decir, utilizar microceldas (Fig. 1).

Las microceldas se clasifican en [6]:

a) “*Hot Spots*”: Estas pueden ser áreas de servicio con una densidad de tráfico muy alta, o áreas cubiertas pobremente. Un *hot spot* está típicamente

aislado e incluido en un *cluster* de celdas más grandes.

b) Microceldas de la zona céntrica de una ciudad (*downtown microcells*): Presentes en áreas contiguas densas que atienden a peatones y móviles. Se encuentran típicamente en zonas urbanas y comerciales antiguas de calles angostas, con antenas localizadas muy por debajo de la altura de los edificios.

c) Celdas 3-D dentro de edificios: Atienden peatones y edificios de oficinas. Este ambiente se encuentra altamente atestado de usuarios, con una densidad extremadamente alta y movilidad de usuario relativamente baja (por ejemplo, un centro comercial) y un fuerte interés por el consumo de potencia de la unidad portátil.

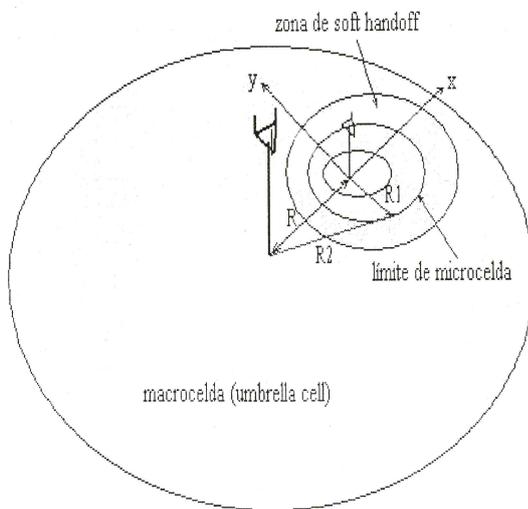


Fig. 1 Límite macrocelda/microcelda y la zona de soft handoff.

Microceldas en el sistema CDMA

Aunque el sistema CDMA no sufre de escasez de capacidad, la cual es la principal razón para el uso de microceldas, éstas sin embargo pueden ser la arquitectura de opción en ciertos casos, como por ejemplo, cuando solamente una banda limitada está disponible en el periodo de transmisión, o dentro de edificios, donde la cobertura puede llegar a ser un factor primordial.

El sistema CDMA es por tanto muy apropiado a esta arquitectura porque el uso de una frecuencia común y *soft handoff* alivia el gran problema de transferencia entre microceldas y entre micro- y macroceldas y elimina la necesidad de un complejo plan de frecuencias.

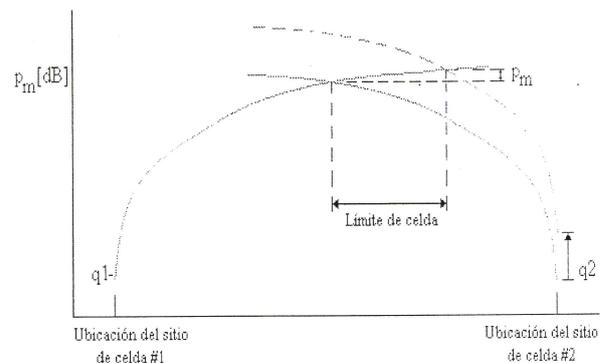


Fig. 2. El límite de celda.

Parámetros que gobiernan el tamaño de la celda

El límite de celda está definido en la intersección de las curvas de transmisión (Fig. 2). Las pendientes de estas curvas varían con la distancia desde el sitio de celda, y dependen ambas de las condiciones de propagación y de la colocación de la antena del sitio de celda, altura, y forma del haz. En un modelo genérico de terreno plano, la pérdida de transmisión promedio se mantiene constante a una distancia $R=1,4GH$, luego sigue una curva R^{-2} a $8H/\lambda$, y más allá, sigue una tendencia R^{-4} (G =producto de las ganancias de las antenas del sitio de celda y del móvil en el plano vertical, λ =longitud de onda de operación, H =altura de la antena del sitio de celda, y se asume la antena del móvil a 1,5 m). Una microcelda puede ser acomodada dentro de una macrocelda si sus curvas de transmisión se intersectan en ambos lados de la microcelda (Fig. 3). Nótese que el límite exterior de la microcelda se alarga cuanto más la diferencia en las pendientes de las curvas de transmisión de la microcelda y de la macrocelda son menores. Esto produce que la zona de *soft handoff* también se alargue más en esa dirección.

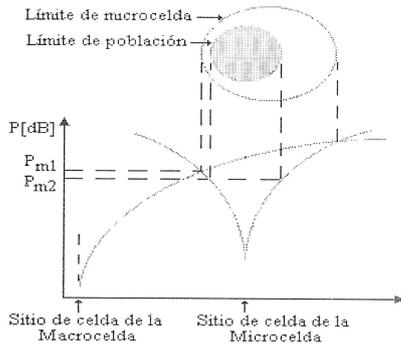


Fig. 3. Una microcelda dentro de una macrocelda.

Clustering de macroceldas – microceldas

El agrupamiento jerárquico de celdas es generalmente usado en tres situaciones: a) para emparejar la cobertura en áreas donde la topografía o las obstrucciones crean áreas sin servicio, b) para acomodar regiones con altas concentraciones de usuarios, y c) para acomodar redes locales privadas dentro de la cobertura de la red pública. Un *handoff* suave entre las celdas y entre la macro- y las microceldas es importante para propósitos de *roaming*. Esta es una tarea difícil de conseguir para sistemas que utilizan *hard handoff*. Inclusive cuando se usan esquemas móviles de *handoff* asistido (*mobile assisted handoff* – MAHO), un *handoff* suave a menudo no es fácil de lograr porque el límite entre las celdas no está definido tan claramente entre microceldas donde está dominado por la obstrucción, como el límite entre celdas grandes. Así, un gran margen de potencia es necesario en este sistema para vencer intentos “ping-pong” de *handoff* los que inadvertidamente reducen la capacidad. El *soft handoff* en CDMA asegura *handoffs* suaves debido a su diversidad de combinación entre las celdas sobre la zona de transición. La potencia es así reducida, en lugar de ser desplazada como en otros sistemas.

MODELO DE MOVILIDAD

Expuesto en [3], su análisis comprende el cálculo de la función densidad (*pdf*) y la función de distribución (*cdf*) del tiempo de permanencia en la celda donde se inició la llamada, y del tiempo de permanencia en

una celda arbitraria. Así, la tasa media de *handoff* saliente por móvil llamante, μ_H , es igual a:

$$\mu_H = \frac{2E[V]}{\pi r} \quad (1)$$

donde $E[V]$ es la velocidad media del móvil en la microcelda y r es el radio de la microcelda. La tasa entrante de *handoff* por microcelda, λ_H , es el producto de $E[C]$, el número medio de móviles llamantes en una microcelda, por μ_H , es decir:

$$\lambda_H = \mu_H E[C] \quad (2)$$

La velocidad media de los móviles en las microceldas, $E[V]$, se halla de la distribución de velocidad, $f(v)$, que se asume una función triangular con velocidades desde 0 a 20 m/s, tal como se aprecia en la Fig. 4.b. Así:

$$E[V] = \frac{\int_0^{V_0} v f(v) dv}{\int_0^{V_0} f(v) dv} \quad (3)$$

$$E[V] = \begin{cases} \frac{2}{3} V_0 & \text{para } V_0 \leq 10 \\ \frac{2}{3} \frac{V_0^3 - 30V_0^2 + 1000}{V_0^2 - 40V_0 + 200} & \text{para } 10 < V_0 \leq V_L \end{cases} \quad (4)$$

Ahora, si Λ es la carga total ofrecida a una macrocelda y a sus microceldas incluidas, λ_m es la carga ofrecida a la macrocelda, y λ_μ es la carga ofrecida a las microceldas, entonces $\Lambda = \lambda_m + c\lambda_\mu$, donde c es el número de microceldas. Así, de acuerdo con la tabla para probabilidad de bloqueo Erlang B, la carga ofrecida a una macrocelda de 10 canales de tal manera que $B = B_0 = 0,02$, es $\lambda_{m0} = 0,054$ Erlangs. Por lo tanto, fijando la carga y el bloqueo ofrecidos a la macrocelda a su máximo valor, y asignando la carga ofrecida restante $\Lambda - \lambda_{m0}$ a las c microceldas, los valores óptimos de la velocidad umbral, V_0 , pueden obtenerse a partir de $f(v)$:

$$V_0 = \begin{cases} 0 & \text{para } \Lambda \leq \lambda_{m0} \\ 10 \sqrt{2 \left(1 - \frac{\lambda_{m0}}{\Lambda}\right)} & \text{para } \lambda_{m0} < \Lambda \leq 2\lambda_{m0} \\ 20 - 10 \sqrt{\frac{2\lambda_{m0}}{\Lambda}} & \text{para } \Lambda > 2\lambda_{m0} \end{cases} \quad (5)$$

MODELOS DE SIMULACIÓN

La simulación realizada comprende dos casos:

Una microcelda (*hot spot*) dentro de una macrocelda.

a) Para la microcelda *hot spot*:

Considerando que no existe interferencia de celdas adyacentes, se tiene en [5] que, m =número de canales para la microcelda estará determinado por:

$$m_1 = \left(\frac{1}{C/I} + 1 \right) \quad (6)$$

Sin embargo, la relación portadora/interferencia, C/I , está en función de la ganancia de procesamiento, B/R_b , y de la relación entre la energía de bit y la densidad espectral de ruido, E_b/I_0 :

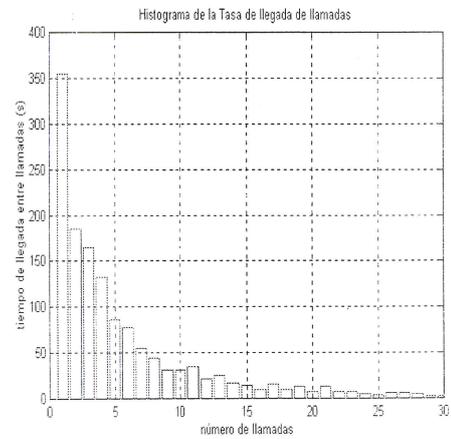
$$\frac{C}{I} = \left(\frac{E_b}{I_0} \right) \left(\frac{R_b}{B} \right) \eta \quad (7)$$

Si para un sistema CDMA se tienen: B =ancho de banda de la portadora=1,25MHz, R_b =velocidad de transmisión de datos=9600 bps, η =ciclo de actividad de voz=1, y si la relación mínima aceptable es $E_b/I_0=10$ dB, entonces en (7) se obtiene $C/I=-11,15$ dB. Finalmente, con $C/I=-11,15$ dB $\equiv 0,0767$ en (6) se tiene $m_1=14$ canales en la microcelda, de los cuales 10 son canales para nuevas llamadas o llamadas de *handoff*, y 4 sólo son para tráfico de *handoff*.

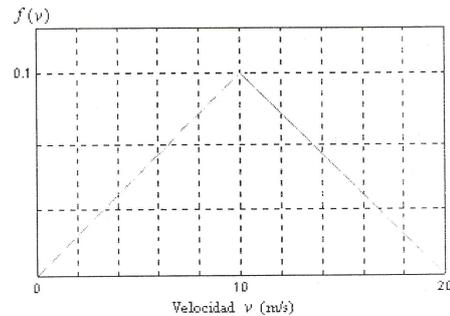
b) Para la macrocelda:

Considerando que sólo existe interferencia proveniente de las dos macroceldas más cercanas, se tiene que el número de canales para la macrocelda estará determinado por:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2 m_2 + \alpha_3 m_3}{\frac{1}{C/I} + 1 - m_1} \quad (8)$$



(a)



(b)

Fig. 4. (a) Histograma de la tasa de llegada de llamadas. (b) Distribución triangular de velocidad.

Así, tomando en cuenta los mismos valores para B , R_b , y η de la microcelda, pero considerando, al igual que en [2], $E_b/I_0=4,135$ dB como la relación mínima aceptable, de (7) se obtiene $C/I=-17$ dB. Ahora, si α =potencia transmitida por cada canal de voz en las celdas= $\alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=100$ mW, m_2 =canales de voz en la macrocelda n° 2 = 20, m_3 =canales de voz en la macrocelda n°3 = 21, y con $C/I=-17$ dB $\equiv 0,0199$, en (8) se obtiene $m_1=10$ canales en la macrocelda n° 1, que contiene a la microcelda *hot spot*. Finalmente, deben verificarse las siguientes condiciones expuestas en [2]:

$$m_1 + r_{12}m_2 + r_{13}m_3 \leq \frac{1}{C/I} + 1 \quad (9)$$

$$r_{21}m_1 + m_2 + r_{23}m_3 \leq \frac{1}{C/I} + 1 \quad (10)$$

$$r_{31}m_1 + r_{32}m_2 + m_3 \leq \frac{1}{C/I} + 1 \quad (11)$$

Por lo tanto, suponiendo $r_{ij} = 0,3$ (las porciones del número total de canales de voz en celdas adyacentes que interferirán con la señal deseada), se tienen: $22,3 < 51$; $29,3 < 51$; $30 < 51$.

De esta forma, en una primera simulación se utilizan 10 canales de tráfico tanto para la microcelda *hot spot*, como para la macrocelda que la contiene.

Tres microceldas de igual tamaño (CDMA uniforme) dentro de una macrocelda.

Para una segunda simulación se considera un *cluster* de tres microceldas de igual tamaño, con características similares a la microcelda *hot spot* descrita anteriormente. Sin embargo, tomando en cuenta los parámetros de diseño para el escenario de celdas uniformes expuestos en [2], es necesario verificar las condiciones de las ecuaciones (9), (10), y (11) para este *cluster* de tres microceldas, cada una con 10 canales para nuevas llamadas o llamadas de *handoff*, y 4 canales sólo para tráfico de *handoff* ($r_{ij} = 0,3$). Así, $14 + 0,3(14 + 14) = 22,4 < 51$, para cada una de las microceldas. La macrocelda que contiene este *cluster* de tres microceldas, tiene las mismas características de la macrocelda anterior, por lo tanto se le considera también con 10 canales de tráfico.

Para ambos casos se asume [3,6] que:

Las micro- y macroceldas son circulares con radio $r=300\text{m}$ y $R=3000\text{m}$ respectivamente, los móviles están uniformemente distribuidos en el sistema, la afluencia o tasa de llegada de llamadas se considera con distribución exponencial negativa (Fig. 4.a), el tiempo de ocupación de la llamadas se considera con distribución exponencial negativa (con valor medio=120 s.), la llegada de llamadas de *handoff* se

asume de tipo Poisson, la probabilidad de bloqueo es de $B_0=0,02$ (2%), la distribución de velocidad $f(v)$ es una función triangular con velocidades desde 0 a 20 m/s, las llamadas generadas por móviles con velocidad mayor a $V_L=17$ m/s no serán asignadas a microceldas.

Para generar variables aleatorias con distribución exponencial negativa se utiliza el *Método de Transformación Percentil* presentado en [4], donde para generar una secuencia aleatoria x_i se tiene: $x = -\lambda \ln(1-u)$. Debido a que $1-u$ es una variable aleatoria con distribución uniforme, entonces la secuencia $x_i = -\lambda \ln(u_i)$ tiene una distribución exponencial negativa.

IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

La simulación se realiza considerando una afluencia de llegada de llamadas en el intervalo de una hora (3600 s.), para luego ir incrementando la tasa de llegada de llamadas en sucesivos intervalos de una hora cada uno; de manera que cada una de las mediciones de probabilidad de bloqueo B y velocidad umbral V_0 se realizan considerando el tráfico generado en dichos intervalos. El programa simulado en MATLAB, comprende etapas que fueron probadas independientemente; es decir, de manera modular para luego ser probado en su totalidad. Estas etapas son:

- Generación aleatoria de llegada de llamadas.
- Generación aleatoria de velocidad (con distribución triangular) al móvil que generó la llamada.
- Asignación de llamada a macrocelda o microcelda: si la velocidad del móvil es mayor a la velocidad umbral V_0 , la llamada es asignada a un canal de la macrocelda. caso contrario se asignará a un canal de la microcelda. Si la llamada debía ser asignada a la macrocelda, pero todos los canales en ella están ocupados, la llamada será asignada a un canal de la microcelda.
- Generación aleatoria del tiempo de ocupación de las llamadas: Si la llamada es asignada a la microcelda, el tiempo de ocupación estará en función de la ecuación (1).

- Almacenamiento del tráfico generado: el tráfico generado tanto en la macrocelda como en la microcelda se almacenará progresivamente a medida que pasen los segundos, ya que su medida determinará el valor de V_0 durante el intervalo de una hora. El valor de V_0 está determinado por las desigualdades presentadas en la ecuación (5).

- Generación de llegada de llamadas de *handoff*: utiliza la ecuación (2); la asignación de estas llamadas se hará primero a canales para *handoff*, pero si éstos están ocupados en su totalidad, será asignada a un canal de tráfico de la microcelda.

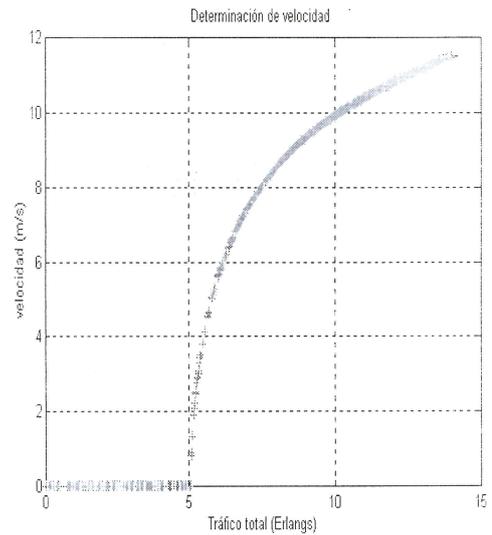
- Liberación de canales ocupados en la macro o microcelda: una vez transcurrido el tiempo aleatorio generado como tiempo de ocupación, el canal es liberado.

- Cálculo de la probabilidad de Bloqueo: la probabilidad de bloqueo del sistema será la relación entre el número total de llamadas bloqueadas y el número total de llamadas presentadas al sistema. De manera similar, se calcula para la macro o microcelda, según sea el caso.

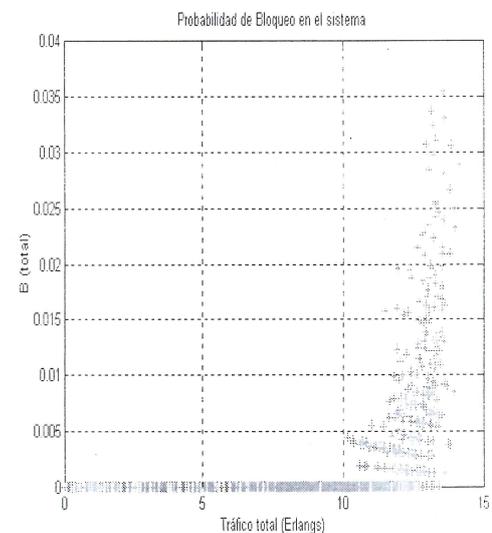
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una microcelda (*hot spot*) dentro de una macrocelda.

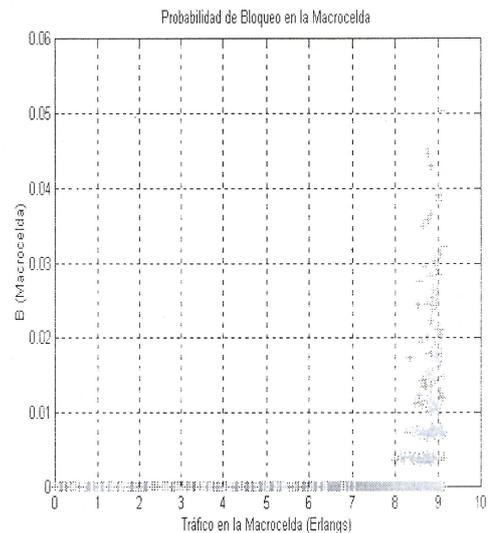
La Fig. 5.a muestra los valores óptimos de la velocidad umbral V_0 en función de diferentes cargas de tráfico ofrecidas. Para tráfico menor a 5,084 Erlangs (tráfico capaz de ser atendido por 10 canales al 2% de probabilidad de bloqueo – de acuerdo con la tabla de Erlang B) todas las llamadas pueden ser atendidas por canales en la macrocelda y la probabilidad de bloqueo de la macrocelda será $B_m \leq B_0 = 0,02$. El valor óptimo de V_0 , de manera que la tasa de *handoff* λ_H es mínima, es $V_0 = 0$. A medida que el tráfico se incrementa, el valor óptimo de V_0 también se incrementa para limitar el número de llamadas atendidas por la macrocelda, de tal forma que la probabilidad de bloqueo en la macrocelda sea igual a B_0 . El rango de posibles valores de V_0 decrece a medida que la carga se incrementa, hasta Λ_L , la máxima capacidad del sistema de tal manera que $B_m \leq B_0$ y $B_\mu \leq B_0$.



(a)



(b)



(c)

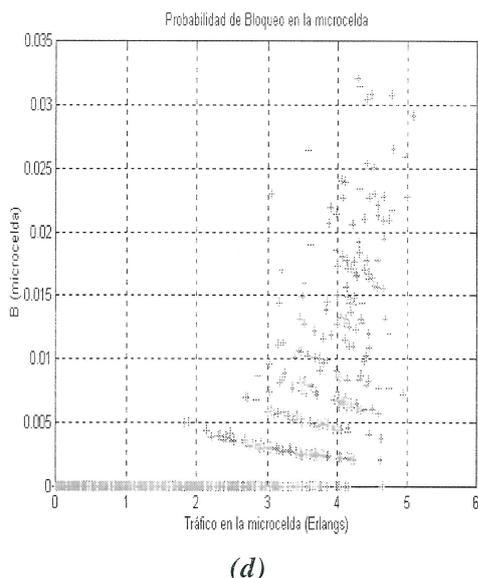


Fig. 5. (a) V_0 [m/s] vs tráfico total[Erlangs]. (b) B_{sis} vs tráfico total[E]. (c) $B_{macrocelda}$ vs tráfico en la macrocelda[E]. (d) $B_{microcelda}$ hot spot vs tráfico en la microcelda[E].

En la Fig. 5.b se puede observar que $\Lambda_L \approx 12,5$ Erlangs, y en la Fig. 5.c, para un tráfico superior a 8,5 E aprox., la probabilidad de bloqueo es superior a 0,02 (2%). De acuerdo con la tabla de Erlang B, si la probabilidad de bloqueo es de 2% y el tráfico de 8.5 E, el número de canales que podría atender esta carga es de 14; es decir, que a pesar de que en la simulación la macrocelda contó con 10 canales, su desempeño fue similar a tener 14. Este incremento de capacidad se debe a que el programa de simulación contemplaba que si todos los canales de la macrocelda estaban ocupados, una llamada posterior era asignada a un canal libre en la microcelda.

Por otro lado, en la Fig. 5.d se observa que para un tráfico superior a 4 E (aprox.), la probabilidad de bloqueo supera el valor de 0,02. De acuerdo con la tabla de Erlang B, si la probabilidad de bloqueo es de 2% y el tráfico de 4 E, el número de canales que podría atender esta carga es de 9; es decir, que a pesar de que la microcelda contó con 10 canales, su desempeño fue similar a tener 9. Esta reducción de capacidad se debe no sólo a lo expuesto en el párrafo anterior, sino también a que en la simulación los canales de tráfico de la microcelda debían atender a aquella llamada de *handoff* que encontrase bloqueados todos los canales reservados para

handoff. Si deseamos considerar la capacidad total del sistema; tenemos que sumar los 5,084 E que podrían atender los 10 canales de tráfico de la macrocelda, más los 5,084 E que podrían atender los 10 canales de tráfico de la microcelda; es decir, 10,168 E.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, de los resultados de la simulación se obtuvo una máxima capacidad del sistema $\Lambda_L \approx 12,5$ E; es decir, un incremento aproximado del 20% en relación al valor de 10,168 E.

La pérdida de llamadas de *handoff* es prácticamente nula para valores de velocidad umbral $V_0 \leq 11$ m/s (V_0 para $\Lambda_L \approx 12,5$ E) tal como se presenta en la Fig. 7.a.

La asignación de usuarios de acuerdo con la velocidad del móvil, reduce la probabilidad de bloqueo de llamadas de *handoff*; sin embargo, cuando se alcanza la máxima capacidad del sistema, la pérdida de llamadas de *handoff* es superior a B_0 .

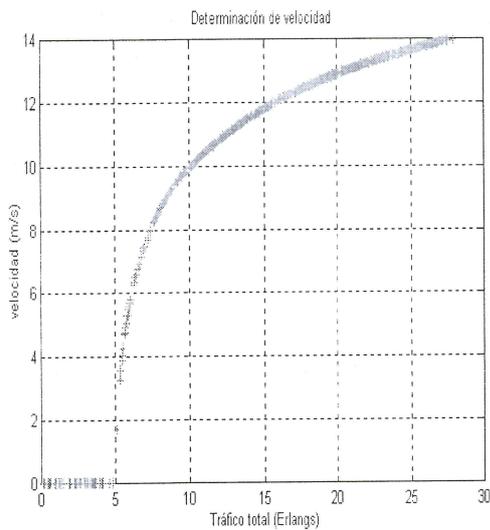
Tres microceldas de igual tamaño (CDMA uniforme) dentro de una macrocelda.

De manera similar al caso anterior, la Fig. 6.a muestra que para tráfico menor a 5,084 E todas las llamadas pueden ser atendidas por canales en la macrocelda y la probabilidad de bloqueo de la macrocelda será $B_m \leq B_0 = 0,02$.

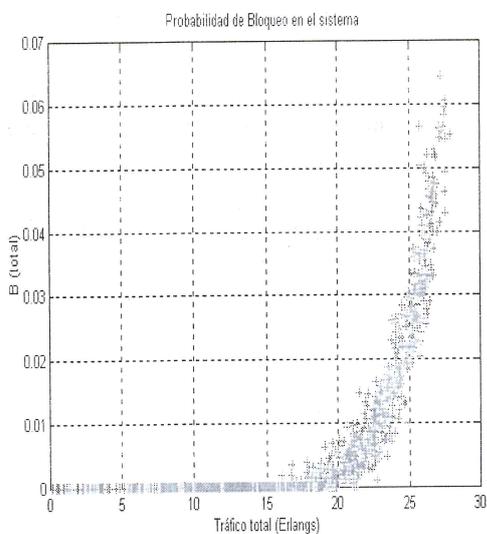
El rango de posibles valores de V_0 decrece a medida que la carga se incrementa, hasta Λ_L , la máxima capacidad del sistema de tal manera que $B_m \leq B_0$ y $B_\mu \leq B_0$.

En la Fig. 6.b se observa que $\Lambda_L \approx 24$ E, y en la Fig. 6.c, puede apreciarse que para un tráfico superior a 9 E (aprox.) la probabilidad de bloqueo es superior a 0,02.

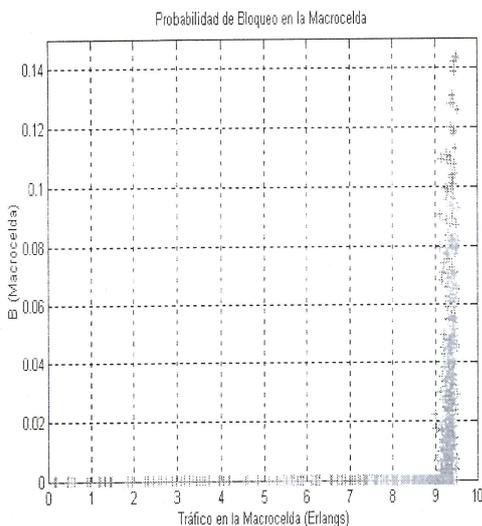
De acuerdo con la tabla de Erlang B, son 15 los canales que podría atender esta carga con una probabilidad de bloqueo de 2%; es decir, que a pesar de contar la macrocelda con 10 canales, su desempeño fue similar a tener 15. La razón de este incremento es la misma que en el caso anterior.



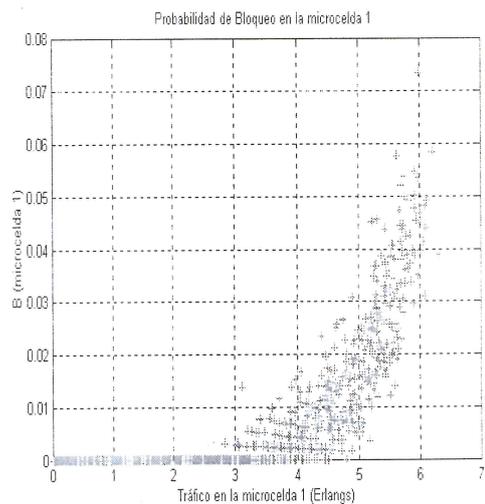
(a)



(b)



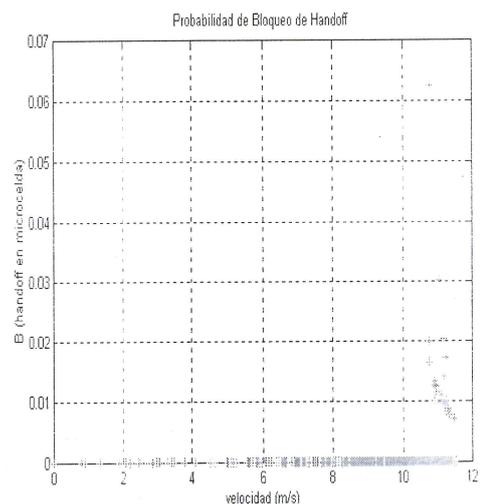
(c)



(d)

Fig. 6. (a) V_0 [m/s] vs tráfico total [Erlangs].
 (b) B_{sis} vs tráfico total [E].
 (c) macrocelda vs tráfico en la macrocelda[E].
 (d) $B_{microcelda}$ vs tráfico en la microcelda[E].

Por otro lado, para una de las microceldas uniformes, en la Fig. 6.d se observa que para un tráfico superior a 5 E aprox., la probabilidad de bloqueo supera el valor de 0,02. De acuerdo con la tabla de Erlang B , son 10 los canales que podría atender esta carga con una probabilidad de bloqueo de 2%; es decir, que a pesar de que los canales de tráfico de las microceldas debían atender llamadas que encontrasen todos los canales de la macrocelda ocupados y llamadas de *handoff* que encontrasen bloqueados todos los canales reservados para *handoff*, la capacidad de las microceldas no se redujo sustancialmente.



(a)

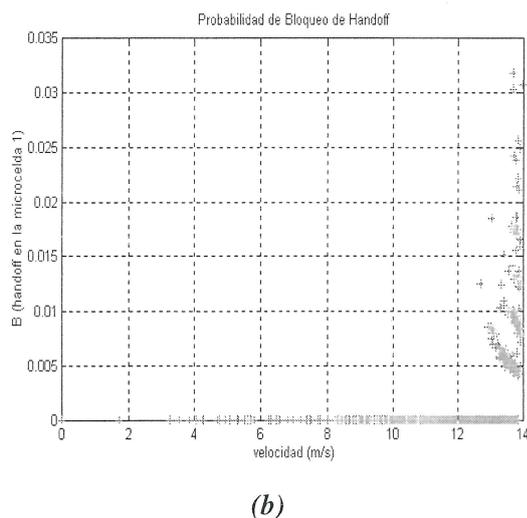


Fig. 7. (a) $B_{handoff}$ en la microcelda hot spot vs velocidad[m/s]. b) $B_{handoff}$ en una microcelda vs velocidad[m/s].

Igual que el caso anterior, para considerar la capacidad total del sistema, tenemos que sumar $5,084 E + 3 \times (5,084 E) = 20,336 E$. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, de los resultados de la simulación se obtuvo una máxima capacidad del sistema $\Lambda_L \approx 24 E$; es decir, un incremento aproximado del 20%, igual valor al caso de una sola microcelda hot spot dentro de una macrocelda.

En las 3 microceldas uniformes, la pérdida de llamadas de handoff es prácticamente nula para valores de velocidad umbral $V_0 \leq 13,5$ m/s (V_0 para $\Lambda_L \approx 24 E$) tal como se presenta en las Fig. 7.b para una de ellas.

CONCLUSIONES

La densidad es frecuentemente no uniforme y también las condiciones de propagación en áreas con alta densidad de tráfico. Esto conduce a un agrupamiento heterogéneo de celdas y a entrelazar los límites de las celdas. Estas son condiciones no favorables para sistemas que cuentan con asignación de frecuencias y *hard handoff* (FDMA, TDMA) debido a que reducen su eficiencia nominal. Sin embargo, explotan muy bien las características únicas del sistema CDMA: la densidad no uniforme ayuda a incrementar la capacidad; y el *soft handoff* se ajusta a límites de celda irregulares.

El uso de una frecuencia común en todo el sistema y la aplicación de *soft handoff*, no sólo alivia el problema de traspaso entre microceldas y entre micro y macroceldas, sino también elimina la necesidad de un complejo plan de frecuencias.

De la simulación se verifica que para ambos casos la capacidad total del sistema se incrementa en un 20%. En el caso de la microcelda hot spot, su capacidad se ve reducida; sin embargo, en el caso de las tres microceldas uniformes, la capacidad de cada una de ellas no se altera. Así, podemos concluir que a un mayor número de microceldas incluidas en una macrocelda, la capacidad de aquellas no se verá afectada sustancialmente.

La selección de micro-macro-celda basada en la movilidad de los usuarios utilizando una velocidad umbral V_0 , mantiene reducida la tasa de handoff, y en consecuencia la probabilidad de bloqueo de llamadas de handoff, tal como se aprecia en los resultados de la simulación.

Extender las características de la simulación a un sistema entero de macroceldas incluyendo microceldas es un problema desafiante e interesante; considerando además, el sobreflujo de tráfico de microceldas a macroceldas, así como *handoffs* entre las mismas (*hand up* y *hand down*).

Mayor trabajo es necesario para establecer las utilidades prácticas y para eliminar las simplificaciones derivadas de ciertas suposiciones en el análisis. Así mismo, también un mayor trabajo de *performance* es requerido para mostrar que el esquema trabaja bien para modelos de movilidad más realísticos.

REFERENCIAS

1. **Electronic Industries Association** "TR 45: Mobile Station – Base Station Compatibility Standard for Dual mode Wideband Spread Spectrum Cellular System," PN-3118, (Dec. 1992).
2. W. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications – Analog and Digital Systems", 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., New York (1995).

3. **S. Nanda and K.L. Yeung**, "Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 45, No.4, pp.601-611 (Nov. 1996).
4. **A. Papoulis**, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", 3rd Edition, McGraw-Hill Inc., New York (1991).
5. **T. S. Rappaport**, "Wireless Communications - Principle & Practice", Prentice-Hall, New Jersey (1996).
6. **J. Shapira**, "Microcell Engineering in CDMA Cellular Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, N^o.4, pp. 817-825, (Nov. 1994).
7. **TIA/EIA Interim Standard-95**, "Mobile Station – Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System," (July 1993).

RESEÑAS BIOGRÁFICAS

ESPINOZA PAREDES, RAFAEL L.

Nació en Arequipa en 1949, allí estudió la educación primaria y secundaria. Realizó sus estudios profesionales en Ingeniería Mecánica en la UNI (1968 - 1973) y ha realizado estudios de Post-grado en Economía y Planificación Energética en el IDEE de San Carlos de Bariloche (1988). Es profesor principal a dedicación exclusiva de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI, en donde labora desde 1973 hasta la fecha, y Director del Centro de Energías Renovables (CER).

HUMANCHUMO DE LA CUBA, LUIS

Nació en Lima, el 07 de diciembre de 1966. Economista de la Universidad del Pacífico y Licenciado en Estadística de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se inició en el Campo de la investigación en el Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico, continuando su exitosa carrera científica en instituciones públicas y privadas. Es especialista en estudios econométricos y psicométricos para predecir el comportamiento del consumidor. Docente de vocación, actualmente es profesor en la Escuela Profesional de Ingeniería Estadística en la UNI y funcionario de la Gerencia del Poder Judicial donde actualmente desarrolla el Sistema de Información Estadístico.

LA ROSA TORO GOMEZ

Egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, obtuvo su título en el año 1985 como Ingeniero Químico. Actualmente es Profesor Principal de la Facultad de Ciencias y responsable del Laboratorio de Electrónica Aplicada. Realizó su Maestría en Ciencias, con mención en Química en el 2002, en la Facultad de Ciencias de la UNI, Doctorándose en la Universidad de Alicante - España, en Electroquímica Ambiental.

MORALES V., AURELIO

Recibió el grado de M.Sc. Actualmente es docente de Pregrado y de la sección de Post-grado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Sus áreas de interés comprenden los sistemas digitales y la arquitectura de computadoras. Trabaja para Telefónica Sistemas S.A.

MUÑOZ VARA, EDDIE RAÚL

Obtuvo el grado de Bachiller en Ingeniería Electrónica en el año 1999 - II en la Universidad Ricardo Palma. Tiene estudios de post-grado en Telecomunicaciones INICTEL, y es candidato a Maestro en Ciencias con mención en Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UNI. Actualmente se desempeña como Analista de Sistemas en Telefónica del Perú.

RAMOS CHAYA, MIGUEL

Nació en Lima en 1971. Estudios en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde obtuvo el grado académico de Bachiller en Ciencias, especialidad en Ingeniería Mecánica en 1997. Desde 1996 presta servicios profesionales en el Centro de Energías Renovables (CER - UNI). Ha participado en congresos nacionales e internacionales, exponiendo trabajos de investigación.

ROJAS SACRAMENTO, GREGORIO

Nació en el distrito de Colpas, provincia de Ambo, Huanuco, el 28 de noviembre de 1958. Realizó sus estudios superiores de Lengua, en la Universidad Nacional de Educación «Erique Guzmán y Valle» - La Cantuta, donde optó el título de Licenciado en

Lengua Española e Idioma; terminando sus estudios de Maestría en Ciencias de la Educación con mención en Lengua Española. Posteriormente, en 1992 cursó postgrado en Lingüística y La Metodología del Trabajo Intelectual Universitario. En la Universidad Nacional de Ingeniería brinda sus servicios en el Proyecto de Investigación de Quechua; tiene varias investigaciones sobre las lenguas andinas y la lingüística y la investigación científica.

SOTO LOCK, ALBERTO

Nació en Lima en 1961. Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional de Ingeniería, titulado en el año 1992. Realizó su Maestría de Ingeniería

Eléctrica en el año 1977 en la Universidad Federal de Río de Janeiro. Actualmente se encuentra realizando diseños de UPS Controlado por DSP, en el Laboratorio de Electrónica de la FIEE.

TAGLE C. FERNANDO

Recibió el grado académico de Bachiller en Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú, en 1995. Actualmente está completando los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias con mención en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería. Sus áreas de investigación incluyen comunicaciones móviles y análisis de tráfico.

Esta revista se encuentra a la venta en el Instituto General de Investigación.
Pabellón Central 2^{do} piso, Oficina B1-255 Universidad Nacional de Ingeniería.
Av. Túpac Amaru N° 210, Rímac. Telf 481 8395