



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



**RESUMEN DEL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE SISTEMA
PARA EL ENLACE DESCENDENTE HSDPA**

Autor: David Martín-Sacristán Gandía

Director: José Francisco Monserrat del Río

Valencia, Marzo de 2008

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	3
1.1 Origen	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Desarrollo	4
1.4 Conclusiones.....	8
2. ORIGINALIDAD	9
3. RESULTADOS	11
4. APLICABILIDAD.....	12
REFERENCIAS	14
ANEXOS	15
A.1 Premio.....	15
A.2 Listado de Publicaciones relacionadas con el PFC.....	16
A.2 Publicaciones	18

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

1.1. Origen

La evolución continua de las tecnologías celulares y la irrupción de las redes inalámbricas han configurado un sector de las comunicaciones móviles con una gran diversidad de redes que operan de forma más o menos independiente. Las redes móviles 4G se entienden como la fusión de las redes inalámbricas IEEE y las redes celulares clásicas en redes heterogéneas.

En este sentido, el Grupo de Comunicaciones Móviles de la UPV está desarrollando un proyecto financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) denominado ‘Gestión cooperativa de redes de acceso radio heterogéneas mediante técnicas predictivas’ (TIC2005-08211-C02) en el que se pretende realizar una gestión de recursos conjunta (*Common Radio Resource Management*) y dinámica entre diferentes redes basándose en predicciones de tráfico para conseguir una mayor capacidad global del sistema. Tras un análisis de la situación de las redes móviles en el ámbito europeo y español se decidió considerar como tecnologías básicas de este proyecto GPRS, EDGE, WLAN y HSDPA.

La tecnología **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*) surge en el 2002 como una evolución de UMTS que permite obtener en sus primeras versiones *throughputs* teóricos de hasta 14 Mbps y aún mayores si se considera transmisión MIMO y otras técnicas de diversidad. A la vez HSDPA permite la asignación de muy diferentes tasas a los usuarios del sistema facilitando la provisión de servicios a los actuales usuarios multimedia. Todas estas características la han hecho una tecnología muy interesante y su despliegue es generalizado en Europa y España.

Una de las tareas dentro del citado proyecto CICYT consiste en desarrollar una plataforma de simulación de redes heterogéneas sobre la cual llevar a cabo diferentes investigaciones. Dicha plataforma de simulación debía ser capaz de emular el funcionamiento de cada una de las tecnologías de la red heterogénea de forma eficiente, implementar los mecanismos de gestión propios de una red heterogénea (como el traspaso de usuarios entre tecnologías) e implementar los algoritmos de predicción orientados a una gestión eficiente de redes heterogéneas.

1.2. Objetivos

El **objetivo** de este Proyecto Final de Carrera es desarrollar totalmente un módulo HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que simule a nivel de sistema el enlace

descendente de dicha tecnología para su integración en una plataforma de simulación CRRM. Este simulador permitirá cuantificar el impacto de las técnicas CRRM en las prestaciones de una red heterogénea.

El objetivo global comentado se puede desglosar en los siguientes objetivos:

- Modelar e implementar los bloques básicos de un sistema HSDPA, como son la entidad MAC-hs y los transmisores y receptores HARQ.
- Modelar la caracterización del canal realizada en HSDPA a través de los CQI (*Channel Quality Indicator*) según se define en las especificaciones del sistema.
- Ampliar el modelo de canal radio móvil incluyendo el *fast fading*, fundamental para determinar las prestaciones de un sistema como el HSDPA basado en *Link Adaptation*.
- Modelar e implementar la plataforma CRRM permitiendo una gestión conjunta de todas las tecnologías de acceso radio implementadas.

El simulador desarrollado pertenece a la categoría de simuladores de sistema, puesto que permite estudiar las prestaciones globales de un sistema, en contraposición a los simuladores de enlace que se centran en evaluar un único enlace radio. Se trata de un simulador dinámico (permite estudiar la evolución temporal del funcionamiento de un sistema) lo que resulta interesante para evaluar aspectos relacionados con la gestión de recursos y la calidad de servicio experimentada por los usuarios. La elección del enlace descendente en la simulación viene motivada por ser generalmente el enlace más limitante en las redes de comunicaciones móviles. Además se ha elegido el modo FDD del sistema HSDPA por ser el más empleado.

1.3. Desarrollo

Planteados estos objetivos y en base a las decisiones tomadas sobre el tipo de simulador a desarrollar se comenzó a realizar el PFC. En este apartado se presentan las fases más importantes del desarrollo del trabajo.

1.3.1. Estudio del sistema HSDPA

La primera fase del proyecto consistió en una búsqueda exhaustiva de información sobre HSDPA.

Al ser un sistema muy novedoso en el momento de realización del proyecto la principal fuente de información fueron las especificaciones del 3GPP (*Third Generation Partnership*

Project), organismo estandarizador de UMTS y HSDPA [1]. Esta tarea fue muy costosa en tiempo y esfuerzo dado que las especificaciones de HSDPA no están concentradas en un solo documento sino que están distribuidas en diferentes especificaciones más generales sobre los diferentes aspectos de la tecnología UMTS.

Asimismo se consultaron diferentes informes técnicos del 3GPP realizados durante el periodo de estandarización de la tecnología y que son una fuente de información complementaria a las especificaciones.

Junto con las especificaciones se consultaron numerosos trabajos de investigación para conocer el estado del arte en lo que se refiere a modelado de sistemas y de algoritmos de gestión de recursos en HSDPA.

Muestra de la novedad de la tecnología es que el primer libro de divulgación sobre la misma escrito en inglés se publicó durante la realización del proyecto [2].

Los conocimientos adquiridos en esta primera fase del proyecto están plasmados en la primera parte del PFC, que constituye una buena introducción a la tecnología HSDPA.

1.3.2. Modelado de un sistema HSDPA

En el desarrollo del simulador ha sido muy importante la fase del modelado de los métodos y algoritmos para reproducir el comportamiento de los sistemas HSDPA. Cabe destacar que el trabajo desarrollado en esta fase se realizó en el marco de un proyecto de colaboración europeo de la Red de Excelencia Europea NEWCOM cuyo objetivo es la definición de escenarios de referencia y modelos de simulación comunes para redes heterogéneas [3]. De esta manera no solamente se han extraído ciertos parámetros de simulación del mismo sino que de igual manera los modelos implementados en este trabajo han servido de base y referencia en el desarrollo de este estándar.

Los modelos de más desarrollo en el presente Proyecto Final De Carrera han sido el de las relaciones entre SINR, BLER y CQI y el modelado del *fast fading*. Una de las principales cualidades del simulador implementado es el fiel seguimiento del estándar y la rigurosidad en la implementación de cada uno de los procesos llevados a cabo en el sistema HSDPA.

Modelado de las Relaciones SINR-BLER-CQI

Tomando como referencia un conjunto de tablas de SINR vs BLER resultado de medidas experimentales realizadas por los miembros de NEWCOM se han implementado las relaciones SINR-BLER-CQI en el receptor HARQ de los móviles HSDPA. Este modelo permite determinar la recepción correcta o incorrecta de los bloques radio recibidos por la entidad HARQ al tiempo que permite que dicha entidad informe a la Estación Base de la calidad

estimada de su enlace radio. El modelo implementado es consistente con los de otros investigadores y cumple el estándar HSDPA. En la literatura raramente se encuentra detallado este modelo lo cual confiere un punto de distinción a este aspecto del simulador.

Modelado del Fast Fading

El *fast fading* consiste en variaciones rápidas en la condición del canal radio por efecto multicamino. En HSDPA hay una estimación periódica de la calidad del enlace radio de los usuarios y es precisamente en base a esta estimación de calidad (entre otros parámetros) como se decide el reparto de los recursos en la red. El modelado del *fast fading* permitirá estudiar con mayor exactitud el efecto que la velocidad de los terminales móviles o los retardos en la estimación de canal tienen sobre las prestaciones globales de un sistema HSDPA. Cualquier simulador de sistema que no incluya este modelado, y son muchos los que se encuentran en la literatura, estará sobreestimando el funcionamiento de HSDPA.

Modelado del Hybrid ARQ

Las peculiaridades de los procesos HARQ SAW son determinantes a la hora de establecer un flujo de eventos en el simulador entre el transmisor HARQ y el receptor HARQ. Se han implementado según el estándar los retardos en las transmisiones entre ambas entidades que limitan las prestaciones del sistema y los estados de los procesos HARQ.

Modelado de la Disponibilidad de Códigos

La limitación en número de códigos es una característica que rara vez se comenta cuando se emplea un simulador HSDPA y sin embargo no es realista considerar que siempre se tiene un número fijo de códigos HSDPA disponibles independientemente de los usuarios que haya en el sistema y de los usuarios a los que se da servicio en cada TTI (Transmisión Time Interval). El simulador implementado tiene en cuenta esta restricción.

Algoritmos de Scheduling

En el simulador se han implementado dos tipos de algoritmos de *scheduling* que son los de referencia: una modalidad del tipo *Round Robin* (produce un reparto cíclico de recursos) y otra del MaxCIR (prioriza a los usuarios con mejor condición de canal).

1.3.3. Implementación del Simulador

El simulador ha sido desarrollado en C++, puesto que al ser un lenguaje que soporta la programación orientada a objetos facilita la implementación del *software*, y favorece la producción de código modulado. Además se pretendía tener una solución propietaria por lo que no se han empleado motores como NS-2 ya existentes.

Para modelar la evolución temporal se ha seguido una aproximación de eventos discretos, que consiste en actualizar el estado del sistema, únicamente cuando ocurre algún suceso interesante. De esta forma se ha conseguido mejorar la eficiencia computacional de la herramienta mientras que es factible realizar una simulación totalmente dinámica. Con tal fin se ha empleado una librería de simulación por eventos discretos llamada CNCL (*Communication Networks Class Library*) [4].

No se detallará aquí la estructura del simulador, en la memoria se comenta brevemente y se recomienda tener un contacto directo con el código fuente para conocerlo en profundidad. Es de destacar la presencia de una entidad RRM que facilita la integración CRRM.

1.3.4. Proceso de Validación del Simulador

Una vez implementada la herramienta de simulación se ha llevado a cabo un proceso de validación. La validación solamente se ha llevado a cabo estudiando las tendencias mostradas por distintos mecanismos implementados en el simulador, los resultados absolutos obtenidos son altamente dependientes del escenario de simulación empleado. La realización de una validación más pormenorizada se plantea como una línea futura de trabajo ya que se está a la espera del avance del trabajo en NEWCOM. En la actualidad dentro de la red de excelencia se ha dado por concluida la fase de especificación pero aún falta que todos los participantes de la iniciativa implementen esta solución y evalúen las prestaciones obtenidas del sistema HSDPA.

Se verificó la correcta generación y transmisión de tráfico H.263 al simular la transmisión de un usuario durante un largo período de tiempo. Se eligió el tráfico H.263 para esta validación dado que muestra estadísticos más fijos con lo que facilita verificar su cumplimiento. Como resultado se obtuvo la tasa esperada para un tráfico H.263 a 64 kbps.

Se ha comprobado que el mecanismo de adaptación al enlace en base a *reports* de CQI funciona correctamente al realizar diferentes pruebas en las que se variaba el período de *report* con el algoritmo MaxCIR que es el que más se ve influido por dicho período al depender sus prestaciones en gran medida de la calidad de la estimación del canal. Se demostró que a menor período de *report* del CQI mayor es la satisfacción del usuario, entendida como cociente de tramas que llegan correctas entre tramas totales transmitidas.

Se ha demostrado que el funcionamiento de los algoritmos de *scheduling* implementados en un entorno cargado es el esperado comparando el esquema *Round Robin* con el MaxCIR y observando el distinto *fairness* y distribución de tasas que producen en el sistema. MaxCIR produce una mayor probabilidad de que se de servicio a los usuarios con mejor calidad y un mayor *throughput* global mientras que *Round Robin* se comporta a la inversa.

1.4. Conclusiones

Se ha desarrollado un módulo HSDPA, heredando parte de su código de simuladores monosistema de EDGE y GPRS, totalmente integrado en una nueva estructura de datos que permite modelar la red CRRM.

Se trata de un simulador a nivel de sistema, esto es, que permite simular el comportamiento de un elevado número de usuarios en un escenario compuesto por varias estaciones base, estudiando aspectos tales como la movilidad de los usuarios, la generación de tráfico, las pérdidas de propagación, el efecto del shadowing, el efecto del fast fading y la influencia de los algoritmos de gestión de recursos sobre determinados parámetros que permiten evaluar las prestaciones de un sistema de comunicaciones.

Para modelar la evolución temporal se ha seguido una aproximación de eventos discretos, que consiste en actualizar el estado del sistema, únicamente cuando ocurre algún suceso interesante. De esta forma se ha conseguido mejorar la eficiencia computacional de la herramienta.

El simulador desarrollado constituye una herramienta extremadamente flexible y potente que podrá ser empleada en numerosos estudios de investigación relacionados con el desarrollo y evaluación de nuevas técnicas y algoritmos de gestión de recursos destinados a mejorar las prestaciones de los sistemas de comunicaciones de tercera generación.

2. ORIGINALIDAD

En cuanto a la originalidad del PFC presentado, en primer lugar es de destacar la novedad de la tecnología HSDPA. El simulador desarrollado en el presente proyecto es uno de los primeros realizados en las universidades españolas para el estudio de HSDPA.

Un aspecto novedoso es la realización de un simulador dinámico. Este concepto se contrapone al de los simuladores estáticos en los que se modela el sistema sin una evolución temporal, esto es, en la simulación se consideran una serie de estados de la red con diferentes configuraciones de distribución de usuarios, condiciones de canal, etc. pero que no están correladas temporalmente. Un simulador dinámico permite modelar con mayor fidelidad las prestaciones de un sistema celular de tercera generación en el que la adaptación al enlace radio y la gestión dinámica de los recursos radio es crucial.

Otro aspecto original del proyecto es el modelado del canal radio a nivel de sistema. En otros simuladores desarrollados en España se ha modelado el canal radio en simulaciones previas almacenando los resultados de dichas simulaciones y empleando estos resultados en el simulador a nivel de sistema. Si bien, esta solución rebaja el coste computacional de la simulación a nivel de sistema, no es fiel a la realidad. La calidad del enlace radio percibida por un usuario tiene una componente fuertemente correlada con la situación actual del sistema. Basta considerar la dependencia del nivel de interferencia en un sistema CDMA con el estado de las transmisiones de los diferentes usuarios del mismo para darse cuenta de esto.

Además, el modelado del canal ha sido muy completo y riguroso. Se han contemplado tanto *shadowing*, como pérdidas de propagación y lo más interesante *fast fading*. Este último modelado es muy importante en un sistema con una gestión dinámica de recursos como HSDPA, en el que la adaptación al enlace hace que las prestaciones del sistema sean fuertemente dependientes de variaciones del canal a corto plazo. Del mismo modo ha sido original el modelado exhaustivo de las interferencias. La simulación dinámica permite evaluar la interferencia sufrida en la transmisión de un paquete radio de forma realista y consistente con el estado del sistema en el momento de la transmisión.

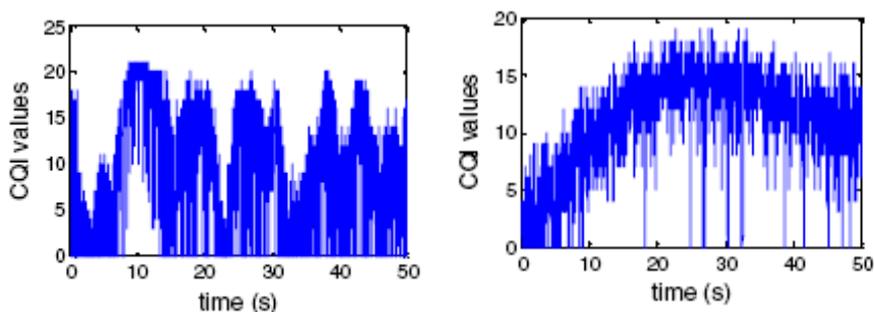


Figura 1. Series de CQI realistas obtenidas con el simulador para un usuario vehicular (izquierda) y para un usuario peatonal (derecha).

La Figura 1 recoge dos ejemplos de series de CQIs (indicadores de calidad del canal en HSDPA) obtenidas con el simulador.

Otro aspecto importante del presente proyecto es que se ha pensado para ser integrado en una plataforma de simulación de redes heterogéneas. Otros simuladores desarrollados no tienen en cuenta este punto con lo que es muy difícil, si no imposible, modelar el funcionamiento simultáneo de varias tecnologías y evaluar las prestaciones de la coordinación.

3. RESULTADOS

El resultado principal del presente PFC es la obtención de un simulador de sistema para enlace descendente de HSDPA. Este simulador está enfocado principalmente a la investigación en el ámbito de la evaluación de prestaciones de sistemas de comunicaciones móviles y a este ámbito se circunscriben otros resultados secundarios.

En lo referente a publicaciones sobre HSDPA durante la realización del PFC, se envió un artículo al congreso IEEE Vehicular Technology Conference Spring 2007, celebrado en Dublín (Irlanda). Posteriormente este artículo fue aceptado y dio lugar a una presentación oral en este prestigioso congreso. El citado artículo, incluido en los anexos empleaba el simulador desarrollado para realizar investigaciones sobre la adaptación al enlace (*Link Adaptation*) en HSDPA.

En este estudio se pusieron de manifiesto varios resultados. En primer lugar es de destacar que el algoritmo de *scheduling* de tipo MaxCIR (prioriza los usuarios con mejor calidad radio) se mostró muy válido para mejorar las prestaciones del sistema tanto para tráfico *best effort*, como para tráfico que precise de calidad de servicio cuando hay baja carga en el sistema. Se constató la necesidad de implantar gestores de recursos que tengan en cuenta las diferentes velocidades de los usuarios del sistema. Por último, se verificó la utilidad de una diferenciación de servicios básica a nivel del *scheduler*. No se pretende aquí repetir los resultados de forma exhaustiva, en caso de que sea del interés de los evaluadores pueden encontrar adjunto dicho trabajo para su lectura.

Además de este artículo sobre HSDPA, el autor del PFC ha contribuido en dos artículos internacionales sobre SPHERE, una plataforma de simulación de redes heterogéneas que incluye el módulo HSDPA realizado. Estos artículos se presentaron en el congreso TRIDENTCOM celebrado en Orlando (EEUU) en el 2007 y en un encuentro de la acción europea COST 2100 celebrado en Lisboa (Portugal) en 2007. En estas publicaciones queda de manifiesto la utilidad del módulo HSDPA realizado y su integración con el resto de tecnologías de la red heterogénea simulada, con lo que se demuestra la consecución de un objetivo básico del proyecto.

Las referencias a las publicaciones citadas se pueden encontrar en el ANEXO B y su contenido en el ANEXO C.

4. APLICABILIDAD

La aplicabilidad del PFC presentado ha quedado ya clara en el apartado anterior de resultados, dado que el simulador pudo ser aplicado al desarrollo de investigaciones sobre HSDPA y redes heterogéneas ya durante la realización del PFC.

Tras el periodo de realización del PFC el simulador ha seguido siendo utilizado por el autor del mismo.

En este sentido, se ha realizado una publicación sobre *Link Adaptation* en HSDPA en el 4th Internacional Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) celebrado en Trondheim (Noruega) en el año 2007.

Además, durante el curso 2006-2007 el autor del PFC cursó en la Universidad Politécnica de Valencia el Master Oficial en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones. La tesina de fin de Master del solicitante se tituló “Estudio y Optimización de los Procedimientos de Adaptación al Enlace en HSDPA” y para su realización fue necesario emplear el simulador desarrollado en el PFC presentado, con las modificaciones oportunas. En relación con este estudio se ha enviado un artículo a la revista colombiana Gerencia Tecnológica Informática, pendiente de aceptación.

En definitiva, el simulador gracias a su carácter dinámico y su fidelidad en el modelado del canal radio y evolución temporal del sistema es una herramienta muy útil para poder considerar los mecanismos de adaptación al enlace.

En lo referente a su uso en la plataforma SPHERE de simulación de redes heterogéneas se ha seguido profundizando en la integración de los diferentes sistemas. Además se ha añadido la posibilidad de tener procesos de nacimiento y muerte de sesiones de usuarios y se han implementado nuevas fuentes de tráfico como VoIP como ejemplo de tráfico de voz con el que se están realizando numerosas investigaciones en la actualidad.

En el futuro más inmediato se realizarán investigaciones en las siguientes líneas de trabajo:

- Optimización de la operación conjunta de *Link Adaptation* y *Scheduling* de paquetes.
- Desarrollo de mecanismos de gestión de recursos adaptados a VoIP.
- Implementación de la evolución de HSDPA siguiendo las tendencias del 3GPP (3rd Generation Partnership Project) incluyendo la transmisión MIMO y la Continuous Packet Connectivity.

En resumen, el simulador tiene una aplicabilidad demostrada por las investigaciones ya realizadas mediante su uso, y es una vía aún válida para realizar desarrollos interesantes para la comunidad científica. Además, estos desarrollos son interesantes también en el mundo

empresarial dado que cubren aspectos de los sistemas claramente determinantes para mejorar las prestaciones de los sistemas reales.

Finalmente, el uso investigador no impide un uso comercial en un futuro. El hecho de que se haya puesto especial empeño en desarrollar un simulador lo más fiel a las especificaciones por un lado, y lo más fiel a la realidad del canal radio por otro, permite su uso futuro para optimizar despliegues de redes comerciales. De hecho, recientemente el autor del PFC ha llevado a cabo una campaña de medidas sobre HSDPA empleando software comercial (NEMO y software propietario del Grupo de Comunicaciones Móviles de la UPV) de manera que se han podido comparar las prestaciones de redes reales con las mostradas por simulación verificando su similitud. En este sentido es de destacar el estudio sobre errores en la transmisión de los CQIs en redes con baja carga realizado durante la tesina de master del autor del PFC.

Las referencias a las publicaciones citadas se pueden encontrar en el ANEXO B y su contenido en el ANEXO C.

Referencias

- [1] 3GPP Technical Specifications. Disponibles en: www.3gpp.org
- [2] Harri Holma y Antti Toskala "HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications", John Wiley and Sons Ltd., 2006
- [3] Lucio Ferreira y otros "Definition of Reference Scenarios for the evaluation of radio resource allocation algorithms", Department7 , Activity AP1, NEWCOM, Junio 2006
- [4] M. Junius, M. Stepler, M. Büter, D. Pesch, "Communication Networks Class Library (CNCL)", ComNets, Aachen University of Technology, 1996, URL: <http://www.comnets.rwth-aachen.de>.

ANEXOS

ANEXO A – Premio

Se presenta copia reducida del certificado acreditativo del Premio otorgado por la Cátedra Telefónica de Banda Ancha e Internet al presente PFC.



ANEXO B – Listado de Publicaciones relacionadas con el PFC

TITULO: Effect of Channel-Quality Indicator Delay on HSDPA Performance

Denominación del evento: 65TH IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring'07)

Lugar de celebración y año: Dublín (Irlanda), 2007

Entidad/grupo organizador: IEEE

Tipo de participación: Artículo,

I.S.B.N.: 1-4244-0266-2

Autores (p.o. de firma): **David Martín-Sacristán**, J.F. Monserrat, J. Gozávez y N. Cardona

TITULO: SPHERE – A Simulation Platform for Heterogeneous Wireless Systems.

Denominación del evento: 3rd International Conference on TestBeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (TridentCom)

Lugar de celebración y año: Orlando (EEUU), 2007

Entidad/grupo organizador: IEEE

Tipo de participación: Artículo,

I.S.B.N.: 1-4244-0739-7

Autores (p.o. de firma): J.Gozávez, **David Martín-Sacristán**, M.Lucas-Estañ, J.F. Monserrat, J.J.González-Delicado, D. Gozávez y M.Marhuenda.

TITULO: SPHERE A Simulation Tool for CRRM Investigations.

Denominación del evento: COST2100 2nd ManagementCommittee Meeting

Entidad/grupo organizador: COST, European Union

Lugar de celebración y año: Lisboa (Portugal), 2007

Tipo de participación: Artículo,

Autores (p.o. de firma): J.F. Monserrat, J.Gozávez, **David Martín-Sacristán**, D.Gozávez y N.Cardona.

TITULO: Link Adaptation Improvement Based on Node-B CQI Processing.

Denominación evento: IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) 07.

Entidad/grupo organizador: IEEE

Lugar de celebración y año: Trondheim (Noruega), 2007

Tipo de participación: Artículo,

I.S.B.N.: 1-4244-0979-9

Autores (p.o. de firma): **D.Martín-Sacristán**, J.F. Monserrat, D.Calabuig y N.Cardona.

TITULO: Estudio y Optimización de los Procedimientos de Adaptación al Enlace en HSDPA.

Tipo: Tesina de Master.

(Enviado)

TITULO: Estudio de Adaptación al Enlace en el Sistema de Comunicaciones Móviles 3.5G HSDPA

Grupo Organizador: ITICOL, Colombia.

Revista: Gerencia Tecnológica Informática

Tipo de participación: Artículo,

Autores (p.o. de firma): **D.Martín-Sacristán**, J.F. Monserrat, D.Calabuig y J. Díaz Cervera.