

Comparación de prestaciones de redes móviles 3G con EURANE

H. Barrientos González, M. Solera-Delgado, M. Toril-Genovés, F. Ruiz Vega, A. Durán Martínez

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

Universidad de Málaga

ETSI Telecomunicación. Campus Teatinos s/n. 29071 Málaga

msolera@ic.uma.es

Resumen- La simulación de redes de comunicaciones móviles es una de las técnicas más utilizadas para el estudio y el análisis de nuevas tecnologías radio debido a la dificultad para trabajar con escenarios reales. Entre los simuladores de red móvil de dominio público destaca EURANE, que amplía la funcionalidad del simulador de redes ns-2 dotándolo de las interfaces radio de UMTS y HSDPA. Sin embargo, EURANE no incluye ningún modelo para redes LTE. En este artículo se propone una primera aproximación para el estudio de estas tecnologías mediante el modelado de un sistema pre-LTE para EURANE. El desarrollo de este módulo se basa en la modificación de la arquitectura de la interfaz radio a partir de la creación de un nuevo nodo LTE (pre-eNB), pero que todavía mantiene las características de la capa física de HSDPA. A partir de esta herramienta se comparan las prestaciones de las tecnologías móviles 3G.

Palabras Clave- UMTS, HSDPA, LTE, EURANE, ns-2

I. INTRODUCCIÓN

Operadores e investigadores han dedicado gran parte de sus esfuerzos a mejorar el funcionamiento de las redes móviles de tercera generación (3G). Prueba de ello es el proyecto EURANE [1] (*Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions for ns-2*), desarrollado como una extensión del simulador de redes ns-2 [2] para analizar el comportamiento de redes 3G. Este proyecto se centra en el estudio del rendimiento extremo a extremo de las redes UMTS y HSDPA a partir del desarrollo de un simulador de red que modela la red de acceso radio de UMTS.

Desafortunadamente, EURANE no contempla modelos de simulación de tecnologías más avanzadas. En este trabajo, se plantea la ampliación de EURANE para considerar tecnologías radio más modernas basadas en los estándares del 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Para el análisis de la tecnología LTE, como primera aproximación, se ha partido de la herramienta EURANE para desarrollar un sistema pre-LTE. Para ello, se ha programado una extensión del simulador que evoluciona la arquitectura de la interfaz radio de HSDPA a LTE, pero manteniendo las características de la capa física de la primera. Con esta herramienta básica, se compara el rendimiento de las tecnologías 3G mediante simulación. Durante el análisis, se evalúan diferentes escenarios que consideran distintos modelos de movilidad, servicio y gestión de recursos radio.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se describe cómo EURANE modela UMTS y HSDPA, para en la siguiente sección explicar cómo se amplía el simulador para crear un sistema pre-LTE. A continuación, se

describen los escenarios de simulación considerados y se presentan los resultados obtenidos. Por último, se resumen las conclusiones del trabajo.

II. MODELO DE SIMULACIÓN EN EURANE

EURANE es una extensión del simulador de red ns-2 que permite la simulación de UMTS R99 y HSDPA. Diseñado en el marco del proyecto SEACORN [3], su principal fin es servir de herramienta básica para la evaluación de posibles mejoras a la especificación original de UMTS.

A. Modelo UMTS

En la Fig. 1 se muestra el modelo de simulación de UMTS implementado en EURANE. Este modelo se construye sobre las funcionalidades de Aplicación, Transporte y Red ofrecidas por ns-2. Sin embargo, las funcionalidades de la capa PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*), encargada principalmente de la compresión/descompresión de la cabecera IP, no están implementadas. En el modelo, la capa RLC desarrolla dos de los tres modos RLC definidos en UMTS: AM y UM. El modo TM no está implementado porque está orientado a servicios de conmutación de circuitos.

La simulación de entidades UM y AM considera la mayoría de las funciones definidas en el estándar [4]. Para el modo UM, se realizan las funciones de segmentación y reensamblado de paquetes, concatenación, relleno de bits, transferencia de datos de usuario y verificación de números de secuencia. Para el modo AM, se añaden la entrega ordenada de paquetes a capas superiores, detección de tramas duplicadas y control de flujo.

En cuanto a la capa MAC, se integran las funciones de conmutación de canales (en servicios portadores best-effort permite conmutar a los UEs desde el canal dedicado al canal común para que más usuarios compartan los recursos radio), identificación de los usuarios (creando, asignando y eliminando identificadores de UEs), selección del formato y el mapeado de los canales lógicos en canales de transporte y viceversa.

En la capa física, se implementa una versión simplificada de la trama UMTS y se define el modelo de propagación radio. Para UMTS el canal se modela con una probabilidad de error de paquete basada en los modelos de error que proporciona ns-2 (distribución uniforme, etc). En el simulador se han definidos solamente tres canales físicos que están mapeados uno a uno con los canales de transporte

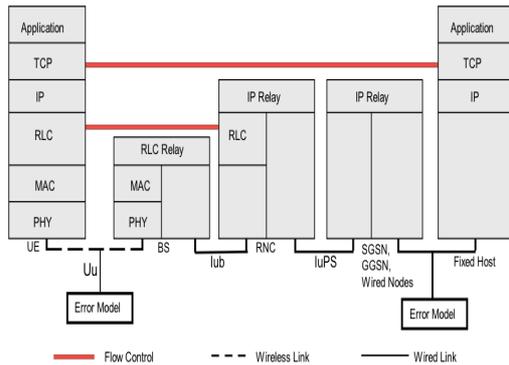


Fig. 1. Modelo UMTS en el EURANE

Forward Access Channel (FACH), *Random Access Channel (RACH)* y *Dedicated Transport Channel (DCH)*, respectivamente.

Además el diseño del simulador permite identificar interfaces y protocolos sobre los que se generan trazas de paquetes.

B. Modelo HSDPA

Para la simulación de HSDPA, se implementa una entidad MAC-hs, que soporta el nuevo canal de transporte y funciones propias de esta especificación. También aparece el nuevo canal físico HS-PDSCH, mapeado sobre el canal de transporte HS-DSCH que se crea entre BS y los UEs. Aunque el simulador en HSDPA no especifica un modelo para el plano de control, la planificación rápida de recursos y los mecanismos HARQ requieren retroalimentación desde los UEs. Es por ello que se requiere un modelo de canal más complejo que el utilizado en UMTS. El modelo de propagación radio básico incluido en el simulador para HSDPA corresponde al especificado en la norma del 3GPP. Se definen diferentes perfiles de potencia de banda ancha (vehicular, pedestre, interior, de visión directa, rural y urbano). Los perfiles de potencia permiten simular el efecto del canal cuando se transmiten señales de banda ancha, es decir, cuando el período de símbolo es comparable a los retardos de las diferentes componentes multicamino (lo que puede verse en el dominio de la frecuencia como señales cuyo ancho de banda supera al ancho de banda de coherencia del canal). Aquellas componentes multicamino cuyos retardos son indistinguibles entre sí (diferencias mucho menores que el período de símbolo) se suman en fase en cada eco recibido, dando lugar a interferencias constructivas y/o destructivas que pueden provocar desvanecimientos rápidos o instantáneos de las amplitudes de los distintos ecos del perfil. La norma tiene esto último en cuenta combinando los perfiles con los desvanecimientos rápidos para cada componente del perfil de potencia simulado. Los desvanecimientos rápidos, producto de la propagación multicamino que experimenta cada eco del perfil tal como se ha mencionado antes, se simulan mediante procesos de amplitud con distribución de Rayleigh y cuya forma espectral corresponde a las distintas desviaciones Doppler en frecuencia (función de la longitud de onda y la velocidad de desplazamiento de los móviles) de las componentes multicamino, debido a que cada una de ellas incide sobre la antena receptora con un ángulo de llegada diferente. A estos desvanecimientos rápidos se superponen

variaciones lentas que reflejan fenómenos de obstrucción temporal por obstáculos de grandes dimensiones (ensombrecimiento). La magnitud de estos desvanecimientos lentos (expresada en dBs) se modela con una distribución lognormal y una cierta correlación espacial. Finalmente se calculan las pérdidas medianas de propagación siguiendo una ley de atenuación por distancia con modelo exponencial [5].

La MAC-hs incluye los tres algoritmos de scheduling: Round Robin, Maximum C/I y Fair Channel Dependent Scheduling. En cada TTI (*Transmission Time Interval*), la MAC-hs comprueba el valor de los CQI (*Channel Quality Indicator*) de cada usuario y dependiendo del algoritmo de planificación determina qué paquetes serán enviados en cada instante.

C. Modelo pre-LTE

El sistema pre-LTE descrito a continuación es una simplificación de LTE, que se concentra en los cambios de la estructura de red, dejando de lado los aspectos físicos de la transmisión. El modelo se basa en la creación de un nuevo nodo *pre-evolved NodeB (pre-eNB)*, que incluya las funciones de HSDPA integradas actualmente en el RNC. Con ello, se consigue simplificar la estructura de red HSDPA, de la misma forma que en LTE.

En la nueva arquitectura desaparece la RNC, la interfaz Iub y el control de flujo entre la RNC y el Nodo B. Los paquetes IP llegan directamente al nodo pre-eNB. Se segmentan en unidades RLC SDUs (*Service Data Unit*) y se añade el código de control de error ARQ propio de RLC AM. A nivel MAC la MAC-hs se encarga del control de error HARQ. Esta entidad se conserva respecto a HSDPA. La arquitectura de red que se ha modelado es la que la tecnología LTE considera, en nuestro caso, las simplificaciones se han hecho a nivel de capa física y PDCP.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PRE-LTE EN EURANE

En su versión actual, EURANE simula UMTS R99 y HSDPA R5, pero no LTE. En esta sección se describen los pasos a seguir para ampliar EURANE a LTE. El sistema pre-LTE es una simplificación de LTE, en el que se modela los cambios de la estructura de red, eliminación de la RNC y incorporación del nodo pre-eNB, pero dejando de lado los aspectos físicos de la transmisión.

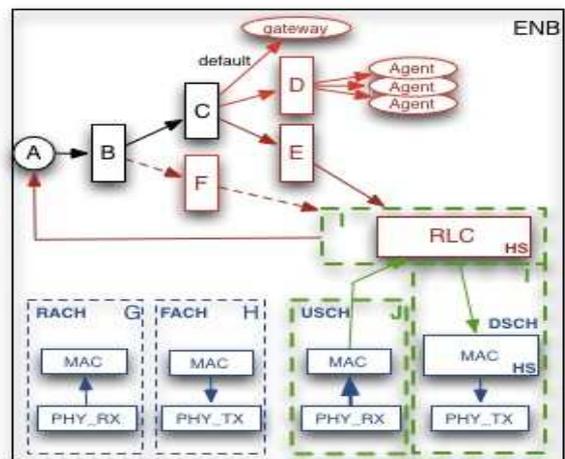


Fig. 2. Implementación del nodo pre-eNB

A. El Nodo pre-eNB

De forma general se puede decir que el nodo eNB es un nodo construido por la fusión de los nodos BS y RNC en HSDPA. (Aunque algunas de las funciones que recaían en el protocolo PDCP se hayan trasladado al aGW).

Se define el nuevo nodo pre-eNB, representado en la Fig. 2. Este nodo contiene la estructura básica de un nodo en ns-2, al que se le añaden todos los clasificadores ubicados en el RNC, además de las interfaces básicas que contienen la BS (*G* y *H*) y la interfaz para el acceso al canal compartido HSDSCH (*Interfaz I*).

Para poder conectar este nuevo nodo al núcleo de red, hay que habilitar en el nodo pre-eNB un enlace entre la red de acceso y el núcleo de red (*gateway*) (nótese que en HSDPA, el enlace de la red acceso a la red troncal está en la RNC). También se debe modificar los UEs para que reconozcan en su configuración la nueva estación base.

IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El modelo de simulación de EURANE está limitado a una sola célula con solo una estación base, aunque sí incluye múltiples usuarios con múltiples conexiones activas simultáneas. En este modelo no se consideran traspasos.

El modelo de sistema UMTS/HSDPA está formado por el núcleo de red (*SGSN*, *GGSN*) y la red externa (*Node 1*, *Node 2*), ambos nodos ns-2, y la red de acceso (*RNC*, *BS* y *UE*), formada por nodos EURANE. Todos los nodos están conectados por un enlace de red fijo, excepto los UEs, que se conectan a través del enlace radio. Las distintas aplicaciones se conectan a los agentes de transporte, que estarán ubicados en el *Node 2* de la red externa.

La diferencia de modelos entre UMTS y HSDPA radica en los canales de transporte utilizados para la transmisión de datos; mientras que en el primero se utilizan los canales comunes (*RACH* y *FACH*), en el segundo se usa el canal compartido (*HSDSCH*). En el modelo del escenario pre-LTE sólo cambia la red de acceso en la que el nuevo nodo pre-eNB sustituye a la BS y el RNC.

duración de la simulación (s)	200s
número de nodos	5 nodos
tamaño de paquete TCP y UDP	500, 540 bytes
scheduler type	RR/MaxCI
HS, AMHS, UMHS, AM, UM buffers	500 PDU

Tabla 1. Valores de los parámetros durante las simulaciones.

La tabla 1 reproduce los parámetros de configuración del simulador, entre los que destacan los relacionados con los protocolos de transporte y enlace.

Como modelo de servicio, se simulan dos tipos de tráfico: transferencia de archivos y multimedia (*audio/video streaming*). Los primeros se modelan mediante una aplicación FTP sobre TCP y está asociado al modo RLC AM. Los segundos se configuran como tráfico CBR (*Constant Bit Rate*) con una tasa de transferencia de 448Kbps sobre UDP y están asociados al modo RLC UM.

En cuanto al modelo de canal, que integra los modelos de propagación y movilidad de usuario, se consideran dos entornos. El primero que se corresponde con un canal ideal

sin atenuación y sin propagación multicamino; y el segundo pedestre con peatones que circulan a 3 km/h.

El modelo de gestión de recursos radio se basa en dos algoritmos de *scheduling* Round Robin y Maximum C/I.

Para medir el rendimiento de la red se utiliza el caudal y el retardo. Los datos que se muestran son promedios a lo largo del tiempo de duración de las simulaciones. Se ha considerado que el inicio de la transmisión de cada usuario esta decalado con el resto 10s.

V. RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE LOS SISTEMAS 3G

A. Pruebas UMTS

Durante las simulaciones, se consideran 5 terminales móviles compartiendo el canal descendente FACH. En el modo AM, los terminales compiten por el ancho de banda del canal compartido. Los servicios de datos están controlados por la capa de transporte, protocolo TCP, que ajusta los tráficos al ancho de banda disponible en el canal. La Fig. 3 presenta la tasa de transferencia de cada uno de los 5 UEs, junto a la tasa de transferencia total. Se observa que el ancho de banda se comparte de forma equitativa entre los usuarios y que en todo momento se consumen todos los recursos del canal.

Por el contrario, si se simula tráfico multimedia, el primer terminal que accede al canal ocupa todo el ancho de banda disponible. Esto ocurre por dos razones fundamentales: la primera es que el protocolo UDP no tiene control de flujo; por otro lado, la capa MAC implementada en el simulador UMTS no utiliza algoritmos de planificación de recursos, lo que hace que la capa de transporte se encargue de gestionar el ancho de banda. En este caso, el protocolo UDP carece de mecanismos para gestionar el ancho de banda entre los distintos usuarios, por ello el usuario que accede primero consume prácticamente todos los recursos. Este comportamiento también se observa si se mezclan flujos de ambos protocolos de transporte (UDP/UM y TCP/AM). En este caso, los servicios no orientados a conexión prevalecen sobre los servicios orientados a conexión.

B. Pruebas HSDPA

En la siguiente simulación se considera un escenario pedestre, cinco usuarios y tráfico de datos. Para calcular el impacto de las medidas de canal (CQIs) en los algoritmos de planificación, los terminales se ponen a diferentes distancias 300m, 500m, 700m del Nodo B con una movilidad reducida (3km/h).

En las tablas 2 y 3 se observa la tasa de transferencia con cada uno de los algoritmos de planificación. *MaxC/I* registra un mayor volumen de transferencia que *RR*, lo que se debe a que *Max C/I* optimiza al máximo los recursos del canal radioeléctrico. Los terminales que están más próximos a la celda experimentan velocidades mayores y retardos menores, mientras que los que se encuentran en el borde de la celda tendrán una peor calidad de transmisión.

En las tablas 2 y 3 también puede observarse el caudal y retardo para servicios multimedia en las columnas sombreadas en gris. Al no existir acuse de recibo en el modo UM, el volumen de datos transmitido aumenta significativamente en comparación con la simulación

anterior. Concretamente, con RR el caudal aumenta casi un 14 % y, con Max C/I, un 20 %.

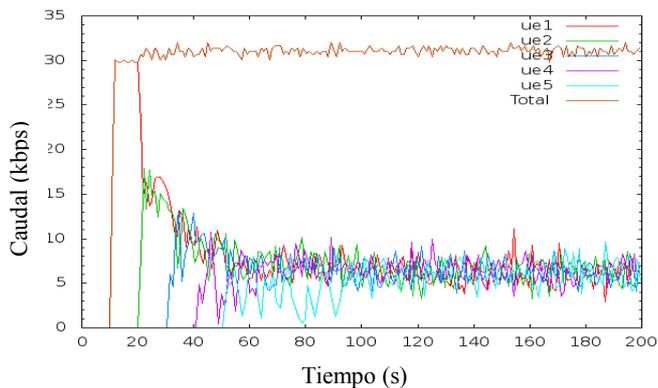


Fig. 3. Caudal 5-UE en el canal común para 1CP/RLC AM en UMTS.

	Caudal (kbps)	Retardo (ms)	Caudal(kbps)	Retardo (ms)
ue1	332	160	382	379
ue2	224	256	262	876
ue3	322	168	364	494
ue4	203	322	239	974
ue5	153	424	162	1629
ue1-5	1234	266,0	1312	870,4

Tabla 2. Caudal y retardo para 5 usuarios en modo AM (blanco) y UM (gris) en un escenario pedestre con planificador RR en HSDPA.

	Caudal (kbps)	Retardo (ms)	Caudal (kbps)	Retardo (ms)
ue1	354	138	414	214
ue2	252	223	324	432
ue3	357	135	429	232
ue4	207	303	246	781
ue5	142	442	186	1283
ue1-5	1312	248,2	1599	588,4

Tabla 3. Caudal y retardo para 5 usuarios en modo AM (blanco) y UM (gris) en un escenario pedestre con planificador Max C/I en HSDPA.

	Caudal (kbps)	Retardo (ms)	Caudal (kbps)	Retardo (ms)
ue1	353	152	382	361
ue2	232	270	262	870
ue3	341	165	363	484
ue4	214	305	239	966
ue5	146	477	163	1609
ue1-5	1286	273,8	1409	858,0

Tabla 4. Caudal y retardo para 5 usuarios en modo AM (blanco) y UM (gris) en un escenario pedestre con planificador RR en sistema pre-LTE.

	Caudal (kbps)	Retardo (ms)	Caudal (kbps)	Retardo (ms)
ue1	378	127	415	199
ue2	268	210	327	418
ue3	379	127	429	218
ue4	218	281	246	768
ue5	149	431	187	1263
ue5-1	1392	235,2	1604	573,2

Tabla 6. Caudal y retardo para 5 usuarios en modo AM (blanco) y UM (gris) en un escenario pedestre, con planificador Max C/I en sistema pre-LTE.

C. Pruebas pre-LTE

Al simplificar la red de acceso, eliminando los nodos BS y RNC, y sustituyéndolos por un nodo pre-eNB, se consigue disminuir el retardo, como se aprecia en las tablas 4 y 5. Si se observan los caudales, se observa que, al igual que pasaba en HSDPA, el planificador Max C/I transmite más volumen de datos que el RR.

Si se comparan los sistemas HSDPA y pre-LTE se puede observar que para este último el caudal acumulado, es decir, la suma de todos los usuarios, es algo mayor que en HSDPA para todas las experiencias. Por ejemplo, en modo AM para un planificador Max C/I el caudal total en HSDPA es 1312 kbps y en pre-LTE 1392 kbps. De nuevo, matizar que este incremento se debe exclusivamente a la modificación de la topología de red y no de la tecnología radio, que se mantiene.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito la extensión del simulador EURANE para considerar nuevas estructuras de red móvil. En esta primera etapa se ha desarrollado una estructura pre-LTE que contempla la arquitectura de LTE en la interfaz radio. A partir de este simulador, se han hecho pruebas para verificar su funcionamiento y compararlo con tecnologías móviles anteriores como HSDPA y UMTS. A partir de los resultados, se puede concluir que los canales compartidos en UMTS no están configurados para administrar tasas de tráfico altas y un número alto de usuarios porque tienen un ancho de banda limitado. Esto provoca que la lentitud de las transmisiones de los usuarios aumente con el número de usuarios conectados a él. En HSDPA, gracias al canal compartido HS-DSCH y la nueva entidad MAC-hs, que controla los distintos flujos de trabajo según el tipo o el estado del canal radioeléctrico, aumenta el volumen de tráfico de los distintos usuarios que usan este canal, obteniendo así tasas de transmisión mayores. Por último, se observa que, al simplificar la red de acceso con el nuevo nodo pre-eNB, aumentan las tasas de transmisión de los distintos tipos de tráfico y se reduce el retardo, dando un acercamiento a lo que sería una red LTE.

En el futuro se pretende incluir en el simulador las características físicas de LTE, como el modelado de canal selectivo en frecuencia y los algoritmos de planificación de recursos en tiempo y frecuencia. Posteriormente, se considerará la ampliación del simulador a LTE-Advanced con la inclusión de repetidores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TEC09-13413 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

- [1] EURANE website. <http://eurane.ti-wmc.nl/eurane/>
- [2] Kevin Fall, Kannan Varadhan. "Network Simulator Manual". http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf. ISI May, 2010
- [3] SEACORN website. <http://seacorn.cs.ucy.ac.cy/eumtssim/>
- [4] 3GPP. "The Mobile Broadband Standard" via <http://www.3gpp.org/>
- [5] EURANE User Guide (Release 1.3). Disponible via <http://www.tiwmc.nl/eurane/>, 2006