

Reducing Energy Consumption in a Cellular Network

Odete Espino¹, and Héctor Poveda, PhD¹

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, odete.espino@utp.ac.pa, hector.poveda@utp.ac.pa

Abstract— Currently, there has been an increased use of mobile communications devices. This makes necessary to increase the number of base stations in the cellular network so users' service quality is not affected. However, this increase in number of base stations results in an increase in power consumption of the cellular network. Which in turn represents a negative impact both economically and environmentally. For the above reasons, it is necessary to find solutions that help reduce energy consumption in a cellular network. In this paper, we introduce the concept of "cell zooming" a proposed technology that allows the cellular network to be more efficiently with power transmission. Unlike previous studies that perform "cell zooming" with omnidirectional antennas, this paper presents a study of "cell zooming" using sectored antennas. The simulation results show that the use of "cell zooming" with sectored antennas further reduces energy consumption compared with the use of "cell zooming" with omnidirectional antennas.

Keywords— Green communications, energy efficient wireless networks, "cell zooming", radio intelligence, cooperative relay.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.037>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?"
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic **ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6 **ISSN:** 2414-6668
DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.037>

Reduciendo el consumo de energía en una red de telefonía celular

Odete Espino and Héctor Poveda, PhD
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
{odete.espino, hector.poveda}@utp.ac.pa

Resumen-- En la actualidad, se ha dado un incremento en el uso de los dispositivos de comunicaciones móviles. Esto hace necesario aumentar el número de estaciones base en la red celular de modo que no se afecte la calidad de servicio a los usuarios. Sin embargo, este aumento en el número de estaciones base se traduce en un incremento en el consumo de energía de la red celular. Lo cual a su vez representa un impacto negativo tanto en lo económico como en lo ambiental.

Por las razones antes mencionadas, se hace necesario buscar soluciones que ayuden a reducir el consumo de energía en una red celular. En este documento, presentamos el concepto de “cell zooming”, una tecnología propuesta que permite a la red celular ser más eficiente con la potencia de transmisión. A diferencia de estudios previos que realizan “cell zooming” con antenas omnidireccionales, este trabajo presenta un estudio de “cell zooming” utilizando antenas sectorizadas.

Los resultados de simulación muestran que el uso de “cell zooming” con antenas sectorizadas reduce aún más el consumo energético en comparación con el uso de “cell zooming” con antenas omnidireccionales.

Palabras Claves-- Comunicaciones verdes, redes celulares energéticamente eficientes, “cell zooming”, radio inteligencia, relevo cooperativo.

I. INTRODUCCIÓN

En cada nueva generación de teléfonos móviles se ha observado una gran cantidad de mejoras del rendimiento. El surgimiento de estos avances, ha permitido que las aplicaciones a las cuales podemos acceder desde nuestros teléfonos sean más cada día. De esta forma, logramos mantenernos mejor informados de lo que sucede alrededor del mundo en cualquier momento, o lugar, y siempre al alcance de nuestras manos.

Los nuevos equipos nos proveen acceso ininterrumpido a servicios y aplicaciones como voz y datos, servicio de mensajería multimedia (MMS), video conferencias, TV móvil, contenido HDTV, radiodifusión de video digital (DVB) y herramientas de entretenimiento (Twitter, Facebook, Instagram, entre otros). Se prevé que para el 2017, 7mil millones de personas estarán utilizando dispositivos inalámbricos, de los cuales entre el 80 y 95% funcionarán con una red de acceso de datos de alta velocidad [1].

Los teléfonos celulares, son un dispositivo inalámbrico electrónico que utiliza los servicios de la red de telefonía móvil mediante una red de celdas, cuya área de cobertura está en función de la potencia de transmisión. Hoy en día es bastante común encontrar a un individuo con un dispositivo móvil en la mano, aumentando la potencia de transmisión que requieren las celdas para mantener la calidad de servicio de los clientes. Esta potencia de transmisión tiene un alto costo de generación,

motivo por el cual es importante su uso eficiente. Actualmente, la industria de la tecnología de las comunicaciones (ICT) emite aproximadamente 2% de los gases invernaderos que están afectando el cambio climático. Para reducir esta cifra, la industria de las telecomunicaciones ha reducido el consumo de energía, y ha cambiado las infraestructuras de las redes a unas más ecológicas, mediante cambios en la arquitectura y en los métodos de transmisión [1] [2].

Entre las tecnologías de transmisión, está la radio inteligencia y la comunicación cooperativa. La radio inteligencia consiste en hacer uso eficiente del espectro de frecuencias, permite que usuarios accedan a bandas de frecuencias desocupadas de otros usuarios, transmitiendo en las mismas bandas de frecuencia de otro usuario, pero de manera inteligente y sin perturbar al usuario dueño de la misma. La comunicación cooperativa consiste en dividir la trayectoria de conexión entre varios relevos necesitando menos potencia de transmisión, se divide en dos ramas, mediante relevos fijos y mediante cooperación del usuario [2].

En nuestra investigación nos centraremos en una técnica innovadora a nivel de arquitectura, llamada “cell zooming”. Esta técnica consiste en variar el área de cobertura de la red en función del tráfico y la posición de los usuarios en determinado momento [3]. A diferencia de otros trabajos realizados, presentaremos un análisis que consiste en utilizar un modelo de red celular en donde las estaciones base (BS) utilizan antenas sectorizadas de 120°.

Inicialmente, el artículo provee información sobre los motivos por los cuales surge esta nueva tecnología. En la sección 2, se discute el concepto de redes celulares verdes, luego en la sección 3, profundizamos más en “cell zooming”. La sección 4 plantea el método propuesto de “cell zooming” en 120°, y en la sección 5, discutimos los resultados de dicho método. Por último, en la sección 6, concluiremos y mencionaremos el trabajo a futuro.

II. REDES CELULARES VERDES

En el mundo de las telecomunicaciones, ha surgido un campo de investigación que se concentra en buscar técnicas que minimicen el consumo energético de las redes celulares. Implementando estas técnicas, es posible disminuir la inversión monetaria anual por parte de las telefónicas móviles y reducir la emisión de gases invernaderos. Actualmente, se están estudiando técnicas que involucran los métodos de transmisión nivel de arquitectura y otras en los métodos de transmisión [2].

Entre las tecnologías de transmisión, está la radio inteligencia y la comunicación cooperativa. Los autores en [4],

muestran cómo se puede lograr eficiencia energética por medio de la radio inteligencia, proponen un marco de optimización de energía que permite adaptarse a los requerimientos de calidad de servicio en función de la capacidad del canal. Al utilizar la radio inteligencia, se ajustan las características de los componentes, como las características del amplificador de potencia, de forma que se opere a la mayor eficiencia energética posible.

En [5], los autores expanden un poco más los conocimientos acerca de la radio inteligencia y proponen algunas técnicas con las que se puede implementar. La primera técnica consiste en una modulación eficiente en potencia y ancho de banda, donde el nivel de modulación es ajustado en función de una asignación y uso inteligente del espectro disponible. La segunda técnica está enfocada en reducir la complejidad de los sistemas de radio inteligencia por medio del uso de inteligencia artificial distribuida para llevar a cabo el sensado del espectro. Finalmente, discuten los beneficios potenciales al utilizar la direccionalidad de las antenas para mejorar la eficiencia energética.

La radio inteligencia es una tecnología con una filosofía de diseño innovadora que busca incrementar el uso del espectro por medio de la utilización de bandas de frecuencias en desuso. La idea básica es permitir que usuarios utilicen bandas de frecuencias de otros usuarios, con la condición de que cause interferencia mínima al propietario de la banda [6].

Se ha propuesto un modelo de red celular [7], donde en lugar de apagar totalmente una BS cuando haya poco tráfico, se pueda reducir la potencia y transformarla en una estación de relevo o retransmisor. Cuando esto sucede, las BS adyacentes aún conservan todo el procesamiento y transmisión de las señales de los retransmisores mediante una red de retorno.

Se ha estudiado un enfoque eficiente para agrupar las terminales móviles en grupos cooperativos [8]. Las terminales cooperan mediante comunicaciones entre dispositivos para compartir contenido de interés común. Este enfoque se ha combinado con una técnica que permite poner a las BS en modo de hibernación, y de esta manera lograr mayor eficiencia energética.

En los sistemas de comunicación celular, no se permite la comunicación directa entre dispositivos, y toda comunicación se lleva a cabo a través de una BS. Otros autores, en [9], proponen una configuración de red en dos saltos, uno de la BS a los dispositivos y otro entre dispositivos. La retransmisión entre dispositivos permite que los dispositivos en una red funcionen como retransmisores entre ellos, dentro de la red.

Algunas investigaciones han propuesto una nueva forma de diversidad espacial [10], en donde se pueda obtener ganancia por medio de la cooperación de los usuarios móviles. De esta forma, se logra aumentar la capacidad para ambos usuarios y se obtiene un sistema más robusto donde las velocidades de transmisión no sean tan susceptibles a variaciones en las condiciones del canal.

Ambas tecnologías (radio inteligencia y relevo cooperativo) son buenas opciones para lograr mayor eficiencia energética. Sin embargo, su implementación puede llegar a ser muy compleja e invasiva dentro de la red, ya que se debe tener

cuidado de provocar interferencias que afecten la comunicación de otros usuarios y establecer incentivos cuando los usuarios funcionen como retransmisores. Por dicha razón, en la siguiente sección se presenta el concepto de “cell zooming” una alternativa a las tecnologías arriba mencionadas.

III. “CELL ZOOMING”

Esta técnica consiste en variar el área de cobertura de la celda en función del tráfico de voz y data, y la posición de los usuarios de la red en determinado momento [3].

Para implementar esta técnica es necesario agregar ciertos elementos a la arquitectura de la red, como un servidor que controle el procedimiento de “cell Zooming” (fig. 1) [3]. Este servidor será el encargado de analizar el estado actual de la red, y tomar una decisión respecto a la técnica que mejor que adapte según las necesidades de la red en ese momento.

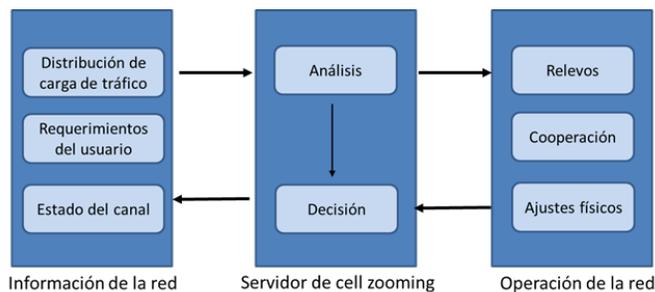


Fig. 1 Estructura de "cell zooming"

Niu, *et al.* [3], propusieron algunas técnicas para implementar esta tecnología, e.g.:

1) *Ajustes físicos*: constan de una variación en la potencia de transmisión, mediante variaciones en la altura e inclinación de las antenas que componen la celda.

2) *Cooperación de las BS*: agrupación de las BS de forma que puedan cooperar entre ellas cuando el tráfico en una de las celdas sea muy pesado.

3) *Relevo*: uso de estaciones de relevo para relevar el tráfico de una red a otra que tenga más capacidad disponible.

4) *Hibernación*: cuando una BS esté hibernando, se puede apagar el aire acondicionado y demás equipos que consuman energía.

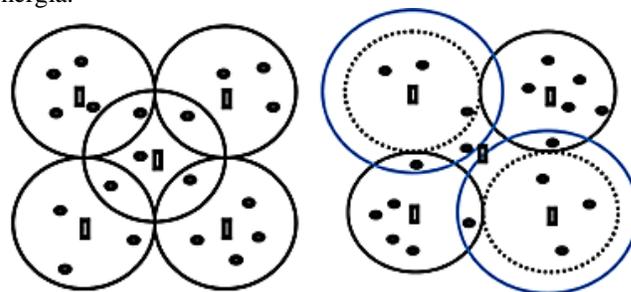


Fig. 2 Celdas con tamaño original (izquierda). Celdas con tamaño ajustado (derecha)

La forma en que aumenta la potencia se puede dividir en distintos métodos: continuo, discreto, y con frontera difusa [11]. La potencia de transmisión de cada celda se calcula en base a la distancia de los usuarios en la celda [12]. En algunas

configuraciones de redes, podemos observar que una celda es redundante, por lo que la mejor opción para ahorrar energía es apagar esta celda, y cubrir el área con otras celdas que tengan la capacidad de aumentar un poco su potencia de transmisión (fig. 2).

De esta forma, si los usuarios se encuentran cerca de la BS, no es necesario mantener la potencia de transmisión a su máximo, sino que podemos reducirla para no malgastar la energía. Otro caso que se puede presentar, es que no hayan usuarios dentro del área de cobertura, o que dicha área de cobertura puede ser abarcada por una BS cercana, en este caso, la estación base puede entrar en modo de hibernación.

A. Método Continuo

Consiste en ampliar o reducir el área de cobertura de la celda original hasta cubrir la posición del usuario más lejano. Esto se logra aumentando o reduciendo la potencia de transmisión, hasta que la potencia de recepción tenga los niveles necesarios para proveer de cobertura al usuario más lejano.

$$\frac{P_{Txz}}{P_{Txi}} = \left(\frac{R_{cz}}{R_i}\right)^n \quad (1)$$

Donde P_{Txz} es la potencia de transmisión requerida para ampliar (o reducir) el área a un área de radio R_{cz} donde está ubicado el usuario más lejano. P_{Txi} Es la potencia de transmisión inicial, para el radio original R_i , y n es el exponente de pérdida en trayectoria, el cual usualmente está entre 2 y 4 [11].

Las adaptaciones de la potencia de transmisión en el esquema continuo, es la que presenta mayor eficiencia, sin embargo la implementación es más complicada debido a la alta movilidad que presentan los usuarios, trayendo consecuentemente rigurosos requerimientos de retroalimentación de distancias.

B. Método Discreto

En este método, el área de la celda se divide en múltiples zonas discretas con igual área o igual rango de potencia [13]. Se reconoce la ubicación del usuario más lejano de la radio base para que el rango de la celda se amplíe a un radio que incluya este y por consiguiente a todos los demás usuarios que se encuentren dentro de esta área. No resulta necesario informar a la radio base de la ubicación de los usuarios sino hasta que atraviesa entre distintas zonas.

Según Balasubramaniam [11], existen 3 técnicas para obtener valores discretos para el radio a utilizar, los cuales se mencionaran a continuación:

1) *Método de División Linear*: el radio máximo de la celda se divide en rangos igualmente espaciados, como se observa en la figura 3(a).

2) *Método de Igual división de área*: en la figura 3(b), la celda es dividida en zonas discretas cada una con igual área.

3) *Método de Igual División de Potencia*: la celda es dividida en zonas discretas, figura 3(c) cada una con incrementos constantes de potencia desde la radio base. Para este método, la cantidad de zonas aumenta al acercarse al final de la celda [2].

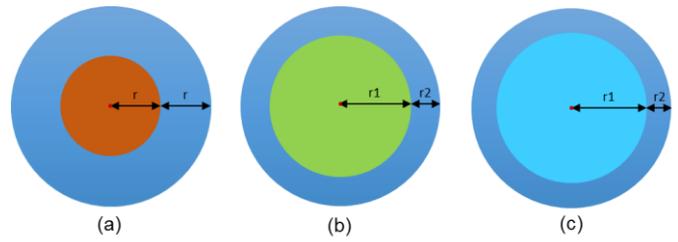


Fig. 3 (a) Método de División linear, (b) Método de igual división de área y (c) Método de igual división de potencia

En la figura 3 se puede apreciar una descripción de los radios para cada método. En el método de división linear se observa que la celda está dividida en dos radios de igual longitud, siendo el radio del sector externo el doble que de la interna. En el método de igual división de área, en lugar de basar la división de sectores de acuerdo a un radio, se tienen sectores con igual área superficial, resultando en que el área del sector externo será mayor al del interior. En el método de igual división de potencia se puede apreciar que el área entre las zonas no es la misma, esto se debe a que en lugar de dividir los sectores según su radio o área, se dividen según la potencia irradiada, de esta forma, el sector interior tendrá la misma potencia que el exterior.

En la tabla 1, se presentan las ecuaciones utilizadas para obtener el valor discreto del radio y la potencia transmitida por la radio base para cada técnica. El método de igual división de potencia puede resultar más eficiente que los otros dos métodos, puesto que se puede gestionar de forma directa cuanta potencia se estará utilizando a una distancia dada, asumiendo que la movilidad del usuario no sea tan rápida que requiera constante adaptación del radio de cobertura.

Una de las ventajas en cuanto a rendimiento que presenta el método de “cell zooming” discreto es que no existe una medida de interrupción de servicio debido a la reducción de rango producida en un momento dado por el “cell zooming”. La razón es que en el “cell zooming” discreto la distancia abarcada por la radio base no está continuamente alcanzando al usuario, sino que una vez que el usuario sale de la región, esta se incrementa a una distancia determinada.

TABLA I
ECUACIONES PARA VALOR DISCRETO DE RADIO Y POTENCIA TRANSMITIDA

Parámetros	Método de división linear	Método de igual división área	Método de igual división potencia
Radio de una zona discreta x , $r(x)$	$r(x) = x \cdot r_{max}/Z$	$r(x) = r_{max} \sqrt{x/Z}$	$r(x) = r_{max} (x/Z)^{1/n}$
Potencia transmitida, P	$P = k \cdot r(x_x)^n$	$P = k \cdot r(x_x)^n$	$P = k \cdot r(x_x)^n$
Z = Número de zonas x = Zona discreta entre 1 y Z r_{max} = Máximo radio de la celda k = Constante P/r^n		n = Exponente de pérdida de trayectoria $r(x_x)$ = Radio de la zona con el usuario más lejano	

C. Método de Frontera Difusa

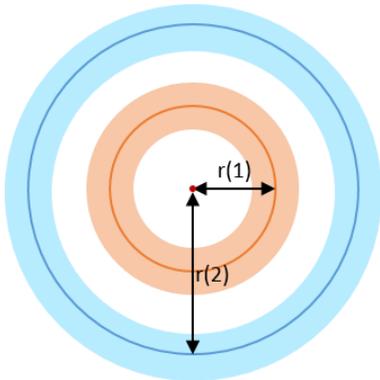


Fig. 4 Modelo de Frontera Difusa

Es una extensión de los métodos de “cell zooming” discreto, con un pequeño incremento (desde 10% a 20%) en el rango de cobertura para cada nivel discreto, a costa de un pequeño sacrificio en la razón señal a ruido (SNR) para los usuarios localizados después del correspondiente nivel discreto del radio. Está basado en ver las condiciones límites de los usuarios, con una extensión de la cobertura como se explicará a continuación.

En la figura 4, la porción sombreada muestra la región difusa con un excedente de radio de un 10% a 20% del correspondiente nivel discreto $r(i)$. Cuando el usuario más lejano está localizado dentro del rango especificado del nivel discreto $r(i)$, la BS decide transmitir la potencia para el nivel discreto $r(i)$, en vez de transmitir en el siguiente nivel discreto de radio $r(i + 1)$. Utilizando (2), se puede calcular la potencia de transmisión de la BS usando el modelo de frontera difusa.

$$P_{fuzzy} = k r(i_x)^n \quad (2)$$

P_{fuzzy} Es la potencia de transmisión de la estación base, y $r(i_x)$ es el radio de la zona que contiene al usuario más lejano dentro de su 10% (o 20%) de frontera difusa.

Este esquema tiene un desempeño mejor que las técnicas discretas, debido a que la estación base transmite en el mismo nivel discreto del usuario más lejano, en vez de cambiar al próximo nivel discreto. Sin embargo, la SNR es un poco menor que el valor deseado en la región difusa, por lo cual se debe de compensar con técnicas de corrección de error más robustas.

IV. “CELL ZOOMING” CON ANTENAS SECTORIZADAS EN 120°

En esta sección presentamos el uso de “cell zooming” utilizando antenas sectorizadas en 120°. Lo que se propone es dividir el área total de cobertura de una celda en 3 sectores de 120°, cuya potencia de transmisión se puede variar de forma independiente en cada sector. En estudios previamente realizados [2], [3] y [11] se muestra el interés desde el punto de vista energético de utilizar “cell zooming”. Sin embargo, estos estudios no abordan el uso de “cell zooming” utilizando antenas sectorizadas. Como en estos estudios no se especifica el tipo de antena, asumimos que utilizan antenas omnidireccionales. En [12] se consideran antenas sectorizadas, sin embargo, el “cell zooming” se realiza por BS, no por sector como se presenta en esta investigación.

A continuación se detalla el procedimiento del “cell zooming” utilizando antenas sectorizadas en 120°. En la fig. 5, se ve la red original, con todas las antenas radiando a la misma potencia. Esto representa una pérdida de energía, ya que, como veremos próximamente, se pueden cubrir todos los usuarios utilizando un esquema más eficiente.

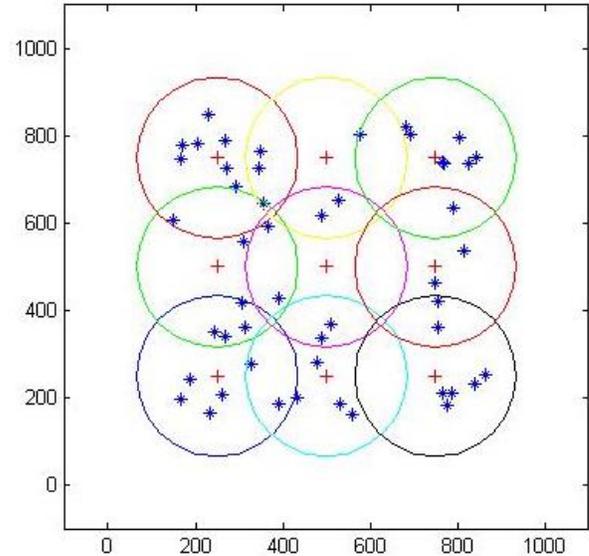


Fig. 5 Modelo de la red original

En la fig. 6, se puede ver un mejor aprovechamiento de energía al variar la potencia de cada celda uniformemente, llegando inclusive a apagar algunas celdas que ya no eran necesarias para cubrir todos a los clientes. Este es el esquema tradicional de “cell zooming” utilizando antenas omnidireccionales.

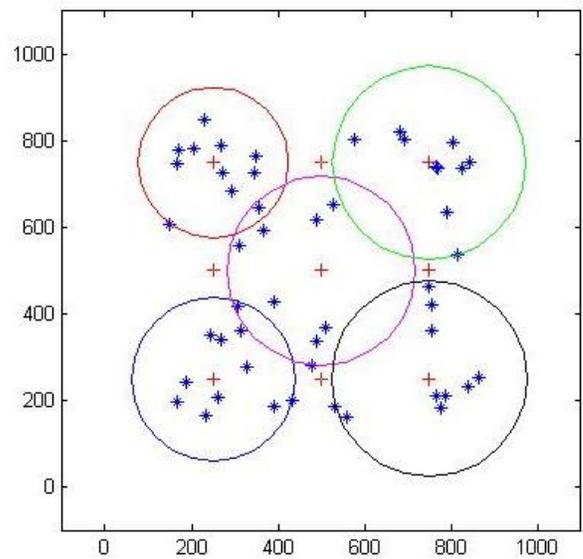


Fig. 6 Modelo de “cell zooming” convencional

Mientras que en la fig. 7 se presenta el método propuesto que utiliza tres antenas sectorizadas de 120° en cada BS y varía su potencia de forma independiente, logrando una eficiencia

aún mayor. Observamos que aún hay BS que se mantienen apagadas como en el caso convencional. Con este método, es posible que no sea necesario que las 3 antenas se mantengan encendidas, siempre y cuando no haya usuarios en su área de cobertura.

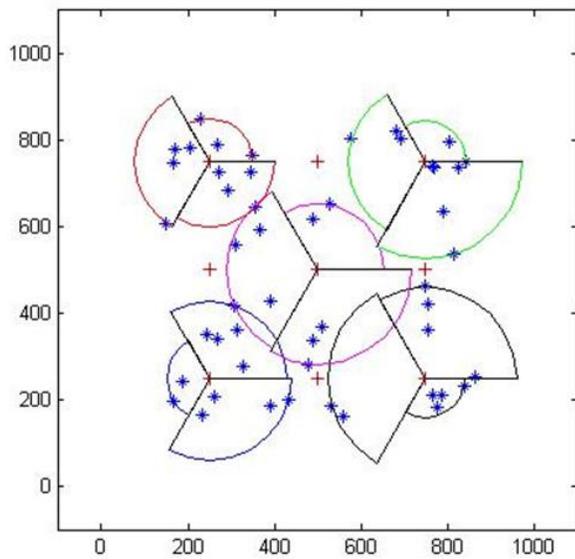


Fig. 7 “Cell zooming” utilizando antenas sectorizadas en 120°

En la siguiente sección se presentan los resultados de simulación que muestran el interés de utilizar “cell zooming” con antenas sectorizadas.

V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

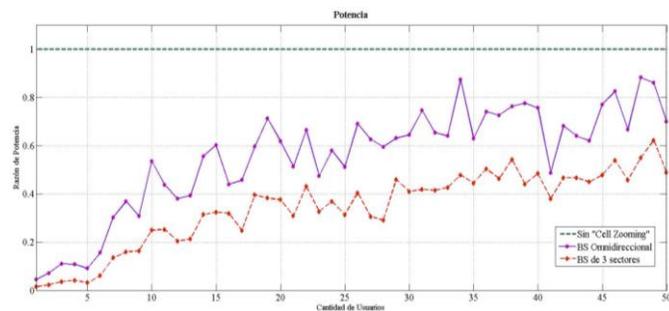


Fig. 8 Gráfica de Consumo de Potencia

Para llevar a cabo nuestra simulación, tomamos en cuenta parámetros de la red como tráfico en cada una de las antenas y posición de los usuarios. Se considera 50 usuarios dentro de un segmento de 9 celdas de la red, como se muestra en la fig. 5. Fijamos el radio inicial de cobertura de cada una de las celdas en 185m, que se puede llegar a expandir hasta 250m. La capacidad en ancho de banda de cada estación base es 5MHz, y cada usuario consume entre 125 y 275 kHz. La simulación estará limitada al radio máximo de cobertura de cada celda, y dependiendo del requerimiento de cada usuario, la BS soportará hasta 5MHz en total. El método de “cell zooming” utilizado es el método continuo.

En la figura 8, se puede apreciar la diferencia en el consumo de potencia para los casos mencionados en la sección anterior. Se puede apreciar el caso en el cual no se aplica “cell

zooming”. Además, se aprecian los casos con antenas omnidireccionales y con antenas sectorizadas. Observamos que al utilizar “cell zooming” en 120° logramos alcanzar un menor consumo de potencia, ya que habrán sectores donde los usuarios estén más alejados que en otros y/o exista más tráfico, permitiéndonos optimizar cada sector por separado.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El presente documento presenta la técnica de “cell zooming”. Esta técnica consiste en variar el área de cobertura de la red en función del tráfico y la posición de los usuarios en determinado momento con el objetivo de reducir el consumo energético en la red celular. Además, se presenta el uso de esta técnica con antenas sectorizadas en 120°. Los resultados de simulación muestran como el uso de antenas sectorizadas reduce aún más el consumo de energía en la red celular en comparación con el “cell zooming” convencional.

Los beneficios que tiene “cell zooming” en las redes de telefonía celular son bastante amplios. Primero que todo, permite que las celdas con mucho tráfico se apoyen de las celdas con poco tráfico. Aparte de esto, se puede utilizar para ahorrar energía, en caso de que una celda tenga poco tráfico o nulo, esta se puede poner en un modo de hibernación, mientras que las celdas vecinas se adaptan para garantizar la cobertura y calidad de servicio a los clientes. Sin embargo, para que “cell zooming” sea eficiente, es necesario que las fluctuaciones de tráfico sean localizadas y realimentadas en el servidor. Otro problema es la compatibilidad. Actualmente, las redes celulares no tienen soporte para algunas de estas técnicas. Además, “cell zooming” puede ocasionar interferencia intercelda y agujeros en la cobertura.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a Guillermo Bailey, Julissa Bahamóndez, Eric Guerrero y Anthony Larrinaga por su aporte en la preparación de tablas e ilustraciones. A su vez, agradecemos al Grupo de Investigación en Sistemas de Comunicaciones Digitales Avanzados de la Universidad Tecnológica de Panamá por las sugerencias e ideas brindadas en la ejecución de esta investigación, en especial a Hugo Bourgoín, por su ayuda en las simulaciones.

REFERENCIAS

- [1] L. C. Wang, S. Rangapillai, “A survey on green 5G cellular networks,” *IEEE International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)*, pp. 1-5, Julio 2012.
- [2] Z. Hasan, H. Boostanimehr, V. K. Bhargava, “Green cellular networks: A survey, some research issues and challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 4, pp. 524-540, 2011.
- [3] Z. Niu, Y. Wu, J. Gong, Z. Yang, “Cell zooming for cost-efficient green cellular networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 11, pp. 74-79, Noviembre 2010.
- [4] A. He, S. Srikanthswara, J.H. Reed, X. Chen, W. H. Tranter, K. Bae, M. Sajadieh, “Minimizing Energy Consumption Using Cognitive Radio,” *IEEE Conference on Performance, Computing and Communications*, pp. 372-377, Diciembre 2008.
- [5] D. Grace, J. Chen, T. Jiang, P. D. Mitchel, “Using cognitive radio to deliver ‘green’ communications,” *IEEE 4th International Conference on Cognitive Radio and Communications (CROWNCOM)*, pp. 1-6, Junio 2009.

- [6] L. Khalid, A. Anpalagan, "Emerging cognitive radio technology: Principles, challenges, and opportunities," *Computers & electrical engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 358-366, 2010.
- [7] A. T. M. Shafiul Alam, L. S. Doley, A. S. Poulton, "Energy efficient relay-assisted cellular network model using base station Switching," *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, pp. 1155-1160, Diciembre 2012.
- [8] E. Yaacoub, H. Ghazzai, M. S. Alouini, A. Abu-Dayya, "Achieving energy efficiency in LTE with joint D2D communications and green networking techniques," *IEEE 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 270-275, Julio 2013.
- [9] M. N. Tehrani, M. Uysal, H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 86-92, 2014.
- [10] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. System description," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, 2003.
- [11] R. Balasubramaniam, S. Nagaraj, M. Sarkar, C. Paolini, P. "Cell zooming for power efficient base station operation," *IEEE 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 556-560, Julio 2013.
- [12] V. Prithiviraj, S. B. Venkatraman, R. Vijayasarithi, "Cell Zooming for Energy Efficient Wireless Cellular Network," *Journal of Green Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 421-434, Julio 2013.
- [13] K. C. Tun, K. Kunavut, "Performance evaluation of dynamic cell zooming algorithms in omni-directional and sector-based cells," *IEEE 11th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, pp.158-163, Mayo 2014.