

Análisis del sistema de estimación de la calidad de servicio EQoSIM

Eduardo Antonio Viruete Navarro, Julián Fernández Navajas, Ignacio Martínez Ruiz
Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza
Campus Río Ebro, Edificio Ada Byron. C/ María de Luna nº 1, 50018 Zaragoza (España)
Teléfono: (+34) 976 76 26 98 Fax: (+34) 976 76 21 11
E-mail: {eviruete,navajas,imr}@unizar.es

Resumen

Este artículo presenta el análisis de EQoSIM, un sistema on-line de estimación de la calidad de servicio (Quality of Service, QoS) en accesos a Internet especialmente enfocado hacia los servicios multimedia en tiempo real. El sistema es capaz de estimar la capacidad del acceso, el ancho de banda disponible, el retardo y la tasa de pérdida de paquetes como los parámetros más influyentes en la QoS para este tipo de servicios, todo ello desde el punto de vista del usuario final de Internet. El análisis llevado a cabo se basa en el estudio de los protocolos usados, la cantidad de tráfico generado por el sistema y el modelo matemático de error en la adquisición de tiempos desarrollado para mejorar la precisión de las estimaciones.

1. Introducción

Desde sus comienzos, Internet ha experimentado un gran incremento en el número de usuarios presentes en la misma, así como en la cantidad de datos que a través de ella son transferidos. En este último aspecto cabe destacar la aparición de nuevos servicios multimedia en tiempo real (*Real Time*, RT) como la voz sobre IP (*Voice over Internet Protocol*, VoIP), la videoconferencia o la telemedicina, cuya utilización va en aumento [1]. Este tipo de servicios no sólo representan una cantidad significativa del tráfico que viaja por la red, sino que además exigen a la misma el cumplimiento de unos requisitos mínimos bastante estrictos a la hora de tratar la información que generan.

Como consecuencia de esta evolución, y para soportar el creciente número de usuarios, servicios y sus necesidades, las tecnologías de acceso a Internet se han diversificado. En la actualidad existen accesos a Internet que pueden variar desde el tradicional módem analógico hasta los más recientes accesos digitales de banda ancha, tanto cableados como inalámbricos (Fig. 1). Las diferentes

características que presenta cada uno de ellos (ancho de banda, retardo, asimetría, tamaño de trama variable, etc.), junto con las exigencias de usuarios y servicios, hacen necesaria la definición de la calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) que ofrecen [2].

Conocer los distintos niveles de QoS que se obtienen en cada acceso a Internet es de particular importancia cuando se usan servicios RT, habitualmente muy sensibles al retardo, su variación (*jitter*) y, en menor medida, a la pérdida de paquetes [1]. Para ayudar en esta tarea, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversas herramientas de estimación de parámetros relacionados con la QoS [3]. Entre las herramientas de estimación de la QoS de las que disponen los usuarios de Internet, en la actualidad destacan los populares tests de velocidad de la conexión a Internet [4-6]. Estos tests realizan una estimación del ancho de banda midiendo el tiempo de descarga de uno o varios ficheros de tamaño variable desde diferentes servidores geográficamente dispersos.

La forma de estimación del ancho de banda usada por los mencionados tests es sencilla, pero tiene varias limitaciones, entre las que resalta el hecho de que está enfocada hacia la estimación del ancho de banda utilizado para la transferencia de ficheros, generalmente sobre el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). Sin embargo, los servicios multimedia RT suelen usar el protocolo RTP (*Real-time Transport Protocol*) [7], el cual, a su vez, se transporta sobre el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). Como consecuencia de las diferentes características de los protocolos TCP y UDP, su comportamiento es muy distinto, de forma que los tests de velocidad de la conexión a Internet existentes en la actualidad no son útiles a la hora de valorar los parámetros de QoS más relevantes para

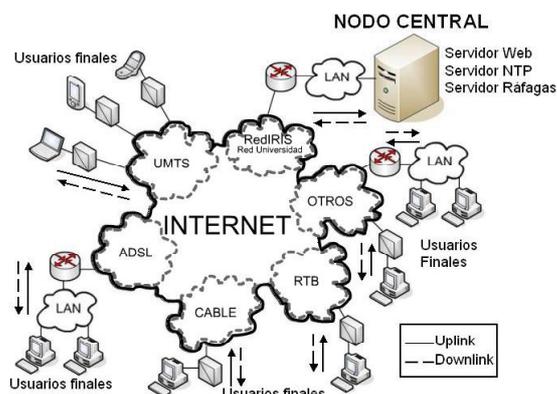


Figura 1: Escenario general de red

los servicios RT. El sistema EQoSIM (Evaluación de QoS en accesos a Internet para aplicaciones Multimedia) [8], por el contrario, constituye un test válido para la estimación de las prestaciones de los accesos a Internet de los usuarios en cuanto a los servicios multimedia RT se refiere, ya que se encuentra especialmente enfocado hacia ellos y usa el protocolo UDP para la realización de estimaciones.

En este artículo se presenta un estudio detallado del sistema EQoSIM como paso previo a su puesta en funcionamiento y a la planificación de los parámetros óptimos del algoritmo de estimación que usa. La sección 2 aborda de forma muy breve el problema de la estimación de la QoS. Posteriormente, la sección 3 presenta un pequeño resumen del sistema EQoSIM como herramienta para estimar la QoS. A continuación, la sección 4 analiza EQoSIM en dos aspectos fundamentales: la cantidad de tráfico que genera en sus estimaciones y los parámetros óptimos del algoritmo usado para las mismas. Finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones y líneas futuras de este trabajo.

2. Estimación de la QoS

El concepto de QoS es muy amplio, ya que la lista de factores que influyen en la misma es muy extensa y son muy diferentes los actores interesados en ella. Si además se tiene en cuenta que la QoS puede considerarse desde diferentes puntos de vista, su estimación se presenta como una tarea compleja [8].

Para ayudar en esta tarea, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos de estimación de parámetros relacionados con la QoS. Estos métodos pueden clasificarse en pasivos [9] y activos [10]. Los primeros capturan el tráfico existente en la red y miden los tiempos de llegada de los paquetes, mientras que los segundos inyectan paquetes de prueba en la red para realizar la estimación. A su vez, los métodos activos se pueden dividir en dos grupos: los que estiman de forma conjunta en los dos sentidos de la comunicación (*Round Trip*) y los que estiman en cada sentido de la comunicación por separado (*One-Way*). Los protocolos más empleados en estos sistemas son UDP, TCP e ICMP (*Internet Control Message Protocol*). Una exposición más extensa de los métodos de estimación de parámetros relacionados con la QoS puede encontrarse en [11,12].

3. El sistema EQoSIM

En esta sección se presenta un breve resumen de las características más importantes de EQoSIM. En [8] puede encontrarse una descripción más detallada del sistema.

3.1. Aplicaciones desarrolladas

El sistema EQoSIM presenta dos soluciones: medidas centralizadas y distribuidas. Las medidas

centralizadas están enfocadas a la estimación de la QoS en el acceso a Internet de cada usuario mediante la realización de medidas contra un servidor central (ver Fig. 1), gracias a la utilización de un *applet* Java. Las medidas distribuidas, por otra parte, permiten completar la información ofrecida por las primeras mediante la caracterización de la QoS de una comunicación usuario a usuario (*peer-to-peer*). En este caso, es un servidor maestro externo el encargado de ordenar las medidas entre usuarios y recoger los resultados.

El motivo fundamental para la elección de Java en este sistema es que los programas desarrollados en Java pueden ejecutarse sobre cualquier plataforma con el único requisito de haber instalado la máquina virtual Java (*Java Virtual Machine*, JVM). Además, en el caso de la solución centralizada, el uso de *applet* Java no requiere de la instalación de ningún programa adicional por parte del usuario, lo que simplifica su uso.

3.2. Algoritmo de estimación de la QoS

El algoritmo de estimación de la QoS en EQoSIM se basa en el ya presentado en [13]. Este algoritmo trabaja con los siguientes parámetros: ancho de banda total en el cuello de botella (BBw, *Bottleneck Bandwidth*) y ancho de banda disponible en el cuello de botella (ABBw, *Available Bottleneck Bandwidth*) [13,14]. En el caso de EQoSIM, también se han utilizado el retardo y tasa de pérdida de paquetes, ya que se ha considerado que estos cuatro parámetros permiten caracterizar un acceso a Internet de forma adecuada cuando éste se usa para realizar comunicaciones multimedia RT.

De forma más concreta, el algoritmo para la estimación de QoS en EQoSIM es de tipo *One-Way* y se basa en la transmisión de pequeñas ráfagas de k paquetes UDP de longitud conocida S entre el cliente y el servidor. La medida de la distancia temporal entre paquetes consecutivos de las ráfagas recibidas proporciona los elementos necesarios para la estimación de los parámetros de QoS seleccionados. Se ha escogido el protocolo UDP para la realización de las mediciones debido a que las transmisiones multimedia RT suelen emplear el protocolo RTP, a su vez transportado sobre UDP. Por otra parte, el uso de un algoritmo de tipo *One-Way* se justifica dada la asimetría de algunos de los accesos a Internet existentes.

3.3. Despliegue de EQoSIM centralizado

El sistema EQoSIM centralizado se ha desplegado como se muestra en la Fig. 1. Como se puede observar, existe un nodo central al cual acceden los usuarios que quieren realizar estimaciones de QoS. Este nodo contiene un servidor web con las diferentes páginas web y el *applet* Java que implementan la parte de EQoSIM del lado del cliente. Además, en el mismo equipo están instalados el servidor de ráfagas de paquetes UDP

desarrollado para realizar las estimaciones y un servidor de tiempos NTP (*Network Time Protocol*) gracias al que EQoSIM es capaz de realizar medidas de retardo.

4. Análisis del sistema EQoSIM centralizado

A continuación se va a realizar un análisis detallado del sistema EQoSIM en su versión centralizada, paso previo a su puesta en funcionamiento y a la planificación de los parámetros óptimos del algoritmo de estimación que usa. En primer lugar se presentan los protocolos y estructuras de trama utilizados en este sistema para, a continuación, realizar un estudio del tráfico generado por EQoSIM y compararlo con el de otros sistemas. Finalmente, se propone un modelo matemático del error en la adquisición de tiempos motivado por la limitada precisión temporal de las herramientas desarrolladas en Java.

4.1. Protocolos de comunicaciones

Las comunicaciones llevadas a cabo por EQoSIM se basan en el modelo TCP/IP. En la pila de protocolos de la Fig. 2 pueden verse los protocolos usados, mientras que en gris aparece la parte que se ha implementado en EQoSIM.

Al margen de los protocolos estándar que se han empleado en el sistema, se han definido protocolos de intercambio de datos para realizar funciones específicas. Las estructuras de trama de estos protocolos se muestran en la sección 4.1.2.

4.1.1. Flujo de datos para realizar una estimación de QoS

Tal y como se muestra en el diagrama de flujo de datos de la Fig. 3, el proceso de estimación de la QoS en EQoSIM puede separarse en cinco fases:

1. Descarga del *applet*: El acceso a la página web de EQoSIM conlleva la descarga automática de un *applet* que se muestra en el navegador. La medida comienza cuando el usuario pulsa el botón "Comenzar".
2. Sincronización temporal NTP: Antes de realizar la estimación, el *applet* intercambia mensajes NTP con el servidor para realizar la sincronización temporal entre ambos, necesaria para el cálculo del retardo.
3. Acceso al servidor de ráfagas: Posteriormente se establece una conexión TCP con el servidor de ráfagas. Aunque el algoritmo de estimación emplea tramas UDP, se usa TCP para controlar la conexión y establecer los parámetros del algoritmo de estimación.
4. Intercambio de ráfagas: Una vez aceptada la conexión, se envía una ráfaga de

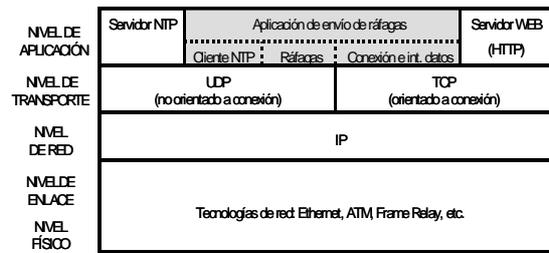


Figura 2: Pila de protocolos empleados en EQoSIM, según el modelo TCP/IP

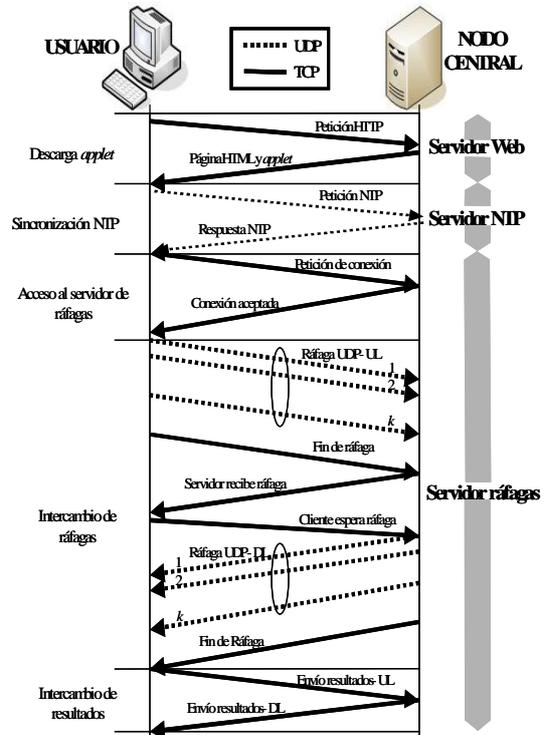


Figura 3: Diagrama de flujo de datos entre un usuario y el nodo central

estimación de k tramas UDP por el enlace ascendente (*uplink*). Puesto que las tramas UDP no llevan confirmación y pueden perderse por el camino, tras completar el envío de la ráfaga se manda un paquete TCP indicando el fin de la misma. Una vez llega al servidor, éste envía otra ráfaga de k tramas UDP al cliente para evaluar el enlace descendente (*downlink*). Un nuevo paquete TCP indica el final de la ráfaga.

5. Intercambio de resultados: Finalmente, el cliente y el servidor intercambian los resultados usando TCP. El *applet* muestra los resultados de la estimación en el navegador y el servidor los almacena para un posterior procesamiento.

4.1.2. Formato de tramas

A continuación se muestra el formato de las tramas no estándar empleadas por EQoSIM. Los distintos campos se han separado con el símbolo "#":

- Estructura de la trama de medida, sobre UDP: `<NT>#<TE>#
#`

TABLA I
TRAMAS INTERCAMBIADAS EN UNA ESTIMACIÓN DE LA QoS

Función trama	Sentido	Protocolo	Funciones TCP	Datos Transporte (bytes)	Datos IP (bytes)	Total IP (bytes)
Petición NTP	UL	UDP		48	56	76
Respuesta NTP	DL	UDP		48	56	76
<i>Three-way handshake</i>	UL/DL	TCP	SYN, SYN/ACK, ACK	0	28+28+20	48+48+40
Petición de conexión	UL	TCP	PSH, ACK	21	41	61
Conexión aceptada	DL	TCP	PSH, ACK	10	30	50
Ráfaga UL (trama enviada k veces)	UL	UDP		S	$S + 8$	$S + 28$
Fin de ráfaga	UL	TCP	PSH, ACK	18	38	58
Reconocimiento TCP	DL	TCP	ACK	0	20	40
Servidor recibe ráfaga	DL	TCP	PSH, ACK	39	59	79
Cliente espera ráfaga	UL	TCP	PSH, ACK	15	35	55
Reconocimiento TCP	DL	TCP	ACK	0	20	40
Ráfaga DL (trama enviada k veces)	DL	UDP		S	$S + 8$	$S + 28$
Reconocimiento TCP	DL	TCP	PSH, ACK	4	24	44
Reconocimiento TCP	UL	TCP	ACK	0	20	40
Envío resultados DL	DL	TCP	PSH, ACK	$32 \cdot k$	$20 + 32k$	$40 + 32k$
Reconocimiento TCP	UL	TCP	PSH, ACK	4	24	44
Envío resultados UL	UL	TCP	PSH, ACK	$32 \cdot k$	$20 + 32k$	$40 + 32k$
Reconocimiento TCP	DL	TCP	ACK	0	20	40

- NT: Número de trama dentro de la ráfaga.
- TE: Tiempo de envío de la trama (ms).
- BR: Bytes de relleno, hasta alcanzar la longitud fijada para la trama.

- Estructura del mensaje de solicitud de envío de ráfaga, sobre TCP:

<TT>#<TR>#<RU>#<RD>#<NU>#<NR>#

- TT: Tamaño de la trama (bytes).
- TR: Tamaño de la ráfaga (número de tramas).
- RU: Retardo entre tramas UDP en sentido ascendente (ms).
- RD: Retardo entre tramas UDP en sentido descendente (ms).
- NU: Nombre de usuario.
- NR: Número de ráfaga.

- Mensaje de intercambio de resultados:

<NT>#<TR>#<TE>#

- NT: Número de trama dentro de la ráfaga.
- TR: Tiempo de recepción (ms).
- TE: Tiempo de envío (ms).

- Otros mensajes: Sirven para realizar la confirmación de final de ráfaga: RÁFAGA RECIBIDA, ESPERO RÁFAGA.

4.2. Estudio del tráfico generado

Una vez presentada la arquitectura de protocolos de EQoSIM, a continuación se realiza un análisis de la cantidad de datos que éste envía a través de la red, dato que depende del número de tramas por ráfaga k

y del tamaño de cada trama S usados en el algoritmo de estimación.

Para poder obtener el tráfico generado, ha sido necesario un análisis a bajo nivel de las tramas enviadas. Dicho análisis parte del código fuente del programa desarrollado (el formato de las tramas intercambiadas se ha presentado en la sección 4.1.2) y de diferentes capturas de tramas obtenidas empleando el software *Ethereal*. Además, el diagrama de flujo de datos de la Fig. 3 es de gran ayuda en este proceso.

La Tabla I recoge las tramas que se envían y reciben en el transcurso de una estimación de QoS. Las filas de color gris corresponden a tramas que no llevan ningún dato sobre el protocolo de transporte, y cuyo único cometido es el establecimiento de la conexión TCP o los reconocimientos de las ráfagas recibidas. En la columna "Sentido" se indica si la trama se envía en sentido ascendente o descendente. En el caso de que la trama se transmita sobre TCP, en la siguiente columna se muestran los correspondientes *flags*. Las tres columnas restantes muestran la cantidad de datos que transportan las tramas a nivel de transporte, de red y la suma total.

Teniendo en cuenta los protocolos empleados en EQoSIM, y sumando los tamaños de las tramas que aparecen en la Tabla I, la cantidad de datos que éste envía a través de la red para realizar una estimación se resume en la Tabla II.

TABLA II
TRÁFICO NECESARIO (BYTES) EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA TRAMA (S) (BYTES) Y DEL NÚMERO DE TRAMAS POR RÁFAGA (k)

Sen- tido	Proto- colo	Datos Transporte (bytes)	Datos IP (bytes)	Total IP (bytes)
UL	TCP	$58+32k$	$226+32k$	$386+32k$
	UDP	$48+kS$	$56+(S+8)$	$76+k(S+28)$
	TOTAL	$106+k(S+32)$	$282+k(S+40)$	$462+k(S+60)$
DL	TCP	$53+32k$	$221+32k$	$381+32k$
	UDP	$48+kS$	$56+k(S+8)$	$76+k(S+28)$
	TOTAL	$101+k(S+32)$	$277+k(S+40)$	$457+k(S+60)$
TOTAL		$207+k(2S+64)$	$559+k(2S+80)$	$919+k(2S+120)$

4.2.1. Comparativa con otros sistemas

En esta sección se presenta una comparativa del tráfico generado por EQoSIM en la realización de una prueba o medida con el que generan otros sistemas ya implantados: Test de velocidad de la Asociación de Usuarios de Internet (AUI) [4] y Velocímetro [5]. Estos sistemas realizan estimaciones sobre TCP, mientras que EQoSIM las hace sobre UDP, por lo que no son sistemas directamente comparables, sino más bien complementarios. Además, conviene destacar que la realización de una prueba en cada sistema no tiene el mismo grado de acierto en la estimación. A pesar de ello, es importante comparar los datos que generan, ya que influirán en el grado de intrusión que tiene el algoritmo de estimación en la red.

En la Tabla III se recoge la cantidad de datos totales a nivel IP (incluyendo páginas web y transferencia de información propia del algoritmo de estimación) enviados por cada uno de los sistemas en una única estimación, y en diferentes accesos. Respecto a EQoSIM, los resultados se ofrecen en función de k y S , cuyos valores dependen de la estimación que se quiera realizar y de la precisión de la misma. En cuanto a Velocímetro y al test de la AUI, el tipo de acceso influye en el tamaño de los ficheros que se transmiten para realizar la estimación.

A partir de estos resultados, cabe resaltar que el sistema EQoSIM es menos intrusivo para la red usando valores habituales de k y S [13].

4.3. Modelo matemático del error en la adquisición de tiempos

La finalidad de esta sección es la de obtener unos resultados de interés a la hora de planificar las pruebas a realizar por el sistema EQoSIM, como son los tamaños óptimos de trama y de ráfaga, y el tráfico mínimo necesario en la estimación.

En una aplicación real existe una cierta granularidad de reloj (G), que se puede definir como el intervalo real de tiempo en el cual el reloj del sistema mide el mismo instante. De esta forma, es posible discretizar el tiempo en intervalos (o *slot* temporales) y considerar que en lugar de conocer el instante exacto

TABLA III
DATOS ENVIADOS A NIVEL IP (BYTES)

Sistema	Uplink	Downlink	Total
EQoSIM	$462+k(S+60)$	$457+k(S+60)$	$919+k(2S+120)$
Velocímetro módem	237751	497778	735529
Velocímetro ADSL 512	1105800	1952541	3058341
Velocímetro LAN	2709070	4466175	7175245
AUI módem	10062	276881	286943
AUI ADSL 512	62365	4290645	4353016
AUI ADSL 2048	121136	8770141	8891277

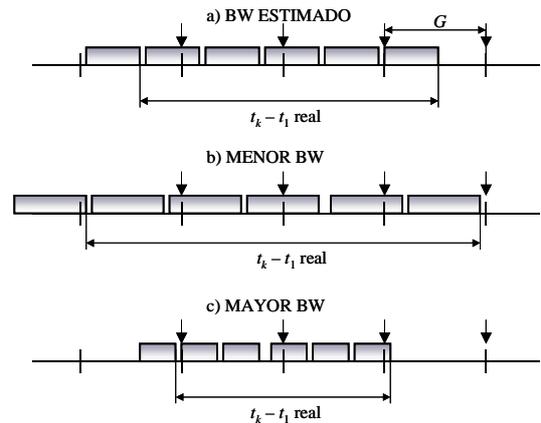


Figura 5: Distintas posibilidades de llegada de una ráfaga de 6 tramas ($k=6$) en $n=4$ intervalos temporales.

de llegada de la i -ésima trama (t_i), lo que se conoce es en qué intervalo temporal ha llegado dicha trama. Por tanto, no se conoce la diferencia de tiempos entre la última (t_k) y la primera trama (t_1), sino el número de intervalos (n) transcurridos entre la llegada de ambas.

La Fig. 5a presenta la llegada de una ráfaga de seis tramas en el cuello de botella, cuyos tiempos de llegada son medidos con una determinada granularidad de reloj G . A la vista de las medidas temporales que se obtienen, en principio podría decirse que la ráfaga ocupa cuatro intervalos de tiempo. Las Fig. 5b y 5c presentan los casos extremos de la situación anterior. La Fig. 5b ilustra el caso de menor ancho de banda real en el cuello de botella. La diferencia de tiempos entre la primera y la última trama es $t_k - t_1 = nG$, con $n = 4$. La Fig. 5c muestra el caso de mayor ancho de banda real en el cuello de botella. La diferencia de tiempos entre la primera y la última trama es $t_k - t_1 = (n-2)G$, con $n = 4$. Teniendo en cuenta estos dos casos extremos, el ancho de banda estimado en el cuello de botella (en bits por segundo, bps) está acotado por un valor máximo y un valor mínimo que, para el envío de una ráfaga de k tramas de tamaño S bytes/trama medido en una máquina con granularidad G segundos, se puede calcular mediante:

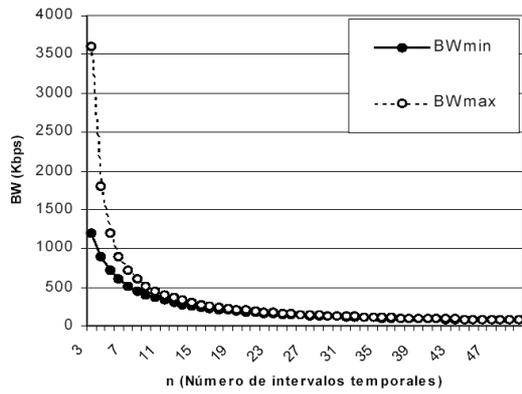


Figura 6: BW_{min} y BW_{max} en función del número de intervalos temporales que ocupa la ráfaga. Para la representación se ha tomado $k=10$, $S=500$ bytes y $G=10$ ms.

$$BW_{min} = \frac{8(k-1)S}{nG} \text{ bps} \quad (1)$$

$$BW_{max} = \frac{8(k-1)S}{(n-2)G} \text{ bps, con } n > 2 \quad (2)$$

Hay que destacar que si el número de intervalos es menor o igual a dos, no se puede estimar un ancho de banda máximo, ya que las tramas no llegan a ocupar ni siquiera uno de los intervalos. En la Fig. 6 se representan gráficamente estas funciones.

El error absoluto cometido en la medición del ancho de banda en el cuello de botella producido por la precisión de reloj es:

$$e_a = BW_{max} - BW_{min} \text{ bps} \quad (3)$$

A partir de este error absoluto, el error relativo en la medición del ancho de banda puede definirse de diferentes formas. Asumiendo que el ancho de banda máximo del cuello de botella es desconocido, se ha optado por definir el error relativo cometido en la medición como:

$$e = \frac{BW_{max} - BW_{min}}{BW_{max}} \quad (4)$$

Esta forma de definir el error relativo permite ponderar la importancia del error absoluto en función del ancho de banda que se esté midiendo. De esta manera, un mismo error absoluto tiene más importancia si se está midiendo un ancho de banda pequeño que si se está tratando con un ancho de banda mayor.

Sustituyendo en (4) los valores de los anchos de banda (1) y (2), el error relativo en función del número de intervalos temporales que ocupa una ráfaga se presenta a continuación. Este resultado puede verse de forma gráfica en la Fig. 7.

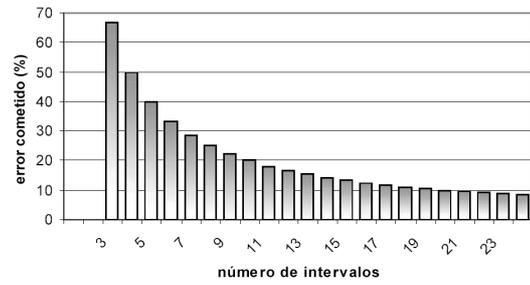


Figura 7: Porcentaje de error ϵ en la estimación en función del número de intervalos temporales

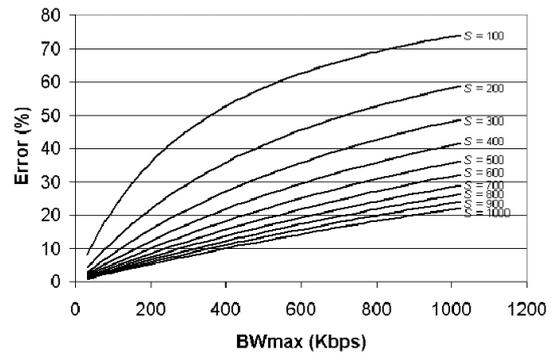


Figura 8: Porcentaje de error ϵ en función del ancho de banda máximo (BW_{max}) y el tamaño de la trama (S) suponiendo una granularidad $G=10$ ms. y un número de tramas por ráfaga $k=10$.

$$e = \frac{\frac{8(k-1)S}{(n-2)G} - \frac{8(k-1)S}{nG}}{\frac{8(k-1)S}{(n-2)G}} = \frac{2}{n} \quad (5)$$

Despejando n en el resultado de (5) y sustituyendo en (2), el ancho de banda máximo es:

$$BW_{max} = \frac{4(k-1)S}{\left(\frac{1}{e} - 1\right)G} \text{ bps} \quad (6)$$

Despejando ϵ de (6), se obtiene la siguiente expresión para el error relativo debido a la precisión temporal:

$$e = \frac{1}{1 + \frac{4(k-1)S}{GBW_{max}}} \quad (7)$$

Suponiendo que el resto de parámetros son constantes, conforme aumenta el ancho de banda el error aumenta, aunque lo hace en menor proporción. En la Fig. 8 se representa el error relativo en función del ancho de banda para distintos valores de S .

Por otro lado, si se fija el porcentaje de error (ϵ) y el ancho de banda máximo BW_{max} (que podrá ser la capacidad máxima que el operador especifica), despejando en la ecuación (6) se obtiene una relación entre S y k :

$$S = \frac{BW_{max}}{4} \left(\frac{1}{e} - 1\right) G \frac{1}{k-1} \text{ bytes/trama} \quad (8)$$

Para hacer más sencillas las expresiones, se define:

$$a = \frac{BW_{max}}{4} \left(\frac{1}{\epsilon} - 1 \right) G \text{ bytes} \quad (9)$$

Una vez fijados G , BW_{max} y ϵ , α es una constante y la ecuación (8) queda:

$$S = \frac{a}{k-1} \text{ bytes/trama} \quad (10)$$

4.3.1. Aplicación del modelo matemático de error a EQoSIM

Teniendo en cuenta el algoritmo de estimación empleado en EQoSIM, esta sección analiza la cantidad de datos que éste envía a través de la red para realizar una única estimación, en función del número de tramas por ráfaga k y del tamaño de la trama S , como viene reflejado en la Tabla II.

Tomando $BW_{max}=128$ Kbps, $\epsilon=5\%$ y $G=10$ ms y sustituyendo la expresión (10) en las ecuaciones de la Tabla II, se obtiene la gráfica de la Fig. 9. Esta gráfica muestra el tráfico necesario (TCP y UDP), al que se denominará B , en función del número de tramas, suponiendo que para cada valor de k se emplea el mínimo tamaño de trama S que permite ajustarse al error fijado.

Como se puede observar, al aumentar el número de tramas por ráfaga, el porcentaje de tráfico útil (teniendo en cuenta que la primera trama de cada ráfaga no lo es) aumenta. En el caso del tráfico TCP, existe una cantidad fija de datos necesaria para establecer y mantener la comunicación que no depende de k . Sin embargo, al enviar sobre TCP los tiempos de llegada de cada una de las tramas UDP, el tráfico TCP crece linealmente al aumentar k . Sumando ambos tráficos (UDP y TCP), se obtiene el tráfico total que, para el caso representado en la Fig. 9, tiene un mínimo en $k=13$. En esas condiciones, se obtiene una estimación con un error debido a la granularidad menor o igual al especificado, empleando la menor carga para la red.

Hay que destacar que en el modelo de error que se ha propuesto sólo se ha considerado la precisión temporal, ya que esta es la principal fuente de error en EQoSIM. No obstante, para valores muy elevados de k hay que tener en cuenta otros factores como, por ejemplo, el número máximo de tramas por segundo que puede enviar la tarjeta de red. Por otro lado, para simplificar las expresiones se ha supuesto que la cantidad de datos enviados es pequeña, de forma que la trama de envío de resultados cabe dentro de un solo datagrama IP. Si no fuera así, habría que considerar el tráfico añadido al enviar más de una trama IP.

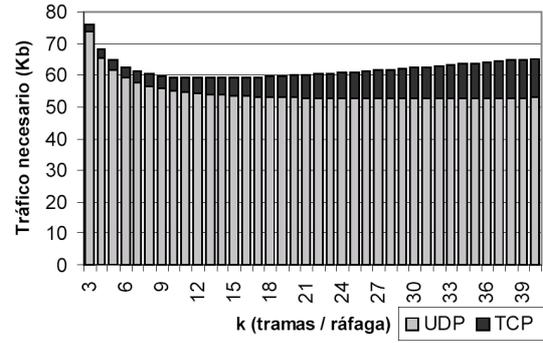


Figura 9: Tráfico necesario en función del número de tramas por ráfaga k , teniendo en cuenta que se emplea el mínimo valor de S para cumplir el error fijado. En esta gráfica, $BW_{max}=128$ Kbps, $\epsilon=5\%$, $G=10$ ms. Se representan los datos para el *uplink* (en el *downlink* es similar).

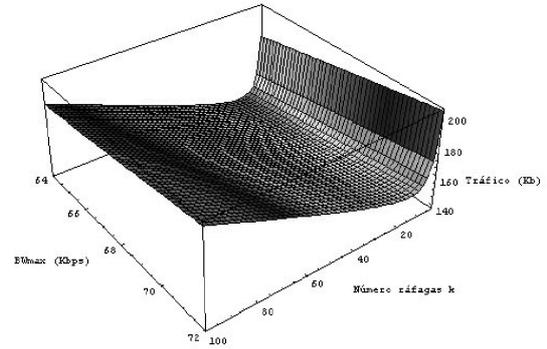


Figura 10: Tráfico total necesario B para realizar la estimación con $G=10$ ms y un error del 15%, en función de BW_{max} y k . Como puede apreciarse, una correcta elección del número de ráfagas supone un gran ahorro de tráfico.

Continuando con el modelo matemático, tomando de la Tabla II la expresión del tráfico total a nivel IP en EQoSIM y sustituyendo (10) en ella, se obtiene una expresión que relaciona el tráfico total necesario (B) en función del tamaño de la ráfaga (k):

$$B = 919 + k \left(2 \frac{a}{k-1} + 120 \right) \text{ bytes} \quad (11)$$

En la Fig. 10 se presenta este resultado en función del ancho de banda máximo (BW_{max}) y el tamaño de la ráfaga (k). Como se puede apreciar, al aumentar BW_{max} , B aumenta y, además, si se fija un valor de BW_{max} , existe un valor óptimo de k que genera el mínimo tráfico necesario para realizar la estimación. Ese valor óptimo depende también de BW_{max} .

Para calcular el valor óptimo de k (denominado k^*), basta con derivar (11) en función de k e igualar el resultado a cero. Resolviendo la ecuación se obtienen las siguientes soluciones:

$$k^* = 1 \pm \sqrt{\frac{\alpha}{60}} = 1 \pm \sqrt{\frac{BW_{max} \left(\frac{1}{\epsilon} - 1 \right) G}{240}} \text{ tramas} \quad (12)$$

Las soluciones con signo negativo se descartan, ya que no representan valores posibles de k (k ha de ser un número natural).

Para asegurar que este k^* corresponde a un mínimo, hay que realizar la segunda derivada de B con respecto a k y comprobar que al sustituir k^* el resultado es mayor que cero:

$$\frac{\partial^2 B}{\partial k^2}(k^*) = \frac{4a}{(k^*-1)^3} = \frac{240\sqrt{60}}{\sqrt{a}} > 0, \text{ ya que } a > 0 \quad (13)$$

Realizando la sustitución puede afirmarse que esa expresión es mayor que 0 y que, por tanto, se trata de un mínimo.

A partir de la solución con signo positivo de (12) y de la expresión (10), se obtiene el tamaño óptimo de trama S^* :

$$S^* = \sqrt{60a} = \sqrt{15BW_{max}\left(\frac{1}{e}-1\right)G} \text{ bytes/trama} \quad (14)$$

Sustituyendo en (12) y (14) los valores más frecuentes de G y BW_{max} , se obtiene la Tabla IV. Estos datos representan los valores óptimos de k y S en función del tipo de acceso del que se disponga, del error deseado y de la granularidad de reloj (10 ms para el caso de Java). Estos valores de k y S pueden usarse en la Tabla III para realizar nuevas comparativas con otros sistemas de estimación de la QoS.

TABLA IV: NÚMERO ÓPTIMO DE TRAMAS POR RÁFAGA (K) Y TAMAÑO ÓPTIMO DE LA TRAMA (S) (BYTES)

G (ms)	ε (%)	BW _{max} (Kbps)											
		64		128		256		512		1024		2048	
		k	S	k	S	k	S	k	S	k	S	k	S
1	1	7	309	9	436	12	617	16	872	22	1234	31	1744
	5	4	136	5	191	6	271	8	382	11	541	14	764
	10	3	93	4	132	5	186	6	263	8	372	10	526
	15	3	74	3	105	4	148	5	209	6	296	8	418
	20	3	62	3	88	4	124	4	176	6	248	7	351
	25	2	54	3	76	3	108	4	152	5	215	7	304
5	1	13	690	18	975	24	1379	34	1950	47	2758	66	3900
	5	7	302	9	428	12	604	16	855	22	1208	30	1709
	10	5	208	6	294	8	416	11	588	15	832	21	1176
	15	4	165	5	234	7	330	9	467	12	660	17	933
	20	4	139	5	196	6	278	8	392	11	555	15	784
	25	3	120	4	170	5	240	7	340	9	480	13	679
10	1	18	975	24	1379	34	1950	47	2758	66	3900	93	5515
	5	9	428	12	604	16	855	22	1208	30	1709	42	2416
	10	6	294	8	416	11	588	15	832	21	1176	29	1663
	15	5	234	7	330	9	467	12	660	17	933	23	1320
	20	5	196	6	278	8	392	11	555	15	784	20	1109
	25	4	170	5	240	7	340	9	480	13	679	17	960

Si se realiza la misma sustitución en la expresión (11), finalmente se obtiene la siguiente expresión del tráfico óptimo, es decir, el mínimo tráfico necesario para realizar la estimación con un error fijado:

$$B^* = 1039 + 2a + 4\sqrt{60a} = 1039 + \frac{BW_{max}}{2}\left(\frac{1}{e}-1\right)G + 4\sqrt{15BW_{max}\left(\frac{1}{e}-1\right)G} \text{ bytes} \quad (15)$$

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un estudio detallado del sistema de estimación de la QoS EQoSIM en dos aspectos fundamentales: la cantidad de tráfico que genera en sus estimaciones y los parámetros óptimos del algoritmo utilizado dependientes de la precisión temporal. La cantidad de tráfico generada ha permitido obtener una tabla que facilita la comparativa con otros sistemas, mientras que el estudio del modelo de error de precisión temporal va a resultar de gran ayuda en la planificación de las estimaciones a realizar con EQoSIM en los diferentes tipos de accesos a Internet.

EQoSIM constituye un sistema de estimación de QoS complementario a otros ya implantados en la actualidad. Una vez hecha la comparativa con ellos, se puede afirmar que las estimaciones de EQoSIM son menos intrusivas en situaciones habituales de uso.

La puesta en funcionamiento de EQoSIM como sistema de estimación generalizado, la planificación de estimaciones en cada uno de los tipos de accesos a Internet existentes en la actualidad, la realización de dichas estimaciones y su comparación con estimaciones similares en otros sistemas constituyen las líneas futuras de este trabajo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos TSI2004-04940-C02-01 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y FIS G03/117 del Fondo de Investigación Sanitaria (FIS), y por la beca FPU AP-2004-3568 de la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación.

Referencias

- [1] S. Cherry, "Seven Myths About Voice over IP", IEEE Spectrum, Vol. 42, No. 3, pp. 52-57, Mar. 2005.
- [2] A. Vogel, B. Kerhervé, G. von Bochmann y J. Gecsei, "Distributed Multimedia and QoS: A Survey", IEEE Multimedia, Vol. 2, No. 2, pp. 10-19, 1995.
- [3] "NLANR Network Performance and Measurement Tools", URL: <http://dast.nlanr.net/NPMT>. Último acceso: 8-9-2005.

- [4] "Test de velocidad del acceso a Internet", URL: http://www.aui.es/au_i_test. Último acceso: 8-9-2005.
- [5] "Velocímetro", URL: <http://www.velocimetro.org>. Último acceso: 8-9-2005.
- [6] "Bandwidth Speed Test", URL: <http://www.bandwidthplace.com/speedtest>. Último acceso: 8-9-2004.
- [7] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", Internet RFC 3550, Jul. 2003.
- [8] J. Fernández, E.A. Viruete, J.C. Ibar, I. Martínez y J.C. Bellido, "Evaluación de QoS en accesos a Internet para aplicaciones Multimedia (EQoSIM)", Libro de Ponencias del X Congreso Mundo Internet 2005, Vol. 2, pp. 179-185, Abril 2005.
- [9] "NLANR Passive Measurement and Analysis (PMA) project", URL: <http://pma.nlanr.net>. Último acceso: 8-9-2005.
- [10] "NLANR Active Measurement Project (AMP)", URL: <http://mna.nlanr.net/AMP>. Último acceso: 8-9-2005.
- [11] J. Curtis y T. McGregor, "Review of Bandwidth Estimation Techniques", Dept. Computer Science, University of Waikato, 2001.
- [12] R. S. Prasad, M. Murray, C. Dovrolis y K. Claffy, "Bandwidth estimation: metrics, measurement techniques, and tools", IEEE Network, Vol. 17, No. 6, pp. 27-35, Nov.-Dic. 2003.
- [13] J. Lafuente, I. García y J. Fernández, "QoS Estimators for Client-Side Dynamic Server selection: Limitations and Keys", Proc. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'04), Jun. 2004.
- [14] N. Hu y P. Steenkiste, "Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Probing Techniques", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 21, No. 6, pp. 879-894, Ago. 2003.