

PEDECIBA Informática
Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

Reporte Técnico RT 08-13

Relevamiento de simuladores 3G – UMTS

Raúl Hartman Sergio Neschachnow Franco Robledo

2008

Hartman, Raúl, Nesmachnow, Sergio, Robledo, Franco
Relevamiento de simuladores 3G - UMTS
ISSN 0797-6410
Reporte Técnico RT 08-13
PEDECIBA
Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Montevideo, Uruguay, 2008

Relevamiento de simuladores 3G–UMTS

Raul Hartman
Sergio Nesmachnow
Franco Robledo

Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República, Uruguay
sergion@fing.edu.uy

Resumen

Este documento presenta un relevamiento de Simuladores 3G en el marco del Proyecto/Convenio “Performance de la Red Celular de Antel, Actividad 6”.

1. Introducción

Las técnicas de simulación se han empleado con éxito en la validación, verificación y evaluación experimental de implementaciones de múltiples tecnologías en el ámbito de las telecomunicaciones. Mediante una *simulación* se intenta modelar una situación –que puede corresponder a un escenario realista o a uno hipotético– para determinar el comportamiento del sistema de telecomunicación estudiado de acuerdo a un conjunto de valores asignados a parámetros relevantes para el estudio.

En el ámbito de las redes de telecomunicaciones, se distinguen dos tipos fundamentales de simulaciones de acuerdo al mecanismo de variación de las variables relevantes en el estudio: la simulación discreta y la simulación continua. La simulación discreta es la más utilizada para analizar redes de comunicaciones. Este tipo de simulación se basa en eventos (discretos y estocásticos), que representan los cambios en el sistema simulado y quedan determinados por modificaciones en el o los valores de las variables estudiadas. En contrapartida, en una simulación dinámica los valores de las variables cambian continuamente con el tiempo.

Las ventajas de contar con una evaluación experimental simulada de la tecnología de red que se estudia pueden resumirse en:

- Las técnicas analíticas utilizadas tradicionalmente para modelar la red de comunicaciones requieren emplear modelos matemáticos muy complejos. Como consecuencia, los resultados analíticos solamente pueden obtenerse introduciendo suposiciones y restricciones sobre el funcionamiento de la red. Dado el carácter poco realista de algunas de las restricciones y suposiciones requeridas, el resultado analítico puede tener enormes márgenes de error, convirtiéndose en totalmente inútil para tratar de predecir el comportamiento de la red para escenarios realistas. Las técnicas de simulación permiten reducir (e incluso omitir completamente en algunos casos) las

restricciones y suposiciones sobre el funcionamiento de la red. Adicionalmente, se incorpora al modelo el carácter estocástico de ciertas situaciones relevantes en la red, modelado directamente por los eventos estocásticos del modelo de simulación. De hecho, en ciertas situaciones complejas, la simulación es la única técnica aplicable para el estudio de escenarios realistas.

- Además de contribuir al estudio de los componentes de una determinada implementación y/o configuración de red, las técnicas de simulación permiten analizar en detalle las hipotéticas consecuencias de diversas alternativas de diseño y parametrización, sin necesidad de contar con una implementación física a nivel de prototipo. Esta funcionalidad contribuye a mejorar los tiempos de diseño y evaluación experimental, y a potenciar la confiabilidad y calidad de los servicios ofrecidos.
- A manera de relación interactiva, las simulaciones llevadas a cabo sobre escenarios de carga forzada y/o situaciones extremas pueden generar valiosos aportes, siendo capaces de contribuir a mejorar las especificaciones de la propia tecnología que evalúan.

Sin embargo, las técnicas de simulación también tienen ciertas desventajas:

- Los modelos de simulación orientados a obtener resultados de alta precisión suelen requerir una considerable capacidad de recursos computacionales. Esta desventaja se amplifica cuando se simulan escenarios realistas y/o casos de carga forzada. En la práctica, puede ocurrir que existan límites a la dimensión de los escenarios y/o a la cantidad de elementos involucrados en la simulación, si es que se desean obtener resultados en tiempos de cómputo razonables. Estas limitaciones pueden ser decisivas para determinar la utilidad de un simulador para un proyecto con objetivos específicos.
- La precisión de los resultados de la simulación está determinada por la efectividad del modelo subyacente. Aún para modelos precisos, debe tenerse en cuenta que los resultados de la simulación son solamente estimaciones y predicciones sobre el comportamiento real del sistema simulado.
- Las alternativas de diseño y optimización a analizar quedan determinadas por el número de variables y los rangos de valores analizados para ellas. Cuando se analiza un número limitado de variables y/o valores, las pocas opciones que pueden surgir de la simulación no garantizan que se cumplan los objetivos del diseñador del sistema simulado.

En el contexto específico de las redes de telecomunicaciones, las necesidades de contar con simuladores se relacionan con el actual desarrollo vertiginoso de las tecnologías y la competencia creciente entre productos y empresas del sector. Al disponer de una amplia gama de opciones, se hace imprescindible contar con herramientas que permitan su evaluación precisa en tiempos razonables. La complejidad de las propuestas tecnológicas presentadas hace que sea difícil llevar a cabo su estudio mediante modelos analíticos. En general, se desarrollan modelos analíticos bajo suposiciones y/o restricciones y se utilizan sus resultados como valores aproximados o punto de partida para un análisis más preciso del comportamiento de la red.

1.1. Simuladores para redes de tercera generación

En los últimos 5 años, los simuladores han sido una herramienta fundamental para la evaluación de propuestas tecnológicas de redes de tercera generación. Las metodologías tradicionales de estimación de parámetros de dimensionamiento de la red (e.g. parámetros de utilización y capacidad de los recursos de radio) se han transformado en un método rudimentario para analizar el comportamiento de las redes luego de la introducción de las tecnologías que combinan conexiones basadas en en conmutación de circuitos y de paquetes, y la transmisión de tráfico heterogéneo (paquetes de voz y de datos). Las técnicas de simulación constituyen un elemento imprescindible para llevar a cabo análisis precisos que permitan el correcto dimensionamiento del hardware y la evaluación de la utilización de recursos y calidad de servicio ofrecido. Una vez implementada la red, los simuladores permiten experimentar sobre modelos de la realidad para evaluar la utilidad de nuevos productos, protocolos, tipos de servicio, situaciones extremas de carga en la red, y conducir experimentos destiandos a detectar posibles causas de malfuncionamiento. Mediante esta estrategia se procura diversificar el espectro de servicios prestados por la red, brindar el máximo nivel de calidad en los servicios, garantizar la cobertura a un número máximo de usuarios, y tratar de reducir al mínimo los costos de operación de la red.

La dificultad de análisis de una red UMTS queda determinada por la complejidad de los protocolos utilizados en la interfaz de aire (usualmente W-CDMA y sus versiones mejoradas HSDPA y HSUPA) y en la capa de aplicación (GPS MAP), así como los mecanismos utilizados para codificar voz y datos. Como consecuencia, tan solo en casos muy reducidos es posible realizar los análisis mediante modelos analíticos. Asimismo, es poco frecuente experimentar sobre una red en funcionamiento. Las tareas de análisis de funcionamiento, evaluación de alternativas, optimización paramétrica recaen frecuentemente en las actividades de simulación.

1.1.1. Características deseables de un simulador

En el contexto descrito, el simulador debe ser un producto de software que permita simplificar el análisis de la red, integrando herramientas accesorias con alta aplicabilidad y buenas características de usabilidad (interfaz gráfica, herramientas de análisis, protocolos predefinidos, generadores de estadísticas y gráficos para el procesamiento eficiente de resultados, depuradores, etc.). El software de simulación debe estar modelado de acuerdo a las situaciones y parámetros necesarios para evaluar el comportamiento de la red.

En caso de incluir abstracciones o modelos simplificados de la realidad, debe quedar en claro su alcance y las limitaciones sobre los resultados de simulación.

Dentro de las características más deseables de un simulador se encuentran su *aplicabilidad*, definida como la capacidad de ser utilizado para un amplio espectro de análisis, su *escalabilidad*, definida como la capacidad de alcanzar resultados para escenarios de grandes dimensiones, eventualmente incorporando recursos de cómputo adicionales), su *configurabilidad*, que permita adaptar la parametrización al conjunto de valores relevantes para el estudio en cuestión, y su *flexibilidad*, que queda determinada por la capacidad de otorgar al usuario la posibilidad de incorporar elementos al modelo, diseñar e incluir herramientas de análisis, modificar comportamientos simples de los elementos predefinidos, etc.

En el aspecto concerniente a la aplicabilidad, un software de arquitectura abierta tendrá notorias ventajas respecto a un producto cerrado. Un simulador diseñado bajo la filosofía de código abierto puede permitir el desarrollo de protocolos propios o variantes no incluidas en el código provisto. Asimismo, brindará la posibilidad de implementar especificaciones particulares que sean de interés del usuario y/o del proyecto en el cual se utiliza.

No existe un consenso sobre la utilidad de emplear un lenguaje específico o uno de propósito general para codificar el programa que controle la simulación. En general, muchas empresas y algunos investigadores se inclinan por la utilización de un lenguaje específico para simulación, que posibilita un rápido desarrollo y permite aprovechar al máximo las características del producto de software (a modo de ejemplo es posible mencionar el simulador OPNET [19], con su entorno y lenguaje de programación específico). Por otra parte, algunas empresas y un número importante de investigadores en el área prefieren la flexibilidad y capacidad de abstracción de los lenguajes de propósito general para codificar las simulaciones, ganando en claridad y comprensión del código generado (como ejemplo pueden mencionarse todos los módulos de simulación codificados en C++ que integran el simulador de redes ns-2 [37]).

El simulador debe contemplar el mayor nivel de generalidad posible para los escenarios donde sea posible aplicar su metodología de análisis. En este sentido, la característica deseable es que las limitaciones que puedan existir para el tamaño de los escenarios, para la cantidad de elementos que participan en la simulación, etc., no impongan restricciones fuertes a la aplicabilidad del software y permitan su aplicación para simular entornos de aplicación realistas.

Por último, la eficiencia computacional del software constituye un aspecto vital para determinar la utilidad de un producto de simulación. De poca utilidad será un simulador muy completo y complejo, que permita estudiar, analizar y simular un amplio conjunto de características de la red de telecomunicaciones si para ello requiere de tiempos de ejecución enormes, o si demanda un consumo de grandes cantidades de recursos computacionales.

Tomando en cuenta las consideraciones planteadas, la búsqueda de un producto de simulación adecuado debe orientarse a un software que permita modelar la mayor cantidad posible de características de la red en cuestión, que sea flexible, parametrizable y extensible, que siga la filosofía de diseño de software de código abierto y que tenga valores razonables de eficiencia computacional cuando se aplica a la simulación de escenarios de dimensiones realistas.

1.2. Aspectos a simular

La complejidad de las redes UMTS tiene como consecuencia la existencia de diferentes aspectos a estudiar mediante simulaciones. En este sentido, es posible establecer una categorización de las situaciones a simular estableciendo una correspondencia con las diferentes capas involucradas en el funcionamiento de la red:

- **Simulación de la capa física:** generalmente orientada a evaluar aspectos de las celdas tales como valores de potencia, rangos de cobertura, análisis de obstáculos. La simulación de la capa física es la de más bajo nivel posible, y por tanto no necesita utilizar resultados de otras simulaciones.

- **Simulación de la capa de enlace:** se enfoca en analizar los protocolos a nivel de la capa de enlace, por ejemplo para determinar valores de performance de W-CDMA en la interfaz de radio, o para determinar la efectividad de los mecanismos empleados para control de errores. En una simulación de la capa de enlace se abstrae el comportamiento de la capa física, o bien se utilizan resultados de simulaciones de capa física.
- **Simulación de red:** consiste de una simulación de alto nivel, orientada a analizar el tráfico generado en la red y todos sus cuestiones relacionadas. En una simulación de red se tratará de determinar valores globales de eficiencia, se estudiará la calidad de servicio para los diversos tipos de servicio ofrecidos, se estudiarán los mecanismos de handover y su influencia en la calidad de las transmisiones, etc. Una simulación de red integrará los resultados de simulación de la capa de enlace y de la capa física, o en su defecto utilizará abstracciones para modelar el comportamiento de aquellas capas para las que no se dispone de resultados de simulación.
- **Otras simulaciones:** otros diversos estudios experimentales específicos pueden abordarse mediante simulaciones. A modo de ejemplo, las técnicas de simulación pueden emplearse para verificar, analizar y optimizar protocolos; para estudiar mecanismos de gestión de la carga y de los recursos; para simular servicios y aplicaciones realistas ejecutando sobre la red; para emular componentes de hardware, etc.

Se han desarrollado diversos simuladores específicos para abordar por separado los distintos aspectos a simular del comportamiento de una red UMTS. Si bien los productos de simulación específicos suelen ser altamente especializados en el análisis de una determinada cuestión, sus características distintivas los hacen difícil de integrar en un único módulo de simulación que permita evaluar el comportamiento de la red. Desde un punto de vista global, existen *simuladores integrados* que incluyen varias de las funcionalidades presentadas y permiten simular en forma conjunta la mayoría de los aspectos de las red UMTS.

La principal categorización de productos de simulación los diferencia según integren o no las simulaciones de capa de enlace y la simulación de red. En la práctica, suelen utilizarse indistintamente ambos enfoques. La separación de los niveles de enlace y de red reduce la complejidad del modelo de simulación, permitiendo trabajar de una forma mas cómoda y reduciendo los tiempos de simulación.

Cuando se trabaja en el enfoque no integrado, usualmente se modela una única comunicación entre estación base (o NodoB para UMTS) y dispositivo móvil al nivel de la capa de enlace. Esta simplificación permite analizar adecuadamente el flujo de datos transmitido, asumiendo un determinado modelo para el comportamiento de la capa física, o utilizando resultados de una simulación a ese nivel. En la simulación de capa de red, suelen considerarse varias estaciones base y muchos móviles, y se analiza el tráfico presente en la zona simulada considerando interferencias, modelos de propagación, patrones de movilidad, etc., simplificándose las cuestiones relacionadas con la capa de enlace. El enfoque de simulación no integrado usualmente permite simplificar la tarea de análisis y reducir los tiempos de ejecución de las simulaciones, aunque las suposiciones realizadas en las simulaciones desacopladas pueden afectar los resultados obtenidos.

Los elementos clave a simular cuando se trabaja sobre una red UMTS incluyen a:

- **A nivel de la capa física:** los principales fenómenos que se estudian son el *modelo de propagación*, analizándose aspectos tales como la predicción de cobertura, análisis de obstáculos, pérdidas debidas al propio modelo de propagación y a las interferencias, etc., y el *control de potencia*, estudiándose mecanismos que permitan reducir las demandas de energía de los dispositivos.
- **A nivel de la capa de red:** se analizan las cuestiones relacionadas con el *tráfico*: tráfico generado, propagación multitrayecto, control de carga, tipos de servicio brindados y sus interrelaciones, factores que afectan la calidad de servicio, etc. y los aspectos de *movilidad*, relacionados con la estación base activa, handover (hard y soft), gestión de los recursos de radio, etc. También se estudian las técnicas que intentan maximizar la capacidad de los recursos de radio, como los mecanismos de control de potencia, los esquemas HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) y LA (Link Adaption) y los mecanismos de control de admisión.
- **A nivel de aplicación:** suelen estudiarse las tecnologías de streaming, las clases de calidad de servicio y los mecanismos adaptativos que permiten negociar y mantener los niveles de calidad percibida por el usuario, etc.

1.3. Tipos de simulación

De acuerdo a la categorización que utiliza como criterio el modo en que se consideran los eventos que cambian con el tiempo, existen tres tipos fundamentales de simulaciones: las simulaciones *estáticas*, las simulaciones *dinámicas* y las simulaciones *probabilísticas*. Los productos de software pueden basarse en alguno de los tipos de simulaciones, o incorporar mecanismos para llevar a cabo análisis siguiendo las tres categorías mencionadas.

Una breve descripción de las características de cada tipo de simulación, se presenta a continuación.

- **Simulaciones estáticas:** permiten determinar estimaciones sobre parámetros de la red mediante métodos analíticos, considerando un conjunto de suposiciones (en general poco realistas) sobre la distribución y movilidad de los terminales. Aunque los análisis suelen reportar resultados poco precisos, es posible llevar a cabo simulaciones con escasos recursos computacionales, en tiempos muy razonables. Eventualmente, mediante estas técnicas es posible explorar diversas parametrizaciones de la red, analizando valores de performance, capacidad, utilización, etc. De este modo se puede disponer de un mecanismo útil para una primera planificación “de grano grueso” de la red, para hallar una configuración básica que satisfaga los requerimientos estáticos más importantes. Usualmente las simulaciones estáticas dividen la estimación de performance en dos etapas diferenciadas: la predicción de cobertura y el análisis de performance propiamente dicho. La predicción de cobertura involucra el cálculo de alcance de acuerdo a modelos de pérdida en la propagación, las propiedades de configuración de la red, y mapas digitales del área física donde se lleva a cabo el análisis. Los

datos de pérdida son utilizados, por ejemplo, en el análisis de performance para calcular los valores mínimos de potencia de transmisión en uplink y downlink. Otros múltiples valores de performance (la capacidad de la red, por ejemplo) pueden ser calculados luego de dimensionar adecuadamente el escenario en estudio. Como consecuencia de su naturaleza estática, este tipo de simulaciones no son capaces de contemplar el análisis de fenómenos dependientes del tiempo (relacionados a aspectos de propagación, movilidad y QoS adaptativa, por ejemplo). En su lugar, permiten modelar de un modo relativamente sencillo valores globales de performance y utilización.

- **Simulaciones dinámicas:** consideran aspectos realistas para la mayoría de los efectos y procesos que varían con el tiempo (control de potencia, handover, movilidad, etc.), con el objetivo de estudiar el comportamiento de la red desde el punto de vista dinámico. Este tipo de análisis tiene una ventaja notoria en cuanto a la precisión de los resultados obtenidos sobre las simulaciones estáticas, ya que permite el análisis de múltiples efectos asociados con el manejo de los recursos de radio y con la calidad de servicio provista y percibida por el usuario final, entre otros. Las técnicas de simulación dinámica permiten alcanzar resultados precisos, aunque los tiempos de ejecución y el consumo de recursos computacionales puede ser una limitante severa para obtener resultados en tiempos razonables al analizar escenarios complejos. Tomando en cuenta estas consideraciones, las simulaciones dinámicas suelen utilizarse en la práctica para simular, validar y/u optimizar secciones de la red y para llevar a cabo análisis paramétricos para configurar el funcionamiento de la red. Debe tenerse en cuenta que para llevar a cabo simulaciones a gran escala, existe un compromiso entre el consumo de recursos computacionales (potencia de cálculo y memoria requerida) y el alcance (en tiempo simulado) y la precisión de los resultados obtenidos.
- **Simulaciones probabilísticas:** también denominadas *basadas en método Monte-Carlo* o *simulaciones semi-estáticas*, constituyen un escenario intermedio entre las simulaciones dinámicas y las puramente estáticas. Si bien incorporan aspectos probabilísticos (basados en la técnica de simulación mediante procesos estocásticos), no se consideran completamente la variación dinámica de los fenómenos dependientes del tiempo. El análisis se basa en la información proporcionada por múltiples “fotos” (*snapshots*) independientes de la red, obtenidas con diversos juegos de valores para los parámetros aleatorizados, que permiten evaluar las métricas que definen la performance de la red. Dado que no utilizan un modelo totalmente dinámico, la utilidad de las simulaciones probabilísticas para estudiar los fenómenos dependientes del tiempo es limitada. Sin embargo, utilizando un número adecuado de imágenes estáticas de la red, permiten obtener resultados estadísticamente significativos, que posibilitan analizar situaciones relativamente complejas y obtener valores de performance de la red. Al igual que con las simulaciones dinámicas, existe un nivel de compromiso entre la calidad de los resultados obtenidos y los recursos computacionales requeridos para obtener el número de snapshots adecuados. Ejemplos prácticos encontrados en la literatura del área sugieren que el tamaño de los escenarios para los que pueden encontrarse resultados de precisión aceptable están limitados a algunos cientos de celdas.

En la siguiente sección se presenta un relevamiento de los productos de simulación existentes en la actualidad para redes UMTS, contemplando las consideraciones presentadas en esta sección introductoria.

2. Simuladores 3G – UMTS

2.1. Relevamiento

Un análisis del estado del arte en el aspecto referente a software para simulación 3G – UMTS permite verificar que la práctica actualmente se orienta hacia determinar tres aspectos fundamentales: la perspectiva general del software de simulación, las características de las situaciones a simular y la motivación existente para cada escenario de simulación abordado. Estas cuestiones intentan enfocarse en responder de modo coherente las preguntas referentes a “quién simula”, “qué es simulador” “con que propósito”.

Se han presentado diferentes enfoques para clasificar y diferenciar las perspectivas desde las cuales se diseña, implementa y/o utiliza un software de simulación. Fledderus [8] presenta una categorización de los puntos de vista del vendedor, del operador público y del operador privado para los productos de simulación. Una breve reseña de su enfoque se presenta a continuación.

- **El punto de vista del vendedor:** Desde el punto de vista del desarrollador–vendedor de tecnología, el producto de simulación se considera generalmente como un software genérico, que intenta integrar la mayor cantidad de características que permitan una mayor versatilidad y aplicabilidad del producto final. Aún siguiendo este enfoque comprensivo, suelen asumirse características de la red simulada que no pueden ser modificadas por el usuario, y el simulador se diseña considerando sus partes no flexibles como una caja negra para los aspectos que quedan más allá del alcance del análisis. Los análisis de performance que se tienen en cuenta para el desarrollo del simulador siguen la línea conceptual comentada. En general intentan proporcionar un conocimiento integral de la performance del sistema simulado, empleando utilitarios para el análisis de parámetros genéricos. Sin embargo, atendiendo a las diversas necesidades de una amplia gama de usuarios, suelen incluir un juego variado de parámetros de simulación, aunque en la práctica no sea sencillo trabajar sobre ellos para obtener estimaciones de performance de la red. Como consecuencia de las consideraciones presentadas, la perspectiva del vendedor en general se orienta a integrar funcionalidades, proponer innovaciones y desarrollar nuevas tecnologías, y suele prestar atención limitada a las cuestiones específicas de performance de la red.
- **El punto de vista del operador público:** Los operadores de redes móviles tan solo han considerado los productos de simulación recientemente, como una alternativa para evaluar las funcionalidades de una cierta implementación de red UMTS. Los operadores han tendido a modificar su rol de propietario de la red para pasar a preocuparse por actuar como *operador de servicios*. En este sentido, los productos de simulación están siendo utilizado generalmente con el objetivo primario de extender nuevas

tecnologías, evaluando la capacidad de proveer nuevos (o mejorados) servicios en la red. Siguiendo este enfoque, las simulaciones tienden a evaluar el impacto (real y subjetivo) en la calidad de servicio (real y percibida por el usuario) para los servicios característicos de las redes 3G-UMTS. En este sentido, el enfoque del operador público va más allá de la mera evaluación de funcionalidades, abarcando también aspectos específicos de performance, especialmente considerando aquellos parámetros más relevantes para la calidad de servicio percibida por el usuario para los tipos de tráfico más sensibles.

- **El punto de vista del operador privado:** Complementando a los operadores públicos, han surgido emprendimientos privados motivados por la introducción de redes dedicadas con cometidos específicos. En general, los operadores privados actúan con un enfoque similar al de los operadores públicos, aunque siguiendo un comportamiento más limitado en sus evaluaciones experimentales. Ciertos operadores privados tienen requerimientos específicos sobre la operación de sus redes en situaciones extremas, y necesitan imperiosamente llevar a cabo simulaciones para verificar la viabilidad de los servicios ofrecidos sobre casos realistas.

Como resumen de los aspectos comentados, es posible considerar que la principal utilidad de los productos de simulación consiste en su utilización para la evaluación de parámetros de calidad de servicio sobre escenarios realistas. Las evaluaciones experimentales se llevan a cabo con el objetivo de determinar la capacidad de los operadores para brindar los tipos de servicio asociados a redes 3G-UMTS.

Las técnicas de simulación mediante software han tenido un impacto directo en la evaluación de las capacidades operativas de las redes 3G-UMTS. En concreto, coexistieron con las primeras instalaciones y potenciaron al período de evaluación experimental (sobre implementaciones de testeo) de las redes UMTS en Europa y EE.UU en el período 2003-2005. En la actualidad, la simulación mediante software tiene un rol importante en tres líneas de trabajo que aparecen como las más destacadas en cuanto a la perspectiva de desarrollo de las redes 3G-UMTS:

- **La competencia tecnológica creciente:** Los simuladores consituyen una herramienta imprescindible para la evaluación de nuevas propuestas tecnológicas orientadas a mejorar los servicios ofrecidos. Como ejemplo, solamente mediante simulaciones es posible abordar el análisis de las propuestas de redes híbridas, con diferentes número de capas que combinan tecnologías, sobre escenarios reales. Mediante software de simulación puede abordarse el estudio del manejo de los recursos de radio, la capacidad de ciertos tipos de redes de proveer de manera más eficiente determinados tipos de servicio, y la interoperabilidad entre redes que tienen diferentes tecnologías y/o características, entre otros aspectos.
- **La predicción de comportamiento de los usuarios:** Complementariamente al análisis de las características de la red, contar con una herramienta que permita predecir el comportamiento de determinado tipo de usuarios constituye una ventaja importante para el operador orientado a proveer servicios. Contar con un estudio previo del comportamiento de

usuarios tipo de la red (por ejemplo, analizando la frecuencia de acceso a la red, los tipos de servicio más utilizados, los aspectos relacionados con la movilidad, etc.) permitirá adaptarse a las necesidades específicas de los usuarios.

- **El enfoque integral de performance de la red:** Los estudios realizados sobre las redes UMTS han permitido corroborar que para mejorar la performance de los servicios ofrecidos no sólo es relevante el estudio de los aspectos relacionados con la interfaz de aire, sino que se requiere de una comprensión integral de diversos aspectos que influyen en la performance de la red. El análisis de performance no puede hacerse por separado, ya que la conjunción de varias soluciones subóptimas (alcanzadas optimizando diversos criterios por separado) puede conducir a serios deterioros en la calidad efectiva de los servicios provistos. Considerando los altos requisitos computacionales que puede demandar un análisis exhaustivo de performance, los simuladores pueden contribuir significativamente en mejorar la calidad de los servicios ofrecidos mediante el estudio de un modelo simplificado pero que comprenda la totalidad de los aspectos relevantes de la red.

2.2. Simuladores de código libre

Existe una variada gama de productos de simulación para redes 3G-UMTS que se basan en la filosofía del software libre. Una reseña de los productos más relevantes se presenta a continuación.

2.2.1. EURANE

E.U.R.A.N.E (Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions) es un simulador de redes UMTS que utiliza como base el simulador de redes ns-2 [37]. EURANE hereda las características de ns-2, un simulador de redes orientado a eventos discretos de amplio uso dentro de la comunidad académica para el estudio de arquitecturas y desempeño de redes. Su código es de distribución y uso libre, hecho que favorece su amplia difusión y su constante actualización e incorporación de contribuciones y extensiones. ns-2 está basado en el lenguaje de programación C++ (utilizado para la implementación de objetos y protocolos de los modelos) y en el lenguaje de scripting Tcl (utilizado para el manejo y configuración de los escenarios de simulación). Los objetos incluidos en las simulaciones de ns-2 incluyen nodos, links, agentes y aplicaciones.

El simulador EURANE fue diseñado en el marco del proyecto Seacorn [?], una iniciativa auspiciada por Ericsson para la evaluación, mediante simulaciones, de posibles mejoras a la especificación original UMTS. EURANE ofrece extensiones a la distribución básica del simulador genérico ns-2 que permiten la simulación de UMTS release 99 y las mejoras de HSDPA (3GPP UMTS Release 5).

Modelo de simulación

El escenario básico de simulación que el permite definir EURANE consiste típicamente en uno o varios equipos móviles generando tráfico contra hosts en la red física. EURANE incorpora tres nuevos nodos UMTS al entorno de simulación

ns-2: UE (user equipment), BS (base station o Nodo B) y RNC (Radio Network Controller), representados con línea punteada en la figura ???. En estos nodos se ubican las entidades de software propias de la arquitectura UMTS, como se presenta más adelante. Los elementos SGSN, GGSN y hosts en la red física se modelan como nodos estándar de ns-2, por lo que no presentan funciones propias de UMTS. Los protocolos en las interfaces Iub, IuPS y Gn se representan simplificadaamente mediante enlaces (links) estándar en ns-2. En estos enlaces es posible configurar parámetros de ancho de banda, retardo y modalidad de buffer.

Arquitectura implementada

En los nodos UMTS incorporados por EURANE (UE, BS y RNC) se implementan entidades asociadas a la arquitectura UMTS en las capas RLC, MAC y capa física. La arquitectura de protocolos se muestra en la figura ???.

Dado que EURANE utiliza las capas de aplicación, transporte y red estándar de ns-2, es posible utilizar los modelos de generación de tráfico y aplicaciones disponibles en ns-2. La capa PDCP de UMTS no está implementada, con lo que se pierde la funcionalidad de compresión de encabezados TCP. La capa RLC ofrece los modos de operación acknowledged (AM) y unacknowledged(UM) con y sin reconocimiento de tramas respectivamente. No se implementa el modo transparente (TM). El modo UM de RLC ofrece las funciones de segmentación y reensamblado de paquetes, concatenación, padding, transferencia de datos de usuario y verificación de números de secuencia. En el modo AM el simulador implementa funciones de segmentación y reensamblado de paquetes, concatenación, padding, transferencia de datos de usuario, entrega ordenada de PDU de capas superiores, detección de tramas duplicadas y control de flujo. Las funciones de la capa MAC incluyen channel switching entre canales dedicados y canales comunes, add/read de identificador de UE que permite la identificación de flujos por UE transportados por canales comunes, selección de TFC y mapeo entre canales lógicos y de transporte.

Algunas funciones de la capa MAC no están implementadas en el modelo. Por ejemplo, no se consideran encabezados MAC teniendo en cuenta que la simulación se centra en el estudio de tasas de transferencia a nivel RLC. Para la simulación de HSDPA se implementa una subcapa MAC-HS separada que soporta el nuevo canal de transporte y funciones propias de esta especificación. Esta nueva capa se ubica en la BS para optimizar los mecanismos de adaptación a las condiciones del canal y minimizar los retardos. La MAC-HS puede coexistir en una misma simulación con UMTS release 99. La capa MAC ofrece diferentes posibilidades de mecanismos de despacho de tramas (scheduling), como ser round-robin y maximum C/I. Posteriormente a la publicación del software en el marco del proyecto Seacorn, se han reportado trabajos independientes que agregan otros mecanismos a la distribución original de EURANE [?, ?].

Canales de transporte

El simulador implementa modelos para los canales de transporte comunes FACH, RACH y los canales dedicados DCH y HS-DSCH (HSDPA). Para todos los canales implementados es posible configurar parámetros de ancho de banda y TTI de subida y bajada en forma independiente. Se implementan funciones en el plano de usuario, pero no se implementan funciones en el plano de control.

El diseño del simulador permite que las instancias de los canales de transporte se identifiquen mediante un entero NIF (network interface) que permite asignar modelos de error y puntos de para generar trazas de paquetes en forma independiente para cada instancia. Los canales de transporte ofrecen servicios a uno más agentes de transporte (TCP/UDP) estándares de ns-2, los que a su vez soportan las instancias de aplicaciones correspondientes, que también son las presentes en ns-2 estándar (ftp, cbr, etc.) En la figura ?? se muestra esquemáticamente la estructuración de canales e interfaces en un escenario UE-BS-RNC con canales RACH, FACH, DCH y RNC.

Modelos de error

EURANE utiliza un modelo de canal inalámbrico estándar de ns-2 entre UEs y BS, al que es posible asignar un modelo de error. Las características más detalladas de un modelo físico de propagación WCDMA (interferencia, fading y control de potencia) se abstraen mediante el modelo probabilístico definido para la pérdida de tramas. Para los canales comunes y DCH se utiliza un modelo de error estándar de ns-2 definido por una distribución de probabilidad de error por trama recibida. Este modelo de error puede ser diferenciado para cada interface o canal. Para la simulación de HS-DCH se utiliza un modelo más complicado que consta de dos partes: en una primera instancia se genera una tabla de relación BLER y SNR mediante un simulador de canal físico o valores estandarizados, y luego se genera (mediante scripts en Matlab o utilitarios similares) una tabla de potencias recibidas y valores CQI (Channel Quality Indicators).

Limitaciones

Las principales limitaciones de EURANE corresponden a:

- No se implementan funciones de handover entre celdas. El escenario de simulación típico es el de una celda única.
- El enfoque del simulador es a nivel de sistema, siendo el modelo de capa física muy limitado. Los aspectos relacionados con la capa física se abstraen mediante funciones de probabilidad de error.
- No se implementan aplicaciones de voz. El simulador basado en ns-2 está enfocado a aplicaciones con transporte IP.
- No ofrece una interfaz de usuario amigable que permita un manejo sencillo para usuarios no expertos. El manejo de diferentes escenarios de configuración se realiza mediante modificación de scripts, un procedimiento que puede no ser eficiente para su uso intensivo. En el relevamiento realizado no se encontraron herramientas de postprocesamiento que sean realmente útiles (sin realizarles modificaciones).
- Las referencias al desempeño computacional de EURANE. El software puede no ser eficiente en términos de tiempos de cómputo al abordar simulaciones a gran escala.

Aspectos favorables

Las principales ventajas de EURANE pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- El software es de distribución libre para usos no comerciales. Su distribución gratuita puede obtenerse en el sitio web de Eurane [?].
- El código es abierto y extensible. De acuerdo a los requerimientos y restricciones en el marco del convenio es posible incorporar ciertas adaptaciones, de acuerdo a los objetivos considerados.
- Es posible reutilizar contribuciones y aportes de ns-2 estándar en cuanto a modelos de aplicaciones y tráfico.
- El paquete de software es de instalación relativamente sencilla. La documentación disponible es bastante detallada y clara.
- El software ofrece simulación UMTS release 99 y HSDPA.

Resumen

EURANE es un software de uso libre y código abierto que ofrece simulaciones a nivel de sistema en un escenario de simulación parcial de redes UMTS/HSDPA, orientado a aplicaciones IP. Teniendo en cuenta las posibilidades de mejoras que puedan realizarse de acuerdo a los requerimientos específicos del convenio y las limitantes expresadas puede resultar una herramienta complementaria para utilizar en las actividades de dimensionamiento.

2.2.2. Dune

Dune es un paquete de simulación que permite evaluar la performance de la capa física de UMTS en sus versiones TDD, FDD y FDD-HSDPA. El simulador incluye implementaciones estándar del funcionamiento de dispositivos transmisores y receptores UMTS mediante modelos flexibles que permiten la evaluación de performance tanto del modelo UMTS estándar como de versiones modificadas.

2.2.3. MoDySim - COUGAR

MoDySim es un software para simulación de redes UMTS desarrollado en el marco del *EU 5th Framework project Momentum*, un proyecto para el desarrollo de algoritmos de planeamiento y optimización de redes UMTS. El simulador fue desarrollado como un esfuerzo conjunto por las empresas de telecomunicaciones holandesas TNO Telecom (antiguamente KPN Research) y QQQ Delft, y el instituto ZIB (Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin) en Alemania [6].

MoDiSym es un simulador dinámico, que emula el comportamiento de la red a lo largo del tiempo considerando los aspectos dinámicos de las comunicaciones, como modelos de movilidad y de comportamiento de los usuarios [9].

El simulador fue ideado contemplando como principales objetivos de diseño el alcanzar altos niveles de precisión en los resultados y proveer la capacidad de simular escenarios de grandes dimensiones (del orden de varios cientos de estaciones base manejando volúmenes de tráfico realistas, servicios mixtos, algoritmos de control de potencia, de control de admisión y de control de congestión, y

soft handover). Para afrontar las demandas de recursos computacionales necesarios para simular escenarios realistas (del tamaño de ciudades densamente pobladas, los casos de estudio que se mencionan en los documentos de diseño del simulador corresponden a las ciudades de La Haya, Lisboa y Berlín), MoDySim incorpora técnicas de procesamiento paralelo para obtener resultados en tiempos de cómputo razonables.

Se decidió utilizar un esquema algorítmico basado en simulación en el tiempo, ya que un esquema basado en simulación de eventos introduciría limitaciones en el modelo de la red UMTS a simular. Un simulador basado en eventos puede ser útil para analizar ciertos procesos de características estocásticas en una red UMTS, pero en la realidad las redes tienen una base temporal (determinada por el latido de las señales de control de potencia). En un simulador dinámico, el latido se transforma en la mínima escala temporal disponible para la simulación.

Esquema algorítmico

Cada ciclo del esquema algorítmico iterativo de MoDySim representa un latido de la red. El Algoritmo 1 (adaptado de [9]) presenta un esquema de las acciones que se llevan a cabo en cada paso del algoritmo, tanto en el grupo de NodosB (NB) como en el grupo de dispositivos móviles de usuario (UE).

Algoritmo 1 Ciclo del esquema algorítmico de MoDySim.

- 1: **UE**: Actualizar ubicaciones.
 - 2: **UE, NB**: Calcular calidad de las señales.
 - 3: **UE**: Determinar solicitud de soft handover.
 - 4: **NB**: Aplicar algoritmo de control de admisión de llamadas.
 - 5: **UE**: Actualizar tasas de transmisión.
 - 6: **UE, NB**: Calcular interferencias y actualizar niveles de potencia.
 - 7: **UE**: Eliminar llamadas por congestión.
 - 8: **UE**: Eliminar llamadas por QoS.
-

En el Algoritmo 1, el paso 1 corresponde a la reubicación de los dispositivos móviles en cada instante de tiempo. Las ubicaciones de los equipos de usuario se determinan mediante modelos de movilidad realistas (e.g. considerando vías de tránsito, y diferentes velocidades). Asimismo, se incluye el arribo de nuevas llamadas y la eliminación de móviles no activos. El cálculo de calidad de señales en el paso 2 se realiza mediante mapas de propagación que especifican las pérdidas en cada región, de acuerdo a cuatro modelos de entornos realistas especificados: edificios, vías de tránsito, elevaciones en el terreno y cursos de agua. En base a los valores de calidad de señal calculados, los dispositivos móviles deciden si corresponde el envío de solicitudes de handover hacia los NodosB. En el paso 4, cada NodosB determina el procesamiento de las solicitudes de handover recibidas, así como de las nuevas solicitudes de llamadas generadas en el paso 1. La actualización de tasas de transmisión en el paso 5 involucra el ajuste de bitrates dependiendo de los servicios brindados, acción que afectará los niveles de potencia requeridos que serán actualizados en el paso 6. Este procedimiento es una acción global para todos los NodosB que involucra el envío de información (por los canales de señalización) sobre niveles de potencia a los móviles, el ajuste de potencia de los móviles y el cálculo de valores de interferencia de las señales de los móviles en los NodosB y viceversa. Por último, las etapas 7 y 8

involucran la eliminación de llamadas por parte del Nodo B como consecuencia de situaciones de congestión o de no cumplir los requisitos de calidad de servicio.

El esquema de paralelización adoptado corresponde a una descomposición de dominio, tratando de hacer frente a tres características fundamentales de las redes UMTS que introcen situaciones problemáticas para el algoritmo paralelo:

- La interferencia en UMTS es un fenómeno cuyos efectos son de amplio rango. Esta característica complica el intento de explotar la localidad de datos en los subdominios generados por la paralelización.
- Los efectos de la variación de tamaños de celda dependiendo del tráfico y del soft handover implican que no se pueda asumir un modelo distribuido que asocie un único proceso a cada dispositivo móvil.
- Los mecanismos de control de potencia implican comunicaciones intensas entre procesos distribuidos, considerando que en la implementación tradicional de UMTS la actualización de valores de potencia en UE y NodosB se lleva a cabo cada 0.66 ms.

Modelo UMTS

El modelo UMTS de MoDySim fue concebido para evaluar la parametrización de los algoritmos de manejo de recursos de radio y evaluar la configuración de la red en escenarios realistas. El modelo de tráfico contempla múltiples tipos de servicio a nivel de paquetes. El modelo de comportamiento de usuarios incluye procesos estocásticos de arribo y permanencia para cada tipo de servicio, dependientes del entorno. Asimismo, los modelos de movilidad de usuarios considerados contemplan las características dinámicas del escenario analizado. La propagación de señales se modela mediante grillas que predicen valores para la pérdida de señal, tanto para modelos de pérdida veloz como de pérdida lenta.

El simulador recibe como parámetros las características físicas del escenario (ubicación de las antenas, parámetros de RRM, etc.), y considera las especificaciones tradicionales de UMTS de 3GPP: un algoritmo básico de control de potencia realista, basado en el protocolo TSL; un algoritmo de control de potencia avanzado que permita una evaluación cualitativa y veloz; modelos para los canales de transporte DCH, DSCH, RACH y FACH; y algoritmos para control de recursos (control de admisión, control de congestión, soft handover y asignación).

Durante la simulación se almacenan todos los eventos y medidas necesarias para reportar. luego de un post-procesamiento, una evaluación precisa del desempeño de QoS y GoS. Las medidas típicas de performance incluyen: probabilidad de bloqueo de llamada, probabilidad de rechazo de llamada, retardo, throughput, potencia promedio del NodoB, etc.

COUGAR

COUGAR [22] es un simulador dinámico para redes UMTS basado en el enfoque de MoDySim que fue desarrollado por TNO Telecom [21]. El principal objetivo de COUGAR es la optimización del manejo de los recursos de radio, modelando aspectos dinámicos de movilidad, inicio y fin de sesión, modificaciones en los requisitos de ancho de banda y mecanismos de control de potencia.

Considerando sus características, COUGAR opera como una herramienta de manejo de recursos para RRM, considerando control de handover, control de admisión de llamadas, asignación de recursos, cambio dinámico de tasas de transmisión y tipos de canal, etc. Sin embargo, puede ser utilizado como un producto capaz de replicar situaciones sobre escenarios reales para mejorar la comprensión del comportamiento de redes UMTS.

Disponibilidad del software

De acuerdo a la información relevada hasta el momento de escribir este informe, no existen referencias sobre la disponibilidad pública de los productos de simulación MoDySim y COUGAR. Considerando que uno de los integrantes del equipo que desarrolló MoDySim es una institución dedicada a la investigación, existe la posibilidad de obtener una versión de evaluación del simulador contactando a los responsables del equipo de investigación.

2.2.4. URIS

URIS es el acrónimo de UMTS Radio Interface Simulator, un simulador basado en eventos discretos diseñado por el grupo ComNets de la RWTH Aachen University, Alemania [36]. La herramienta de simulación ha sido utilizada para investigar, optimizar y desarrollar funcionalidades a nivel del stack del protocolo de interfaz de radio [16, 12], pero también para evaluar la performance y la calidad de servicio de redes UMTS en múltiples estudios sobre variados escenarios [15, 14, 26].

El simulador es un producto de software codificado en C++ y que utiliza la biblioteca de clases SPECTCL (SDL Performance Evaluation Tool Class Library). La implementación de los protocolos de la interfaz de radio UMTS está hecha sobre una versión optimizada del stack del protocolo TCP/IP y se especifica con el Specification and Description Language (SDL). La arquitectura del simulador URIS se compone de varios generadores de tráfico, una unidad de mezcla de tráfico que permite adaptar situaciones realistas, y el corazón del simulador, que simula los dispositivos móviles UE y las unidades de acceso UTRA, representadas como sistemas SDL que contienen implementaciones de los protocolos de diferentes capas. El módulo que simula el canal físico permite el envío de ráfagas de frames sobre la interfaz de radio, incluyendo métodos para descartar ráfagas erróneas generadas de acuerdo a un modelo de error. Los protocolos MAC, RLC (en modo transparente, sin confirmación y con confirmación), PDCP y RRC están implementados mediante modelos precisos, que son utilizados por el simulador para la evaluación de performance de la red UMTS.

URIS incluye implementaciones de TCP (basada en stack Reno) y utiliza diversos mecanismos de control de flujo: slow start/congestion avoidance, fast retransmit/fast recovery, acknowledge retardado y acknowledge selectivo. Para analizar la performance de tipos de servicio HTTP y FTP, se incluyen modelos de tráfico detallados basados en parametrizaciones estándar (secuencias de solicitudes de página y tiempos de ON/OFF para navegación web, y secuencias repetitivas de actividad/no actividad hasta alcanzar el tamaño de transmisión prefijado para FTP). Las principales medidas de QoS a nivel de aplicación permiten evaluar el retardo y el throughput de las transmisiones [12].

Las políticas de control de admisión que permiten alcanzar ciertos requisitos

de QoS fueron incluidas posteriormente por Malkowski et al. [26], en un trabajo que compara diferentes enfoques. Las estrategias consideran las limitaciones de UMTS referentes al número disponible de códigos que definen los canales (organizados en estructura de árbol binario) y también toman en cuenta las limitaciones de interferencia (o relación portadora-interferencia C/I) para cada enlace, que limitan la capacidad de los canales de uplink (para escenarios con poco tráfico) o de downlink (para escenarios con altos valores de tráfico).

El algoritmo de control de admisión implementado en URIS incluye tres estrategias tradicionales:

- **BCAC** (Busy Channel Admission Control), que controla los recursos al nivel del árbol de códigos.
- **TPAC** (Transmitted Power Admission Control), que controla la potencia emitida por el NodoB hacia el cual un móvil solicita una conexión.
- **RPAC** (Received Power Admission Control), que controla la potencia recibida por el NodoB hacia el cual un móvil solicita una conexión.

El algoritmo de control de admisión de URIS no solamente permite controlar los códigos utilizados para definir los canales de comunicación, sino también controla los factores de amplificación, permitiendo la evaluación simultánea de servicios con diferentes requisitos de QoS.

En el trabajo mencionado, Malkowski et al. diseñaron en C++ un entorno de simulación que integra a URIS con otros módulos: RISE (Radio Interference Simulation Engine, un módulo que calcula mediante modelos realistas valores de propagación e interferencia), y módulos para protocolos TETRA, S-WARP y PRIME.

En 2004 se propuso un proyecto que tenía como objetivo la extensión del simulador URIS para considerar HSDPA. Los principales objetivos del proyecto incluían la implementación de una extensión de la capa física de URIS para dar soporte a los mecanismos de modulación y esquemas de codificación requeridos por HSDPA, la mejora de la capa MAC de URIS (específicamente el HARQ y el interlaceado), y el diseño y codificación de algoritmos para el control de recursos de radio que permitan la selección dinámica de NodosB considerando la calidad de los canales de servicio.

Por último, en 2005 se presentó una propuesta de proyecto para mejorar el performance de los mecanismos de asignación de HSDPA y HSUPA. Esta propuesta tiene como principal objetivo el análisis de algoritmos rápidos que permitan la asignación dinámica de los canales compartidos a los diferentes usuarios y/o servicios. La estrategia a seguir se basa en monitorear continuamente el estado de los canales compartidos, e involucra la reimplementación de los canales compartidos de HSDPA y HSUPA en URIS, la implementación de estrategias de asignación en la capa MAC y su integración con las políticas ya existentes, y la evaluación comparativa de performance de los nuevos algoritmos de asignación implementados sobre escenarios adecuados.

Dado que no existen novedades sobre el estado de los proyectos que proponen extender el simulador URIS, es razonable suponer que se encuentran en ejecución en la actualidad.

Disponibilidad del software De acuerdo a la información relevada hasta

el momento de escribir este informe, no existen referencias sobre la disponibilidad pública del simulador URIS. Considerando que ha sido desarrollado por un grupo de investigación universitario, existe la posibilidad de obtener una versión de evaluación del simulador contactando a los responsables del equipo de investigación.

2.2.5. UPC UMTS simulation tool

2.2.6. SUPRA

2.3. Simuladores comerciales

Existe una variada gama de simuladores comerciales, desarrollados por empresas u organizaciones dedicadas al estudio y comercialización de soluciones sobre la tecnología 3G-UMTS. Algunos de los productos más relevantes se describen a continuación.

2.3.1. Suite NetHawk

La empresa NetHawk [28] ha desarrollado un conjunto de simuladores y analizadores de protocolos que se han constituido como herramientas poderosas para el análisis de redes GSM/GPRS/EDGE y UMTS. La suite de programas de NetHawk incluye aplicaciones avanzadas para llevar a cabo el monitoreo de protocolos, para el seguimiento de llamadas y sesión, análisis de calidad de servicio y para la evaluación paramétrica y de optimizaciones. Los productos NetHawk están orientados hacia la integración de sistemas, los tests funcionales, los tests de carga, la implementación y la operación de la red. Las operaciones de monitoreo, optimización, comprobación y evaluación de indicadores de performance se llevan a cabo simultáneamente sobre las múltiples interfaces de la red, y brindando soporte para tecnologías diversas [27].

NetHawk EAST es la plataforma de testing con soporte multi tecnología para los simuladores NetHawk, e incluye un módulo para el análisis de redes inalámbricas. NetHawk EAST incorpora herramientas gráficas flexibles para edición de escenarios, ejecución de simulaciones y procesamiento de resultados. Se publicita como la herramienta más flexible e intuitiva del mercado, con una escalabilidad “virtualmente ilimitada” que le permite manejar los casos más rigurosos de escenarios con alta carga.

NetHawk EAST puede utilizarse para simular el RNC hacia el núcleo de red. Si se desea tener un punto de acceso UTRAN, el RNC puede estar conectado a un NodoB. En cualquiera de las dos configuraciones, el simulador puede emular a un número apropiado de dispositivos UE para evaluar las funcionalidades y la performance del equipamiento del núcleo de red. La simulación de la red de acceso de radio (UTRAN) permite estudiar varios aspectos como la reubicación de SRNS y el handover, conectado a un núcleo de red real o simulado. También puede utilizarse para validar el funcionamiento de codecs de voz (AMR) o protocolos para control de llamadas móviles, entre otros aspectos.

El simulador de NetHawk EAST permite validar en modo separado las funcionalidades de la red de acceso de radio (UTRAN) mediante análisis orientados a estudiar los procedimientos de establecimiento, mantenimiento y liberación de recursos de radio; a analizar los servicios provistos y a validar las estrategias de

manejo de canales compartidos de la interfaz Iub. Cada punto de acceso (simulado) del núcleo de red puede estar conectado a uno o más puntos de acceso UTRAN, que pueden a su vez ser reales o también simulados. Las interfaces Iu e Iur se estudian mediante análisis estadísticos y los resultados se utilizan para el análisis del NodoB o del RNC por separado.

Simulador RNC/Iub

El simulador RNC/Iu de NetHawk es una herramienta que permite simular las comunicaciones de señalización, tráfico, sincronismo e información de operación y mantenimiento desde y hacia un NodoB de UMTS trabajando con WCDMA sobre una interfaz Iub. Su utilidad consiste en permitir el análisis de un NodoB sin disponer de una RNC real ni del resto de la infraestructura de red.

El simulador RNC/Iu soporta las especificaciones 3GPP R5 NBAP, HS-DSCH y el protocolo de tramas E-DCH, elementos requeridos para el análisis de conexiones HSDPA y HSUPA. La estrategia de simulación se basa en emular la capa física y la capa de enlace en la interfaz Iub hasta los protocolos de retransmisión RLC-SSCOP. Los scripts de testing toman en cuenta las señalizaciones (ALCAP, NBAP) utilizando una biblioteca de codificación y decodificación. Empleando las herramientas de testing de NetHawk es posible analizar la correctitud de flujo de información desde y hacia el NodoB, incluyendo los valores estadísticos de BER, FER y BLER, calculados de acuerdo a patrones de generación y envío de información sobre las interfaces Iub/Uu.

Adicionalmente, el simulador RNC/Iub incluye casos de estudio automatizados para modelos de testeo y canales de referencia definidos en la especificaciones de 3GPP para el NodoB. Para el estudio se requiere equipamiento de RF para el análisis de la interfaz de aire WCDMA y modelos de generación de datos en el canal uplink. El simulador opera en el rol del RNC en la interfaz Iub, monitoreando la calidad del canal de uplink de acuerdo a mediciones del canal físico reportadas por el equipamiento de RF.

M5: Análisis de HSDPA y HSUPA

El multi-analizador M5 de NetHawk provee un conjunto integrado de herramientas para monitoreo, simulación funcional y testeo de carga de HSPA (HSDPA release 5 y HSUPA release 6). M5 se adapta dinámicamente a diferentes situaciones y mediante el monitoreo de los canales que transportan tráfico de usuario (DCH, EDCH, HS-DSCH) permite analizar en detalle la operación de HSDPA y HSUPA para todos los escenarios de carga. También se provee un mecanismo sencillo de acceso y decodificación del tráfico en canales de datos.

Las sesiones pueden ser monitoreadas en tiempo real mientras utilizan los servicios HSPA, permitiendo un análisis detallado de las transacciones y utilización de servicios. El módulo estadístico proporciona información sobre la performance de la red en el período analizado, en términos de tasas de éxito/fallo. La información puede presentarse en forma de gráficos.

Es posible llevar a cabo testeos de carga interactivos y automatizados para HSPA. Se incluyen configuraciones HSPA L1 y L3, capacidad de parametrización y transmisión de datos para el testeo del NodoB, almacenando trazas del canal compartido de alta velocidad HS-DSCH, del canal dedicado E-DCH y del protocolo NBAP, con decodificación del release 6.

Disponibilidad del software

De acuerdo a los resultados del relevamiento realizado, no existe una distribución de evaluación de los simuladores de la suite Nethawk. Sin embargo, es posible establecer un contacto desde la página web de la empresa solicitando más información sobre los productos, y podría hacerse el intento por conseguir una versión de evaluación para usos no comerciales.

2.3.2. QualNet

QualNet es un simulador para redes de comunicaciones desarrollado por la empresa Scalable Network Technologies. Sus principales líneas de aplicación son el análisis y la predicción de performance.

De acuerdo a su hoja de presentación [20] se presenta como un producto altamente fiable y eficiente, que reúne las siguientes características:

- **Eficiencia:** QualNet soporta simulaciones en tiempo real e inclusive más veloces que en tiempo real, permitiendo análisis de situaciones extremas, simulaciones de tipo software-in-the-loop, hardware-in-the-loop y human-in-the-loop.
- **Escalabilidad:** El simulador no solo es capaz de llevar a cabo simulaciones sobre escenarios con miles de nodos, sino que tiene la capacidad de tomar ventajas de las arquitecturas de procesamiento paralelo para soportar más nodos y realizar simulaciones más veloces.
- **Fidelidad:** QualNet incluye modelos detallados para múltiples aspectos de las redes de comunicaciones, permitiendo alcanzar alta precisión en los resultados.
- **Portabilidad:** QualNet ejecuta en múltiples plataformas, incluyendo los sistemas operativos Linux, Solaris, Windows XP y MacOS X, arquitecturas para procesamiento paralelo y distribuido, y arquitecturas secuenciales de 32 y 64 bits.
- **Extensibilidad:** QualNet puede interactuar con otras aplicaciones de software y de hardware, incrementando la capacidad del modelo de red implementado.

QualNet incluye un conjunto de herramientas de alto nivel que permiten modelar y analizar redes de comunicaciones. Los principales componentes de QualNet son la *biblioteca QualNet* (QualNet library), que implementa un conjunto de modelos de red; el *motor de simulación*, orientado a proporcionar eficiencia para modelar en tiempos razonables redes de gran escala, con tráfico pesado y considerando los factores de movilidad; la *interfaz gráfica de usuario* y el *diseñador de escenarios* que permiten definir y configurar los casos de estudio; el *animador*, utilizado para visualizar la simulación mientras está en ejecución; y las herramientas para *análisis de datos estadísticos* (el analizador) y para *visualización de paquetes* (el packet tracer).

Módulo UMTS

En 2006, M. Roberts [33] presentó una propuesta de módulo UMTS basado en extender un conjunto de bibliotecas preexistentes en QualNet: GSM y

redes celulares (reutilizando los modelos de movilidad, handover, capa MAC y canales de control), ATM e IP v4 y v6, MANET, WiFi & WiMAX y canales de RF. Tomando como base estas bibliotecas, el módulo UMTS definirá un conjunto de entidades propias: UE/TE (terminal de usuario o equipo terminal), NodoB, RNC, SGSN/GGSN, ubicándose la mayoría del desarrollo en la capa MAC de los nodos terminales y del NodoB. La capa física del módulo implementará WCDMA (canales DCH, RACH, FACH y DSCH), adaptando la capa 3 del modelo celular abstracto para realizar el mapeo de canales de transporte y canales lógicos. Se considerarán los modos RLC acknowledged, unacknowledged y transparente, mapeándolos a los canales de transporte utilizando la capa MAC del modelo celular abstracto de QualNet. También se prevee la implementación de HSDPA. Se proyecta contemplar las cuatro clases de servicio estándar de UMTS [31]: conversacional (tiempo real), streaming (tiempo real), interactiva (best effort) y background (best effort), mediante perfiles de tráfico configurables de acuerdo a las características de las aplicaciones. La lógica para manejar QoS se implementará en el RNC. Se propone implementar un algoritmo de control de acceso generalizado y parametrizado, que permita un manejo flexible del acceso y de la asignación de recursos a los usuarios de la red. Asimismo, se prevé brindar soporte para hard y soft handover, GTP y control de potencia por lazo externo.

Hasta la fecha, no existen novedades sobre el estado de implementación del módulo UMTS para QualNet.

M5: Disponibilidad del software

Mediante contacto con la empresa (previo registro y contacto por e-mail) fue posible obtener una versión de evaluación (para uso no comercial) del motor de simulación básico de QualNet y una licencia con fecha de expiración de 30 días. La versión proporcionada no incluye soporte para tecnología 3G-UMTS.

2.3.3. ProMan

Proman es un simulador de redes UMTS diseñado por Awe Communications [5]. Los principios de simulación se basan en la creación de procesos discretos de arribo y atención que modelan los dispositivos móviles y permiten el análisis del comportamiento de la red considerando aspectos de asignación de recursos, transmisión, control de potencia y movilidad entre otros. ProMan permite llevar a cabo los tres tipos de simulaciones: estáticas, dinámicas y probabilísticas (basadas en el método Monte-Carlo).

Simulaciones estáticas

En las simulaciones estáticas, ProMan permite llevar a cabo el análisis de parámetros de la red mediante métodos analíticos, para estimar configuraciones básicas como planificación primaria (planificación “de grano grueso”, o *first rough planning*). La simulación estática de ProMan se basa en considerar valores fijos para el tráfico downlink y en base a esos valores evaluar la cobertura y el área de servicio para cada celda. Disponiendo de los valores de cobertura y área de servicio, es posible estimar la capacidad de cada celda utilizando un modelo de distribución para el número de equipos de usuario (se consideran valores fraccionarios de equipos para cada píxel de predicción, determinados por

el procedimiento de asignar la totalidad de los recursos de downlink a todos los píxeles, considerando las características del canal de radio). Mediante un análisis reiterado de diferentes valores de carga de downlink, es posible estimar las relaciones existentes entre cobertura y capacidad. El tipo de análisis estático incluido en ProMan va más allá del modelo de tráfico homogéneo, permitiendo estudiar la densidad de tráfico dependiente de la ubicación. Tomando como entrada mapas de interferencia y tablas que permitan determinar la correspondencia entre clases o morfologías de tráfico a valores efectivos de densidad (en Erlangs por unidad de superficie), el modelo de distribución para el número de equipos de usuario puede ser potenciado introduciendo información más realista sobre la distribución de tráfico. Esta funcionalidad permite evitar que áreas con condiciones pobres de canal de radio con bajos valores esperados de densidad de tráfico disminuyan notoriamente la capacidad de las celdas, aunque sea necesario un número considerable de recursos para conectarlas.

La salida de una simulación estática con ProMan incluye un conjunto de *mapas* que para cada carga de downlink simulada ofrecen resultados de cobertura, área de las celdas, áreas de soft y hard handover, evaluación de canales piloto (e.g. E_c/I_0 del canal CPICH) y potencia del NodoB. También se reportan resultados estadísticos sobre capacidad y área de celda y tráfico ofrecido por celda, que permiten analizar los valores de cobertura y capacidad dependiente de la carga (el throughput de cada celda está limitado por la capacidad para cargas bajas cuando no hay suficientes recursos de potencia disponibles, y está limitado por la cobertura reducida para cargas elevadas, existiendo parte del tráfico que no puede ser manejado por encontrarse fuera del área de cobertura).

Simulaciones basadas en método Monte-Carlo

ProMan incluye un módulo de simulación estocástica basado en la generación de múltiples distribuciones para los dispositivos móviles que permiten realizar una evaluación estadística de la performance de la red. Mediante la repetición de snapshots que quedan determinados por un conjunto de dispositivos móviles aleatoriamente posicionados en el escenario en cuestión, es posible obtener de un modo rápido una estimación de la capacidad de la red UMTS en evaluación.

Simulaciones dinámicas

El módulo dinámico de ProMan es el que cuenta con la con mayor capacidad de análisis para una red UMTS. En su variante dinámica, el simulador opera bajos los principios de generar procesos de arribo y salida para los dispositivos móviles, que permiten el análisis del comportamiento dinámico de la red en slots de tiempo predefinidos, modelando aspectos de control de potencia, movilidad, etc.. Los procesos que modelan a los dispositivos móviles se generan aleatoriamente de acuerdo a especificaciones de tráfico. Cada vez que un nuevo dispositivo lo requiere, se verifica la disponibilidad de recursos de radio, se determina la potencia inicial para transmisión y se inicia el procedimiento de control de potencia (interno ó rápido). Considerando la totalidad de enlaces de transmisión de todos los móviles en la direcciones de uplink y downlink con sus correspondientes potencias de transmisión, es posible calcular los niveles de interferencia (en uplink y downlink) para cada móvil. Comparando los valores resultantes de SNIR con los niveles especificados en la definición de cada tipo de servicio se dispone de un mecanismo de control para ajustar los niveles de

potencia de transmisión en el siguiente instante de tiempo.

Las principales características del módulo de simulación dinámica de ProMan incluyen:

- Canales comunes de control WCDMA totalmente configurables.
- Diferentes tipos de servicio (conversacional, datos).
- Diferentes tipos de dispositivos móviles.
- Generador de tráfico configurable.
- Procesos de arribo y fin para servicios de voz.
- Generador de paquetes para servicios de datos.
- Modelos de movilidad.
- Control de potencia interno (o rápido) que incluye modelos de error.
- Mecanismo de algoritmos de control configurable.
- La posibilidad de definir nuevos tipos de servicio, configurables por el usuario.

Las salidas del módulo de simulación dinámica de ProMan incluyen dos tipos de datos:

- **Datos recolectados durante la simulación:** permiten la evaluación estadística de cada uno de los dispositivos considerados en el análisis. Incluyen el tráfico ofrecido, el tráfico efectivo, la probabilidad de bloqueo, la probabilidad de rechazo de solicitudes y la distribución de potencia de transmisión.
- **Mapas de salida:** generados con la información global de la totalidad del área del escenario simulado, mediante un procedimiento de barrido analizando los píxeles del área estudiada. Los mapas de salida incluyen información relacionada con los rangos de operación de las celdas, las potencias de transmisión requeridas, la cobertura de los servicios analizados, las áreas de soft y softer handover, los niveles entre señal y ruido para los canales compartidos, etc.

El módulo permite la simulación dinámica de división de tiempo duplex (TDD), de división de frecuencia duplex (FDD) y de HSDPA. El simulador incluye un mecanismo basado en templates para personalizar la definición de escenarios y agilizar el proceso de parametrización y un generador de paquetes totalmente configurable para producir secuencias de paquetes en niveles de sesión (tiempo de vida de dispositivos en la red), de página y de paquetes. Varios parámetros permiten adaptar las características de los paquetes de acuerdo a los servicios a simular: número de páginas, tamaño de página, tiempo de lectura, tamaño de paquete, intervalo entre arribos. Los parámetros pueden tomar valores de acuerdo a un conjunto de distribuciones prefijadas, o de acuerdo a distribuciones especificadas por el usuario. Como ejemplo, para servicios conversacionales en simulaciones W-CDMA se consideran las especificaciones de clases

de potencia 3 y 4 (del estándar 3GPP), con valores límite de 24dBm y 21dBm, respectivamente.

El Cuadro 1 resume las características de los módulos de simulación de ProMan (los datos han sido obtenidos de la información presente en “ProMan: Enfoques de simulación 3G” [4]).

Cuadro 1: Características de los módulos de simulación de ProMan.

	Simulación estática	Simulación Monte Carlo	Simulación dinámica
Entornos	rural, urbano, interior		
Modelos de propagación	todos		
Dispositivos móviles	distribución contnua (modelo fraccional)	aleatorio	procesos estocásticos de arriba, modelo de movilidad
Soft handover	no considerado para calcular capacidad (áreas de soft handover pueden desplegarse como salida)	no considerado	modelado explícitamente
Control de potencia rápido	no considerado	no considerado	modelo explícito (incluye errores)
Servicios	se ofrecen resultados para un único tipo de servicio	número arbitrario de servicios (tráfico mezclado)	número arbitrario de servicios (tráfico mezclado)
Interfaz LLS	$E_b/\#targets$	$E_b/\#targets$	$E_b/\#targets$ para voz, BLER(SNIR) para datos
Ortogonalidad CDMA	OF constante	OF constante, OF dependiendo de LOS/NLOS y CIR	OF constante, OF dependiendo de LOS/NLOS y CIR
Tráfico	homogéneo o basado en mapas de interferencia		
Paquetes de datos	modelados por factor de actividad (bitrates reducidos)	modelados por factor de actividad (bitrates reducidos)	generador de paquetes configurable, transmisión de paquetes individuales
Canales comunes	posible definición de varios CCH		
Mapas de salida	cobertura, área de celda potencia de NodoB, CCH C/I, mapa SHO	-	cobertura, área de celda potencia de NodoB, CCH C/I, mapa SHO
Estadísticas de salida	capacidad	cobertura, capacidad	tráfico ofrecido, probabilidades de bloqueo y de rechazo, tráfico de datos (histogramas: delay, throughput por sector y por página, potencias de transmisión, uso de códigos, etc.)

Simulación HSDPA

ProMan incluye un módulo para analizar la performance de los servicios de transmisión de paquetes sobre HSDPA, utilizando mecanismos de simulación totalmente dinámicos. La simulación HSDPA se basa en generar tráfico continuo de paquetes de datos de acuerdo a valores estadísticos. Se intenta transmitir los paquetes generados de la mejor manera posible dadas las condiciones de la red, y se evalúa el desempeño en los sitios de recepción mediante extracción de medidas estadísticas.

El simulador de HSDPA de ProMan incluye las siguientes características:

- Generador de paquetes de datos totalmente configurable (WWW, FTP, etc.).
- Procesamiento de paquetes (segmentación y concatenación).
- Evaluación de CPICH.
- Mecanismos de asignación de recursos (e.g. C/I, round robin, por prioridades).
- Adaptación de enlaces (configurable).
- Link Level Interface (importando tablas con valores de tasas de error de bloqueo (BLER)).

- Retransmisión rápida.
- Retransmisión por protocolo RLC.

Medidas de performance

La principal medida de performance que evalúa el módulo de ProMan es el valor pico de la tasa de transmisión de datos en HSDPA. Los valores pico calculados pueden ser visualizados en mapas, que muestran en qué situaciones es posible alcanzar los valores óptimos de transmisión (donde los recursos se asignan de manera exclusiva a un único dispositivo móvil en un instante de tiempo) y otras regiones donde las limitaciones de los dispositivos, de la interferencia y de la codificación y recursos disponibles en HSDPA impiden alcanzar el valor pico.

Complementariamente, se presenta como resultado de la simulación la indicación de calidad del canal, una medida que evalúa al canal móvil enviado periódicamente desde el dispositivo al NodoB. Esta medida puede ser utilizada para adaptar la modulación y la codificación en las transmisiones para un determinado tipo de dispositivo y también pueden ser utilizados por los algoritmos de asignación de recursos. La medida de calidad del canal está implementada en el módulo HSDPA. El usuario puede especificar los valores paramétricos del intervalo de medición y de la influencia de los errores en la medición. Los resultados se presentan en mapas o de modo estadístico mediante histogramas para cada celda.

Disponibilidad del software

ProMan se distribuye como parte del software comercial WinProp, conjuntamente con otros módulos de software (para el manejo de bases de datos, plug-ins para el módulo de propagación, conversores de formatos, etc.). El sitio web de AWE Communications incluye una sección de publicaciones científicas de acceso libre que contiene más de 60 artículos y reportes sobre análisis de redes de comunicaciones aplicando las herramientas diseñadas por la empresa.

Es posible solicitar una licencia de tiempo limitado mediante correo electrónico a la empresa. La versión de evaluación incluye todos los módulos de WinProp (y por tanto de ProMan), pero está limitada al trabajo sobre un único escenario definido por el usuario. La versión de evaluación se orienta a entornos de enseñanza o de investigación que analicen los efectos de propagación sobre un escenario representativo, o hacia empresas que analicen las funcionalidades de WinProp, eventualmente comparando sus características con las provistas por otros productos de simulación.

Entorno de ejecución

Las interfases de WinProp están desarrolladas para MS Windows (9x, ME, NT 4.0, 2000, XP). Dado que las interfases no utilizan llamadas al sistema, son capaces de ejecutar en los emuladores de Windows sobre otros sistemas operativos (Linux, x, UNIX, Solaris, etc.). La visualización 3D de las interfases gráficas requiere tener disponible OpenGL. Los módulos de propagación y planificación de redes se controla mediante archivos de proyecto en formato ASCII, que pueden ser compilados sobre todas las plataformas que dispongan de un

compilador ANSI C estándar. Los módulos están disponibles como bibliotecas dinámicas (DLLs), siendo integrables en diferentes aplicaciones. Las interfases de los modelos de propagación y planificación son integrables con productos desarrollados por otras empresas: Enterprise (de Aircom), A9155 (de Alcatel), Atoll (de Forsk), NetAct (de Nokia) y TornadoN (de Siemens). La integración con otros productos puede implementarse de modo relativamente sencillo siguiendo las instrucciones en la documentación del módulo de interfases de WinProp.

Los requisitos de hardware mínimo y recomendados para ejecutar WinProp se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Requisitos de hardware de WinProp.

	Mínimo	Recomendado
Procesador	Pentium o compatible	
Frecuencia de reloj de CPU	1.5 GHz.	2.0 GHz.
Memoria RAM	256 MB.	512 MB.
Espacio en disco	software: 5 MB. datos: 2 GB.	software: 5 MB. datos: 4 GB.
Adaptador gráfico	1024 x 768 65k colores	1280 x 1024 16M colores

Por razones de simplicidad, se recomienda utilizar las bases de datos y patrones de antenas proporcionadas como ejemplo en el software de evaluación. Sin embargo, también es posible trabajar con datos propios (generados con la herramienta WallMan de AWE) y patrones de antenas (generados con la herramienta AMan de AWE)

2.3.4. OPNET

OPNET Technologies, Inc. es una empresa que trabaja en las áreas relacionadas con la operación, el diseño y el análisis de performance de redes de telecomunicaciones. La empresa ha desarrollado el producto Opnet Modeler, una herramienta de simulación de amplio espectro aplicada a redes de comunicaciones.

Opnet Modeler tiene una estructura basada en bibliotecas que permiten modelar diferentes tipos de redes de comunicaciones, simplificando el estudio y desarrollo de modelos y su interoperabilidad. Incorpora un lenguaje de simulación propietario, orientado a las telecomunicaciones, que permite el análisis de diversos aspectos para una amplia gama de redes. El paquete de software incluye una completa interfaz gráfica, un editor, y varias herramientas de análisis. La filosofía de diseño se basa en una estructura jerárquica que permite realizar simulaciones a varios niveles (capa física, capa de red, capa de aplicación) tanto por separado, como de manera integrada.

El modelo UMTS de OPNET permite simular el comportamiento de la red, posibilitando la planificación, la modelización y la operación tanto del segmento inalámbrico como de los segmentos cableados (ATM e IP). A nivel de la capa física, los experimentos pueden orientarse hacia la comprensión de las relaciones entre el comportamiento de RF y la eficiencia de los protocolos ATM e IP. A nivel de red, OPNET permite analizar y cuantificar los efectos de QoS sobre

los servicios UMTS, mediante el estudio de aspectos relacionados con la performance y la propia calidad de servicio, tales como el throughput de la red, la calidad de servicio end-to-end, las probabilidades de bloqueo y rechazo, el retardo y el jitter, etc. Estos aspectos pueden ser evaluados tanto en la interfaz de radio como en la red de conmutación de paquetes. Asimismo, puede ser utilizado para evaluar la factibilidad de brindar servicios de características mixtas, de acuerdo a clases predefinidas de acuerdo a niveles de requerimientos negociadas con proveedores de servicios a nivel de aplicación.

Las características del modelo UMTS de OPNET incluyen:

- Esquema de transmisión basado en WCDMA.
- Múltiples factores de spreading, que permiten modelar variadas tasas de transmisión.
- Provee soporte para 4 clases de QoS: background, conversational, interactive, streaming.
- Incluye patrones de tráfico simulado de voz (sobre conmutación de paquetes) y múltiples tipos de tráfico de datos (HTTP, FTP, e-mail, consultas a bases de datos, video).
- Provee soporte para diversas funcionalidades de equipos de usuario y de NodoB.
- Provee soporte para implementaciones del RNC, SGSN, GGSN utilizando conectividad mediante redes ATM e IP.
- El modelo UMTS provee integración total con los modelos ATM e IP, posibilitando recopilar estadísticas de performance en la red considerada como un conjunto único e integrado.
- Incorpora implementaciones de canales físicos dedicados (DCH) para la transmisión de datos entre UE y UTRAN; así como canales comunes/compartidos (RACH, FACH, DSCH) entre UTRAN y UE.
- El protocolo RLC incluye modos de transmisión acknowledged, unacknowledged y transparente.
- Incluye características para activación y configuración de tráfico: GPRS attach, activación de PDP Context, RAB setup/release, service request.
- Se incorporan políticas abiertas de control de admisión, mediante patrones que permiten la implementación de políticas propietarias.
- Implementa el mecanismo de control de potencia mediante loop externo.
- Incluye los mecanismos de handover hard, soft y softer.
- Provee soporte para el protocolo GTP (GPRS Tunneling Protocol).
- Se incorporan perfiles de QoS vinculados a cada sesión de usuario.

Un escenario típico de simulación de red UMTS sobre OPNET involucrará entidades de tipo UE (User Equipment) con stack TCP/IP completo, una red de acceso con entidades tipo NodoB, RNC y ATM, y dispositivos de red que incluirán gateway GGSN y servidor SGSN.

Disponibilidad del software

Aunque Opnet Modeler se autocataloga como “un programa gratuito y de distribución libre con fines académicos”, en la práctica ha sido imposible acceder tanto a versiones de evaluación del simulador para uso académico, como a demostraciones de la versión comercial.

2.3.5. Atoll

Atoll es una plataforma de diseño de redes de comunicaciones inalámbricas desarrollada por la empresa Forsk [10], que brinda soporte para variadas tecnologías y permite abordar aspectos de diseño de una red no existente así como optimización y evaluación de una red ya instalada. Dentro de las tecnologías soportadas por Atoll se incluye UMTS, y sus implementaciones HSDPA/HSUPA.

El producto de software se presenta como flexible y escalable, incorporando herramientas de desarrollo e interfaces abiertas que permiten su integración con otras aplicaciones. Tiene un amplio rango de aplicación que le permite cubrir desde escenarios sencillos a casos de grandes dimensiones, utilizando técnicas de computación paralela y distribuida.

Las herramientas de diseño de Atoll incluyen un motor de alta performance para el cálculo de modelos de propagación, soporte para redes jerárquicas, modelos de tráfico multiservicio y modelos de optimización automática de frecuencias y códigos. Se provee soporte para tecnologías GSM/GPRS/EDGE, TDMA, UMTS/HSDPA/HSUPA, CDMA, CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX y enlaces de microondas, así como mecanismos para planificación de redes multitecnología (e.g. GSM/UMTS, incluyendo modelos de handover entre tecnologías).

El simulador utiliza un enfoque semi-dinámico, con un modelo basado en método de MonteCarlo. La arquitectura del simulador permite su utilización en entornos multiusuario mediante una base de datos de acceso compartido, permite su automatización mediante lenguaje de scripting e incluye un entorno de desarrollo que permite la personalización del paquete y su integración con otros productos de software. Atoll se promociona como altamente compatible con herramientas en el área e incluye soporte para el manejo de bases de datos geográficas multiformato y multiresolución, e incorpora un editor cartográfico vectorial/raster. Adicionalmente, Atoll prevé la utilización de técnicas de procesamiento paralelo distribuido sobre multiprocesadores para reducir los tiempos de cómputo que demandan las simulaciones a gran escala.

Modelo UMTS

Atoll incluye soporte para UMTS desde sus primeras versiones. A partir de la versión 2.6 se incorporó soporte para HSUPA y mejoras en el modelo de HSDPA. Las características del modelo UMTS de Atoll incluyen:

- Modelo de red con soporte para múltiples portadoras (con planificación manual y automática), incluyendo RRM y potencia compartida entre portadoras.

- Soporte para HSDPA y HSUPA.
- Modelos de tráfico para conmutación de paquetes y de circuitos.
- Modelos de equipos de usuario, perfiles de usuario y tipos de entorno.
- Generadores de mapas de tráfico para múltiples orígenes (datos vectoriales, raster y datos reales de tráfico).
- Control de potencia en DL y UL, downgrading de HSDPA/HSUPA a UMTS release 99 y algoritmos de asignación de portadoras.
- Herramientas de análisis en tiempo real y generador de mapas de predicción basados en los resultados de simulación o en valores de carga predefinidos por el usuario. Las métricas a reportar incluyen: mapas de predicción de E_c/I_0 y de E_b/N_t para downlink y uplink, áreas de servicio y de handover, reportes de interferencia, tasas de error (BER/FER/BLER), predicciones de HSDPA: picos de RLC, throughput, CQI, HS-PDSCH E_b/N_t , throughput por usuario, predicciones de HSUPA en niveles RLC, MAC y de aplicación, throughput, E-DPDCH E_b/N_t .
- Soporte para múltiples estrategias de asignación de códigos y herramientas de análisis que incluyen el estudio de la interferencia 2G/3G.
- Visualización de sitios compartidos por redes 2G y 3G.
- Modelo de handover entre tecnologías, basado en algoritmos de asignación de vecinos.

Requerimientos de hardware y software

Atoll está diseñado para ejecutar sobre Windows 2000 o XP Professional. Los requerimientos mínimos de hardware para la ejecución de Atoll corresponden a un procesador Intel Pentium 4 (o equivalente) con 512 MB de memoria RAM. En caso de utilizarse en un entorno de múltiples usuarios se debe disponer de un manejador de base de datos relacionales (Oracle 8.1.7 o superior, Sybase Adaptive Server V11.5 o superior, Microsoft SQL Server V7 o superior, Microsoft Access).

Disponibilidad del software

Atoll es un software comercial y no está disponible como producto público. Existe la posibilidad de solicitar “más información” quizás una versión de evaluación del producto mediante contacto con el representante de la empresa Forsk en Latinoamérica.

2.3.6. Odyssey

UMTS planning and simulation, COST 273 - TD(03)096

2.3.7. UMTSProbe

(capa física)

2.3.8. WCDMA Downlink Simulator for Capacity Evaluation

Universidad Politécnica de Valencia, COST 273 - TD(04)186

2.3.9. Matlab

En Matlab "Modelling UTMS Physical Layer", M.C. Part-Escrivá and F.J. Mañó-Frasquet. "The Influence of Propagation Model and Sectorization over WCDMA Capacity" Cardona, N. And Navarro, A. "WCDMA Capacity Analysis using GIS Based Planning Tools and MATLAB Simulation". International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, London, March 27-29, 2000

2.3.10. WiNeS

WiNeS es una plataforma de software para planificación y desarrollo de redes de comunicaciones de tercera generación desarrollada por la empresa Radioplan [32]. Dentro de los servicios integrados en la plataforma WiNeS se presentan manejadores de bases de datos para representación de escenarios (características del entorno y parámetros de la red), interfases y herramientas de integración automática con otros productos de software para dimensionamiento y planificación, un módulo de evaluación de medidas de performance, un sistema de evaluación de datos de dimensionamiento funcionalidades de interacción con modelos de SIG para datos vectoriales y raster, y un simulador dinámico que incluye cálculos de modelos de propagación mediante métodos altamente eficientes, escalables y precisos.

Enfoque de simulación

El modelo del sistema adoptado por el simulador de WiNeS incluye representaciones para la red de radio y para su entorno. Se utiliza un modelo UTRA/FDD de red que soporta múltiples servicios. Los componentes principales del modelo son un controlador de radio (RNC) y varios NodosB con sus antenas y celdas asociadas, cada una con su configuración correspondiente. Simultáneamente, se modelan los equipos móviles de usuario que trabajan sobre la red. El entorno de la red de radio está modelado por su morfología (incluyendo edificaciones y vías de tránsito) y por las características de los modelos de propagación considerados.

El simulador corresponde a un modelo dinámico con procesos estocásticos de arribo y atención para modelar los comportamientos dinámicos del tráfico de usuario (activación en una celda y actividad durante un determinado tiempo de servicio) y los patrones de movilidad. Los procesos estocásticos se distribuyen en tiempo y espacio, y las ubicaciones iniciales se determinan de acuerdo a valores predefinidos de distribución espacial para cada tipo de servicio considerado. Asimismo, se permite modelar diversas situaciones de tráfico mezcla de diferentes tipos, configurables por el usuario. Durante el tiempo de sesión, los usuarios se mueven a través de áreas con diferentes entornos y modelos de propagación (con valores determinados de pérdidas, shadowing y fading) de acuerdo a patrones de movilidad predefinidos para cada tipo de servicio.

El simulador de WiNeS trabaja en forma integrada con otros dos módulos:

- Módulo de evaluación de medidas: realiza mediciones en tiempo real de los parámetros relevantes de la red y provee la lógica necesaria para el postprocesamiento de los resultados obtenidos, proporcionando interfaces con productos de visualización reconocidos en el área (en particular, se integra con W-CDMA Area Analyzer VS-2100A de Panasonic Mobile Communications Co., Ltd., pero también es compatible con otros productos de empresas como Ericsson, Agilent, Anritsu, etc.). Este módulo permite evaluar de modo preciso y eficiente el estado de la red y realizar predicciones realistas para las etapas de planificación y optimización, detectando problemas de cobertura, calidad de servicio real y experimentado por el usuario, etc.
- Módulo de optimización automática de la red: permite la adaptación paramétrica de la red para afrontar situaciones dinámicas y extremas que podrían no haber sido contempladas en la etapa de diseño. La optimización está guiada por criterios de calidad de servicio en base a los valores relevados o las predicciones realizadas por el módulo de evaluación de medidas. El módulo permite modificar valores de cobertura y capacidad/calidad para UMTS (incluyendo HSDPA). El algoritmo de optimización considera las características heterogéneas del tráfico multi-servicio de UMTS y utiliza heurísticas basadas en parámetros de calidad de servicio para el manejo de los recursos de radio.

Combinado con los módulos descritos, el simulador de WiNeS permite abordar las tareas de planificación de tráfico, derivar reglas de manejo de los parámetros de los recursos de radio y alcanzar valores de calidad de servicio consistentes con los requisitos de los usuarios. Las principales ventajas del trabajo con el simulador pueden resumirse en:

- Minimizar el grado de servicio para incrementar la satisfacción de los usuarios y disminuir la tasa de abandono de clientes.
- Maximizar el throughput en la transmisión de paquetes de datos considerando diferentes valores de trade-off entre las opciones de transmisión de UMTS.
- Anticiparse a situaciones límites, planificando acciones a tomar para diferentes tipos de tráfico, servicios y escenarios de movilidad de usuarios.
- Configurar los algoritmos de manejo de recursos de radio para considerar capas celulares multi-jerárquicas y con múltiples frecuencias.
- Tratar de reducir la complejidad de análisis del comportamiento de la red 3G asegurando el tráfico multiservicio a altos valores de QoS.

Características del modelo UMTS

Modelo del canal de radio

El simulador lleva a cabo un análisis de interferencia de los recursos de radio basado en CDMA, que incorpora un modelo de propagación en el canal móvil de radio con las siguientes características:

- Utilización de mapas de pérdida de señal realistas, especificados por el usuario (en forma de matrices). La alta precisión en los resultados está garantizada por la aplicación de un algoritmo de ray-tracing 3D de alta resolución sobre los mapas o de un método de Pathloss Tuning en base a mediciones previas.
- Incorporación de modelos de shadowing (location-dependent, log-normal) con largos de decorrelación configurables.
- Utilización de modelos de fading dependientes de los patrones de movilidad y la velocidad del usuario.

Modelo del canal de transporte

El simulador implementa la mayoría de los canales de transporte de UMTS, en conjunto con sus canales físicos correspondientes: CPICH, BCH, FACH, AICH, DCH, RACH. También se provee soporte para HSDPA y HSUPA. Permite estudiar el impacto del modo comprimido en los parámetros de capacidad y calidad de la red, y también soporta la representación estructural jerárquica de celdas con múltiples portadoras.

Interfaz de enlace

Dado que el simulador utiliza un análisis de interferencia de los recursos de radio basado en CDMA, las propiedades de la interfaz de enlace se modelan de un modo sofisticado. Las propiedades consideradas en el modelo corresponden a:

- Una configuración comprensiva de las capacidades del hardware y equipos de usuario utilizados.
- Un algoritmo de control de potencia de loop interno.
- Un mapeo “inteligente” de valores medidos de E_b/N_0 a tasas de error (BER y BLER).
- Un perfil de fading rápido y un factor de ortogonalidad de códigos OVSF que depende de los patrones de movilidad y la velocidad del usuario.
- Varios métodos para filtrado de mediciones.

Stack del protocolo UMTS

Las entidades del stack del protocolo UMTS han sido modeladas en el simulador de WiNeS considerando su impacto en la transmisión de datos. Las entidades implementadas incluyen:

- Un generador de paquetes de usuario en capas superiores (User Data Packet Stream), que modela a los paquetes de datos de usuarios generados por las aplicaciones.
- Un capa RLC con modos transparente y acknowledged (incluye ARQ).
- Una capa MAC para scheduling de paquetes.

- Una capa física con control de potencia rápido y balance de potencia.

Manejo de recursos de radio

Considerando el impacto significativo de los algoritmos para el manejo de recursos de radio en el comportamiento de la red, el simulador implementa varios modelos algorítmicos para diversas tareas (algunos de manera comprensiva, otros parcialmente):

- Selección inicial de celda.
- Control de admisión.
- Selección de códigos.
- Traducción y reconfiguración de portadoras de radio.
- Control de congestión (en downlink y en fast uplink).
- Control de set activo (soft y softer Handover).
- Compressed mode (handover entre frecuencias y entre sistemas).
- Detección de fallos de enlace de radio.
- ARQ y HARQ.
- Control de potencia (loop abierto, loop interno rápido, loop cerrado).
- Balance de potencia.
- Upgrade y downgrade de tasas de transmisión.

Modelos de tráfico

WiNeS incorpora varios modelos de tráfico elaborados en base a datos realistas, que permiten analizar el comportamiento de la red UMTS al trabajar en un escenario de transmisión con servicios múltiples. Los modelos de tráfico incluyen:

- Modelos de tráfico para discursos y video (streams en uplink y downlink con determinados factores de actividad).
- Modelo de transferencia de archivos (solicitud de archivo en uplink y posterior descarga en downlink).
- Modelo de tráfico para navegación web.
- Modelo de tráfico de mensajería (paquetes de datos en uplink y downlink).
- Modelos de tráfico de streaming (CBR/VBR).
- Modelos de tráfico TCP.

Resultados y estadísticas

Los resultados presentados por el simulador engloban a métricas específicas para equipos de usuario, parámetros específicos de los servicios en función del tiempo y/o de la ubicación y distribuciones estadísticas de los valores relevados durante la simulación. Los resultados pueden obtenerse sobre un área de simulación completa, o sobre un área interna de análisis para excluir efectos de frontera. Los resultados que ofrece el simulador WiNeS incluyen a:

- **Resultados estadísticos:** número de solicitudes de servicio o de intentos de acceso; número de llamadas bloqueadas, eliminadas y exitosas; motivo de bloqueos y/o rechazo de llamadas; estadísticas de handover (intentos, éxitos, bloqueos, enlaces eliminados); utilización de los códigos; overhead del soft handover; carga de la red y estadísticas de throughput.
- **Parámetros de traza:** potencias de transmisión y de recepción; C/I e interferencias intra e inter-celdas; ruido en el canal de uplink; errores en el mecanismo de control de potencia; códigos y elementos del canal asignados; overhead del soft handover (elementos del canal, códigos, potencias de transmisión); celda primaria y de mejor transmisión; tamaño del set activo; probabilidades de bloqueo, throughput y retardo; paquetes de datos ofrecidos y recibidos; PDUs ofrecidos, recibidos, repetidos y perdidos; throughput de transmisión y de recepción; CQI .

Disponibilidad del software

WiNeS es un software comercial y no está disponible como producto público. En la página web de Radioplan es posible bajar una versión de evaluación del módulo que realiza los cálculos del modelo de propagación (RPS - *Radiowave Propagation Simulator*) con requerimientos mínimos para su instalación sobre una plataforma Windows.

Existe la posibilidad de solicitar a través de correo electrónico “más información” sobre los productos (incluyendo la versión oficial de los documentos que describen los productos y las tecnologías).

2.3.11. Nokia NetAct Planner

Introducción

El software Nokia NetAct es una herramienta de planificación que funciona en un entorno Windows, multiusuario y que además consta de varias interfases con otros sistemas (de la misma clase) así como también con otras herramientas de medición.

Seguidamente se introduce la descripción y aplicabilidad de los diferentes módulos que componen la herramienta de planificación NetAct de Nokia.

Modulo Radio Planner

Éste, provee de una solución flexible y eficiente en todas las fases del proceso de planificación para múltiples usuarios en un entorno de oficina. Es desarrollado para planificar todo tipo de redes GSM (Global System for Mobile

communications) y TETRA (Terrestrial Trunked Radio), utilizando sistemas de aproximación el cual ayuda a los usuarios de móviles a tener cobertura y calidad de servicio. Con Radio Planner se puede calcular la necesidad de potencia para GPRS (General Packet Radio Service) y EDGE (Enhanced Data rates for GSM of Evolution), basándose en la calidad de servicio y costo. La cobertura antes mencionada esta basada en cuatro modelos, a saber, Okumura-Hata, la versión de Nokia de Okumura-Hata, WalFisch-Ikegami y Microcell, los cuales pueden ser ajustados para cada test siendo posible además, la utilización de cualquiera de ellos en cualquier instancia. Para distribuir los datos de los usuarios de la red en el sistema podemos optar por no distribuirlos o tomar un vector de “pesos”, además calcular exactamente la capacidad de la red. Se presenta la posibilidad de elegir diferentes tipos de vistas, siendo estos tipos, estático o grafico. Como característica adicional a lo mencionado anteriormente se observa que es una buena herramienta para la obtención de reportes.

Modulo WCDMA Planner

Este modulo es diseñado específicamente para la planificación de redes de radio 3G. También soporta combinar la planificación y optimización de redes 2G y redes 3 usando conjuntamente el módulo Radio Planner.

Este producto es un buen asistente a la hora de construir una red WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access), permite una flexibilidad muy importante. Posibilita una potente edición además de un tratamiento según las diferentes características de los datos, permitiendo así una mejor planificación, que a su vez es más fácil y rápida de lograr, lo que redundo en una mayor usabilidad.

En lo relativo a la funcionalidad que define el tráfico, ésta provee de varios métodos para realizar diferentes definiciones de los mismos, además es efectiva a la hora de administrar el tráfico de datos a través de las distintas capas que lo determinan. Permite realizar cálculos (como por ej. Determinar la probabilidad de cual servicio puede ser provisto en diferentes áreas) que se despliegan en tablas, reportes, o mapas.

Modulo LINK Planner

Es una solución eficiente y efectiva para la planificación de microondas. Además permite realizar cálculos de los cuales se obtendrán valores para: presupuestos, enlaces caídos, disponibilidad y confianza. Provee lo que se conoce como chequeo LOS (line of sight), enlace de alocaión de frecuencia, análisis de interfaces, enlace a la base de datos, y una herramienta de ruteo de trafico. EL LOS permite hacer verificaciones del tipo sitio a sitio, sitio a punto, punto a punto y punto a multipunto. En cuanto a las recomendaciones de estimación de la performance, soporta las ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) y las ITU-T (ITU Telecommunication Standardization Sector). Este módulo permite la interacción con otros módulos de NetAct a través de una base de datos compartida, la cual es accedida de forma incon-sulta por cualquiera de los mismos.

Modulo TRANSMISSION Planner

Este módulo es una herramienta sofisticada que permite resolver temas tales

como: administración de la información, ruteo, manipulación física y lógica de redes, etc. Es aplicable a tareas claves, tales como son la topología de una red y la manipulación de la capacidad para diferentes tráficos, además los distintos tipos de tráfico pueden ser evaluados en escenarios diferentes. Algunos de los módulos dentro de la capa de red del Transmission Planner son: IP, ATM (Asynchronous Transfer Mode), Leigpath, SDH (Synchronous Digital Hierarchy), y PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), los cuales permiten modelar en su conjunto a todo el tráfico en redes de móviles. IP y ATM son utilizados para redes basadas en el tráfico de paquetes, permitiendo estimar la capacidad que debe de ser provista para satisfacer las necesidades. En particular IP permite la detección de cuellos de botella en la red. SDH y PDH (junto con ATM también) son utilizados para el ruteo de paquetes IP.

Modulo QUALITY Planner

Es una solución flexible y eficiente para el análisis de las mediciones de redes de aire GSM, la cual permite realizar una planificación sobre la organización de la red. Algunos de los aspectos que cubre este modulo son entre otros, tráfico y predicciones de interferencia. Reproduce funcionalidades tales como: mensajes de capa 3, servicio de información celular, alcance en el entorno de datos, etc. Esto radica en un mejor análisis de la red, de los canales adyacentes y compartidos en los diferentes niveles de interfaz.

Modulo ROLLOUT Planner

Es un sistema de gerenciamiento de redes de comunicación en expansión, permitiendo la generación de proyectos para su posterior implementación, posibilitando además hacer un seguimiento sobre los avances de estos. Otras funcionalidades que brinda son por ejemplo: el permitir administrar tareas relevantes con documentos, reportes sobre productividad y desviación de los proyectos.

2.3.12. Prismo

Prismo Simulator es un simulador de red dinámico para redes UMTS desarrollado por Softwave Wireless [38]

????? con la cooperación del mayor Operador de Telefonía Europeo y actualmente está siendo utilizada en diferentes países europeos.

El objetivo principal del Prismo es medir, evaluar y simular distintas medidas de performance sobre redes UMTS para que sirvan como ayuda a la toma de decisiones y evaluaciones comparativas por parte de los diseñadores y operadores de Telecom. Prismo Simulator no es considerado en sí mismo como una herramienta de planificación de redes, puesto que una de sus principales funcionalidades es poder conectarse a herramientas ya existentes de planificación de redes (tales como Atoll de Forsk) y realizar simulaciones en forma dinámica sobre redes pre-planificadas por estas herramientas.

A grandes razgos y como tópicos básicos, el Prismo Simulator puede ser usado para:

- Optimización y dimensionamiento de las componentes de la red, con el objetivo de asegurar que todos los sitios en consideración estén optimamente dimensionados en términos de Iub y la composición del canal.

- Evaluación de performance y calidad de servicio (QoS); por ejemplo para derivar mapas de throughput para HSDPA.
- Evaluar el impacto sobre una red ya planificada que tiene la incorporación de nuevos nodos. Típicamente, comparar el funcionamiento de la red respecto al antes y el después de dichas adiciones.
- Pronosticar y evaluar el efecto del aumento de tráfico en la red, con la finalidad de anticipar problemas antes que estos ocurran. Esto permitirá tomar decisiones respecto a si hacer cambios o no, y qué cambios (o ajustes) hacer en caso que corresponda.
- Proporcionar una guía respecto a la elección en inversión en tecnología, como por ejemplo como manejar múltiples portadores.
- Analizar el efecto que ocasiona el uso de varios algoritmos de RRM (Radio Resource Management) sobre la performance de la red.

Prismo no solamente puede realizar simulaciones estáticas del tipo Monte-Carlo, sino que además permite realizar complejas simulaciones en entornos dinámicos. El simulador en cuestión pretende ser simple, eficiente y de fácil configuración, de modo que pueda ser usado por ingenieros operadores de radio, que en general no tienen el background de conocimiento que tienen los ingenieros de R&D para la realización de simulaciones dinámicas.

Características de Prismo

Una de las características principales de las tradicionales herramientas de planificación del tipo GSM es que para la planificación de sus celdas se basan en modelos de propagación y asignación estática de frecuencia. En sistemas del tipo CDMA, la asignación dinámica de energía substituye la asignación estática de la frecuencia. Para analizar la performance de estos sistemas se requiere de simulaciones del tipo Monte-Carlo o simulaciones dinámicas eficientes.

Las simulaciones del tipo Monte-Carlo realizan, del punto de vista estático, un loop de convergencia hacia la energía, de modo de computar la asignación de potencia promedio cuando el sistema alcanza el régimen de equilibrio. En ciertos contextos, la simulación Monte-Carlo no puede ser utilizada para simular cambios dinámicos en el sistema, así por ejemplo: service downgrade, upgrade, cancellation, y otros comportamientos transitorios como el procedimiento de control de admisión de llamada y el procedimiento de control de carga. También la QoS para servicios de tipo packet-switch no pueden ser medidos por medio del empleo de simulaciones Monte-Carlo.

Si bien la simulación dinámica sortea estas limitaciones, en general, resulta no factible su uso cuando la red real está compuesta de centenas de nodos y miles de llamadas. El foco de los ingenieros de R&D está en el desarrollo de algoritmos performantes de RRM y el afinar los parámetros para disponer de una adecuada configuración de los mismos.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, Prismo Simulator introduce un nuevo enfoque para la simulación dinámica mediante el uso eficiente de un proceso rápido de manejo de eventos, en lugar de los clásicos procesos de muestreo en el tiempo. Esto le permite otorgar una mayor simpleza y mayor eficiencia a la hora de simular los sistemas. Particularmente, brinda niveles similares de

interactividad y tiempo computacional de procesamiento que los simuladores estáticos más conocidos y al mismo tiempo permite simular cambios dinámicos de servicio y otros comportamientos transitorios. Este es uno de los puntos más fuertes que caracterizan a Prismo como un simulador dinámico eficaz.

Otro punto fuerte de Prismo Simulator es su gran integrabilidad con la herramienta Atoll que lo hace virtualmente indistinguible desde un modelo nativo de Atoll. De este modo, las principales funcionalidades de Prismo (potenciadas por su ductilidad al poder ser embebido en una herramienta como Atoll) son las siguientes:

- i) Fácil de extender con nuevos modelos de RRM (Radio Resource Management).
- ii) Tiempos de simulación rápidos que permiten un uso interactivo.
- iii) Soporte nativo para UMTS WCDMA R99 y HSDPA.
- iv) Integración simple con la herramienta de planificación Atoll. Gran parte de la configuración de la red se hace vía Atoll, así como la visualización de resultados y análisis.
- v) Es un modelo de simulación dinámico simplificado basado en eventos.
- vi) Operador orientado a la modelización de servicios, portadores, y terminales.
- vii) Los ingenieros de operación no son sobrecargados con información técnica innecesaria.

Proceso de Simulación en Prismo

Para realizar simulaciones con Prismo, hay cuatro pasos que se deben realizar en el siguiente orden. Integrar "Prismo Simulator." a la herramienta Atoll, setear los parámetros de simulación, efectuar la corrida de simulación con Prismo y visualizar y analizar los resultados obtenidos por dicha simulación.

El simulador Prismo puede ser integrado totalmente a la herramienta Atoll la cual dispone de interfaces ya previstas para la realización de la customización de los parámetros requeridos por Prismo para efectuar corridas de simulación. Estas interfaces permiten así mismo la modificación de los parámetros para lanzar nuevas corridas de simulación, por ejemplo, para realizar análisis de sensibilidad de ciertos parámetros. Los resultados de cada corrida de simulación se muestran en diferentes gráficos según el nivel de detalle que se requiera visualizar, así por ejemplo, visualizar información estadística inherente a los Móviles (despliega los resultados para cada móvil), información de los Sitios (despliega los resultados para cada sitio), e información en relación las Celdas (despliega los resultados para cada celda).

Prismo Simulator maneja diferentes tipos de tráfico, ya sea los predefinidos por la herramienta Atoll como los previstos por el propio simulador Prismo. Usando mapas de tráfico provistos por Atoll se puede configurar la carga de cada tráfico, el servicio, la movilidad, y el uso de terminales. En particular, se pueden configurar parámetros más avanzados como el *Radio Resource Management* (RRM). Cada equipo del sitio se asocia a un módulo de RRM. Es

posible además definir nuevos módulos RRM y sus parámetros ser ajustados para replicar la configuración de red.

Los resultados de las simulaciones de Prismo pueden ser exhibidos en una interfaz propia o bien en la interfaz prevista por Atoll. Una funcionalidad importante es que durante la ejecución de una corrida de simulación se pueden ir visualizando los valores de los servicios simulados, e.g. carga global, voz, HSDPA, etc, mediante gráficos evolutivos estadísticos. Además, durante la ejecución de una corrida de simulación, Atoll no queda bloqueado y puede realizar otras tareas en forma paralela.

Respecto a los tiempos de ejecución de una simulación en Prismo, éstos son relativamente pequeños, por ejemplo, simular un área de $30km^2$ con 100 Tx, con 500000 secciones simuladas (carga promedio de 1500 erlang) toma menos de 20 mn en un PC común.

La información computada en una corrida de simulación, puede ser desglosada mostrando estadísticas por tecnología y por tipo de servicio. Se provee además de histogramas donde se visualiza el funcionamiento global del sistema simulado durante el tiempo de corrida. La información y medidas de interés computadas, están disponible para cada móvil, cada celda y cada sitio base simulado, tanto en tablas como en forma de gráfica prevista por Atoll donde se permite la visualización de las ubicaciones de los nodos, las características de los servicios simulados, y las medidas de interés computadas sobre ellos.

Uso del Prismo Simulator

Los usos más comunes del Prismo Simulator involucran:

Mapas de Calidad de Servicio. Tal vez uno de los usos más frecuentes del Prismo Simulator sea el generar mapas de calidad de los servicios provistos (*QoS maps*). Los motivos más comunes son objetivos de marketing o bien identificar áreas débiles de la red. Por ejemplo, el mapa de calidad de servicio del throughput ofrecido en servicios de HSDPA. Otros tipos de mapas de QoS pueden ser:

- Mapa de CQI en HSDPA, mostrando así el throughput máximo alcanzable.
- Mapa del ratio de llamadas fallidas (*Call Failure ratio*), y las razones exactas de las fallas.

Mapas Simulados de E_c/I_0 . Un mapa de E_c/I_0 permite medir de forma sencilla la calidad de señal de la red y el nivel de interferencia. Dichos mapas dependen fuertemente de la carga de energía de las celdas.

Prismo Simulator permite tomar en cuenta el tráfico que viene dado por la medición sobre la red real, replicar este tráfico en un ambiente de simulación, y producir mapas relevantes de E_c/I_0 usando cargas simuladas de energía en cada celda. Estos mapas son derivados directamente de las conexiones simuladas.

Dimensionamiento de los recursos en cada celda/sitio. Los sitios tienen recursos limitados, como ser la potencia de la celda, elementos del canal, y la capacidad Iub. Prismo captura las estadísticas y distribuciones del uso de estos recursos por celda y por sitio base. También guarda estadísticas de fallas producidas en llamadas por limitaciones de estos recursos. Toda esta información permitirá dimensionar correctamente las componentes de la red, redundando en un ahorro en el capital a invertir y una mejora en la calidad de los servicios prestados.

Planificación Continua. Una importante característica de Prismo Simulator es poder lockear la simulación sobre el tráfico medido en la red real. Esto facilita y permite una mejor calibración dinámica de los parámetros asociados a la red real que se está simulando.

También permite la funcionalidad de crear mapas de futuras QoS de acuerdo con ciertas expectativas de mercado (i.e. expectativas de comercialización) sobre el incremento futuro de la carga de tráfico a fluir sobre la red en cuestión. Esto ayudará a pronosticar la calidad futura de la red e identificar las posibles áreas de debilidad antes de que ocurran los cambios realmente. Consecuentemente, una decisión de acción futura planificada sobre la red puede ser entonces simulada antes de que efectivamente ésta sea ejecutada (*ahead of time planning*). De este modo Prismo complementa sus técnicas de optimización reactiva basándose en el post-processing del manejo de flujo testeado o la medida de KPI.

Para ajustar el fluir de estos nuevos tráficos previstos, con frecuencia es necesario agregar nuevos sitios y planificar nuevamente el dimensionamiento de la red. Ciertas elecciones de diseño y ubicación se dejan abiertas (respecto al diseñador de la red) durante la actualización de la red, así por ejemplo, la localización de un nuevo sitio, la ubicación de antenas *azimuth*, reubicación o modificación de sitios existentes, etc. Esto le da a Prismo una gran versatilidad en el manejo dinámico de los cambios previstos o cambios que se pretenden evaluar para ver su impacto sobre la performance global en un horizonte futuro. Asimismo Prismo también actúa como complemento de metodologías ya existentes de planificación manual o herramientas ACP (*Automatic Cell Planning*), permitiendo así una mayor facilidad para validar el seteo de parámetros de la nueva red antes de la implementación o puesta en funcionamiento.

Ayuda a Toma de Decisiones. El simulador Prismo puede ser usado para la realización de estudios comparativos de diferentes opciones tentativas y factibles de diseño de red. Para ello provee una forma fácil y rápida para testear varios escenarios, derivar resultados estadísticos y mapas de QoS, y determinar las mejores reglas que puedan ser aplicadas en forma sistemática para una elección óptima a la luz de los requerimientos especificados. En suma, estas buenas cualidades de Prismo nos permiten realizar estudios empíricos que nos proporcionan pautas y guías de acción para decidir el despliegue de la red a diseñar, en definitiva, una ayuda a toma de decisiones estratégicas de diseño y construcción.

Como ejemplos concretos de aplicabilidad, Prismo puede ser utilizado para determinar las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo desplegar HSDPA sobre redes portadoras múltiples?. En este aspecto, también puede ser útil para dar respuesta a preguntas tales como: ¿debería HSDPA permitir un portador dedicado o bien compartir un portador para el tráfico HSDPA y el tráfico R99?.
- ¿Cual es la mejor estrategia en desplegar bi-layer micro/macro con dos o más portadoras?
- ¿Qué valores usar en parámetros de clave abierto?

Estrategias RRM. Prismo implementa varios módulos *vendor* RRM. Nuevos módulos pueden ser agregados al simulador si lo demanda un cliente. El simulador puede ser usado para:

- comparar estrategias *vendor* RRM, y evaluar sus efectos sobre la calidad total de la red.
- entender el efecto de los parámetros principales de los algoritmos de RRM y adaptarlos adecuadamente.
- otros.

Proveer intradas para simulaciones a nivel de link. Prismo puede ser seteado para analizar estadísticas de las señales de los móviles y la interferencia de datos para cada celda interferida. Estos datos pueden ser usados como entrada para una simulación a nivel de link a efectos de estudiar en detalle los algoritmos del receptor y la performance. Estudios de este tipo se han realizado para evaluar la performance de *beamforming* en configuraciones de redes reales.

2.3.13. UmtSim

De Quimary

3. Reseña de trabajos que utilizan simulaciones para redes 3G

3.1. Objetivo

Esta sección expondrá un resumen de los aportes principales de un conjunto de trabajos que consideramos de relevancia en el estudio de redes 3G bajo un enfoque de simulación de modelos. Los puntos a abordar en relación con los artículos relevados son los siguientes:

- Optimización automática de redes 3G con la herramienta OPTIRED.
- Estudio de QoS sobre UMTS en condiciones de propagación adversa.
- Técnicas de planificación automática: Análisis de Escenarios Hexasectoriales UMTS.
- Parametrización del Handover WCDMA-GSM en una red de explotación.
- Service and Network Management platforms for UMTS.
- Networking Research Group, Univ. of California.
- Simulated and Measured WCDMA Uplink Performance
- A Simulation Tool for Dimensioning and Performance Evaluation of the UMTS Terrestrial Radio Access Network
- Performance Evaluation of Internet Applications over the UMTS Radio Interface
- An Analysis of Deployment Alternatives in a Real UMTS Scenario to Support Voice and Data Traffic.
- Simulador UMTS / HSDPA/ HSUPA

3.2. OPTIRED-Optimización Automática de Redes 3G

En este punto se presenta los aspectos más relevantes inherentes a la herramienta OPTIRED para la optimización automática de redes 3G, tomando como base de referencia el trabajo [34].

3.2.1. Introducción

La optimización de redes de telefonía móvil requiere del manejo de gran cantidad de datos, estadísticas, parámetros y en general de un gran volumen de información.

A partir del análisis de esta información se derivan modificaciones a la red que permiten mejorar la calidad que se ofrece a los usuarios. Existen numerosos parámetros configurables independientes entre sí que controlan las distintas funcionalidades de una célula o estación base.

La herramienta OPTIRED, desarrollada por TELEFÓNICA I+D, permite procesar toda esta información y generar propuestas de cambio de parámetros.

Primeramente se introducen algunas consideraciones genéricas tenidas en cuenta por métodos de optimización automática para luego entrar a describir brevemente la herramienta OPTIRED.

3.2.2. Optimización Automática

Uno de los principales problemas de la planificación y optimización de una red UMTS es la relación entre la capacidad y cobertura que se ofrece a los usuarios. Como la comunicación se establece a través de una única frecuencia, cualquier conexión es interferente a la que se considera bajo estudio. Esto depende de varios aspectos que se pueden optimizar:

- Inclinación, orientación y altura de antenas, numero de sectores, etc.
- Potencia del Common Pilot Channel (CPICH).
- Proceso de soft handover.

Si la inclinación de las antenas es pequeña, se producen sobre-alcances. Si esta es grande, se reduce el área de cobertura. Si se aumenta la potencia de CPICH, se produce mas interferencia. Si se disminuye, el área de cobertura es menor.

Las técnicas de optimización automática consisten en alcanzar los valores óptimos para estas medidas mediante la aplicación de métodos heurísticos.

3.2.3. Aspectos Generales de OPTIRED

El objetivo principal de OPTIRED es ofrecer al optimizador la mayor cantidad de información disponible que estén relacionados con todos los elementos de la red. OPTIRED consta de dos módulos principales:

- *Modulo de Optimización.* El cuál provee de:
 - Chequeo de inconsistencias.
Chequear que los parámetros tienen valores correctos en relación con un lista de parámetros establecida por defecto.

- Algoritmos de optimización y ajuste de parámetros.
Además de comprobar el funcionamiento de la célula se proponen mejoras para la misma.
- *Modulo de Colindancias.* El cuál provee de:
 - Algoritmos geométricos (métodos de regiones de voroni, limitación de distancias y por orientación).
 - Manualmente resolver colindancias (en un entorno gráfico donde están las células).
En un entorno gráfico donde se representan las células, se puede definir las colindancias necesarias utilizando únicamente el ratón del ordenador.
 - Información de otras herramientas.

3.2.4. Uso de OPTIRED

En la fase de despliegue de la red UMTS, la continuidad del servicio de voz y datos (a menor velocidad) depende de su relación con la red GSM. En este sentido, la optimización se basa en parte, en el análisis de colindancias 2G - 3G, tratando de detectar posibles inconsistencias que impidan que un traspaso entre ambas redes pueda ser realizado. Este análisis se ha automatizado utilizando OPTIRED. Una de las funcionalidades más relevantes de OPTIRED consiste en comprobar si las células 3G tienen colindancias con las 2G y en qué grado en caso de existencia.

3.2.5. Conclusiones

En [34] se expone el análisis y los resultados de varias pruebas de optimización realizadas con la herramienta OPTIRED sobre la red de Telefónica Móvil de España. Se ha podido comprobar la enorme agilización de las tareas de recopilación de información, análisis, toma de decisiones y generación de ficheros de cambio de parámetros. Esto a redundado en un alto grado de automatización gracias al uso de OPTIRED. A futuro, para aumentar la capacidad de la herramienta, en dicho trabajo se menciona el continuar realizando otras pruebas que permitan detectar deficiencias que puedan ser corregidas por los desarrolladores. Con ello se dotara a la herramienta de nuevas funcionalidades y mejoras.

3.3. QoS sobre UMTS en Condiciones de Propagación Adversa

En este punto se presenta un estudio realizado sobre la QoS sobre UMTS en condiciones de propagación adversa. Se introducen los aspectos más relevantes de la investigación realizada en [35].

3.3.1. Introducción

Uno de los factores que distingue a un sistema UMTS sobre sus predecesores 2G, es la posibilidad de ofrecer servicios portadores de datos con mejores prestaciones de velocidad que GPRS.

Con el objeto de evaluar la influencia de las condiciones de propagación de datos sobre UMTS, se realizaron pruebas de distintos servicios de datos en diferentes escenarios, relacionando la calidad final percibida por el usuario, con los parámetros de calidad de red observables por el operador. A continuación se describen brevemente las pruebas realizadas.

3.3.2. Descripción de la pruebas

Servicios Evaluados

Se presentan los principales servicios seleccionados para el estudio, así como las principales características de los mismos en cuanto a QoS.

- *Servicio de transferencia de ficheros desde un servidor remoto (FTP).*
Se realizaron conexiones para descarga de información de un servidor remoto empleando una secuencia programada con la siguiente temporización:
 - 1- Establecer conexión con el FTP con tiempo de espera de respuesta máximo de 30 seg;
 - 2- Espera de 5 segundos;
 - 3- Descarga de un fichero de 1Mb del servidor remoto;
 - 4- Finalización de la conexión;
 - 5- Espera de 5 segundos y vuelta a (1).
- *Servicio de Navegación en Internet.*
Se utilizó un móvil como modem conectado a un PC. Una vez establecida la conexión a Internet se realizaron diferentes pruebas de velocidad de conexión mediante una aplicación software.
- *Servicio de video-streaming.*
Se realizaron conexiones con un terminal móvil a un proveedor de servicio de noticias en formato video.
- *Servicio de Videollamada.*
Servicio de clase conversacional, orientado a tráfico en tiempo real, tolerante a errores pero estricto en cuanto al retardo de tiempo ($\ll 1$ segundo).

Características de los escenarios de prueba

Se seleccionaron dos escenarios tipo donde las condiciones de propagación se pueden considerar como adversas:

- i) *Borde de célula.*
Zona de cobertura 3G aislada que presenta discontinuidad con respecto al resto de la red 3G del núcleo urbano de la ciudad. El factor limitante en este caso es la cobertura.

ii) *Polución de piloto.*

Zona de cobertura 3G compactada en entorno urbano, en la que debido a la configuración de la red en la zona y la orografía del terreno, se detectan mas de 3 células servidoras posibles. Se trata de un escenario con condiciones degradadas debido a la presencia constante de un nivel de interferencia elevado. El factor limitante en este caso es la interferencia.

3.3.3. Resultados Obtenidos

Seguidamente se resumen los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en [35].

- *Servicio de transferencia de ficheros desde un servidor remoto (FTP).*
Se realizaron 20 pruebas estáticas en los distintos escenarios: 7 en situaciones extremas de borde de célula, 5 en zona de polución de piloto, 8 en condiciones óptimas de propagación, con una célula dominante como única servidora. Las mayores velocidades se obtienen con valores altos de E_c/N_0 (relación energía por bit de ruido), lo cual permite mantener valores SIR (relación señal interferencia) y SIR target (SIR objetivo) mas elevados. En las zonas de borde se obtienen los peores valores de E_c/N_0 no siendo posible mantener la SIR requerida por la UTRAN.
- *Servicios de navegación Web.*
Se realizaron 15 pruebas estáticas en los distintos escenarios. Nuevamente en el escenario limitado por cobertura se obtienen los peores resultados en cuanto a caudal, observándose un mayor numero de ocurrencia de desconexiones. En el escenario interferido no hubo detección de polución de piloto por lo cual se observa una mejor E_c/N_0 .
- *Servicio de Video Straming.*
La percepción subjetiva del usuario en cuanto a la calidad de audio y de la imagen recibida fue satisfactoria en todos los casos. En los escenarios degradados se obtiene menos continuidad.
- *Servicio de Videollamada.*
Igual que en el caso anterior el usuario tubo una buena percepción en todos los escenarios, pero para las pruebas realizadas en las zonas de menor cobertura e interferencia, se apreció una mayor degradación de la componente de datos (imagen).

3.3.4. Conclusiones

El factor fundamental que determina la calidad percibida por el usuario es la velocidad de las transferencias de datos.

De los resultados de las pruebas realizadas se infiere que en condiciones de propagación adversas se produce una degradación de ese parámetro y que el usuario lo percibe como una ralentización del servicio.

Las medidas de E_c/N_0 junto con los indicadores de pérdida de conexión son los principales parámetros objetivos de calidad que reflejan un comportamiento degradado.

3.4. Planificación Automática - Escenarios Hexasectoriales UMTS

En este punto se introducen técnicas de planificación automática basadas en el Análisis de Escenarios Hexasectoriales UMTS presentadas en el trabajo [24].

3.4.1. Herramientas de Planificación Automática

En un sistema WCDMA (protocolo de interfaz de aire) la capacidad y la cobertura están estrechamente ligadas. Para el dimensionamiento de la red es necesario conocer además, la cantidad de tráfico, el tipo de tráfico y su distribución geográfica.

La consecuencia mas clara de esta relación cobertura/capacidad es la necesidad de ubicar las estaciones base lo mas próximo posible a las zonas con tráfico mas exigente en función del tipo y volumen de tráfico demandado. El proceso de diseño de la red tiene los siguientes objetivos:

- i) Satisfacer los niveles de cobertura.
- ii) Maximizar la capacidad del sistema (máximo de terminales móviles que puede ser servida).
- iii) Minimizar el coste económico de las actuaciones derivadas del diseño de red.

Para estaciones base con mas de un sector, la interferencia y propagación dependen básicamente de la orientación de la antena. Esta interferencia puede ser minimizada modificando la orientación del sector en función de la distribución de tráfico. Los sectores con poca inclinación ofrecen mayor cobertura pero ocasionalmente mayores niveles de interferencia y por consiguiente peores prestaciones de red. La inclinación de las antenas debe definirse de forma que el lóbulo principal este dirigido hacia la zona de servicio proyectada en el diseño. El objetivo es conseguir el menor solape posible pero evitando zonas de sombra.

URANO es una herramienta de planificación 3G que incorpora la posibilidad de simular escenarios con distintas configuraciones de red, distintas distribuciones de terminales móviles y diferentes requisitos de tráfico. El objetivo de estas simulaciones es ver si la configuración de red cumple con el grado de servicio deseado. El análisis se efectúa sobre un numero de simulaciones, cada una de las cuales supone la consideraciones de un conjunto de situaciones instantáneas (*snapshots*) de la posición de los móviles que corresponde a una misma distribución estadística (e.g. se aplica el Método Montecarlo con técnicas potentes de reducción de varianza). Este tipo de análisis podría considerarse estático, y si bien éste es apropiado para estimar valores medios y varianzas, no permite analizar la evolución temporal de las potencias de los móviles.

3.4.2. Proceso de Simulación en URANO

El proceso de simulación en URANO requiere de las siguientes fases:

Fase 1: *Estimación de la distribución espacial de la demanda de tráfico para los distintos servicios a proporcionar.*

Como resultado de este proceso debe obtenerse el mapa de tráfico ofrecido por el sistema.

Fase 2: *Calculo de coberturas.*

Se calcula la pérdida básica de propagación de todos los sectores implicados en la zona de estudio.

Fase 3: *Simulación Montecarlo.*

Se generan imágenes de red conforme a la distribución de tráfico especificada y se evalúa el estado de cada usuario.

Fase 4: *Análisis de prestaciones.*

Finalmente, la simulación de los escenarios genera indicadores que permiten determinar si la red propuesta cumple con los objetivos de calidad especificados. Para eso se calcularán diversos parámetros (probabilidad de cobertura, margen de potencia, Eb/No, etc) para cada uno de los servicios. En caso de no cumplirse con alguno de los requisitos especificados, el usuario deberá retroceder hacia alguno de los pasos anteriores y realizar un replanteo del despliegue.

3.5. Parametrización del Handover WCDMA-GSM

En este punto se presenta los aspectos más relevantes inherentes a un estudio introducido en [1] sobre la parametrización del Handover WCDMA-GSM en una red de explotación.

3.5.1. Introducción

Cuando se pone en funcionamiento una red 3G junto con una 2G ya existente, surge la necesidad de optimizar la interrelación entre ellas para conseguir el máximo rendimiento del sistema. Por motivos de capacidad, normalmente se requiere que el móvil este conectado a la 3G lo mas posible y cuando se quede sin cobertura pasar a la 2G con garantías suficientes para proseguir con la llamada (Handover InterRat).

3.5.2. Mecanismos de traspaso 3G-2G

A la hora de definir el handover 3G-2G existen 3 estrategias dependiendo de:

- si al terminal de usuario, UE (User Equipment), se le ordena comprobar la RSCP del PCPICH (potencia media en un código medida en el canal CPICH) de las células, es decir la potencia media de la señal recibida después de desensanchar y combinar en el receptor RAKE,
- o si ha de comprobar la relación señal interferente del P-CPICH, Ec/No que es la forma como se evalúa la calidad,
- o si se deben evaluar ambas magnitudes a la vez.

El funcionamiento del software de la RNC (Radio Network Controller) es configurable mediante las modificaciones de sus parámetros, que consiste en una serie de variables sobre los que puede actuar el operador.

El suministrador entrega el software con unos parámetros por defecto, posteriormente el operador puede cambiarlos con los que mejor se ajusten a las características de su red. Hasta ahora el software de algunos suministradores

solo permitía evaluar el handover 3G-2G por la magnitud E_c/N_0 por RSCP de forma excluyente, dejando al operador la posibilidad de cambiar el criterio mediante la modificación de los correspondientes parámetros. En las últimas versiones ya se pueden evaluar ambas magnitudes a la vez. Solo se podía controlar el traspaso mediante el valor del correspondiente umbral de calidad que debía ser bastante conservador, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que ante un descenso rápido del nivel de señal, no le diera tiempo a completar el traspaso de la llamada a la red 2G, por ejemplo al entrar a un ascensor o un túnel que no tenga cobertura 3G.

Lo que se trata en el trabajo [1] es estudiar la relación entre la E_c/N_0 (calidad) y el RSCP (nivel) de los usuarios de la red con el fin de proponer valores concretos para ambos umbrales según las necesidades del operador.

Idealmente sería deseable que la decisión de elegir el tipo de traspaso, nivel y/o calidad, se pudiera configurar al nivel de célula de nodo B (base de transmisión - nodo con antenas), o mejor aún, al nivel de colindancias, ya que de esta forma se podría tratar de manera diferentes las células que fueran borde de cobertura y las que estuvieran en zonas muy densas. Las versiones actuales de software de los suministradores solo permiten cambiar este parámetro a nivel de RNC. La relación entre el RSCP y el E_c/N_0 de una llamada en un instante dado depende de la actividad de la red en ese momento. Cada RNC controla un grupo de células existiendo RNCs que controlan células muy próximas entre sí y cursan mucho tráfico, mientras que otras llevan células dispersas y con poco tráfico. Por lo tanto es deseable que cada RNC tenga una curva característica RSCP- E_c/N_0 .

3.5.3. Método Propuesto

En [1] se han considerado dos fuentes de medidas para considerar la curva característica de una RNC. Una consiste en analizar las medidas de campo que se recogen en los “drive test”. La segunda opción es la de hacer un seguimiento de todos los móviles que cuelgan de una RNC, lo que se denomina un traceo. La primera opción tiene el inconveniente de que las medidas se hacen a lo largo de un recorrido determinado, por ejemplo, las calles de una ciudad, por lo que el resultado estará estadísticamente sesgado. No se puede usar este método para representar el comportamiento de todos los móviles de la RNC.

3.5.4. Medidas Realizadas

Aplicando el método de los traceos se estudió el comportamiento de los UE's en zonas muy dispersas en cuanto a interferencia, sacando las respectivas curvas E_c/N_0 -RSCP. Se registra cuando y en que condiciones tienen lugar el o los eventos que se especifican, en uno o varios elementos de la red, ya sean células, sitios o las RNC's enteras. El resultado es un conjunto de archivos que tienen los informes de medidas que reportan todos los móviles durante el tiempo que dura el seguimiento. Para poder manejar tantos archivos se crea una base de datos, que importa estos ficheros clasificándolos por día y RNC.

Se estudiaron tres RNC denotadas RNC-A, RNC-B y RNC-C con niveles de interferencia muy diferentes. La RNC-A cubre una zona urbana, mientras que en la RNC-B y la RNC-C su cobertura es semi-urbana. Además, la extensión de la RNC-A es mucho menor que las otras dos. Para tener una idea del

grado de densificación del tráfico se calculó la relación tráfico-cursado (bytes) / superficie-cobertura (hectáreas) para cada una de estas RNC's. Al graficar en dos dimensiones la E_c/N_o contra la RSCP de las tres RNC's, se observó que la RNC-C tiene una mejor calidad que la RNC-A. Esto concuerda con el hecho de que la RNC-C controla una zona mucho menos cargada/interferida que la RNC-A. La desviación estándar de la RNC-A es mayor en general que la de la RNC-C.

3.5.5. Conclusiones

El umbral de paso 3G - 2G actualmente se puede definir únicamente a nivel de RNC, afectando a todos los nodos B que dependen de una misma RNC. Dentro de la cobertura de una misma RNC puede haber zonas con una fuerte interferencia debido a la densidad de tráfico y otras poco densas menos interferidas. La densidad del tráfico de una zona concreta se ha estimado a partir del tráfico cursado y la cobertura aproximada de las células implicadas.

Se estudiaron varias RNC's con diferentes densidades de tráfico. Se ha visto que el método mas adecuado para estudiar la relación E_c/N_o /RSCP es la de trazar la RNC entera mediante las herramientas que proporciona el suministrador. A partir de estos trazoos se ha determinado la curva promedio de E_c/N_o respecto a RSCP que varia según la interferencia de cada RNC. Las RNC's muy densificadas sufren una degradación de la E_c/N_o respecto al valor de RSCP. El umbral por RSCP puede usarse para limitar el radio de cobertura de las células 3G obligando la salida a 2G. En este caso sería inadecuado el uso del umbral E_c/N_o porque la calidad depende de la carga de tráfico en un instante dado.

El umbral por RSCP también puede usarse como umbral de handover de emergencia, para forzar el traspaso antes de llegar a la zona de la curva con rápida degradación de la calidad.

3.6. Coexistencia de QoS en Sistemas IEEE

En esta sección presentamos un resumen de las principales líneas de investigación recientes abordadas por el grupo *Networking Research Group* de la Universidad de Canterbury [29], donde, por un lado, se analiza la coexistencia de QoS en ciertos sistemas IEEE, y por otro lado, se estudia la mejora del funcionamiento de TCP sobre Redes Inalámbricas enfocadas en 3G.

3.6.1. QoS en IEEE802.16/3G y IEEE802.16/IEEE802.11e

Puntualmente, en [29], se analiza la QoS para la coexistencia de los siguientes sistemas: IEEE802.16/3G y IEEE802.16/IEEE802.11e.

Últimamente se han investigado varias tecnologías para administrar el tráfico de gestión de redes de manera eficaz. Ejemplos como la calidad de funciones de administración de servicio en UMTS y la diferenciación de servicio, introdujo las técnicas llamadas 802.16 para WMAN y 802.11e para WLAN. El trabajo [29] se centra en explorar el rol de todas estas técnicas en soluciones de QoS. Basado en el análisis primario de la capa de MAC, la investigación se desarrolla considerando la calidad de servicios para la coexistencia de UMTS/802.16 y

802.16/802.11, donde 802.16 mantendrá el “backhaul” para las estaciones de 3G remotas y 802.11e para la LAN inalámbrica.

Un valor agregado importante es el potencial de combinar estos tres sistemas diferentes juntos, logrando una red más compleja. Un resultado exitoso, acelerará el despliegue de ambientes de comunicación inalámbricos futuros que toman los beneficios de UMTS, IEEE802.16 y 802.11e con una mejora sustancial en la administración del tráfico.

Algunos trabajos de investigación están actualmente apuntando a construir una red inalámbrica híbrida. El proyecto citado en [29] trabaja en los problemas de coexistencia de WMAN/3G y WMAN/WLAN. Se tiene en consideración los siguientes puntos.

- 1) Para el sistema de WMAN/3G, IEEE802.16 actúa como el RNC (Radio Network Controller) en este sistema de UTRAN.
- 2) Para el sistema de WMAN/802.11e, IEEE802.16 trabaja también como el “backhaul” para las comunicaciones de WLAN.
- 3) La idea futura es construir un sistema inalámbrico global que despliegue todas esas tecnologías donde IEEE802.16 trabaja como el “backhaul” para las estaciones 3G y WLAN como *interworking* con 3G.

Tales redes híbridas combinan las cualidades de tecnologías inalámbricas celulares y avanzadas, dando por resultado un sistema capaz de proveer a los usuarios una buena cobertura y servicios de alta velocidad. La administración de QoS del multi-dominio debe ser constante y podría ser clasificada realizando la traducción entre las representaciones de QoS en diversos niveles de sistema.

3.6.2. La Mejora de TCP sobre Redes Inalámbricas

En la optimización del TCP para que las redes inalámbricas se ocupen de las pérdidas de paquete, se debe mantener preferiblemente la semántica punto a punto de TCP con dependencia mínima de nodos intermedios. El desarrollo de tecnologías inalámbricas, tales como WLAN, las redes 3G y los servicios avanzados, hace necesario encontrar una manera de mejorar la eficacia del TCP y la utilización de los recursos. El proyecto [29] investiga el funcionamiento del TCP sobre redes WLAN y UMTS usando OPNET como la herramienta de simulación. WLANs, basado en el estándar de IEEE 802.11 soporta esquemas flexibles y portables. Se apoya en esquemas de modulación tales como DBPSK, DQPSK, CCK y OFDM. El protocolo 802.11 cubre el MAC y las capas físicas, el estándar define actualmente un solo MAC que interactúa recíprocamente con diversas tecnologías inalámbricas. La función distribuida de coordinación (DCF) es el mecanismo de acceso básico de IEEE 802.11b y utiliza un acceso múltiple de sentido de portador con un algoritmo que evita la colisión (CSMA/CA) para mediar el acceso al medio inalámbrico compartido. Además de la funcionalidad estándar realizada generalmente por las capas de MAC, el MAC 802.11 realiza funciones adicionales tales como reconocimiento positivo, retransmisión de paquete y fragmentación.

La tecnología de tercera generación (3G) esta pensada para revolucionar las capacidades de comunicaciones móviles y se está convirtiendo en una realidad. Se espera que el móvil 3G proporcione servicios que los sistemas celulares existentes no pueden.

3.7. Simulación y Evaluación de Performance de WCDMA-Uplink

En esta sección, brindamos los resultados principales de un estudio de simulación y evaluación de performance de WCDMA-Uplink introducido en [17].

3.7.1. Introducción

El trabajo [17] presenta resultados sobre la transmisión de móviles con WCDMA obtenidos en condiciones de laboratorio siendo los mismos comparados con resultados reales. En particular se presenta el uplink WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), siendo evaluada su performance de acuerdo a los aspectos detallados a continuación. WCDMA es un tipo de red celular con tecnología 3G.

Algunos de estos aspectos tomados en cuenta en este estudio son entre otros, el poder de transmisión y sus variantes con cálculos teóricos, junto con simulaciones. En este trabajo también se han tomado en consideración el efecto de la velocidad del móvil, así como también el perfil de enrutamiento por múltiples caminos junto con la capacidad de recepción de las antenas en las estaciones base.

Algunos resultados muestran que un móvil a 120Km/h necesita menos poder de transmisión que uno que se mueve mas lentamente, esto se debe a que la variación de tiempo esta dada por la interpolación.

Para poder conceptualizar la frase “performance del uplink de WCDMA es necesario modelar de manera correcta, lo cual permitirá poder evaluar durante las diferentes fases de la planificación la cobertura del sistema WCDMA.

Algunos de los aspectos relevantes del trabajo [17] incluyen entre otros, la presentación teórica de cálculos del poder de distribución; asunciones realizadas sobre la simulación; comparación entre diferentes tipos de simulaciones además de mediciones realizadas en laboratorio; resultados de las mediciones de campo (mediciones reales); y en último término presentan las conclusiones alcanzadas a través del mismo.

3.7.2. Consideraciones Generales

El ideal es que tanto el poder de transmisión del móvil, como el poder de recepción del mismo, sea lo mas constante posible. Si el valor del ruteo multiple es X y ademas en promedio 1, el poder de transmisión es proporcional a $1/X$ sin tomar en cuenta la pérdida por propagación. En definitiva se puede ver según lo ilustra la Figura ** la curva que representa el poder de transmisión con una distribución relativa al valor promedio del canal.

Figura 1: Tráfico Peatonal y Vehicular.

3.7.3. Asumciones para la Simulación

El nivel de enlace de la simulación permite evaluar el poder de transmisión brindado por el uplink en WCDMA. Lo principal en los resultados de la sim-

ulación es el promedio requerido de este poder de transmisión junto con la distribución del mismo. Tanto el uplink como el downlink modelan conjuntamente el entorno de la simulación. La dirección del downlink permite controlar los errores en las señales, marcando los errores en el uplink.

3.7.4. Resultados Experimentales

El sistema WCDMA fue utilizado experimentalmente para evaluar la performance del uplink tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones de campo. El sistema experimental de la simulación es presentado en la Figura ***.

Figura 2: Sistema experimental de simulación.

Los resultados de las mediciones en laboratorio se muestran en lo relativo a:

- i) el efecto de la velocidad del móvil,
- ii) perfiles de multipath,
- iii) y recepción de la antena en la estación de base.

El efecto de la velocidad del móvil mostró resultados que son escalados en promedio por la energía o potencia de la transmisión de todos los canales a 3 km/h siendo el mismo que corresponde a los resultados de la simulación. Esto permite comparar diferencias entre el poder de transmisión de la terminal o base a diferentes móviles considerando además las velocidad de los mismos. La variación en el poder de transmisión mostró que cuanto mas lenta es la velocidad del móvil, mayor variación tiene.

En lo relativo al efecto de recepción en diversas antenas se encontraron valores cercanos a los de la simulación.

Por ultimo se hacen las consideraciones del efecto de rutas múltiples, siendo las mismas las siguientes. A velocidades más altas del móvil, el aumento de la diversidad de multipaths es pequeño tanto en la simulación como en las mediciones de campo. La medida multidireccional aumento hasta valores cercanos a los de la simulación.

3.7.5. Conclusiones

El poder de transmisión de WCDMA en móviles y su variación, es debido al rápido control de energía en los canales. En [17] se estudió el cálculo teórico, la simulación a nivel de enlace, mediciones de campo y en el laboratorio. Los resultados mostraron que un móvil que se mueve rápido (120km/h) necesita menos poder de transmisión que uno que se mueve más lentamente debido al tiempo que transcurre para la provisión del servicio por parte de cada estación base.

Por último se menciona que los resultados son una buena aproximación de acuerdo a las medidas de campo y los valores del simulador, aunque también revelan inexactitudes en la implementación del receptor en cuanto a la estimación realizada.

3.8. Un modelo de Simulación del UMTS basado en ATM

Esta sección presenta los aspectos más importantes relevados en el trabajo [11], el cuál introduce una herramienta de simulación capaz de dimensionar y evaluar la performance de UMTS sobre redes de acceso de radio terrestre.

3.8.1. Introducción

El trabajo [11] presenta un modelo de simulación del UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) basado en ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). ATM es una tecnología orientada a conexión, con una conexión lógica end to end.

Este simulador, apunta a proporcionar un test de prueba que permita el estudio de varios asuntos de interés potencial. Estos asuntos son inherentes a aspectos que afectan la calidad del servicio, entre ellos se mencionan, el delay, la pérdida de paquetes, etc.

Particularmente, se propone utilizar una herramienta que permita dimensionar los links de acoplamiento de ATM para evaluar el funcionamiento de diferentes clases del tráfico, así como también la calidad del servicio. El modelo resulta muy flexible y permite la captura de muchos detalles del nivel mas bajo.

Algunos resultados obtenidos con el simulador se presentan para ilustrar sus capacidades. El rango de los servicios ofrecidos por la tecnología 3G en lo concerniente a los sistemas móviles es muy amplio, abarcando entre otros aspectos la multiplexación flexible y el intercambio de tecnologías que permitan el acceso a la red.

Se menciona un estudio realizado que describe, por un lado, la combinación de servicios ofrecidos por las redes UMTS (los cuales son aún largamente desconocidos), y por otro, se puntualiza que a pesar de los avances de la ingeniería en tráfico, existe un muy bajo desarrollo en lo que tiene que ver al diseño de redes. Estas redes tienen como características, el gran tamaño y la multiplicidad de servicios. Se establece además, una diferenciación en lo concerniente a la calidad del servicio.

Respecto a UTRAN (red de acceso de radio terrestre de UMTS) se han publicado varios artículos técnicos, los cuales informan sobre el estudio del tratamiento al problema de tráfico que caracteriza los modelos, y la calidad del servicio. La calidad del servicio es tomada en lo relativo a delay, pérdida y tolerancia a fallos. Los esfuerzos se enfocan en solucionar el problema del acceso a la red, esto es, que los enlaces de transmisión de ATM conecten estaciones base con controladores de la red (Nodo-B y RNCs respectivamente). Nodo-B es un término usado en UMTS para denotar BTS (*Base Transceiver Station*) el cual es el equipamiento que facilita la conexión inalámbrica entre los equipos de los usuarios. RNC (*Radio Network Controller*) es el encargado de controlar los Nodo-B.

3.8.2. Descripción de UTRAN

En este punto veremos una descripción de la arquitectura de UTRAN y el uso de la tecnología ATM como transporte para entregar QoS.

La Figura *** presenta la arquitectura de UTRAN. Los RNS (Radio Network Subsystems) son los responsables de los recursos del conjunto de celdas de UMTS

UE Equipo del usuario CN Núcleo de la red. Las dos anteriores son entidades externas.

Figura 3: Arquitectura de UTRAN.

En lo relativo a las interfaces que interactúan con las entidades externas se detallan: *Uu* que interconecta UE con el *NodoB*, *Iub* que conecta cada *NodoB* con el controlador RNC, *Iur* que interconecta los RNC y por último *Iu* que conecta RNC con el nodo de acceso al CN.

Los protocolos de UTRAN usados en interfaces terrestres se estructuran en dos capas: Radio Capa de red (RNL) y capa de red del transporte (TNL). En RNL se definen todos los protocolos UMTS específicos para UTRAN, incluyendo los protocolos llamados de radio, RLC (Radio Link Protocol), MAC (control de acceso medio), y PDCP (Packet Data Convergence Protocol) entre otros. En lo relativo al usuario, el protocolo que se define es el FP (Frame Protocol) entre las interfaces *Iub* e *Iur*.

La ayuda de QoS en el TNL es esencial desde el punto de vista de los requisitos de funcionamiento de uso, así como algunos procedimientos de radio específicos.

3.8.3. Caracterización del Tráfico

En este punto, describiremos el modelo del tráfico usado por el simulador. Se deben utilizar modelos de tráfico apropiados como entrada para el simulador. Mayormente se consideran dos clases del tráfico, por un lado el tráfico de voz (con retraso) y por otro, de datos (con requerimientos sobre la pérdida de paquetes).

Los autores realizaron la caracterización del tráfico mediante la descripción de cada clase siendo representada cada una de ellas según su utilización y ellas son:

- 12.2-AMR (Adaptative Multi Rate),
- codec (clase conversational),
- web browsing interactivo (clase interactiva),
- streaming video (clase streaming),
- E-mail (clase background).

Aunque en general una aplicación puede ser considerada bidireccional, muchas veces las mismas pueden ser consideradas asimétricas (por ejemplo, web browsing). Así, si el patrón de tráfico del uso es típicamente asimétrico, se modela implícitamente en sentido descendiente, puesto que ésta es la dirección en la cual observan a la mayoría del tráfico normalmente.

También se presenta un modelo de tres niveles, intentando dar significancia física a cada uno de los niveles.

Nivel de sesión. Depende del uso concreto, esto refiere a que cuando el usuario esta utilizando el servicio se presenta como en un estado activo. Por ejemplo, una sesión se puede modelar en una llamada de voz. Otra opción es por

ejemplo determinar una sesión web en el browser, donde el usuario puede estar realizando diversas tareas, entre otras, descargar, leer documentos, etc.

Nivel de ráfaga. Este nivel toma la variación del tráfico en la generación de parámetros durante una sesión activa. El patrón elegido para la representación es un modelo ON-OFF, en el cual es posible generar tráfico en ambos estados (es también llamado High-Low model). Los parámetros relevantes son las distribuciones estáticas de la duración de cada estado.

Nivel de paquete. Para cada estado del nivel de ráfaga, los parámetros que gobiernan los procesos de generación de paquetes son: La distribución estática del valor del intervalo de tiempo en el que arriban los paquetes. La distribución estática del valor del tamaño del paquete.

Figura 4: Niveles del Modelo.

El simulador ofrece la posibilidad de crear tantas fuentes activas e independientes como sea necesario. Esto permite que se estudie el comportamiento del sistema en presencia de un número exacto de usuarios simultáneamente activos, y posiblemente de varios tipos. Todo esto provee al usuario del simulador gran flexibilidad al configurar las condiciones del tráfico de los experimentos.

3.8.4. Modelo de Simulación

Se presenta a continuación el modelo de simulación desarrollado por los autores para poder llevar a cabo la investigación sobre dimensionamiento y evaluación de la performance de UMTS. El simulador permite que se definan uno o más grupos de usuarios por cada Nodo-B. Cada uno de estos grupos de usuarios pueden ser asociados a un tipo de aplicación (Ej. usuarios de voz), además cada uno de estos grupos es caracterizado por diferentes parámetros determinando así el modelo de tráfico para el grupo.

El simulador permite definir diversos canales virtuales (VC) en ATM, estos se definen entre el RNC y cada Nodo-B. La versión actual del simulador soporta CBR (Rate binario constante) y canales virtuales (VC), siendo posible incluir en el futuro otros tipos de servicios, como ser: rt-VBR (Real-Time Variable Bit Rate), nrt-VBR (Non-Real-Time Variable Bit Rate), o UBR (Unspecified Bit Rate).

Dedicar un canal virtual de ATM por separado a cada clase de tráfico de UMTS permite dar la calidad de servicio necesaria para las diferentes aplicaciones.

Algunos autores han propuesto distinguir las clases de tráfico no a nivel de ATM, siendo aplicada la misma en un nivel superior como es AAL2 (ATM Adaptation Layer type 2), a pesar de que no exista actualmente ningún estándar con respecto a la administración del tráfico en este nivel.

Se han incluido para el AAL2 dos mecanismos básicos para el almacenamiento de los diferentes tipo de tráfico: FIFO y PRIOR. El primero considera un solo buffer intermedio donde las unidades de datos de los distintos grupos de

usuarios se multiplexan, mientras que en el segundo, las unidades de datos se manejan según la prioridad del grupo que la generó.

El simulador ofrece dos estrategias de multiplexación del tráfico, que pueden ser aplicadas en dos niveles, en el físico, de modo que cada grupo de usuarios de un Nodo-B tenga su propio canal virtual de ATM, o en el nivel de AAL2 CPS-PDU (Common Part Sublayer Protocol Data Unit), donde dos o más grupos de usuarios (por ej. los usuarios de voz y los usuarios de datos) comparten un VC.

El simulador proporciona estadísticas en los niveles considerados, a saber:

Nivel de ATM. CLR (Porcentaje de pérdida de la célula) retraso en la transferencia de la célula, y el retraso en la variación del VC.

Nivel de AAL2. El paquete del CPS retrasa y tiene una cierta pérdida por el buffer AAL2.

Nivel FP. Delay del marco, variación del retraso y del porcentaje de pérdida por el grupo de usuarios.

3.8.5. Conclusiones

El simulador se ha probado como herramienta flexible con la cual con un esfuerzo razonable se alcanzan resultados útiles.

La simulación podría ayudar en la tarea de evaluar el funcionamiento y de dimensionar la interfaz de UTRAN entre un Nodo-B y su controlador (RNC). El simulador permite que una amplia gama de situaciones sea estudiada, ofreciendo de una manera simple la posibilidad de configurar parámetros, cantidad de usuarios, el canal ATM, etc. a ser utilizados en las diferentes simulaciones. Se puede obtener una gran cantidad de información estadística, incluyendo ATM CLR (*Cell Loss Ratio*) de canales virtuales, el cociente de pérdida de los marcos FP, retraso en el marco y variación del delay. Para el futuro se espera poder simular las cuatro clases de UMTS, cada una con un apropiado modelo estadístico.

3.9. Simulador URIS

En esta sección se presenta algunos resultados introducidos en [12] sobre la evaluación de performance de aplicaciones de internet sobre radio interface UMTS.

3.9.1. Introducción

Un uso típico de la Internet es el World Wide Web (WWW), en particular a través de TCP/IP. En contraste con el UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) quien proveerá de “contratos” de tráfico, TCP es un protocolo que está orientado a una comunicación end-to-end, confiable para sistemas con una calidad del servicio limitada. El trabajo [12] analiza la performance del WWW sobre la interfaz de UMTS, así como también el TCP/IP y el stack de protocolos de UTRA.

Se introduce el simulador URIS (UMTS Radio Interface Simulator), el cual permitirá presentar las simulaciones realizadas y valorar los resultados de las mismas.

Durante la especificación de UMTS se realizó un esfuerzo significativo con el objetivo de lograr que la comunicación fuese confiable y eficiente.

El trabajo presentado por los autores muestra la performance de UMTS para dar soporte al acceso de dispositivos móviles a Internet.

UMTS proporciona un protocolo de control llamado RLC (Radio Link Control) que permite lograr buena calidad del servicio en el radio que es abarcado por la interface. RLC realiza un enlace confiable con los mecanismos de control de error ARQ (Automatic Repeat Request). Además WWW tiene como soporte el protocolo TCP, orientado a conexiones end to end y basado en la recuperación de errores.

El TCP no asegurará la calidad del servicio en términos de retrasos de paquetes ni de throughput. Tanto TCP como RLC realizan retransmisiones para “recuperar-los paquetes perdidos.

El objetivo de la simulación es presentar resultados sobre la performance de las sesiones web en el browser sobre UMTS, tomando en cuenta la implementación del protocolo UMTS y cuán cargado está de sesiones el navegador.

3.9.2. Entorno de Simulación

El simulador URIS es un software desarrollado en el lenguaje de programación C++. La arquitectura del simulador se puede ver en la Figura **.

Figura 5: Arquitectura del Simulador URIS.

El simulador consiste en varios generadores de tráfico y una unidad de carga de tráfico mixto que se utiliza para ajustar escenarios con las diferentes mezclas de carga deseadas. El núcleo del simulador esta compuesto de módulos llamados Equipos de Usuarios (UE) y acceso de radio terrestre de UMTS (UTRA) que son formalmente contruidos de forma similar. Se pone en ejecución cada UE y UTRA como un sistema de SDL del cual contiene la puesta en práctica del protocolo en capas. Una sesión típica en el navegador web consiste en una secuencia de las peticiones de página. Estas páginas contienen un número determinado de objetos con un tamaño dado para cada uno de ellos.

3.9.3. Modelo de tráfico para TCP

Durante una petición de página en el navegador, para cada objeto son generados muchos paquetes que significan que la petición de página esta constituida por una ráfaga de paquetes. Después de que la página ha sido descargada enteramente en la terminal, el usuario consume cierta cantidad de tiempo (intervalo de lectura) para estudiar la información obtenida.

3.9.4. TCP/IP Protocol Suite

Para proporcionar servicios del Internet a los usuarios móviles, el protocolo TCP/IP tiene que ser adaptado a los protocolos de UMTS. El stack de protocolos de UMTS ofrece esta funcionalidad proporcionando el PDCP (Packet Data Convergence Protocol) y es una de las capas del Radio Traffic Stack de UMTS. El TCP provee una conexión confiable y ofrece los siguientes servicios:

- Retransmisión de paquetes perdidos.

- Recuperación de la entrega fuera de lugar.
- Control de flujo.
- Mecanismos del control de flujo:
 - Retardar el comienzo y evitar de la congestión.
 - Rápida retransmisión y recuperación.
 - ACK retrasados.
 - ACK selectivos.

3.9.5. Radio Link Control Protocol

El RLC tiene servicios que realizan segmentación y retransmisión para el usuario. Los mismos permiten además el control de datos.

Este protocolo proporciona tres servicios diferentes de transmisión de datos:

- Modo transparente, TR (Transparent data transfer service mode).
- Modo no reconocido, UM (Unacknowledged data transfer service Mode).
- Modo reconocido, AM (Acknowledged data transfer service Mode).

El modo del TR es un servicio unidireccional usado típicamente para hacer broadcast o también para paginación, donde no es necesario garantizar una transmisión sin error pero sí en tiempo real, como por ej. audio o video.

El UM es un servicio también unidireccional, típicamente utilizado para transmitir ráfagas donde no es necesario para garantizar una transmisión sin error; como ejemplo se puede nombrar la transmisión de voz sobre IP.

El AM garantiza la entrega de paquetes y es utilizado por procedimientos de background, y como misión se puede mencionar la confirmación de la recepción de paquetes.

3.9.6. Escenarios de simulación

Los principales parámetros, en lo concerniente a la calidad de servicio, que afectan a TCP y RLC son delay y throughput.

Tres medidas fueron hechas durante las simulaciones:

- i) El retraso o delay del paquete. Este es el tiempo desde que se envía el paquete hasta que se recibe de forma correcta por parte del receptor.
- ii) Rendimiento de procesamiento del paquete. Se calcula dividiendo el tamaño del paquete entre el retraso del mismo.
- iii) Retransmisiones. Cantidad de retransmisiones de RLC.

Las simulaciones sobre el navegador se realizaron sobre TCP en RCL AM (Acknowledged Mode) por el uplink para solicitar la pagina al navegador, y la bajada de la mismas se realizo por el downlink.

3.9.7. Conclusiones

Los resultados de la simulación introducidos en [12] demuestran en la práctica, que navegar en Internet es posible; pero si el usuario es un usuario de móvil sufrirá tiempos de espera más altos en comparación a los usuarios con acceso fijo. Los retrasos son causados por altas tasas de error, lo que implica que los paquetes que tengan que ser recuperados por las retransmisiones tengan un delay más alto (tiempo de RLC y del TCP). Se concluye además que la interfaz de UMTS es la que ocasiona la congestión en la transmisión de datos.

3.10. Un Escenario Real: UMTS en Aeropuertos

En esta sección se presenta un análisis, extraído de [30], sobre alternativas de escenarios UMTS para soporte de tráfico de voz y datos en un ambiente real, puntualmente el entorno de un aeropuerto.

3.10.1. Introducción

El artículo [30] se centra en el desarrollo de UMTS en el entorno de un aeropuerto, el cual se espera que sea uno de los ambientes de negocio relevantes de UMTS. Se plantea la reutilización de la infraestructura existente de la red de GSM. Se considera que las macro-celdas (fuera del edificio) y las micro-celdas (dentro del edificio) proporcionan cobertura a toda el área donde interesa que coexistan los sitios 3G y 2G.

Diversas soluciones se analizan en términos de cantidad de micro-celdas y del máximo de energía utilizada por cada una de ellas. El estudio se centraliza en ambientes de configuración así como también en la definición de parámetros que permitan tener servicios mixtos.

La industria móvil de las comunicaciones está cambiando su foco de la tecnología 2G a la tecnología 3G.

Paralelamente con la evolución de las redes inalámbricas actuales (2G GSM), con la introducción de nuevas facilidades y servicios sobre el mercado, y ayudados por funcionalidades de GPRS (General Packet Radio Service), cada vez más ingenieros se están familiarizando con la tecnología de WCDMA, estando implicados en la construcción y lanzamiento de redes con tecnología 3G.

Para la implementación de estas redes se busca una relación entre el costo y el beneficio de estas tecnologías. Además, el mercado de UMTS tiene como objetivo el apuntar a negocios activos, por ejemplo aeropuertos, hoteles, comercios, oficinas, etc.

Este desarrollo se basa en la reutilización de la Infraestructura del GSM. Tal infraestructura incluye micro-celdas y macro-celdas. La solución analizada en el desarrollo de UMTS hace una co-localización considerando la existencia de las macro-celdas en sitios al aire libre. Estas macro-celdas son llamadas nodo B de UMTS y están situadas en una macro-celda existente de GSM.

Con respecto a la cobertura dentro del edificio, es lograda distribuyendo los datos con fibra óptica. Además las señales de diversos nodos B de UMTS se ubican en un sistema de los repetidores que están situados en los micro-celdas existentes del GSM. En este aspecto se puede variar la cantidad de micro-celdas que existen respecto a la cantidad que se utilizan como repetidoras. El objetivo del estudio es ver la viabilidad en diferentes escenarios, mediante diferentes tipos

de configuraciones. Se requiere que se pueda cuantificar la capacidad o potencia de las micro-celdas conjuntamente con la cantidad de estas que se encuentran presentes.

Para cada configuración, se plantean dos aspectos a considerar, el primero de ellos es el tomar una determinada capacidad como válida, y el segundo es, cómo identificar la dirección limitante (uplink o downlink). Además, el análisis considera como escenarios a estudiar, los que tienen como información, voz, datos y mezcla de voz y datos.

3.10.2. El Escenario y Descripción del Simulador

Las células del GSM se reutilizan para desplegar los equipos de UMTS. Para evitar la inexactitud de usar modelos de propagación en el modelo de la simulación, el simulador se alimenta con los datos recogidos por otra herramienta. Captura todas las mediciones a través de informes generados por las terminales móviles en el área de interés, en particular, estas terminales tienen la característica de ser GSM900/1800.

El escenario se compone de micro-celdas dentro del edificio y macro-celdas al aire libre, estas últimas con superposición parcial en lo relativo al radio de alcance. Con respecto a las micro-celdas de UMTS, el escenario considera a las micro-celdas que distribuyen una señal entre un número de repetidores situados en las micro-celdas de GSM ya existentes. El trabajo hace notar que en la dirección del downlink de todos estos repetidores están transmitiendo la misma señal generada por las micro-celdas de UMTS. Alternadamente, dentro de la dirección del uplink las señales recibidas de cada repetidor son combinadas en el nodo-B.

Cuatro escenarios se consideran en las simulaciones, dependiendo de cómo se distribuyen las micro-celdas de GSM en micro-celdas de UMTS.

Escenario 1 Asume que una sola micro-celda de UMTS distribuye la señal entre todas las micro-celdas de GSM.

Escenario 2 Asume la existencia de dos micro-celdas de UMTS.

Escenarios 3A y 3B Asumen tres micro-celdas de UMTS. En 3A se toma en cuenta la proximidad geográfica y en 3B la distribución se hace considerando criterios del tráfico, viendo en particular el balance del mismo entre las micro-celdas.

En todos los escenarios se consideran tres macro-celdas al aire libre. Las simulaciones consideran servicios de voz y datos así como también los parámetros que determinan el radio de transmisión.

La herramienta de simulación de UMTS utilizada es estática y ejecuta los siguientes pasos:

- i) Decidir el número de los usuarios presentes en el escenario, N , para cada servicio.
- ii) Distribuir a usuarios en el escenario seleccionando, donde para cada uno le corresponde un informe ubicado en la base de datos. Este informe incluye la pérdida de trayectoria con respecto a las diversas células dentro del escenario.

- iii) Una vez que se haya seleccionado un informe, elegir la célula que le da servicio a cada usuario tomando en cuenta además el nivel de energía recibido por cada una de ellas.
- iv) Una vez que dispersen a todos los usuarios en el escenario, se enciende el módulo de control de la energía para decidir qué niveles de ésta se transmiten para todos los usuarios en ambas direcciones (uplink y downlink).
- v) Recolectar estadísticas y medir la performance, en particular se estudia la probabilidad de interrupción de los enlaces uplink y downlink.
- vi) Esta probabilidad viene dada por E_b/N_0 (Energy per bit per noise power spectral density)

3.10.3. Conclusiones

Se ha mostrado [30] que el escenario donde se utiliza voz solamente es limitado al uplink mientras que el escenario de los datos es limitado al downlink. Además, existe un aumento de la multiplexación con los usuarios de voz, mientras que en cuanto al tráfico de datos se ha demostrado que un ajuste apropiado de la energía es importante en términos de capacidad. Lo anteriormente mencionado afecta a la calidad de las conexiones.

3.11. Simulador UMTS/HSDPA/HSUPA

En esta sección se brinda los resultados principales de un estudio de simulación, introducido en [3], realizado a nivel de enlace sobre HSDPA.

3.11.1. Introducción

El artículo [3] presenta un trabajo de simulación a nivel de enlace sobre HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*). Existe un interés motivado en la necesidad de aumentar las tasas de transferencia desde el punto de vista del usuario de móviles. Los resultados están basados en un simulador construido por las compañías Telefónica Móviles de España y Telefónica Investigación y Desarrollo. Dicho simulador se denomina UMTS GEA. El mismo está basado en capa la física y la capa de enlace de UMTS Release 99, UMTS Release 5 y UMTS Release 6.

Para poder simular todos los aspectos de la tecnología 3G se plantea ir creando diferentes niveles de simulación con un aumento progresivo de la complejidad. La interfaz de radio se encuentra dentro de los primeros niveles de complejidad e incide directamente en la calidad del servicio.

Los objetivos del simulador GEA son, entre otros, que sea fácil de configurar y que muestre resultados valiosos que son difíciles de cuantificar en un sistema real. GEA reproduce mecanismos reales de las terminales y de la red de acceso de radio UMTS (UTRAN), así como el efecto del canal radio sobre la calidad de servicio.

3.11.2. Simulación de HSDPA

En HSDPA se simula el funcionamiento dinámico de una comunicación que emplea canales físicos de datos HSPDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared*

Channel) en una portadora UMTS. Se simula solamente el enlace descendente, ya que mientras no se emplee HSUPA el enlace ascendente se seguirá basando en un canal de datos dedicado DCH (dedicated channel) similar a los de R'99. Las novedades que introduce HSDPA frente a la R'99 son:

- Intervalo de transmisión TTI (*Transmission Time Interval*) más corto, que permite agilizar las retransmisiones.
- Mecanismo híbrido de petición de retransmisión, HARQ (*Hybrid Automatic Request*). HARQ es una modificación del método de detección de errores ARQ, esta modificación es mejor que ARQ debido a que supera su performance sobretodo para redes inalámbricas.
- Modulación y codificación adaptativa AMC (*Adaptive Modulation and Coding*)

HSDPA disminuye la latencia debido a dos factores, en primer termino se señala que es el mismo Nodo-B el que pasa a gestionar sus retransmisiones (HARQ) y en segundo lugar, la variación dinámica del formato de los bloques en función de las condiciones de propagación (AMC) también contribuye a la mencionada disminución.

El canal de transporte HS-DSCH (*High-Speed Downlink Shared Channel*) multiplexa las transmisiones de datos dirigidas hacia cada terminal de usuario, además las variaciones en las condiciones de canal se van compensando con codificación adaptativa, de modo que la probabilidad de error se vaya manteniendo en el entorno del valor 0,1 , el cual es apropiado para el mecanismo HARQ. El canal de transporte mencionado anteriormente se mapea a un conjunto que tiene hasta quince canales físicos (códigos) HS-PDSCH, todos en la misma portadora.

Opciones de diseño: Se puede añadir a una célula UMTS a una nueva portadora (que se dedica exclusivamente a HSDPA) en un canal radio que no se solapa con los que ya se vienen empleando para la célula. HSDPA también puede compartir la portadora con canales de R'99, en este caso se habría de optar por un modo de repartir la potencia disponible.

La herramienta de simulación de enlace posibilita el análisis cuantitativo de la velocidad de transferencia HSDPA hacia un terminal concreto.

A partir de este tipo de simulaciones de enlace se puede implementar un simulador del sistema que permita estimar las condiciones del servicio hacia un conjunto de terminales.

3.11.3. Supuestos de Simulación de HSDPA

Los supuestos de simulación siguen las directrices acordadas en el grupo de trabajo RAN4 del 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Características:

- 1) Simulación completa de la capa 1 (física) y la subcapa MAC-hs para el canal de transporte HSDSCH, y los canales físicos HS-PDSCH.
- 2) La interpretación de las indicaciones ACK/NACK está sujeta a una probabilidad de error que se va controlando dinámicamente. Esta disminuye la velocidad de transferencia. GEA ya permite tenerla en cuenta.
- 3) Se reproducen los mecanismos relativos a HARQ y AMC.

- 4) Se asume recepción libre de errores en los canales.
- 5) GEA contempla una muestra por chip, para estudiar la influencia sobre la discriminación de los rayos en el receptor.

3.11.4. Simulación de HSUPA

Se busca satisfacer la demanda de ancho de banda para la transmisión de datos, en sentido ascendente (uplink). HSUPA es similar al HSDPA, pero igualmente existen algunas diferencias entre ellos. Ambos utilizan HARQ para optimizar la entrega confiable de los bloques.

En lo concerniente a las diferencias tenemos que:

- Se emplea un nuevo canal dedicado E-DCH (Enhanced Dedicated Channel) para cada terminal, además este canal no es compartido.
- HSUPA aplica control de potencia, porque el uplink CDMA compartido por varios terminales ha de evitar el efecto “cerca-lejos”.
- No se emplea Modulación y Codificación Adaptativa, entre otras. El formato de transporte E-TFC (Enhanced Transport Format Channel) se varía dinámicamente.
- Por último se hace mención a la falta de control de potencia para optimizar la detección.

La asignación de recursos y el control de congestión se gestiona dinámicamente mediante permisos de acceso (access grants) que las células otorgan a los terminales de un modo no coordinado.

3.11.5. Supuestos de Simulación en HSUPA

GEA ha seguido los supuestos de simulación acordados en el RAN4 0, añadiendo las siguientes funcionalidades:

- Probabilidad de error de interpretación de los mensajes ACK/NACK.
- Factor de sobremuestreo configurable.
- Simulación con o sin control de potencia, configurando el valor de calidad objetivo (SIR target) en el link interno.
- Se toma en cuenta la interferencia que puede añadir el DPCH en el uplink.

3.11.6. Resultados Obtenidos en HSUPA

La diversidad de recepción en el enlace ascendente es necesaria, porque reduce de un modo significativo la “Energy per bit per noise power spectral density” (E_b/N_0 dB) objetivo. Los resultados con control de potencia se ajustan más a lo que cabe esperar de un sistema real. Mejora la efectividad del HARQ y con ello la velocidad de transferencia.

3.11.7. Conclusiones

El simulador GEA es consecuente con los resultados aportados a RAN4 desde distintas fuentes [3]. Se podrá reducir la dispersión de las previsiones, y se establecerán las primeras directrices de diseño. Por otro lado, se obtuvo una confirmación teórica y sólida de la velocidad de transmisión de HSDPA/HSUPA. UMTS permite confiar en que seguirá siendo una buena opción por eficiencia, movilidad y calidad de servicio.

3.12. Verificación de la planificación de una red WCDMA con métodos de predicción totalmente dinámicos

3.12.1. Introducción

En el caso de redes WCDMA (WCDMA es la tecnología de conexión entre el equipo de usuario y la red de acceso) la planificación detallada es en sí mismo un proceso de optimización. En la telefonía móvil de 2da generación la planificación detallada se concentró fuertemente en la optimización de la cobertura. En la WCDMA hay análisis de interferencia y capacidad, y no solamente valoración del área de cobertura. Durante la planificación de la red de radio, las configuraciones de las estaciones base necesitan ser optimizadas, la selección de las antenas, las direcciones de las mismas e incluso las localizaciones necesitan ser optimizadas para resolver el QoS (calidad de servicio) y la capacidad de mantener ciertos requisitos con costo mínimo. Para esta optimización se propuso un método de simulación estático. Los resultados presentados en el trabajo [23] ayudan a demostrar que las predicciones estáticas se pueden utilizar con razonable exactitud. Además, los resultados estáticos de la simulación se pueden utilizar como primera estimación de QoS para la red celular. La diferencia principal en la planificación entre la segunda y tercera generación de telefonía móvil es la importancia de la capa de información de tráfico.

3.12.2. Simulador de Red de Radio

El simulador estático usado en el estudio presentado en [23] requiere un mapa de distribución de tráfico como entrada. La distribución de tráfico se da como un mapa de usuarios, donde los usuarios pueden tener diversos índices binarios, velocidades y diversos requerimientos de E_b/N_0 (relación de potencia por bit). El simulador tiene cuatro partes:

- Inicialización.
- Iteración del uplink.
- Iteración del downlink.
- Proceso y análisis de resultados.

La tarea principal en la inicialización es el cálculo de las pérdidas de acoplamiento de cada estación base para cada posición en su área de cálculo. En la predicción de capacidad y de cobertura de WCDMA el objetivo en la iteración del uplink es asignar las estaciones móviles a las estaciones base y la potencia de transmisión a cada estación base de modo que cumplan los requisitos de E_c/N_0

de las estaciones bases. El promedio de potencia a la que transmiten las estaciones móviles, se basan en el nivel de potencia de la estación base, en el servicio (sensibilidad de datos), en la velocidad de la estación móvil y en las pérdidas de acoplamiento a las estaciones bases. Esto es corregido tomando en consideración el factor de actividad, el soft handover (SHO) y los aumentos de promedio de la potencia media debido a transmitir control de potencia (TPC). Tomando la sensibilidad como $(1-n)$, el impacto de la carga en la sensibilidad para un célula aislada es:

$$n = \frac{1}{w} \cdot \sum_{\forall j} e_j \cdot v_j \cdot p_j,$$

donde w es el “chip rate”, e_j es la E_c/N_0 requerida, v_j es el factor de actividad y el p_j el índice de datos del usuario $j = 1..k$ y k es el número de usuarios en una célula. En caso de que la carga de una célula exceda el límite especificado, las estaciones móviles se mueven a otro portador (si el espacio necesario está disponible), sino se ponen en interrupción. Si el máximo de transmisión de potencia del MS (estación móvil) es excedido, ponen al MS directamente en interrupción. Similarmente en la iteración del downlink la estación base transmite potencia para cada conexión incluyendo conexiones de SHO.

3.12.3. Simulador Dinámico

Estos simuladores funcionan con el principio de que la situación de interferencia cambia a menudo. En este simulador se utilizan 1.5 kilociclos de frecuencia. En el simulador dinámico los usuarios simulan enviar datos de llamadas y transmitir según los modelos de tráfico. El proceso de generación de la llamada para los servicios en tiempo real, tales como conferencias y vídeo, se hacen según una distribución de Poisson. Para las conferencias los servicios que expresan actividad y transmisión discontinua tiene que ser considerados. Para los servicios con conmutador de circuito de datos, el modelo de tráfico es un modelo constante del índice binario, con el 100% de actividad. El cálculo de interferencia es un proceso esencial del simulador del sistema. Cuanto mejor se modela la interferencia, más exactos pueden ser los resultados obtenidos. Se calcula la energía total de interferencia $I_{hs}(k)$ recibido por una estación base. Después de los cálculos de interferencia, la señal del uplink se puede calcular para el usuario conectado con la estación base k . Se asume que las señales recibidas están combinadas coherentemente.

3.12.4. Escenario de la red y simulación de parametros

El escenario de test para este trabajo fue una zona céntrica de la ciudad de Helsinki. La disposición abarca de 32 sectores, 31 de los cuales usan las antenas del sector. La altura seleccionada de la instalación de las antenas era en promedio 18 metros, la pérdida de la propagación era calculado con el modelo de Okumura-Hata. El panorama de la red se puede considerar en el cuadro siguiente:

CHIP RATE	3.84 MCHIP/S
Máxima potencia de transmisión de la base	43 dBm
Máxima potencia de transmisión del móvil	21 dBm
Mínima potencia de transmisión del móvil	-44 dBm
Velocidad de la estación móvil	3 km/h para datos, 20 km/h para voz
BS antenas	65 ⁰ , 17.5 dBi Omni, 11.0 dBi
MS antenas	Omni, 0.0 dBi
Modelo de Propagación	OH, promedio de corrección 6.3 dB
Perfil de propagación del canal	Vehicular

3.12.5. Resultados de la simulación

En el simulador dinámico fueron medidos los siguientes items:

- Mala calidad de llamadas. La duración mínima de la llamada se fija a 7 segundos para aumentar la confianza de hacer un promedio. Los datos estadísticos de estas llamadas son registrado, por ejemplo, coordenadas, tiempo del comienzo y del final y la duración de la llamada.
- Llamadas eliminadas, es decir las llamadas que tienen errores consecutivos del marco que excede un umbral (generalmente 50 marcos de errores), se consideran generalmente llamadas caídas, las de calidad seriamente mala.

Figura 6: Número de links por célula para el simulador estático y dinámico, célula por célula.

3.12.6. Comparación de resultados

La conclusión principal es que los resultados a nivel de las células (por ejemplo carga) están en la buena concordancia en ambos métodos de simulación. En el cuadro siguiente el número de links es representado célula por de célula. Se puede ver que los números de links por la célula siguen la misma tendencia.

La estadística de la distribución de energía del uplink se recoge para el caso de voz y de datos. Los valores máximos no se diferencian perceptiblemente, pero algunos de los porcentaje-valores están bien separados. Esto podía indicar diversas formas de la distribución de potencia para los dos simuladores. Esto no se puede evitar debido a que los simuladores son de diversa naturaleza. En la dirección del downlink se recogió la estadística de potencia. En una fase de planificación de una red de radio es importante identificar las áreas de la interrupción de la red. En este estudio la predicción de la interrupción del simulador estático fue comparada al resultado del simulador dinámico. La conclusión principal de este caso es que los problemas tienen la tendencia a ser distribuidos en las mismas localizaciones para la herramienta estática o la dinámica. El número de llamadas problemáticas no se puede comparar directamente.

3.12.7. Conclusiones

La investigación realizada en [23] ha demostrado que el simulador estático de planificación de red es similar a lo analizado por el simulador dinámico. En este sentido las herramientas han dado como resultado un cuadro similar de la red. La distribución de potencia del uplink y del downlink así como el nivel de carga de la célula y los links apoyados por la célula siguen en general las mismas tendencias. Las zonas de problemas son las mismas en ambos análisis. Probabilidades de entrega, servicio activo, están casi iguales en ambas herramientas. Sin embargo, la herramienta estática es conveniente para la planificación de red y el simulador dinámico es conveniente para el benchmarking de los algoritmos de RRM y para el análisis de los fenómenos dinámicos en las redes y no para la planificación.

3.13. Planificación eficiente de Redes de Radio WCDMA

3.13.1. Introducción

En [18] se describe una herramienta de simulación a nivel de sistema para apoyar el proceso de planificación analizando el funcionamiento de una constelación dada de la red. La planificación de red de radio de GSM (segunda generación) basó los sistemas en un esquema combinado del acceso de TDMA/FDMA que se pueden resumir según lo indicado en el cuadro ***.

Figura 7: Planificación de Sistemas TDMA/FDMA.

FDMA - Acceso múltiple por división de frecuencia.

FDMA TDMA - Acceso múltiple por división de tiempo TDMA.

En el primero (cobertura) las predicciones de pérdida de trayectoria se evalúan para asegurar la cobertura del área especificada. La capacidad es dimensionada en el segundo paso utilizando una planificación de la frecuencia basada en el tráfico del área considerada. Generalmente se considera que la célula solo conduce servicios de voz y además se consideran constantes las capacidades dadas para el número de canales disponibles. Por lo tanto se puede realizar una planificación separada de la cobertura y de la capacidad.

Los nuevos desafíos de planificación de red de radio vienen con la introducción de las redes celulares de tercera generación. En contraste con sistemas basados en TDMA/FDMA (es decir GSM), la interferencia se debe considerado ya en la predicción de la cobertura, porque las sensibilidades de las estaciones base dependen del número de usuarios y de índices binarios usados en todas las células. Además, tanto el downlink como el uplink tiene que ser analizado debido a la posibilidad de diversas cargas. Se debe hacer un énfasis especial en la influencia mutua de la cobertura y de la capacidad. Mientras que la cobertura es limitada por el uplink debido a la potencia de transmisión máxima del móvil, el downlink fija limitaciones en la capacidad debido a la interferencia. El impacto de las características específicas de WCDMA como la rápida transmisión de control de potencia (TPC), la mejora debido a una entrega más suave (SHO) debe ser considerado dentro del análisis.

Como la cobertura y la capacidad dependen del tráfico instantáneo se requiere una simulación dinámica que combine análisis de uplink y de downlink

de una manera adecuada (según figura **).

Figura 8: Influencia mutua entre cobertura y capacidad.

3.13.2. Simulador del Sistema

El simulador observado es una herramienta eficiente para analizar el funcionamiento de una distribución dada de la red. Los panoramas posibles para la simulación incluyen áreas rurales y urbanas. Para permitir una simulación dinámica el modelador del tráfico incluye dos procesos estadísticos. El proceso de la llegada determina el tiempo entre las conexiones y el proceso de servicio evalúa la duración de la conexión. Para la generación de nuevos usuarios, una distribución de Poisson se evalúa para cada servicio que considera la localización dependiente del tráfico. La duración de cada conexión se determina aleatoriamente ajustando característica dependiendo del tipo de servicio (según lo indicado en la figura ***).

Figura 9: PDF para la porción de tiempo del *Speech Service*.

3.13.3. Inicialización

Al principio de la simulación todos los parámetros, dependientes de la estación base, de la configuración y del servicio son inicializados. El conjunto de usuarios activos (localización, servicio, velocidad) es generado en cada paso de la simulación dinámica según el tráfico que modela. Un cierto proceso previo se aplica a estos datos, incluyendo el cómputo de la pérdida de trayectoria según el modelo utilizado de propagación y la determinación de una tabla activa del servidor para cada estación móvil.

3.13.4. Propagación de la onda de radio

La propagación de la onda de radio dentro de ambientes urbanos es caracterizada por una situación multidireccional. Los fenómenos dominantes son difracción en esquinas del edificio, reflexión en las paredes y la onda del edificio. Debido a la influencia de aumento de la interferencia en el funcionamiento de los sistemas 3G el uso de modelos exactos de propagación dentro del proceso de planificación para calcular las predicciones de la pérdida de trayectoria se convierte en un debe.

3.13.5. Análisis de Uplink y Downlink

En el análisis de uplink una potencia de transmisión específica es asignada a cada móvil con un mínimo de interferencia. Mientras que los niveles de potencia requeridos de los diversos móviles dependen de la interferencia, este

proceso necesita la iteración y la posibilidad de reducir el número de las estaciones móviles servidas. El análisis de downlink determina la potencia total transmitida de cada estación base. Para este propósito las contribuciones de todas las conexiones establecidos se resume en considerar las sensibilidades de las estaciones móviles y de las pérdidas de trayectoria correspondientes. Si ninguna estación base excede su nivel máximo de potencia, ninguna conexión establecida tiene que ser cancelado y el C/I (velocidad de transmisión) instantáneo se puede calcular para cada estación móvil de cada célula.

3.13.6. Performance de parámetros

Después del análisis de uplink y de downlink una prueba de la cobertura sobre el área entera es realizada para cada servicio usando un móvil adicional de test. La parametrización para la optimización de performance calculada por el simulador incluye los mejores mapas del servidor, cobertura por mapas del servicio y áreas de SHO. La salida referente a la estación móvil transmite potencia, la estación base transmite, potencia, rendimiento de procesamiento por la célula, carga por célula, el bloqueo y la probabilidad de SHO así como el número de estaciones base activas por móvil, todo esto se da de una manera estadística, es decir distribución, valor medio y desviación de estándar.

3.13.7. Ejemplo de Simulación

Para visualizar los resultados al utilizar el simulador dinámico para el análisis de funcionamiento de un WCDMA en una red de radio el siguiente ejemplo fue presentado en el centro de Munich.

Escenario

Un número fijo de usuarios para cada servicio se distribuye uniformemente entre un área de cerca de $10km^2$, como se muestra en la tabla 1, que es cubierta por una red de radio que consiste en 16 estaciones base con antenas omnidireccionales. La mitad de las estaciones base está situada debajo del nivel del tejado (micro-células), mientras que las otras están instaladas en los tejados (mini-células). Los parámetros más importantes referente a la simulación del sistema se dan en la tabla 2. Estos valores representan la configuración típica de una red de radio de WCDMA.

Servicio	Número de usuarios medio ofrecido	Numero de usuarios medio servicio
12.2 Kbps	300	270
64 Kbps	75	48
144 Kbps	25	13
384 Kbps	8	2

Resultados Las potencias de las estaciones base están por debajo de la potencia permitida máxima. Mientras que la potencia de transmisión de las estaciones móviles es limitada, las pérdidas de trayectoria no pueden ser establecidas, y conduce a potencias reducidas en las estaciones base (cobertura de uplink limitada). Para generar las funciones de distribución acumulativas de la parametrización, para la optimización de la distribución del usuario las pruebas se repitieron 1000 veces, para diferentes fotos de la red de radio móvil. Referente

al soft handover cerca del 29% de los móviles son conectados con más de una estación base, los resultados de soft handover mejoran debido a un receptor de mejores condiciones. De tal modo SHO es una característica importante de las redes de radio de tercera generación. En contraste con un acercamiento estático, con este simulador dinámico la respiración de la célula y la relación cercana entre la cobertura y la capacidad pueden ser visualizadas. Analizando los diversos parámetros es posible predecir el funcionamiento de una red de radio dada e investigar las modificaciones adecuadas.

3.13.8. Conclusiones

La introducción de los sistemas celulares de tercera generación y de sus nuevos servicios requiere métodos avanzados referentes el planeamiento y dimensionamiento de la red de radio. En [18] se introduce un simulador dinámico para la evaluación de las redes de radio celular según el estándar de WCDMA. El simulador se apoya en un proceso de planificación analizando el funcionamiento de una constelación especificada de la red. Por lo tanto este simulador se puede utilizar para poner en ejecución redes de radio de tercer generación más eficientes.

3.14. Interacción entre UMTS MAC Scheduling y TCP

3.14.1. Introducción

El sistema móvil universal de telecomunicación (UMTS) abarca la entrega de servicios multimedia a usuarios móviles. Cada servicio requiere una calidad específica de servicio (QoS) que satisfaga al usuario móvil. Los requisitos de QoS serán apoyados por varias capas de protocolo. En el trabajo [25], se presenta un estudio sobre la interacción entre el control de acceso medio (MAC) y los mecanismos del control de flujo de Protocolo del control de la transmisión (TCP) en el interfaz de radio de UMTS. Mientras que el MAC es responsable de garantizar los requisitos de rendimiento de procesamiento en la interfaz de radio, el TCP realiza un control de flujo punto a punto. Sin embargo ambos protocolos demuestran dependencias a la hora de tratar la eficacia de la transmisión de datos. En [25], el funcionamiento de los usos de Internet que funcionan sobre TCP se discute para diferentes estrategias MAC. Un simulador de interfaz de radio UMTS (URIS) se utiliza para emular protocolos estandarizados de UMTS y entorno TCP/IP. Para satisfacer al usuario móvil, UMTS proporciona varias estrategias RRM (Radio Resource Management). Una de estas estrategias es programar los flujos de datos paralelos en la capa media del control de acceso (MAC). Otro mecanismo importante es la retransmisión de los paquetes perdidos de datos por el protocolo del control del acoplamiento de radio (RLC). Ambas capas deben garantizar una confiable transmisión de datos. Por otra parte los usuarios típicos del Internet que leen mails o transfieren archivos confían en el protocolo TCP/IP. Puesto que el Internet clásico no garantiza ningún QoS, el TCP se utiliza para los mecanismos del control de flujo y la retransmisión de paquetes perdidos sobre una base punto a punto. En este punto, tomando como base [25], se introduce un análisis del funcionamiento de los usos del Internet si se está utilizando diversas estrategias MAC. En especial en lo concerniente a la interacción del TCP con el planificador del MAC.

3.14.2. MAC SCHEDULING

UMTS soporta entrega paralela de múltiples datos y de usos distintos. Los usos abarcan diversas clases del servicio (voz, conversación interactiva, etc) que requieren diversos QoS. Para apoyar estas demandas eficientemente, el RRM asigna parámetros específicos de transmisión a la capa del control de transmisión de datos (DLC):

- Modo de transmisión de Radio Link Controller (RLC).
- Mapeo y multiplexación de canales lógicos de transporte Radio Bearer Mapping (RBM).
- MAC asignado a cada canal lógico.
- Sistemas del formato del transporte (combinado) (TFCS).

Figura 10: Parámetros de entrada y salida del MAP Scheduler.

3.14.3. Modelo de interface de radio UMTS

El URIS realiza performance de capacidad y QoS. El simulador es una solución pura de software. Los protocolos de radio del interfaz de UMTS son realizados por un protocolo stack del TCP/IP.

3.14.4. Escenario de Simulación

Durante las simulaciones se realizaron las siguientes medidas:

- i) Ocupación del Buffer: Cantidad de datos en cola en la transmisión al RLC.
- ii) Retraso del paquete TCP : Tiempo de enviar un paquete del TCP al RLC hasta la recepción correcta por el receptor del TCP.
- iii) El retraso del paquete de datos del usuario: Tiempo de enviar un paquete de los datos del usuario hasta la recepción correcta por el receptor.

Y las siguientes estrategias de prioridad La primer estrategia (priority scheduling) es asignar mayor prioridad a las conexiones http comparadas con las ftp. Por otro lado cuando le asignamos la misma prioridad a http y ftp existen dos estrategias LQF - Prioriza el servicio sobre la proporción de datos de fuente más alta y QLWFQ - Prioriza el capacidad sobre la proporción de datos de fuente más alta

3.14.5. Resultado para la ocupación del buffer

La ocupación del buffer ilustra el proceso de estrategias de programación. La figura ***, muestra el resultado de las simulaciones realizadas.

En el gráfico (a) se ve lo siguiente: Las formas rectangulares de la curva indican que el encolamiento en el buffer es muy rápido. El tamaño de la ventana

Figura 11: Resultados de Simulación.

de la transmisión del TCP causa un tamaño de almacenamiento intermedio máximo de alrededor de 140 Kbits. Esto indica que la capa del TCP tiene un impacto importante en la característica del tráfico

En el gráfico (*d*) se muestra la ocupación del buffer para programación de LQF. Puesto que ambos usos tienen la misma prioridad, el algoritmo de LQF apunta a mantener ambas ocupaciones del buffer iguales. La ocupación máxima del buffer tiene un máximo levemente más alto que una ventana entera del TCP.

El algoritmo de QLWFQ (gráfico (*g*)) tiene también una ocupación máxima limitada del buffer. Puesto que se llenan ambos buffers con 100 kbits en el 90% del tiempo, el planificador transmitirá dos bloques del transporte para cada aplicación en cada intervalo de tiempo. El protocolo del TCP detecta la congestión para ambos usos y reduce su ventana de la transmisión. Esto se puede ver en la declinación de las curvas de las ocupaciones buffer entre 100 kbits y 200 kbits.

3.14.6. Simulación del retraso del paquete TCP

El retraso del paquete del TCP se relaciona directamente con las ocupaciones del buffer y la técnica programada. Por lo menos en cada TCP el paquete hará frente al máximo retraso que sea necesario para transferir una ventana entera del TCP de 141312 bits. La velocidad de datos para los segmentos TCP los segmentos son 62.4 kbit/s.

$TCP\ delay = \text{Buffer Occupancy} / \text{Data Rate} = 141312\ bits / 62.2\ Kbps = 2.265\ s.$

En la gráfica (*b*) se muestra el TCP delay para "priority scheduling". Se retrasa el tráfico debido a la prioridad más alta del http esto demuestra que los 80% de los segmentos del TCP están retrasados menos de 2.9 segundos. Más arriba retrasa sobre 2.3 segundos son relacionados a los reconocimientos de RLC y del TCP para la dirección del uplink. El retraso del tráfico dada la prioridad más bajo del ftp está perceptiblemente aumentado mientras, que está bloqueado el tráfico dado la prioridad más alto del http. Este bloqueo ocurre para aproximadamente el 20% de segmentos del ftp TCP. Estos segmentos se retrasan más de tres segundos y esto acciona un descanso de la retransmisión en la capa del TCP. Porque la capa del TCP intenta enviar las retransmisiones para los segmentos bloqueados del ftp, la carga adicional es aumentada y el paquete del TCP se retrasa otra vez.

Con el algoritmo LQF el largo medio de la cola se comporta de manera similar al caso anterior. El resultado para el algoritmo de QLWFQ se demuestra en la gráfica (*h*). La estrategia de QLWFQ intenta dar más capacidad a ambos tráfico flujos. Esto da lugar a un bajo retraso porque la transmisión del http o del ftp raramente se bloquean del todo.

3.14.7. Resultados en el retraso del paquete de datos del usuario

El retraso que percibe el usuario en la recepción del paquete de datos es debido a los objetos de la página del http y las transferencias directas del ftp.

Retraso debido al alto panorama de la carga. En caso de “priority scheduling” (gráfica (c)) el retraso de objetos de la página de www es más pequeño que el retraso del ftp.

La estrategia de LQF tiene impacto negativo en ambos retrasos, las distribuciones se muestran en la gráfica (f). El tipo de tráfico más corto es bloqueado por las otra retransmisiones del TCP. Pero el QLWFQ experimenta el peor retraso (gráfica (i)). Ninguna restricción de retraso puede ser satisfecho por esta estrategia debido al impacto negativo de la interacción del TCP; porque la asignación de la capacidad del planificador cambia muy rápidamente de acuerdo a los cocientes reales del buffer.

3.15. Services and Network Management for UMTS

En este punto se presenta presenta un modelo comercial para el manejo de diferentes servicios en redes 3G y un framework para UMTS extraído de [7].

3.15.1. Introducción

Los sistemas de comunicaciones celulares futuros (UMTS) proveerán un conjunto muy grande y sofisticado de servicios. Desde la perspectiva del usuario el éxito del sistema depende de la QoS (Calidad de Servicio).

El objetivo de los proveedores de la red es asegurar una buena QoS de manera eficiente. A la luz de esto existen dos problemas importantes a resolver:

- a) el uso de herramientas avanzadas para la planificación de la red.
- b) el uso de herramientas, estrategias y software avanzados.

En este punto, se presenta un acercamiento para el estudio de los servicios y recursos en una red UMTS. El modelo de negocios planteado es mostrado en la Figura ***.

Figura 12: Modelo de Negocios.

Con respecto al modelo comercial se asume la existencia de múltiples proveedores de servicio y operadores de red. El framework correspondiente puede ser visto como una arquitectura abierta y distribuida. La funcionalidad del framework puede ser visto en dos capas. Primero, un capa de negocios, donde el proveedor de servicios se encarga de los servicios y negocia con el proveedor de red. Segundo, un capa de servicios de red (mas abajo), donde se arma una red que es usada por los proveedores de servicio los cuales se encuentran en el nivel de servicio. El artículo [7] discute los problemas que se pueden encontrar en al capa de negocios.

3.15.2. Modelo del Sistema

Arquitectura

Las funcionalidades en la administración del framework es dividida en 2 capas. La capa de negociación y la capa de recursos. La interacción entre los

usuarios, la proveeduría de servicios y la proveeduría de red son de la capa de negocios.

El conjunto de funcionalidades de la capa de negocios se puede dividir a su vez en 3 capas.

- i) La primera *reactive layer* es orientada hacia el alojamiento de eventos individuales. Debido al poco tiempo de respuesta de estas funcionalidades, el tratamiento es muy simple.
- ii) La segunda *local planning* es orientada a la mejora de indicadores estadísticos en un cierto subconjunto de áreas de servicio.
- iii) La tercera *global planning* es la que está debajo de las otras capas ejecutando las tareas.

Roles de las Entidades

Considere un Proveedor de Servicio (Services Provider, denotado SP) que ofrece un conjunto de servicios dados en un diseño de área de servicio. Cada servicio se ofrece a un conjunto de clases de usuarios. Los subscriptores asignados a una clase de usuario entran implícitamente en un acuerdo sobre el diseño del framework con el proveedor de servicio el cuál designa lo siguiente. Primero, el conjunto aceptable de nivel de calidad que debe tener el servicio. Segundo, el correspondiente precio máximo que puede permitirse para cada nivel de calidad. Es más, puede asumirse que habrá un nivel de satisfacción de usuario anticipado que será proporcional al nivel de calidad de la demanda de servicio que será asignado. Puede ser de interés del usuario y del proveedor de servicio intentar asignar las demandas al nivel de calidad más alto posible.

El SP coopera con un conjunto de Proveedores de la Red (Network Provider, denotado NP). Cada NP impone un arancel (el costo) para cada uno de los servicios referidos. Los factores de los cuales el arancel puede depender son: el nivel de calidad de la demanda, la hora del día y la congestión de la red cuando el servicio ocurre, el volumen de tráfico asignado por un SP a un NP, etc.

El objetivo del SP es tener demandas asignadas al NP más apropiado y la calidad nivelada, teniendo en cuenta los requisitos del usuario, y las ofertas del NP, por la calidad y costo.

3.15.3. Funcionalidades del nivel de negociación

En este punto se proporcionan las descripciones y las pautas para la solución de “*Service Configuration and Network Provider Selection*” (SCNPS) (configuración del servicio y selección de Proveedor de Red); problema que es de la capa de negociación.

Selección de candidatos a proveedores de red

El Proveedor de Servicio coopera con un conjunto de proveedores de red. El proveedor de la red impone un arancel (el costo) para cada demanda de servicio. El proveedor selecciona el juego de candidatos Proveedores de la Red teniendo en cuenta:

- Primero, el costo impuesto por el proveedor de la red para una demanda de servicio.

- Segundo, la fiabilidad de este proveedor de la red en lo que se refiere a los niveles de calidad ofrecidos. Esta información puede derivarse de los servicios ofrecidos en el pasado.

Configuración de servicios y selección de proveedores

Descripción del problema.

Se dispone de un proveedor de servicio específico que ofrece cierto conjunto de servicios. Cada servicio se ofrece a un conjunto de las clases de usuario. Los usuarios de cada clase tienen asociado un nivel de calidad. El proveedor de servicio busca ahora un conjunto de proveedores de red candidatos. El proveedor de la red impone un arancel para cada una de las demandas de servicio.

Algunos de los factores de los que el arancel puede depender, son el nivel de calidad del servicio, y (potencialmente) demandas que se le agreguen al proveedor de servicio de red.

El objetivo del problema es la asignación de un proveedor de la red (del juego de los proveedores de red candidatos) y que el nivel de calidad aumente al máximo la ganancia del Servicio.

3.15.4. Búsqueda de una Solución

Las aproximaciones a la solución del problema anterior son las siguientes. El primer acercamiento es aplicar una búsqueda exhaustiva en caso de que el espacio de soluciones no sea demasiado grande. Esto significa que el algoritmo puede examinar todas las ofertas del proveedor de la red y calidad de combinaciones y seleccionar el mejor. El segundo acercamiento es aplicar un algoritmo ávido o un algoritmo en línea en caso de que el espacio de la solución sea demasiado grande; típicamente buscar una solución heurística.

3.15.5. Plataforma de Simulación

El requerimiento es disponer de una herramienta de software capaz de representar una red UMTS conectada a una red de computadoras y sus ambientes y validar la eficacia de las estrategias antes de aplicarlo en la red real.

El objetivo del componente de UER (UMTS Environment Representation) es representar el diseño de área de servicio, y sobre todo, dividir en las células, para evaluar el volumen de tráfico y la movilidad para computar la interferencia entre los subconjuntos del área de servicio. El componente de UNR (UMTS Network Representation) consiste en modelos que corresponden a los elementos UMTS de red. Cada elemento de la red comprende la funcionalidad necesaria dictada por el funcionamiento de UMTS y sus procedimientos (estructuración, la llamada, el descargo y handover).

La plataforma de la simulación se comunicará con la plataforma del agente, para enviar a la red información apropiada que permita realizar la administración de la misma, recibirá también las invocaciones de agentes siempre que el parámetro lo valore (por ejemplo, reflejando la actuación de la red) .

3.15.6. Conclusiones

Esta sección presentó un modelo comercial y un framework para UMTS [7]. La funcionalidad del framework es asignada a dos capas. Los problemas rela-

cionados a la capa de la negociación, se presentaron de forma de disponer de una base teórica en que la dirección de servicios y recursos de la red en UMTS puede basarse. Finalmente, se presentó una plataforma para validar la eficacia de estrategias de dirección antes de aplicarlas en una red real.

3.16. Simulador Eurane

3.16.1. Introducción

El software Eurane fue elaborado en el marco del proyecto Seacorn. Este proyecto auspiciado por Ericsson plantea la evaluación mediante simulaciones de posibles mejoras a la especificación original UMTS. Eurane ofrece extensiones a la distribución básica del simulador genérico ns-2 que permiten la simulación de UMTS release 99 y las mejoras de HSDPA (3GPP UMTS Release 5). NS-2 es un simulador de redes orientado a eventos discretos de amplio uso dentro de la comunidad académica para el estudio de arquitecturas y desempeño de redes. Su código es de distribución y uso libre lo que favorece su amplia difusión y constante s contribuciones y actualización. Está basado en dos lenguajes de programación: C++ para la implementación de objetos y protocolos de los modelos y el lenguaje de scripting Tcl para el manejo y configuración de escenarios de simulación. Los objetos en las simulaciones en este software son nodos, links, agentes y aplicaciones.

3.16.2. Modelo de simulación

El escenario básico de simulación que el paquete permite se presenta en la siguiente figura y consiste típicamente en uno o varios Ues generando tráfico contra hosts en la red física.

El software Eurane agrega tres nuevos nodos UMTS al entorno de simulación ns-2: UE (user equipment), BS (base station o nodo B) y RNC (Radio Network Controller), representados con línea punteada en la figura. En estos nodos se ubican las entidades de software propias de la arquitectura UMTS como se muestra más adelante.

Los elementos SGSN, GGSN y hosts en la red física se modelan como nodos estándar de ns-2, por lo que no presentan funciones propias de UMTS.

Los protocolos en las interfaces Iub, IuPS y Gn se representan simplificada-mente mediante enlaces (links) estándar en ns-2: En estos enlaces es posible configurar anchos de banda, retardos y modalidad de buffer.

3.16.3. Arquitectura implementada

En los nodos UMTS incorporados UE, BS y RNC se implementan se implementan entidades asociadas a la arquitectura UMTS en las capas RLC, MAC y capa física. La arquitectura de protocolos se muestra en la figura

El simulador Eurane utiliza las capas de aplicación, transporte y red estándar de ns-2. Es posible utilizar entonces modelos de generación de tráfico y aplicaciones disponibles en ns-2.

La capa PDCP de UMTS no está implementada, con lo que pierden funcionalidades de compresión de encabezados TCP asociados.

La capa RLC ofrece los modos de operación AM y UM con y sin reconocimiento de tramas respectivamente. No se implementa el modo transparente TM. El

modo UM de RLC ofrece las funciones de segmentación y reensamblado de paquetes, concatenación, padding, transferencia de datos de usuario y verificación de números de secuencia. En el modo AM el simulador implementa funciones de segmentación y reensamblado de paquetes, concatenación, padding, transferencia de datos de usuario, entrega ordenada de PDU de capas superiores, detección de tramas duplicadas y control de flujo.

Las funciones de la capa MAC son Channel switching entre canales dedicados y canales comunes, add/read UE id para identificación de flujos por UE transportados por canales comunes, selección de TFC y mapeo entre canales lógicos y de transporte. Algunas funciones de la capa MAC no están implementadas en el modelo. Por ejemplo no se consideran encabezados MAC teniendo en cuenta que la simulación se centra en el estudio de tasas de transferencia a nivel RLC.

Para la simulación de HSDPA se implementa una subcapa MAC-hs separada que soporta el nuevo canal de transporte y funciones propias de esta especificación. Esta nueva capa se ubica en la BS para optimizar los mecanismos de adaptación a las condiciones del canal y minimizar los retardos. La MAC-hs puede coexistir en una misma simulación con UMTS release 99.

La capa MAC-hs ofrece diferentes posibilidades de mecanismos de despacho de tramas (scheduling), como ser round robin y maximum C/I. Existen además trabajos posteriores independientes que agregan otros mecanismos a la distribución original de Eurane.

3.16.4. Canales de transporte

El simulador implementa modelos para los canales de transporte comunes FACH, RACH y los canales dedicados DCH y HS-DSCH (HSDPA). Para estos canales es posible configurar ancho de banda y TTI de subida y bajada en forma independiente. Se implementan funciones plano de usuario, no se implementa funciones en el plano de control.

El diseño del simulador identifica las instancias de estos canales mediante un entero NIF (network interface) que permite asignar modelos de error y puntos de traceado de paquetes en forma independiente para cada instancia. Las interfases NIF identifican el stack RLC/MAC/Físico de cada canal.

Los canales de transporte ofrecen servicios a uno más agentes de transporte (TCP/UDP) estándares de ns-2, los que a su vez soportan las instancias de aplicaciones correspondientes, que también son las presentes en ns-2 estándar ("ftp", "cbr", etc) En la figura siguiente se muestra esquemáticamente la estructuración de canales e interfaces en un escenario UE-BS-RNC con canales RACH, FACH, DCH y RNC

3.16.5. Implementación de capa RLC

Modo AM La capa RLC en el modo AM ofrece servicio de transporte confiable y ordenado de paquetes a capas superiores. El modelo de simulación presenta dos variantes de mecanismos de ARQ, el esquema bitmap acknowledgement (BA) y el esquema positive acknowledgement. En el esquema BA el transmisor envía un pedido de reporte del estado de tramas enviadas preñdiendo un bit de polling en el encabezado de las PDU. En el esquema PA la capa RLC genera

un mensaje de reconocimiento en cada TTI en que recibe PDU. Este esquema ARQ no está especificado en el estándar.

Las entidades AM son parte de la definición de los canales DCH, FACH y RACH y presentan los siguientes parámetros de configuración:

- `ack_mode_` Tipo de mecanismo de reconocimiento de tramas RLC. EL valor 1 indica el mecanismo de reconocimientos positivos (PA, positive acknowledgement). EL valor 2 indica reconocimientos por mapeo de bits (BA, bitmap acknowledgement).
- `win_` Tamaño de ventana RLC.
- `maxRBSize_` Tamaño máximo del buffer de recepción.
- `overhead_` Tiempo necesario para la construcción de SDU.
- `payload_` Tamaño de MAC-d (en bytes).
- `ack_size_` Tamaño (en bytes) de las PDU de estado generadas por el mecanismo PA
- `rtx_timeout_` Temporizador de espera de reconocimiento de tramas transmitidas.
- `noFastRetrans_` Deshabilita espera antes de iniciar retransmisión de PDU perdidas.
- `numdupacks_` Número de reconocimientos positivos duplicados que activa el mecanismo de retransmisión
- `poll_PDU_` Especifica cada cuántas PDU MAC se envía un poll o BA.
- `poll_timeout_` Intervalo máximo entre dos poll o BA
- `stprob_timeout_` Especifica el tiempo mínimo entre dos envíos de reconocimientos BA
- `macDA_` Dirección de destino MAC
- `bandwidth_` El ancho de banda del canal de transporte
- `TTI_` Duración del intervalo TTI
- `length_indicator_` Tamaño (en bits) del indicador del tamaño del payload
- `ack_pdu_header_` Tamaño (en bits) del encabezado de una trama PA de estado
- `status_pdu_header_` Tamaño (en bits) del encabezado de una PDU
- `min_concat_data_` El tamaño mínimo (en bytes) disponible a usar para concatenado de SDU
- `max_status_delay_` El tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de PDU de estado intentando realizar piggybacking
- `mac_ack_delay_` El tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de una PDU de reconocimiento intentando realizar piggybacking

Modo UM

El modo UM la capa RLC presenta un subconjunto de funciones del modo AM, en particular en este modo no hay mecanismo ARQ implementado por lo que no hay retransmisiones en caso de tramas perdidas. Las tramas recibidas son entregadas ordenadas a capas superiores, para lo que se implementa un buffer de recepción para contemplar posibles tramas desordenadas debido a conmutación de canales

Esta entidad implementa los canales DCH, FACH, RACH en los nodos RNC y UE y en el nodo UE para los canales HS-DSCH, presentando los siguientes parámetros configurables:

- `Payload`_ Tamaño en bytes de las PDU
- `Bandwidth`_ Ancho de banda en kbps de los canales de transporte. Se sobrescribe con la definición de cada canal específico.
- `macDA`_ Dirección Mac de destino
- `win`_ Tamaño de la ventana de transmisión
- `temp_pdu_timeout_time`_ El tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de información de estado intentando realizar piggybacking
- `buffer_level_max`_ Tamaño de máximo (en tramas) del buffer de transmisión
- `TTI`_ Duración del intervalo TTI
- `length_indicator`_ Tamaño (en bits) del indicador del tamaño del payload
- `min_concat_data`_ El tamaño mínimo (en bytes) disponible a usar para concatenado de SDU

Modo AM-HS Esta entidad implementa los canales HS-DSCH presentando los siguientes parámetros:

- `temp_pdu_timeout_time`_ El tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de información de estado intentando realizar piggybacking
- `credit_allocation_interval`_ Número de time slots entre solicitudes de crédito de transmisión a la Mac-hs (control de flujo)
- `flow_max`_ El número máximo de flujos
- `priority_max`_ El número máximo e prioridades
- `win`_ Tamaño en bytes de la ventana de transmisión RLC
- `buffer_level_max`_ Tamaño en tramas del buffer de transmisión
- `TTI`_ Duración del intervalo TTI

- `macDA_` Dirección de destino MAC
- `payload_` Tamaño en bytes de las PDU
- `poll_PDU_` Especifica cada cuántas PDU MAC se envía un poll o BA.
- `poll_timeout_` Intervalo máximo entre dos poll o BA
- `stprob_timeout_` Especifica el tiempo mínimo entre dos envíos de reconocimientos BA
- `length_indicator_` Tamaño (en bits) del indicador del tamaño del payload
- `status_pdu_header_` Tamaño (en bits) del encabezado de una PDU
- `min_concat_data_` El tamaño mínimo (en bytes) disponible a usar para concatenado de SDU
- `status_timeout_` Define el tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de tramas esperando a concatenarla.

Modo UM-HS Implementa los canales HS-DSCH con los siguientes parámetros configurables:

- `macDA_` Dirección de destino MAC
- `win_` Tamaño en bytes de la ventana de transmisión RLC
- `temp_pdu_timeout_time_` El tiempo máximo durante el cual se puede posponer el envío de información de estado intentando realizar piggybacking
- `credit_allocation_interval_` Número de time slots entre solicitudes de crédito de transmisión a la Mac-hs (control de flujo)
- `flow_max_` El número máximo de flujos
- `priority_max_` El número máximo e prioridades
- `buffer_level_max_` Tamaño en tramas del buffer de transmisión
- `TTI_` Duración del intervalo TTI
- `payload_` Tamaño en bytes de las PDU
- `stprob_timeout_` Especifica el tiempo mínimo entre dos envíos de reconocimientos BA
- `length_indicator_` Tamaño (en bits) del indicador del tamaño del payload
- `min_concat_data_` El tamaño mínimo (en bytes) disponible a usar para concatenado de SDU

3.16.6. Implementación de capa MAC

El simulador presenta dos implementaciones de la capa MAC, la básica Mac/Umts para los canales DCH, FACH y RACH y la más compleja Mac/Hsdpa para canales HS-DSCH. Los siguientes son parámetros generales configurables para las entidades Mac/Umts y Mac/Hsdpa:

- delay_ Retardo de procesamiento MAC
- TTI_ TTI de los canales transporte asociados
- shared_delay_ Retardo medio de acceso a canal RACH (solo Mac/Hsdpa)

Channel switching En el caso de canales DCH es posible configurar la conmutación de estos canales hacia los canales FACH/RACH por intermedio de los siguientes parámetros:

- THE_REPORT_INTERVAL_ Intervalo de tiempo entre reportes de throughput para las decisiones de conmutación de canales.
- DOWNSWITCH_THRESHOLD_ Umbral (en bits por segundo) de conmutación desde canal dedicado a canal común.
- DOWNSWITCH_TIMER_THRESHOLD_ Umbral (en bits por segundo) de conmutación desde canal común a canal dedicado DCH.
- DL_RLC_BUF_UPSWITCH_TRES_sRAB_ Umbral de tamaño de buffer (en bytes) en la RLC de la BS para la conmutación a un canal dedicado DCH.
- UL_RLC_BUF_UPSWITCH_TRES_sRAB_ Umbral de tamaño de buffer (en bytes) en la RLC del UE para la conmutación a un canal dedicado DCH.
- PENDING_TIME_AFTER_TRIGGER_ Retardo entre la decisión de conmutar canales y la propia ejecución de la conmutación.
- BUFF_CHECK_INTERVAL_ Intervalo de tiempo entre reportes de tamaño de buffer de transmisión en la entidad RLC.
- DOWNSWITCH_TIMER_sRAB_ Intervalo de tiempo entre reportes de estado
- noSwitching_ Deshabilita la función de conmutación de canales

Reordenamiento de PDU en MAC-hs Los flujos de datos HSDPA son puestos en buffers en el nodo BS de acuerdo a sus identificadores de flujo (fid) y prioridad (prio) definidos anteriormente. En los nodos UE buffers correspondientes a cada flujo son necesarios para permitir el reordenamiento de las tramas para su posterior entrega a capas superiores. Los parámetros que siguen permiten la creación de esos buffers en los nodos UE:

- flow_max_ El número máximo de flujos

- `priority_max`_ El número máximo de clases de prioridad por flujo
- `reord_buf_size`_ Tamaño del buffer de reordenamiento
- `stall_timer_delay`_

Parámetros de control de flujo Los parámetros abajo definen las funciones de control de flujo entre RNC y BS:

- `credit_allocation_interval`_ Intervalo (en número de TTIs) entre solicitudes de créditos de transmisión por el RNC a la BS
- `flow_control_mode`_ El algoritmo de control de flujo a usar
- `flow_control_rtt`_
- `max_mac_hs_buffer_level`_ Valor máximo de MAC-d PDUs en buffers de la MAC-hs

Despacho MAC-hs PDU En cada intervalo TTI la MAC-hs define qué y cuántos paquetes tomar para formar una PDU MAC-hs para transmitir en el intervalo, dependiendo del tipo de despachador.

- `scheduler_type`_ Define el algoritmo de despacho ejecutado en la MAC-hs (1=RoundRobin, 2=Maximum C/I, 3=Fair Channel Dependent Scheduling)
- `alpha`_ Define la ponderación en el caso de FCDS
- `mac_hs_headersize`_ Tamaño del encabezado de la MAC-hs PDU

HARQ La transmisión de PDU de la capa MAC-hs utiliza un algoritmo de parada y espera híbrido junto a un proceso de soft-combining para incrementar la probabilidad de reconocer un paquete. Los siguientes parámetros definen esos mecanismos:

- `nr_harq_rtx`_ Número máximo de transmisiones de una PDU MAC-hs antes de asumir que no se puede reconocer
- `nr_harq_processes`_ Número de procesos paralelos HARQ
- `ack_process_delay`_ Retardo antes de eliminar el proceso HARQ luego de ACK/NACK

3.16.7. Modelos de error

Canales FACH, RACH y DCH Eurane utiliza un modelo de canal estándar de ns-2 entre UEs y BS, al que es posible asignar un modelo de error. Las características más detalladas de un modelo físico de propagación WCDMA, como ser interferencia, fading y control de potencia, se abstraen mediante un modelo determinístico, probabilístico o empírico de pérdida de tramas.

Los modelos de error disponibles en ns-2 simulan pérdidas a nivel de enlace marcando o descartando paquetes de acuerdo a una política predeterminada. La política de descarte puede generarse a partir de modelos simples de acuerdo a una tasa de error dada y constante o mediante modelos probabilísticos o empíricos más elaborados. La decisión de descarte de paquetes puede darse a nivel de paquetes, bits o de acuerdo al tiempo de simulación en que es recibido el paquete. En el modelo probabilístico es posible seleccionar diferentes distribuciones para la variable pseudoaleatoria de generación de errores.

El simulador Eurane asigna un modelo de error en recepción para cada interfase UMTS (NIF) en cada nodo. Esto permite simular condiciones de radio distintas para diferentes móviles que utilicen los mismos canales comunes en la radio base. De ese modo es posible analizar rendimientos de acuerdo a la distancia a la radio base, nivel de interferencia o demás aspectos que determinan las condiciones del canal físico, abstrayendo esos fenómenos mediante el modelo de error adecuado.

Canal HS-DSCH La simulación de HS-DCH requiere de un modelo más realista que contemple las fluctuaciones en las condiciones de propagación y mecanismos de recepción más elaborados. Estos requerimientos son necesarios para poder evaluar los mecanismos adaptativos y de HARQ de la tecnología HSDPA.

El modelo de canal físico HSDPA consiste en modelos simples de propagación e interferencia interna y externa a la celda, un proceso de estimación de las condiciones del canal y su realimentación hacia la BS, y el proceso de recepción que implementa los mecanismos de soft combining y HARQ.

El modelo de canal físico contempla pérdidas por propagación, shadowing y trayectorias múltiples. La interferencia interna y externa a la celda se modela como una constante que degrada la SNR recibida en forma fija. La implementación de un modelo más realista se menciona como alejado del objetivos de los desarrolladores. Tanto el modelo de pérdidas como el de interferencias están implícitos y son visibles al simulador a través de un archivo de entrada tracefile para cada móvil asociado al canal hs-dsch. Estos archivos contienen, para cada TTI durante el tiempo de simulación, los valores de SNR acumulada (soft-combined) de la primera, segunda y tercera transmisiones HARQ. Para cada TTI, el simulador selecciona de acuerdo a esta tabla la SNR del bloque recibido por el móvil y sus retransmisiones en caso de existir. La distribución de Eurane incluye scripts Matlab/Octave para la generación de estos archivos de entrada, en los que es posible modificar algunos parámetros para reflejar diferentes condiciones de propagación. También es posible utilizar aquí el output de otros simuladores de capa física.

El proceso de estimación de las condiciones de canal culmina con el envío de CQI hacia la BS que sugiere la cantidad de códigos, modulación y tasa más adecuadas de acuerdo a las condiciones de recepción presentes. Con ese indicador se determina el TBS más adecuado para la siguiente transmisión. En la implementación de Eurane para estimar el CQI del siguiente bloque se elige el menor valor de SNR recibido durante los últimos tres intervalos TTI; a partir de ese valor el CQI es calculado mediante una función lineal definida empíricamente.

El proceso de recepción decide si se acepta la trama o no mediante el envío

de ACK o NACK. Este proceso implementa el mecanismo de HARQ y soft-combining. El receptor envía NACK siempre que la SNR combinada de las retransmisiones no alcance el umbral de aceptación, con un máximo de tres retransmisiones incluyendo la original. Si con la tercera retransmisión no se acepta el bloque se da por perdido y se informa a la capa RLC que pedirá o no su retransmisión de acuerdo a cómo esté configurada.

El umbral de aceptación de un bloque depende de la SNR del bloque recibido, del CQI con que se transmitió y de la BLER (Block Error Rate). Para cada bloque se sorteja un valor de BLER. Con ese valor y el valor de CQI transmitido se entra a la tabla SNRBLERmatrix en la que se determina la SNR mínima del bloque para devolver ACK. Este valor es comparado contra el valor actual de SNR del bloque recibido, de acuerdo al archivo tracefile definido arriba, lo que determina el envío de ACK o NACK.

3.16.8. Soporte de tracing de paquetes

El soporte de tracing, registro o logs a nivel de paquetes enviados y recibidos en diferentes interfases y nodos ofrece información muy detallada para el análisis de los resultados de las simulaciones. Con el post-proceso adecuado esta información permite obtener resultados estadísticos de throughput, retardos, ocupación de buffers, etc de manera muy flexible de acuerdo a las necesidades del usuario. Esta flexibilidad representa una característica de interés que no siempre está presente en otros productos, que pueden muestran resultados ya procesados en forma rígida ocultando la información requerida por el usuario.

Eurane maneja el mismo soporte de ns-2 original para la generación de registros de paquetes enviados o recibidos en diferentes puntos de la topología de simulación, agregando una clase especial para el tracing de paquetes en las simulaciones UMTS.

El registro de paquetes se hace a nivel de paquetes de capas superiores encapsulados en tramas RLC, tanto enviados como recibidos. Si varios paquetes se concatenan en una única trama RLC el registro corresponde al primero de los paquetes enviados.

El formato de las entradas en los registros para cada paquete es similar al de ns-2.

- Event: Cada línea de traza comienza con un descriptor del evento (+, -, d, r), que representa la acción de enqueue, dequeue, descarte y recepción de paquetes, respectivamente.
- Time: Tiempo de ocurrencia del evento en segundos de tiempo simulado.
- From node and to node: Identifican el enlace en que ocurrió el evento
- Pkt type: Tipo de paquete
- Pkt size: Tamaño del paquete en bytes.
- Flags: uso opcional, no usadas por Eurane
- Fid: Identifica el flujo de configurable en el archivo de configuración
- Src addr y dst addr direcciones de origen y destino

- Seq num: número de secuencia del flujo TCP. Número ficticio en el caso de UDP
- Pkt id: identificador del paquete con finalidades de registro
- RLC seq: número de secuencia RLC

Se agregan nuevos valores posibles al campo "Pkt type" de acuerdo a los tipos de trama RLC en la arquitectura UMTS. Los nuevos valores para el campo de tipo de paquete pueden ser:

Es posible definir puntos de tracing en los nodos de la red física mediante las herramientas estándar de ns-2. Para insertar puntos de tracing en nodos UMTS se debe especificar el número de interfase NIF y si el tracing se hace sobre paquetes entrantes o salientes. En la siguiente figura los objetos InlinkT y Outlink representan puntos de tracing para tráfico entrante y saliente a la interfase UMTS. Se muestra la inserción de estos objetos en la estructura de canales DCH, RACH y FACH.

Los registros de tracing son devueltos por el simulador en forma de archivos de texto que pueden ser procesados mediante herramientas estándar de manejo de archivos de texto (awk, perl, etc) y generación de resultados gráficos (matlab, octave, etc).

3.16.9. Opciones de configuración-Nodos

El establecimiento de escenarios de configuración requiere de la configuración de scripts TCL (archivos de texto) como es habitual en simulaciones ns-2. En dichos scripts se configuran nodos, enlaces y parámetros asociados a los objetos de simulación. A continuación se detallan los pasos de configuración de una simulación genérica y los comandos TCL necesarios

Radio Network Controller El nodo RNC no requiere configuración de parámetros.

```
$ns node-config -UmtsNodeType rnc set rnc [$ns create-Umtsnode]
```

Base Station Al crear el nodo BS se crean automáticamente canales comunes FACH y RACH y se configuran ancho de banda y TTI

```
$ns node-config -UmtsNodeType bs
-downlinkBW 32kbs
-downlinkTTI 10ms
-uplinkBW 32kbs
-uplinkTTI 10ms
-hs_downlinkTTI 2ms
-hs_downlinkBW 64kbs
set bs [$ns create-Umtsnode].
```

Interfase Iub Se crea y configura el enlace entre BS y RNC. El modelo es el de un enlace estándar ns-2 donde son configurables ancho de banda en

ambos sentidos, retardos en ambos sentidos, algoritmo de despacho y tamaño del buffer asociado. Se asume que la interfase Iub no tiene pérdida de paquetes. Está disponible el tipo de buffer DummyDropTail que permite un tamaño ilimitado para evitar pérdidas en casos de tasas de transferencia altas.

```
$ns setup-Iub $bs $rnc 622Mbit 622Mbit 15ms 15ms DummyDropTail 2000.
```

Móviles Se crean móviles y se vinculan con los nodos BS y RNC ya creados.

Los móviles se vinculan con la BS y RNC correspondientes ya creadas en pasos anteriores.

```
$ns node-config -UmtsNodeType ue
-baseStation $bs
-radioNetworkController $rnc
set ue1 [$ns create-Umtsnode] set ue2 [$ns create-Umtsnode].
```

Routing gateway Se vincula RNC con el SGSN creado como interfase con la red de nodos fijos

```
$rnc add-gateway $sgsn0
```

Nodos fijos Se crean nodos en la red fija

```
set node1 [$ns node] set node2 [$ns node]
```

3.16.10. Configuración de la simulación

Agentes Se crean agentes tcp/udp de transporte de aplicaciones, vinculándose a nodos fijos y nodos Umts. Se crean las aplicaciones generadoras/receptoras de tráfico vinculándose con los agentes de transporte definidos. En particular la implementación de HS-DSCH usa un algoritmo de despacho basado en identificación de flujos y prioridades por lo que es necesario asignar a cada agente una combinación de flujo y prioridad (fid, prio)

```
set tcp0 [new Agent/TCP] $tcp0 set fid_ 0 $tcp0 set prio_ 2
set tcp0 [new Agent/UDP] $tcp0 set fid_ 0 $tcp0 set prio_ 2
```

Se asocia el agente \$tcp0 al nodo \$node2:

```
$ns attach-agent $node2 $tcp0
```

Se crea una aplicación generadora de tráfico FTP:

```
set ftp0 [new Application/FTP] $ftp0 attach-agent $tcp0
```

Se crea un agente receptor TCP, se vincula al nodo \$ue1 y luego se conectan agentes generador y receptor de tráfico:

```
set sink0 [new Agent/TCPSink] $sink0 set fid_ 0 $ns attach-agent $ue1 $sink0
$ns connect $tcp0 $sink0
```

Canales de transporte Las entidades MAC de los canales de transporte UMTS son creadas y configurados sus parámetros. Son configurables el modo AM o UM, anchos de banda de subida y bajada, TTI de subida y bajada y luego son asociados a los agentes correspondientes. A cada uno de estos canales se asocia un número de interfase NIF de acuerdo al orden en que fueron creados.

FACH/RACH:

Los componentes en de capa de enlace de los canales comunes FACH y RACH

son creados en conjunto con la creación de la BS y móviles. Resta asociarlos a una entidad RLC en mediante el comando attach-common.

```
$ns node-config -lType UMTS/RLC/AM -downlinkBW 64kbs
-uplinkBW 64kbs
-downlinkTTI 20ms
-uplinkTTI 20ms
$ns attach-common $ue1 $sink0 DCH
```

Los componentes de canales DCH son creados mediante el comando create-dch.

```
$ns node-config -lType UMTS/RLC/AM
-downlinkBW 64kbs
-uplinkBW 64kbs
-downlinkTTI 10ms
-uplinkTTI 10ms
set dch0 [$ns create-dch [node_];sink_].
```

Es posible transportar aplicaciones adicionales sobre el mismo canal DCH mediante el comando attach-dch:

```
$ns attach-dch [node_];agent_];dch_
HS-DSCH:
```

Los canales HS-DSCH deben ser construidos en conjunto con un canal de subida para el envío de reconocimientos RLC y TCP. Ese canal es de la forma DCH y se crea automáticamente con la creación del canal HS-DSCH mediante el comando create-hsdsc.

```
$ns node-config -lType UMTS/RLC/AM
-uplinkTTI 10ms
-uplinkBW 64kbs
-hs_downlinkTTI 2ms
-ha_downlinkBW 64kbs
$ns create-hsdsc [node_];agent_].
```

El comando attach-hsdsc permite asociar un móvil con el canal hs-dsch creado

```
$ns attach-hsdsc [node_];agent_].
```

Configuración de la capa física Para la implementación del canal físico

entre móviles y BS el simulador utiliza el modelo de canal estándar ns-2.

```
set em_ [new ErrorModel] $em_ unit pkt
$em_ set rate_ 0.2
$em_ ranvar [new RandomVariable/Uniform]
$node interface-errormodel $em [network interface number_].
```

Los comandos anteriores asocian el modelo de error en la recepción en la interfase y nodo especificados.

El parámetro delay_ para le objeto Channel define el retardo asociado al canal físico.

Se asocia un modelo de error en la BS y se ingresa el archivo de mapeo SNR/BLER.

```
$bs setErrorTrace 0 "idealtrace"$bs setErrorTrace 1 "idealtrace"$bs load-
SnrBlerMatrix "SNRBLERMatrix".
```

Enlaces entre nodos UMTS y fijos Son enlaces convencionales ns-2

donde son configurables ancho de banda, retardo, algoritmo de despacho y tamaño del buffer asociado.

```
$ns duplex-link $rnc $sgsn0 622Mbit 0.4ms DropTail 1000
$ns duplex-link $sgsn0 $ggsn0 622Mbit 10ms DropTail 1000
$ns duplex-link $ggsn0 $node1 10Mbit 15ms DropTail 1000
$ns duplex-link $node1 $node2 10Mbit 35ms DropTail 1000
```

Inserción de puntos de tracing de paquetes Se ingresan los puntos de

tracing requeridos referenciados a una interface NIF en el caso de nodos UMTS y mediante los métodos convencionales de ns-2 para los demás nodos.

```
$ue1 trace-inlink $f 1
$bs trace-outlink $f 1
$rnc trace-inlink-tcp $f 0.
```

```
# tracing for all hsdpa traffic in downtarget
$rnc trace-inlink-tcp $f 0
$bs trace-outlink $f 2.
```

```
# per UE
$ue1 trace-inlink $f 2
$ue1 trace-outlink $f 3
$bs trace-inlink $f 3
$ue1 trace-inlink-tcp $f 2.
```

3.16.11. Revisión de ejemplos de uso del simulador

En #1 se evalúan diferentes algoritmos de despacho para la tecnología HSP-DA en un ambiente de servicios múltiples y con terminales con diferentes categorías. Se plantean varios casos de simulación con Eurane . En uno de ellos se modelan 16 usuarios móviles usando servicios de navegación web con un ancho de banda de 384 kbps de bajada. El tráfico http se modela mediante una distribución de Pareto ON/OFF con los parámetros adecuados. Los usuarios se suponen distribuidos a diferentes distancias de la radio base a los efectos del cálculo de la traza de potencia recibida. En una muestra de móviles se evalúa throughput medio por sesión, retardo de paquetes y retransmisiones HARQ a partir de archivos de trazas generados por el simulador y procesados con awk y matlab. Se efectúan diferentes simulaciones sobre el mismo escenario alternando diferentes algoritmos de despacho.

En #2 se evalúa por medios analíticos y simulaciones el impacto de retransmisiones RLC en el modo AM sobre la performance del protocolo TCP, en los aspectos de tiempos de ida y vuelta y throughput. El escenario de simulación es el de un único usuario realizando descargas FTP utilizando un canal de transporte DCH. Se plantean simulaciones con distinta duración, diferentes anchos de banda y diferentes valores de BLER, realizando varias corridas para los diferentes casos. Se obtienen resultados de throughput y RTT

En #3 se analiza el desempeño del algoritmo proporcional fair scheduling en canales HSDPA enfocado en streaming de video. Se simula una única celda

con 30 usuarios utilizando servicios de streaming de video y navegación web en diferentes proporciones en el curso de diferentes simulaciones. Se obtienen estadísticas de throughput agregado de la celda y tiempos de rebuffering para el tráfico e video.

3.16.12. Limitaciones

No se implementan funciones de handover entre celdas, el escenario de simulación típico es el de una celda única.

El modelo de capa física es limitado. El enfoque del simulador es a nivel de sistema. La capa física se abstrae mediante modelos de probabilidad de error o archivos de entrada con información de SNR

El simulador basado en ns-2 está enfocado a aplicaciones con transporte IP exclusivamente.

No ofrece una interfaz de usuario amigable para usuarios no expertos. El manejo de diferentes escenarios de configuración se realiza mediante modificación de scripts que puede no ser eficiente para su uso intensivo. No se encontraron herramientas de postproceso que sean útiles sin realizarles modificaciones.

El software puede no ser eficiente en términos de performance para simulaciones a gran escala.

3.16.13. Aspectos favorables

El software es de distribución libre para usos no comerciales.

El código es abierto y extensible. De acuerdo a los requerimientos y restricciones en el marco del convenio es adaptable en cierta medida a sus necesidades.

Es posible reutilizar contribuciones y aportes de ns-2 estándar en cuanto a modelos de aplicaciones y tráfico.

La documentación disponible es bastante detallada. El software en conjunto es de instalación sencilla.

El software ofrece simulación UMTS release 99 y también HSDPA

3.16.14. Conclusión

Eurane es un software de uso libre y código abierto que ofrece simulaciones a nivel de sistema en un escenario de simulación parcial de redes UMTS/HSDPA, orientado a aplicaciones IP. Teniendo en cuenta las posibilidades de mejoras que puedan realizarse de acuerdo a los requerimientos del presente convenio y las limitantes expresadas puede resultar una herramienta complementaria en procesos de dimensionamiento.

4. Conclusiones

Referencias

- [1] S. Pons Borrás and F. Jiménez Mu noz. Parametrización del handover wcdma-gsm en una red en explotación. In *XXI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, pages 948–951, 2006.

- [2] J. Burgos and G. Delgado. Hardware and bandwidth requirements estimation for mobile networks using statistically characterised multi-service traffic and discrete event simulation. *ZELADÚ Telecommunications Consulting*, 2002.
- [3] J. Vázquez Burgos, E. Gago Cerezal, and J. Lorca Hernando. Simulador umts / hsdpa / hsupa. In *XXI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, pages 930–933, 2006.
- [4] AWE Communciations. *3G Simulation Approaches*. Disponible en <http://www.awe-communications.com/Network/3G/SimulatorsOverview>, consultada en junio de 2007.
- [5] AWE Communciations. *Wave Propagation and Radio Network Planning*. Disponible en <http://www.awe-communications.com>, consultada en junio de 2007.
- [6] Momentum Consortium. Models and simulation for networkplanning and control for umts. Disponible en <http://momentum.zib.de>, consultada en junio de 2007.
- [7] P. Demestichas, A. Taskaris, V. Stavroulaki, M. Theologou, and N. Mitrou. Service and network management platforms for umts. In *Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd*, volume 3, pages 2133–2136, 2001.
- [8] E. Fledderus. Wireless network simulation - your window on future network performance. *Wireless Personal Communications*, 33:319–325, 2005.
- [9] M.J. Fleuren, H. Stüben, and Zegwaard G. F. Modysim - a parallel dynamic umts simulator. In *Parallel Computing Conference (PARCO)*, 2003.
- [10] Forsk. Atoll - umts/hsdpa/hsupa features. Disponible en http://www.forsk.com/htm/products/umts_hsdpa.htm, consultada en junio de 2007.
- [11] A.B. García, E. García, M. Alvarez-Campana, J. Berrocal, and E. Vázquez. A simulation tool for dimensioning and performance evaluation of the umts terrestrial radio access network. In *Lecture Notes In Computer Science; Vol. 2515. Proceedings of the Joint International Workshops on Interactive Distributed Multimedia Systems and Protocols for Multimedia Systems: Protocols and Systems for Interactive Distributed Multimedia table of contents*, volume 3, pages 49–60, 2002.
- [12] S. Heier, D. Heinrichs, and A. Kemper. Ip based services at the umts radio interface. In *3G Mobile Communication Technologies, 2002. Third International Conference on (Conf. Publ. No. 489)*, pages 32–36, 2002.
- [13] S. Heier, D. Heinrichs, and A. Kemper. Performance evaluation of internet applications over the umts radio interface. In *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th*, volume 4, pages 1834–1838, 2002.

- [14] Silke Heier, Dirk Heinrichs, and Andreas Kemper. Ip based services at the umts radio interface. In *Third International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*, pages 32–36, 2002.
- [15] Silke Heier, Dirk Heinrichs, and Andreas Kemper. Performance evaluation of internet applications over the umts radio interface. In *IEEE 55 Vehicular Technology Conference*, volume 4, pages 1834–1838, 2002.
- [16] Silke Heier and Matthias Malkowski. Umts radio resource management by transport format assignment and selection. In *The 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, volume 3, pages 1187–1191, 2002.
- [17] H. Holma, D. Soldani, and K. Sipila. Simulated and measured wcdma uplink performance. In *Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th*, volume 2, pages 1148–1152, 2001.
- [18] R. Hoppe, G. Wolffe, H. Buddendick, and F.M. Landstorfer. Fast planning of efficient wcdma radio networks. In *Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th*, volume 4, pages 2721–2725, 2001.
- [19] OPNET Technologies Inc. *OPNET Modeller*. Disponible en <http://www.opnet.com>, consultada en junio de 2007.
- [20] Scalable Network Technologies Inc. *QualNet Product Tour*. Disponible en <http://www.scalable-networks.com/publications/documentation>, consultada en junio de 2007.
- [21] TNO Information and Communication Technology. Web site. Disponible en <http://www.tno.nl>, consultada en junio de 2007.
- [22] Marija Jevrosimovic, Ljupco Jorguseski, and Onno Mantel. Evaluation studies for antenna arrays in umts. Technical Report TNO_WP4_PUB_41_v01_D4.3, WP4 within the Broadband Radio at Hand (BR@H) project, Lucent Technologies and the Eindhoven University of Technology, 2005.
- [23] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, and A. Hamalainen. Verification of wcdma radio network planning prediction methods with fully dynamic network simulator. In *Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th*, volume 1, pages 526–530, 2001.
- [24] A.S. Torres López, D. Ortega Sicilia, and R. Herradón. Técnicas de planificación automática: Análisis de escenarios hexasectoriales umts. In *XXI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, pages 942–945, 2006.
- [25] M. Malkowski and S. Heier. Interaction between umts mac scheduling and tcp flow control mechanisms. In *Proceedings of ICCT2003*, pages 1373–1376, 2003.
- [26] Matthias Malkowski, Michael Schnick, and Marc Schinnenburg. Connection admission control in umts with respect to network capacity and quality of service. In *11th European Wireless Conference, Next Generation Wireless and Mobile Communications and Services*, 2005.

- [27] NetHawk. *NetHawk Simulators*. Disponible en <https://www.nethawk.fi/products/nethawk-simulators>, consultada en junio de 2007.
- [28] NetHawk. *Testig Tools for Converging Networks*. Disponible en <https://www.nethawk.fi/>, consultada en junio de 2007.
- [29] Networking Research Group University of Canterbury. Opnet research and educational projects. Disponible en <http://www.elec.canterbury.ac.nz/research/networking/opnet.shtml>, consultada en junio de 2007.
- [30] J. Perez-Romero, O. Sallent, R. Agusti, M.A. Diaz-Guerra, A. Serrano, and J.L. Montero. An analysis of deployment alternatives in a real umts scenario to support voice and data traffic. In *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th*, volume 6, pages 4385–4389, 2004.
- [31] Petri Possi. *UMTS World – Quality of Service*. Disponible en <http://www.umtsworld.com/technology/qos.htm>, consultada en junio de 2007.
- [32] Radioplan. Wines platform - overview. Disponible en <http://www.radioplan.com/products/wines/index.html>, consultada en junio de 2007.
- [33] M. Roberts. Adapting qualnet for universal mobile telecommunications system modeling and simulation. In *QualNet World 2006 Proceedings*, 2006.
- [34] D. Ortega Sicilia, A.S. Torres López, and R. Herradón. Optimización automática de redes 3g con la herramienta optired. In *XXI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, pages 936–939, 2006.
- [35] C. Castellano Talavera and J.M. Hernando Rábanos. Estudio de la calidad de servicio de aplicaciones de datos sobre umts en condiciones de propagación adversa. In *XXI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, pages 954–957, 2006.
- [36] RWTH Aachen University. Communication networks. Disponible en <http://www.comnets.rwth-aachen.de>, consultada en junio de 2007.
- [37] Berkeley University of California. *The Network Simulator - ns-2*. Disponible en <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, consultada en junio de 2007.
- [38] Softwave Wireless. Prismo simulator. Disponible en <http://www.softwavenet.com/products/simulator>, consultada en junio de 2007.