

---

# Análisis del Comportamiento de las Opciones del Protocolo TCP en el Sistema GPRS

**Juan Rendón, Ferran Casadevall, Josep Lluís Faner**  
Universidad Politécnica de Cataluña - Grupo de Comunicaciones Radio  
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
*e-mail:* [jrendon@xaloc.upc.es](mailto:jrendon@xaloc.upc.es); [ferranc@tsc.upc.es](mailto:ferranc@tsc.upc.es)

## Resumen

El sistema GPRS (General Packet Radio Service) ofrece una fácil adaptación a aplicaciones que funcionan en Internet, como WWW, FTP y e-mail. Estas aplicaciones utilizan el protocolo de transporte TCP, un protocolo que evoluciona constantemente adoptando nuevas funcionalidades y opciones. En este artículo analizamos el rendimiento de las opciones TCP SACK y Timestamps en una red GPRS cargada. Debido a los retardos altamente variables encontrados en la interfaz radio de la red GPRS, la opción SACK resulta beneficiosa, mientras que la opción Timestamps empeora el rendimiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema móvil GPRS (General Packet Radio Service) desarrollado para trabajar con la infraestructura GSM es básicamente un sistema de conmutación de paquetes inalámbrico que, en comparación con la tasa de transmisión de 9.6 Kbps de GSM, puede ofrecer tasas pico de transmisión de datos de más de 100 Kbps. La mayoría de los servicios que ofrecerá GPRS corresponden a aplicaciones de Internet [Kalden00]. Esto significa que es necesaria una buena interacción entre los protocolos del sistema GPRS y los protocolos de Internet TCP/IP para un buen rendimiento de las aplicaciones de Internet. El protocolo de transporte TCP funciona bastante bien en un ambiente de red fija, en el que la mayoría de las pérdidas se deben a la congestión. Existen propuestas diseñadas para mejorar el rendimiento del protocolo TCP en redes fijas, como por ejemplo la opción Selective Acknowledgments (SACK) [Mathis96], y la opción TCP Timestamps [Jacobson92]. Algunas de estas propuestas RFC (Requests For Comments) están siendo implementadas progresivamente en los diversos sistemas operativos de los servidores de Internet. En particular, las dos opciones mencionadas funcionan actualmente en la última versión del Sistema Microsoft Windows 2000 Server, mientras que la opción SACK está implementada en el sistema operativo Sun Solaris 2.8.

Sin embargo, por lo que conocemos, ninguna de estas técnicas ha considerado las características particulares de un sistema celular como GPRS. En una red inalámbrica celular las pérdidas de paquetes se deben a las altas tasas de pérdidas de bits causadas por las pobres condiciones de propagación. El tema del rendimiento del protocolo TCP en el sistema GPRS fue analizado en la referencia [Meyer99] para el caso de un solo usuario móvil. Sin embargo, éste no será el entorno realista que encontrarán los diversos usuarios que tendrán que compartir el recurso radio. En el estudio realizado consideramos un canal radio GPRS con diversos usuarios, los cuales generan distintos tipos de tráfico teniendo así un canal radio GPRS cargado. En el artículo presentado analizamos el rendimiento de las opciones TCP SACK y TCP Timestamps en el sistema GPRS considerando una interfaz radio cargada.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección II presenta una breve descripción de las propuestas de TCP para redes inalámbricas móviles. La Sección III describe la estructura del simulador empleado para este estudio. En la Sección IV se muestran los resultados, y finalmente las conclusiones son presentadas en la Sección V.

## II. TCP EN REDES MÓVILES

TCP es un protocolo diseñado inicialmente para trabajar en redes fijas, en donde el mayor problema es la congestión. Por lo tanto, el protocolo TCP tiene mecanismos para evitar enviar segmentos en la red cuando se detecta una situación de congestión. Sin embargo, los problemas en las redes inalámbricas varían: pérdidas de paquetes a ráfagas, retardos altamente variables dependiendo de las redes inalámbricas, un "throughput" variable, etc. Desde hace pocos años aparecieron en la literatura propuestas que mejoran el rendimiento del protocolo TCP en redes inalámbricas. Una de las clasificaciones más importantes aparece en el estudio [Ludwig00], en el cual se dividen las propuestas en las siguientes categorías (véase Figura 1):

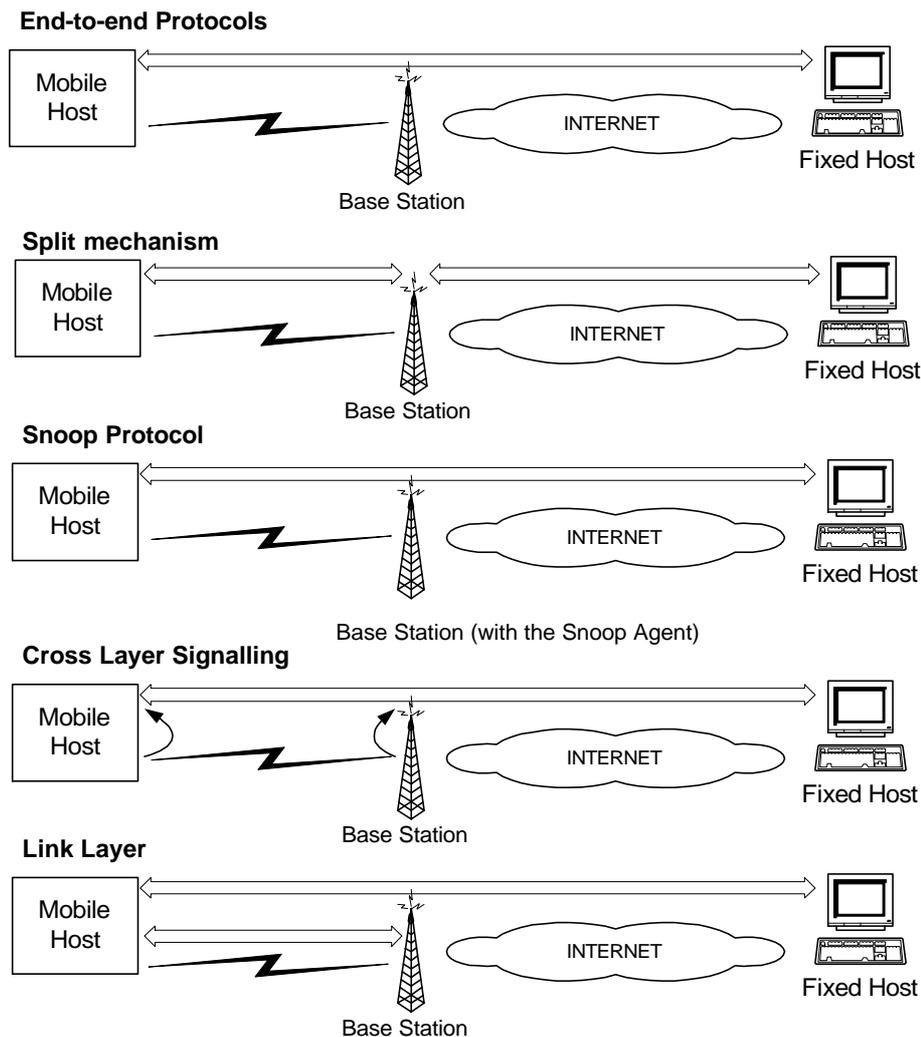


Figura 1: Clasificación de Propuestas TCP inalámbricas [Ludwig00].

Propuestas extremo a extremo (end-to-end): Estas propuestas no hacen cambios a los nodos intermedios y pueden modificar el protocolo TCP en el terminal fijo (FH, Fixed Host) [Bansal99] y algunas veces en el terminal móvil (MH, Mobile Host). El mecanismo Explicit Loss Notification por ejemplo [Balakrishnan97] diferencia las pérdidas por problemas de congestión en la red fija de otros tipos de pérdidas. Algunas de los RFCs de TCP como SACK y Timestamps se enmarcan este grupo. Con la opción SACK el receptor TCP informa al emisor TCP sobre todos los segmentos que han llegado correctamente. La opción Timestamps permite al emisor TCP tomar más muestras de los valores RTT (Round Trip Time), por lo que el valor RTO (ReTransmission Output) se calcula con mayor precisión.

Mecanismo Split [Bakre97]: Con este mecanismo se establecen dos tipos de conexiones TCP, una que va desde el FH hasta la Estación Base, y otra que va desde la Estación Base hasta el MH. Se rompe así la semántica extremo a extremo TCP.

Protocolo Snoop TCP [Balakrishan97]: Consiste en tener un agente instalado en la Estación Base que haga retransmisiones locales en la parte radio de los segmentos que se considera perdidos. Estas retransmisiones dependen del tipo de ACK recibido del MH y de los temporizadores locales. Snoop oculta al emisor TCP en el FH de las pérdidas ocurridas en la parte radio. Cuando el agente Snoop detecta una pérdida, retransmite el segmento faltante al MH, espera la llegada del ACK correspondiente y los envía al FH antes de que éste se entere de la pérdida.

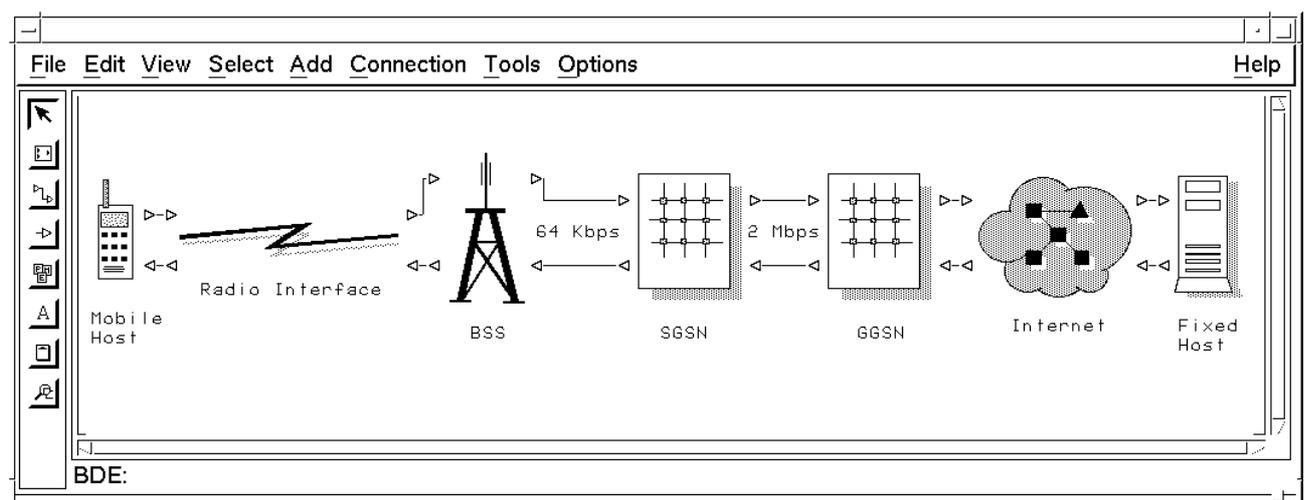
Señalización Cross-Layer: Las capas de enlace o de red en los nodos intermedios o en el MH informan al protocolo TCP en el emisor sobre el estado de la red inalámbrica (pérdida de paquetes, handovers, etc.), por ejemplo en [Caceres95] el emisor TCP recibe información sobre los handovers.

Propuestas para la Capa de Enlace (Link-Layer) [Parsa00]: Con este tipo de propuestas la Estación Base realiza retransmisiones en la capa de enlace radio. Dependen del tipo de protocolo de enlace radio empleado en cada red.

### III. ESTRUCTURA DEL SIMULADOR

El modelo de simulación GPRS ha sido creado con la herramienta de simulación Cadence Bones Designer. Se simuló una transmisión FTP de un archivo de datos de 512 Kbytes desde un servidor FTP conectado a Internet a un terminal móvil conectado a la red GPRS.

Hemos simulado el comportamiento de todos los nodos principales que existen en la arquitectura GPRS. Véase Figura 2. Un servidor FTP con las correspondientes capas IP y TCP se encuentra en el terminal fijo (FH). En la simulación se considera la versión TCP Reno. La red Internet es modelada con una probabilidad de pérdida de paquete y un retardo. El retardo es caracterizado estadísticamente con una variable aleatoria gaussiana. El nodo GGSN es representado como un encaminador (router), mientras que el nodo SGSN es modelado con un retardo fijo que representa el retardo de procesamiento del paquete IP en el nodo. Los enlaces GGSN-SGSN y SGSN-BSS son modelados con retardos fijos dependientes de las capacidades de los enlaces, los cuales son de 2Mbps y de 64Kbps respectivamente.



**Figura 2: Estructura del simulador GPRS construido con la herramienta Bones.**

El enlace radio se ha modelado estadísticamente con una probabilidad de pérdida de paquete y con una histograma de retardo de trama LLC [Rendon01]. Para este estudio hemos asumido un enlace GPRS radio con 4PDCHs, un esquema de codificación CS4, una relación C/I de 24 dB y 15 estaciones móviles. Hay tres tipos de tráfico en la red GPRS: e-mail, WWW y FTP. Hemos distribuido los usuarios en la siguiente forma: 50% e-mail, 30% WWW y 20% FTP. El tráfico generado para e-mail es similar al modelo de tráfico Funet, mientras que el tráfico generado para los servicios WWW y FTP ha sido

modelado siguiendo el modelo ETSI [UMTS30.03]. La tabla 1 resume los parámetros más importantes de simulación.

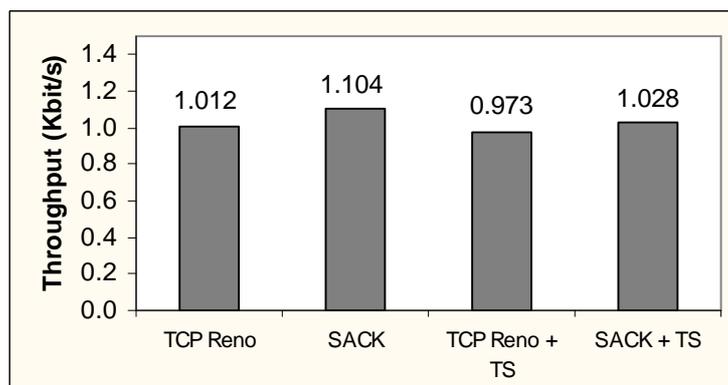
Parámetro	Valor
Tiempo máximo de espera para una notificación de acceso (ACN: access grant notification)	0.1 seg
Tiempo máximo de espera por trama para intentos de acceso aleatorio	0.3 seg.
Tiempo máximo de espera de un "reconocimiento (ACK)"	0.1 seg.
Frecuencia de generación de tráfico E-Mail	5 mensajes./hora
Frecuencia de generación de páginas WWW	3 ráfagas/hora
Número de páginas WWW por ráfaga	5 páginas/ráfaga
Tiempo entre páginas WWW	412 seg.
Número de tramas WWW por página	25 tramas/página
Tiempo entre tramas WWW	0.125 seg.
Frecuencia en la generación de ráfagas FTP	6 ráfagas/hora
Bloques de PRACH	0; 6
TCP MSS	431 bytes
Retardo Medio de Internet	100 ms.

**Tabla 1: Parámetros de Simulación.**

#### IV. PRESTACIONES DE LAS OPCIONES TCP EN EL SISTEMA GPRS

Para evaluar las prestaciones de las opciones TCP SACK y Timestamps hemos realizado varias simulaciones. La Figura 3 muestra la comparación de los valores de caudal ("throughput") de las simulaciones realizadas con la versión TCP Reno, TCP reno con la opción SACK, TCP Reno con la opción Timestamps y TCP Reno con las opciones SACK y Timestamps. Podemos observar lo siguiente de los resultados:

- Con la opción Timestamp el "throughput" empeora. Usando la versión TCP con la opción Timestamps (TS) el valor de "throughput" empeora un 3.85%, y trabajando conjuntamente con las opciones Timestamps y SACK el valor de "throughput" empeora un 6.88%.
- El "throughput" mejora cuando se utiliza la opción SACK. Sin la opción Timestamps el valor de "throughput" mejora un 9.09% en comparación con la versión TCP Reno, y cuando se utiliza la opción Timestamps el "throughput" mejora sólo un 1.58%.



**Figura 3: Comparación de los valores de "throughput".**

Para explicar estos resultados podemos utilizar la Tabla 2 con los porcentajes de retransmisión de cada opción. Las retransmisiones "data-driven" corresponden a retransmisiones hechas cuando el emisor TCP recibe un cierto número de ACKs. Las retransmisiones por "timer-driven" ocurren cuando se activa un temporizador en el emisor TCP después de un cierto tiempo de espera.

Retransmisiones (%)	TCP Reno	SACK	TCP Reno + TS	SACK + TS
Data-driven	2.99	3.30	3.31	3.46
Timer-driven	11.24	1.73	12.47	8.75
Total	14.23	5.03	15.78	12.21

Tabla 2: Retransmisiones.

#### IV.1 TCP Reno

Considerando que el valor de la tasa de pérdida de paquetes (PER) del canal radio GPRS es para este caso 2.3%, un porcentaje de retransmisión de 14.23 es bastante alto. Este alto porcentaje se debe a las retransmisiones por "timer-driven" (11.24%). El canal radio GPRS tiene retardos altamente variables, que causan retardos variables en los valores RTT calculados y por lo tanto también en los valores RTO, como se puede ver en la Figura 4. Con estos valores variables de RTO los temporizadores en el emisor TCP se activan frecuentemente, retransmitiendo innecesariamente segmentos TCP.

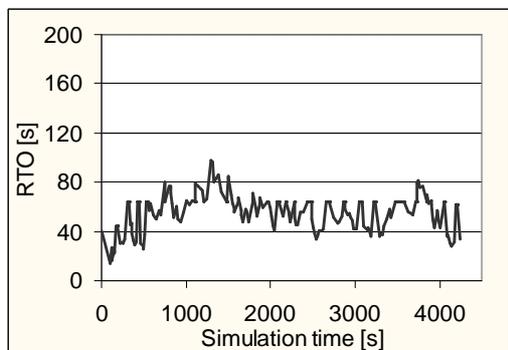


Figura 4: Evolución RTO (TCP Reno)

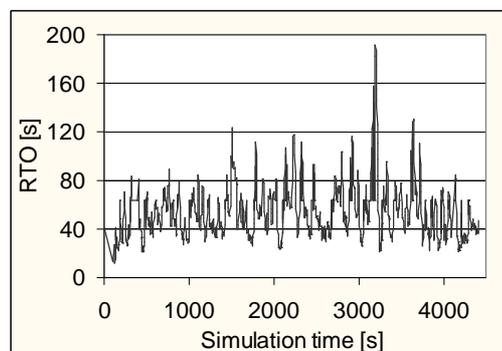


Figura 5: Evolución RTO (con la opción Timestamps)

#### IV.2 Opción SACK

Cuando se emplea la opción SACK, el porcentaje de retransmisiones por "timer-driven" pasa de 11.24% a sólo 1.73%. Un emisor TCP con la opción SACK cancela los temporizadores de los segmentos que sabe que han llegado correctamente al receptor. Esta es la principal razón por la que el "throughput" mejora con la opción SACK. La Figura 6 ilustra este punto.

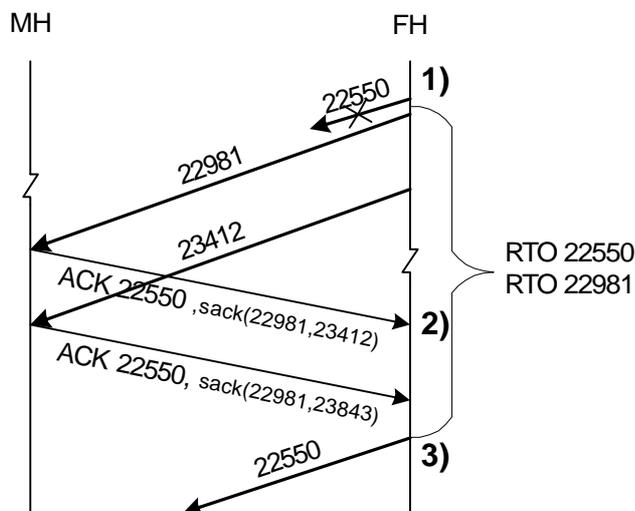


Figura 6: Ejemplo de comportamiento con la opción SACK.

- 1) El terminal fijo (FH) envía los segmentos 150002550 (22550) y 1500022981 (22981), pero el segmento 22550 se pierde en el canal radio GPRS.
- 2) El terminal móvil (MH) recibe los segmentos 22981 y envía un ACK 22550 indicando que ha recibido el segmento 22981, pero no el segmento 22550. El temporizador del segmento 22981 se cancela en el FH.
- 3) Se activa el temporizador del segmento 22550 y este segmento es retransmitido. Sin la opción SACK el segmento 22981 hubiera sido retransmitido al mismo tiempo.

### IV.3 Opción Timestamps

Cuando se activa la opción Timestamps cada segmento transmitido es marcado. Por lo tanto, el emisor TCP tiene más muestras para calcular el valor RTT. Sin embargo, debido a los retardos altamente variables de la interfaz radio GPRS, los valores RTO fluctúan bastante rápidamente y como resultado de este comportamiento los temporizadores se activan más frecuentemente (12.47% sin la opción SACK y 8.75% con la opción SACK). La Figura 5 muestra la evolución de los valores RTO con la opción Timestamps. Se puede ver que el valor RTO puede variar entre 20 s. y 120 s. o aún 200 s. (diez veces el mínimo valor). Como resultado de estas rápidas fluctuaciones, el "throughput" se degrada con la opción Timestamps.

## V. CONCLUSIONES

Para impedir las pérdidas debido a la congestión, el protocolo TCP tiene un mecanismo de control de congestión que es basado en el valor RTT. Sin embargo, cuando este valor RTT depende fuertemente de las pérdidas y retardos encontrados en el canal radio, el mecanismo de control de congestión degrada rápidamente el rendimiento del sistema. Debido a los retardos variables de la interfaz radio GPRS los valores RTO no son calculados con precisión. Esto ocasiona que los temporizadores en el emisor TCP del terminal fijo se activen frecuentemente, causando retransmisiones innecesarias que degradan el rendimiento.

La información contenida en la opción SACK evita la retransmisión innecesaria de segmentos que llegaron correctamente al terminal móvil, aumentando por lo tanto el rendimiento de la transmisión. Por el contrario, la opción Timestamps genera más muestras RTT, de tal manera que los valores RTO varían más frecuentemente. Estos valores RTO variables causan retransmisiones precipitadas e innecesarias, degradando aún más el rendimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación TIC-1998-0684 financiado por CICYT.

## REFERENCIAS

- [Bakre97] A. V. Bakre, B.R. Badrinath, "Implementation and Performance Evaluation of Indirect TCP", IEEE Transactions on Computers, vol. 46, No. 3, March 1997.
- [Balakrishnan97] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, Nr.6, Dec. 1997
- [Bansal99] D. Bansal, A. Chandra, R. Shorey, "An Extension of the TCP Flow Control Algorithm for Wireless Networks", IEEE ICPWC 1999.
- [Caceres95] R. Caceres, L. Iftode, "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environment", IEEE JSAC, June 1995.
- [Jacobson92] V. Jacobson, R. Braden, D. Borman, "TCP Extensions for High Performance, RFC 1323", May 1992.
- [Kalden00] R. Kalden, I. Meirick, M. Meyer, "Wireless Internet Access Based on GPRS", IEEE Personal Communications, April 2000.

- [Ludwig00]** R. Ludwig, "Eliminating Inefficient Cross-Layer Interactions in Wireless Networking", Ph.D. Thesis, Aachen University of Technology, Germany, April 2000.
- [Mathis96]** M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd, A. Romanow, "TCP Selective Acknowledgment Options, RFC 2018", October 1996.
- [Meyer99]** M. Meyer, "TCP Performance over GPRS", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 1999.
- [Parsa00]** C. Parsa, J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Improving TCP performance over wireless networks at the link layer", Baltzer Science Publishers, Mobile Networks and Applications 5 (2000), p. 57-71.
- [Rendon01]** J. Rendón, F. Casadevall, L. García, R. Jimenez, "Characterization of the GPRS Radio Interface by Means of a Statistical Model", IEEE Vehicular Technology Conference 2001 Spring, Greece, May 2001.
- [UMTS30.03]** ETSI, "Universal Mobile Telecommunication System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS", UMTS 30.03, v. 3.2.0, 1998.