

# Plataforma de análisis del traslado de usuarios móviles entre celdas LTE

**Neftalí Oroz Moreno, Ernesto E. Quiroz Morones, Roberto Sepúlveda Cruz**

noroz@citedi.mx, equiroz@citedi.mx, rsepulve@citedi.mx

Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN), México  
Avenida del Parque 1310, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., 22510  
Tijuana - México

**Resumen:** *En este paper, se presenta una plataforma computacional para el análisis y simulación del traslado (handoff) de usuarios itinerantes en clusters de celdas de un sistema LTE, basada en la triada de parámetros de referencia: margen de umbral, margen de histéresis, y mayor potencia recibida. La herramienta desarrollada permite contrastar el criterio anterior contra los mismos parámetros tomados en forma singular. Por otro lado, el protocolo de handoff no es lo único que determina un traslado eficiente, ya que la configuración del agrupamiento de celdas también influye en ello de manera fundamental. La herramienta permite probar cambios en el diseño de arreglos de celdas, trayectoria y velocidad del móvil, y determinar su efecto en la eficiencia del handoff, medida en número de traslados efectuados y tiempo disponible antes del rompimiento del enlace. Esta herramienta puede ser utilizada por operadores para el análisis y diseño de arreglos de celdas LTE en que se enfatiza la eficiencia del handoff.*

**Abstract:** *In this paper we present a computational platform for the analysis and simulation of the Handoff of itinerant users in clusters of cells in an LTE system, based on the triad of benchmarks: threshold margin, hysteresis margin, and greater power received. The tool allows contrasting the above multiple-parameter criteria versus the singular parameters. Moreover, the handoff protocol is not the sole element that determines an efficient transfer, since the configuration of the cluster of cells also influences this fundamentally. The tool allows to test changes in the cell array design, mobile trajectory and speed, and to determine its effect on handoff efficiency, measured in number of transfers performed and time available before link breakage. This tool can be used by operators for the analysis and design of LTE cell arrangements that emphasizes handoff efficiency.*

**Palabras clave:** LTE, handoff, gestión de movilidad, sistemas celulares.

## 1. Introducción

No obstante que a fines del 2011, del total de 6 Mil Millones (MM) de móviles menos del 0.1% (7.4 Millones) son LTE (Long Term Evolution) {75% corresponde a móviles GSM (Global System for Mobile Communications), 15% a UMTS-HSPA, 9% CDMA (Code Division Multiple Access)} [Informa-a11], se proyecta que en el 2016, el número de usuarios LTE crecerá a 609 millones [Informa-b11], lo cual representa una tasa de crecimiento de 241% anual. Esta proyección se alinea con la expansión del uso de banda ancha (UMTS-HSPA: Universal Mobile Telecommunications System-High Speed Packet Access) en sistemas celulares en América Latina, en la que crecimiento de smartphones fue del 78% en 2012 [Informa-a11]. Cifras que demuestran un vertiginoso crecimiento de LTE a nivel global.

LTE constituye la 4a generación (4G) de los sistemas celulares, e introduce una serie de mejoras sobre 3G, para proporcionar mayores tasas digitales y reducir los tiempos de respuesta. La interfaz aérea de LTE opera con OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en el enlace descendente, y SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) en el enlace ascendente. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) subdivide el ancho de banda disponible para la transmisión de señales en agrupamientos de multi-portadoras de banda estrecha mutuamente ortogonales, cada una de las cuales transporta corrientes independientes de información. Esta forma de multi-acceso permite una asignación flexible del ancho de banda disponible entre múltiples usuarios. Por

otro lado, SC-FDMA tiene un PAPR (Peak to Average Power Ratio) significativamente menor que OFDM, que se traduce en un menor consumo de energía en el transmisor de la terminal móvil, y por lo tanto en una mayor duración de la carga de batería [Sesia09].

El espaciamiento entre subportadoras es de 15 kHz. La modulación de símbolos puede ser QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) o 64 QAM, seleccionable por portadora. Además, LTE utiliza extensamente los sistemas de múltiples antenas MIMO (Multiple Input, Multiple Output) para transmitir y recibir. MIMO explota la multiplexación espacial, que incrementa la resistencia del enlace frente al desvanecimiento (reduce la tasa de error), y aumenta la eficiencia espectral (incrementa la tasa de transmisión) [Khan09].

Estas características de diseño permiten a LTE ofrecer las siguientes capacidades operativas de E-UTRAN (Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network)/LTE (Tabla 1) [Sesia09].

El resto de este paper está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se discute de manera sucinta algunos trabajos relacionados con la temática del presente artículo. La sección 3 describe el protocolo de handoff que se ejecuta entre Nodos B (Nodos B evolucionados) de LTE. La sección 4 explica el desarrollo y operación de la plataforma de análisis del Traslado Intercelular. Los experimentos y Resultados se organizan en la sección 5. La Discusión de los Experimentos se efectúa en la sección 6, y finalmente en la sección 7 se presentan las conclusiones

Tabla 1. Capacidad de recursos E-UTRAN/LTE.

Aspectos del Sistema E-UTRAN/LTE (3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release-8)	
- Tasa pico de datos DL (Downlink)	327.6 Mbps (4x4 MIMO, 64QAM)
- Tasa pico de datos UL (Uplink)	86.4 Mbps (64 QAM)
- Soporte de ancho de banda	Hasta 20 MHz
- Eficiencia espectral Pico DL	15 bps/Hz
- Eficiencia espectral Pico UL	3.75 bps/Hz
- Eficiencia espectral Frontera de la célula DL	0.06 bps/Hz
- Eficiencia espectral Frontera de la célula UL	0.03 bps/Hz
- Latencia plano de usuario	Menor a 30 ms
- Latencia plano de control	Menor a 100 ms

## 2. Trabajos previos

Entre los trabajos que procuran abatir el efecto ping-pong (handoffs innecesarios y repetitivos), están el de [Aziz09], cuyo algoritmo efectúa el handoff al cumplir la condición de que la enésima muestra de RSRP (Reference Signal Received Power: Potencia Recibida de la Señal de Referencia) filtrada, de cualquier otro sector o celda, es mayor o igual a la enésima muestra de RSRP filtrada del sector o celda donde está posicionado el usuario móvil más un margen de histéresis agregado. [Lee10] propone condiciones de valores de TTT (Time to trigger: tiempos de disparo de handoff) largos y cortos. Encuentran que si el valor de TTT es pequeño (tiempos de 0 a 100 ms), entonces hay un incremento en el efecto ping-pong, y al mismo tiempo una disminución en el RLF (Radio Link Failure: falla del radioenlace). En cambio, si el TTT es grande (tiempos de 640 a 5120 ms) disminuye el efecto ping-pong, pero incrementa el RLF. [Rubio10] desarrolla un algoritmo de auto-optimización, cuyo objetivo es controlar las oscilaciones de la señal para realizar el handoff. Los parámetros que considera son el Margen de Histéresis (MH) y el TTT. El algoritmo incrementa el rendimiento de la red en un 20%. [Jansen10, Jansen11] utilizan como métricas RSRP y el SINR (Signal-to-Interference Noise Ratio: Relación de la señal a ruido de interferencia) de un algoritmo de optimización de parámetro de traspaso para identificar los posibles candidatos de traspaso y determinar cuando se presenta una falla de radioenlace. [Ge09] propone una técnica de predicción de traspaso sobre la base de los registros de la historia de la movilidad del usuario que permite efectuar una inferencia probabilística de hacia qué celda se va a mover el usuario. Si la probabilidad de que el usuario se va a cambiar a la celda contigua es muy alta, entonces la estación base indica la preparación del traspaso con mucho tiempo de anticipación, pero si la probabilidad es muy baja, entonces la estación base indica la preparación del traspaso con poco o nulo tiempo antes del disparo. Los resultados de la simulación muestra que la técnica propuesta minimiza el número de traspasos y logra menor tasa de ping-pong en el sistema de LTE. [Dimou09] investiga el rendimiento del procedimiento de traspaso de LTE en términos de la tasa de falla del HO y el retraso de todo el procedimiento. Las simulaciones se efectúan

dentro de un entorno de propagación urbana típica, con diferentes velocidades de equipos de usuario, radio de la célula y cargas de tráfico. Los autores muestran en la trayectoria, la cantidad de potencia recibida por la estación móvil y el tiempo en que lo va recibiendo. Los resultados demuestran que el objetivo de movilidad de alto rendimiento se logra mediante el procedimiento de traspaso estandarizado para LTE.

## 3. HO (Handoff) en LTE

La Figura 1 da una descripción detallada del procedimiento de traspaso entre células de un mismo sistema LTE [Han10].

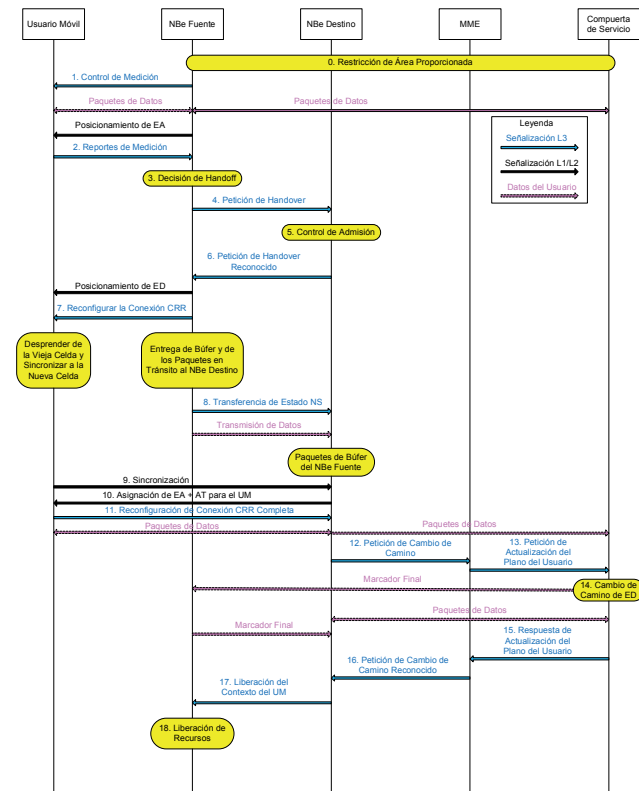


Figura 1. Procedimiento de Handoff.

## Propuesta de criterios de disparo de HO

En este trabajo, se aplica el criterio de cumplimiento simultáneo de tres valores paramétricos: potencia de umbral rebasada, margen de histéresis (2 a 5 dB) y recepción por el usuario móvil de mayor potencia de una celda vecina que de la celda fuente. Si todas las condiciones se cumplen, se efectuará el handoff, pero si alguna no se cumpliera, el handoff no procede. Este sencillo criterio demuestra una gran efectividad en reducir el ping-pong, y no se encuentra referenciado en la literatura reciente encontrada.

## 4. Desarrollo de una plataforma de análisis del HO Intercelular

Los modelos de propagación Okumura-Hata (150-1,500 MHz) [Hata80], y el Cost 231 (1,500-2,000 MHz) [Damosso99], son considerados en estudios de radiopropagación para LTE [Shabbir11].

Pérdida en el espacio libre con el Modelo de Okumura-Hata para áreas urbanas

$$L = 69.55 + 26.16 \cdot \log_{10}(f) - 13.82 \cdot \log_{10}(h_B) - C_H + [44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(h_B)] \cdot \log_{10}(d)$$

Para ciudades tamaño pequeñas o medianas,

$$C_H = 0.8 + (1.1 \cdot \log_{10}(f) - 0.7) \cdot h_M - 1.56 \cdot \log_{10}(f)$$

Para ciudades grandes,

$$C_H = 8.29(\log_{10}(1.54 \cdot h_M))^2 - 1.1, \text{ si } 150 \leq f \leq 200$$

$$C_H = 3.2(\log_{10}(11.75 \cdot h_M))^2 - 4.97, \text{ si } 200 < f \leq 1500$$

Donde:

$L$  = Pérdida en el espacio en áreas urbanas (dB).

$h_B$  = Altura de la antena de la estación base (30 - 200 m)

$h_M$  = Altura de la antena de la estación móvil (1 - 10 m).

$f$  = Frecuencia de transmisión (MHZ).

$C_H$  = Factor de corrección de la altura de la antena

$d$  = Distancia entre la estación base y la estación móvil (1 - 20Km).

Pérdida en el espacio libre con el Modelo de COST 231.

$$L = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_B) - a(h_R) + [44.9 - 6.55 \cdot \log(h_B)] \cdot \log(d) + C$$

Altura de la antena de la estación móvil: 1 a 10 m.

Altura de la antena de la estación base: 30 a 200 m

Distancia del enlace: 1 hasta 20 km

Para ambientes suburbanos o rurales:

$$a(h_R) = (1.1 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot h_R - (1.56 \cdot \log(f) - 0.8)$$

$C = 0$  dB para ciudades medianas y áreas suburbanas

$C = 3$  dB para áreas metropolitanas

Donde:

$h_R$  = Altura efectiva de la antena de la estación móvil.  
Unidad: Metro (m)

$a(h_R)$  = Factor de corrección de la altura de la antena de la estación móvil como se describe en el modelo de Hata para áreas urbanas.

$$\text{Margen}_{\text{Histéresis}} = \text{Potencia Recibida}_{\text{Celda Fuente}} - \text{Potencia Recibida}_{\text{Celda Vecina}}$$

$$\text{Potencia}_{\text{Umbral}} = \text{Potencia}_{\text{Mínima de Operación}} + \text{Umbral Escogido}$$

Mediante Matlab se desarrolló una plataforma de análisis que consta de cuatro interfaces de interacción usuario-sistema (Figura 2).

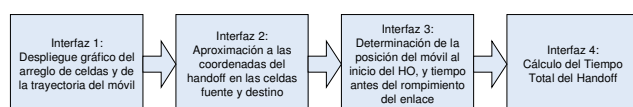
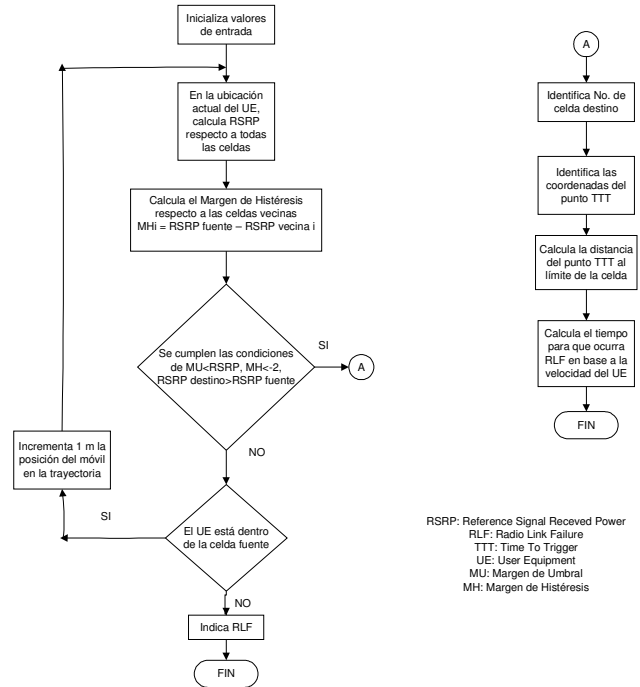


Figura 2. Diagrama a bloques del simulador de handoff.

La figura 3 muestra el diagrama de actividades correspondiente a la Interfaz 3.



RSRP: Reference Signal Received Power  
RLF: Radio Link Failure  
UE: User Equipment  
MU: Margen de Umbral  
MH: Margen de Histéresis

Figura 3. Diagrama de actividades de la Interfaz 3.

## 5. Experimentos y Resultados

A continuación se presenta el Caso de Estudio 1, con un "buen" comportamiento, en el que el móvil una cierta trayectoria dentro de la celda fuente, y finalmente se traslada a otra celda vecina. Por motivos de espacio se presentan solo la primera y tercera interfaces (Figuras 4 y 5).

Caso de Estudio 2: Ejemplo donde hay efecto Ping-pong utilizando sólo la condición de RSRP.

La figura 6 muestra una ampliación de la celda fuente y una trayectoria particular. En este caso, a diferencia de nuestra propuesta, el HO se lleva a cabo en base al cumplimiento de que el valor de RSRP de una celda vecina sea mayor que el de la celda fuente. Se puede ver que se producen 5 HOs. Aplicando nuestra propuesta de cumplimiento de tres condiciones para el mismo caso, solo se efectúa un HO, que es el resultado deseado.

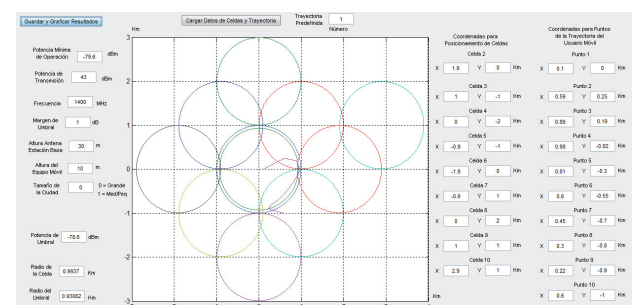


Figura 4. Despliegue gráfico del arreglo de celdas y de la trayectoria del móvil.

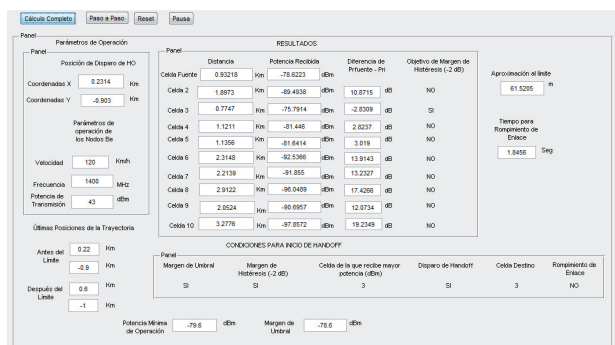


Figura 5. Determinación de la Posición del Móvil al Inicio del Handoff.

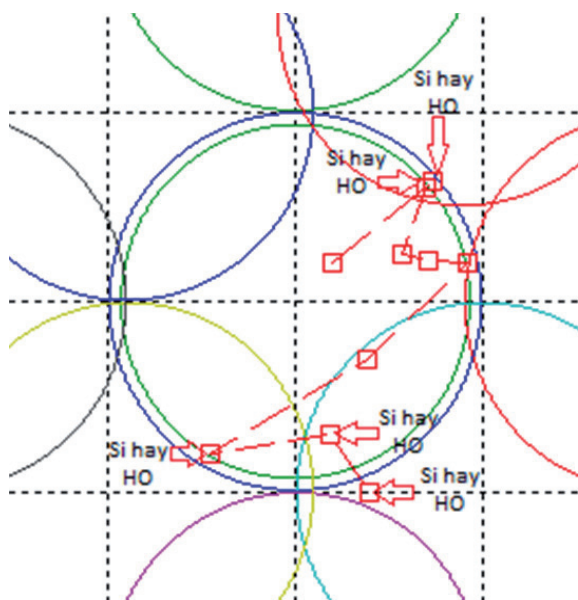


Figura 6. Puntos de la trayectoria en donde hay handoff.

## 6. Discusión de los Experimentos

Caso de Estudio 1: Ejemplo Bien Comportado, se produce un Handoff.

La Interfaz 1 (Figura 4) muestra que se encarga de desplegar de forma gráfica un arreglo de 10 celdas y una trayectoria del usuario móvil. Las posiciones de los Nodos Be de cada celda, y los puntos de la trayectoria se expresan mediante pares de coordenadas (x,y). Los resultados que proporciona son: potencia de umbral (-78.6 dBm), radio de la celda (0.9937 Km) y el radio del umbral (0.93082 Km). La Interfaz 2 (no mostrada) proporciona los siguientes resultados: al terminar su recorrido el móvil ha rebasado el Margen de Umbral (-82.0487 dBm), ha cumplido con el Margen de Histéresis (-16.3693 dB), recibe la mayor potencia de la celda 3, indica que se efectuó el disparo de HO, con celda destino 3, y no hay rompimiento del enlace. La Interfaz 3 (Figura 5) localiza el punto exacto donde da inicio el HO. Los resultados que proporciona se muestran en el recuadro: "Condiciones para inicio de Handoff", la aproximación al límite de la celda (61.5205 m) y el tiempo antes de que el enlace llegue a romperse (1.8456 Seg.).

La Interfaz 4 (no mostrada) calcula el tiempo total para ejecutar el HO considerando el tiempo consumido en cada mensaje y procesamiento efectuado. Proporciona los siguientes resultados: Tiempo total del HO (0.0785 Seg),

el tiempo antes de que el enlace se rompa que fue obtenido en la interfaz 3 (1.8456 Seg.) y el tiempo disponible de HO que es la diferencia de tiempos entre el tiempo antes de que el enlace se rompa y el tiempo total del HO (1.7671 Seg).

Caso de Estudio 2: Ejemplo donde hay efecto Ping-pong utilizando sólo la condición de Mayor Potencia Recibida.

En las ubicaciones de la trayectoria cercanas al límite de la celda, se puede dar la ocasión de que aunque el UE (User Equipment) aún está dentro de la frontera de la celda fuente, la potencia de una celda vecina ya es mayor que la local, y bajo este único criterio se producirá el HO. En la trayectoria mostrada, se producen 5 Handoffs. Aplicando nuestra propuesta se produce solo uno.

## 7. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se presenta una plataforma de simulación para diseñar y analizar arreglos celulares LTE desde la perspectiva de posicionamiento de las celdas, para minimizar el efecto ping-pong y el RLF. Para ello considera los parámetros propios de los modelos de propagación, la velocidad del UE, y la posición de las celdas. Es posible "jugar" con los parámetros hasta obtener la configuración óptima o casi-óptima.

Se presenta una propuesta de tomar tres condiciones paramétricas cuyo cumplimiento simultáneo permite minimizar e inclusive eliminar los traspasos "falsos" o indeseados.

Entre las mejoras que se pueden introducir al presente trabajo está el correlacionarlo con mapas bidimensionales, para considerar la ubicación de edificios para la colocación de los Nodos Be. Posteriormente extenderlo a tres dimensiones para considerar alturas y obstáculos orográficos y urbanos.

## Referencias bibliográficas

- [Aziz09] Aziz, R. Sigle: "Improvement of LTE Handover Performance through Interference Coordination", IEEE Magazine, 2009, pp. 1-5.
- [Damosso99] Damosso and L. M. Correia, Eds, COST Action 231-Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems. Luxembourg: European Communities, 1999.
- [Dimou09] Dimou, M. Wang, Y. Yang, M. Kazmi, A. Larmo, J. Pettersson, W. Muller, Y. Timmer: "Handover within 3GPP LTE: Design Principles and Performance", IEEE Magazine, 2009.
- [Ge09] Ge, X. Wen, W. Zheng, Z. Lu, B. Wang: "A History-Based Handover Prediction for LTE Systems", IEEE Computer Network and Multimedia Technology, 2009, pp. 1-4.
- [Han10] Han, B. Wu: "Handover in the 3GPP Long Term Evolution (LTE) Systems", IEEE Magazine, 2010, pp. 1-6.
- [Hata80] Hata: "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 29, Aug. 1980, pp. 317-325.
- [Informa-a11] Informa Telecom, WCIS (World Cellular Information Service)+ 2011.



- [Informa-b11] Informa Telecom, Forecast Tool, 2011.
- [Jansen10] Jansen, I. Balan, J. Turk, I. Moerman, T. Kürner: "Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks", IEEE Magazine, 2010, pp. 1-5.
- [Jansen11] Jansen, I. Balan, S. Stefanski, I. Moerman, T. Kürner: "Weighted performance based handover parameter optimization in LTE", IEEE Magazine, 2011, pp. 1-5.
- [Khan09] Khan: "LTE For 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance", 1a Edición, Cambridge University Press 2009. United States of America, 2009.
- [Lee10] Lee, B. Shin, J. Lim, D. Hong: "Effects of Time-to-Trigger Parameter on Handover Performance in SON-Based LTE Systems", IEEE Magazine, 2010, pp. 492-496.
- [Rubio10] Rubio: "Self-Optimization for Handover Oscillation Control in LTE", IEEE Magazine, 2010, pp. 950-953.
- [Sesia09] Sesia, I. Toufik, M. Baker: LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [Shabbir11] Shabbir, M. T. Sadiq, H. Kashif, R. Ullah: "Comparison of Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE) Network", International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.3, No.3, September 2011, pp. 27-41