

# EVALUACIÓN DE REQUISITOS DE TRÁFICO EN UNA RED DE TELEMEDICINA

I. Martínez<sup>1</sup>, J. Salvador<sup>1</sup>, J. Fernández<sup>1</sup>, J. García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón  
GTC – I3A. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza.

## ABSTRACT

El estudio teórico de las comunicaciones inter e intra-hospitalarias constituye el primer paso en el diseño de una red de Telemedicina. El análisis de requisitos de las aplicaciones a tiempo real (RT, *Real Time*) y de sus parámetros de calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) completa el estudio global del sistema. Este trabajo define la metodología de evaluación considerando tanto un entorno de simulación basado en el *software* NS (*Network Simulator*) como un escenario de medidas reales utilizando la librería de captura de paquetes *tcpdump*. El método propuesto puede usarse para ajustar los parámetros de la aplicación (e.g. tasa de transmisión de la señal electrocardiográfica (ECG) o segmentación de los ficheros médicos enviados), para garantizar los requerimientos deseados de QoS.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño de red se considera un aspecto fundamental para su implementación, desarrollo y mantenimiento posteriores. Esto introduce una pregunta básica a contestar por el estudio: “¿cuánto ancho de banda es suficiente?” [1]. Pero incluso más importante resulta la evaluación del comportamiento de las redes ya implementadas. Las tecnologías multimedia demandan elevadas prestaciones e infraestructuras, y su potencial impacto en las redes corporativas (e.g. comunicaciones hospitalarias) no ha sido adecuadamente evaluado [2].

Además, un conjunto de requisitos mínimos deben definirse debido a la naturaleza tan variable del tráfico correspondiente a las aplicaciones de Telemedicina (imagen, audio, vídeo), que hace necesario establecer y evaluar los parámetros que proporcionen una cierta QoS de los datos generados [3-4]. Las aplicaciones RT sobre tecnologías LAN (*Local Area Network*) constituyen una solución habitual para integrar las comunicaciones hospitalarias. Pero implican también unas características cuantitativas y cualitativas para garantizar los requerimientos de QoS, diferentes para cada tipo de aplicación [5]. Esto supone un análisis particular de los recursos principales de la red, como el retardo medio y la asignación del ancho de banda disponible.

## 2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Existen varias alternativas para la evaluación del tráfico de una red de comunicaciones, basadas en estudios teóricos o de simulación. En este proyecto, como muestra Fig. 1, se sugiere una definición de metodología dividida en los siguientes pasos:

- **Escenario de estudio.** Incluye la selección de:
  - La topología de conexión inter-hospitalaria, correspondiente al entorno WAN.
  - La topología de conexión intra-hospitalaria, correspondiente al entorno LAN.
  - La aplicaciones de Telemedicina a utilizar.
- **Obtención de tráfico generado por la aplicación.** Dicho tráfico se utilizará en las pruebas de simulación mediante trazas de datos obtenidas a partir de:
  - Capturas de tráfico real.
  - Modelos de tráfico, usando múltiples trazas previas de datos o estudios de los estándares teóricos.
- **Modelado de equipos de red.** Dichos modelos, también utilizados en la fase de simulación, constan de:
  - Información teórica preliminar, mediante la caracterización de las condiciones de los equipos de red (tasa de errores, situaciones de congestión, limitación de buffer, métodos de control, etc.).
  - Información experimental subsecuente, mediante la captura de tráfico en escenario real de laboratorio.
- **Simulación del sistema.** Implica el uso de las trazas de tráfico de la aplicación y del modelo de equipos de red para obtener resultados. Estos resultados serán utilizados para optimizar los parámetros de los modelos y las características de las técnicas de control de red (*scheduling*, funcionalidad de equipos, etc.).

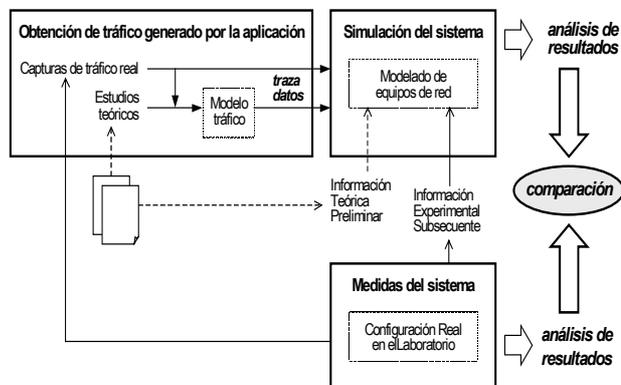


Fig.1. Esquema básico de la metodología de evaluación.

### 3. ESCENARIO DE ESTUDIO

En [6] se presenta un estudio sobre la aplicación de las tecnologías telemáticas al entorno sanitario de la Comunidad de Aragón y el ancho de banda requerido.

El diseño de las comunicaciones entre centros sanitarios a través de red WAN (*Wide Area Network*) se basa en las necesidades de conectividad de las regiones dispersas, considerando la tecnología FR (*Frame Relay*) o similares con enlaces de capacidad máxima de 2 Mbps.

El diseño del acceso LAN está basado en la estructura jerárquica del sistema sanitario [7]. En Fig. 2 se muestra un esquema del modelo de centro de atención primaria que integra los diferentes equipos conectados al *router* frontera con la red WAN. Además, en el sistema también se incluyen otros nodos de la red sanitaria como hospitales, centros de referencia o de especialidad.

También se han considerado diversas aplicaciones de la rutina clínica: transferencias de pruebas médicas y archivos administrativos (intercambio de datos clínicos entre centros o secciones de especialidad), transmisión de señales biomédicas (e.g. ECG, presión sanguínea, pulso), consultas clínicas (durante el acceso a las bases de datos o a los historiales del paciente), y aplicaciones multimedia (e.g. videoconferencia inter-hospitalaria).

Así, el escenario completo de estudio (ver Fig. 3) incluye dos tipos de servicios: de tasa constante (CBR, *Constant Bit Rate*) para aplicaciones a no-tiempo real integrando tráfico continuo y a ráfagas, y de tasa variable (VBR-rt, *Variable Bit Rate – real time*) para aplicaciones a tiempo real o multimedia.

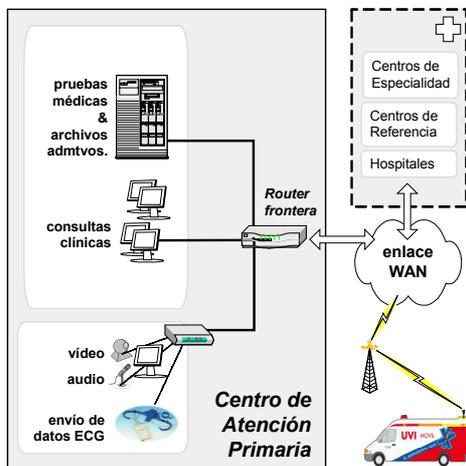


Fig.2. Modelo de red hospitalaria.

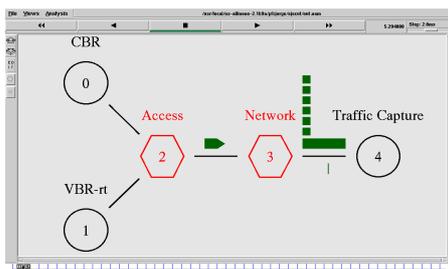


Fig. 3. Entorno de simulación sobre NS.

### 4. SIMULACIÓN DEL SISTEMA

Los modelos de tráfico simulados se han diseñado utilizando el paquete de software libre NS (*Network Simulator*) [8]. Están basados en las clases de servicio previamente definidas (CBR, VBR-rt). Una captura del entorno de simulación se muestra en Fig. 3. CBR se define sobre TCP (*Transmission Control Protocol*) en conexiones sin pérdidas caracterizadas por una tasa de pico (PCR, *Peak Cell Rate*). Se diseñaron dos agentes generadores de tráfico "best-effort" según el modelo ASAP (as-soon-as-possible):

- *FTP*, que genera tráfico continuo modelado por el tamaño de paquete y la tasa de fuente, cuyos rangos de variación dependen del valor de MSS (*Maximum Segment Size*) obtenidos de las pruebas médicas [6].
- *WEB*, que genera tráfico a ráfagas modelado por el tamaño de paquete (según una distribución de Pareto basada en la tendencia "heavy tail" [9]), y el tiempo entre celdas (según una distribución exponencial basada en modelos de Markov [10]).

El servicio VBR-rt se define sobre UDP (*User Datagram Protocol*) para conexiones con tasa de pérdidas no nula caracterizadas por una tasa media (SCR, *Substained Cell Rate*). Se diseñó un agente de servicio multimedia, *RT*, que genera tráfico exponencial a ráfagas modelado por el tamaño de paquete (UDPsize) y el tiempo entre celdas (UDPrate) [11], ambos condicionados por la tolerancia a ráfagas (BT, *Burst Tolerance*) y el tamaño máximo de dicha ráfaga (MBS, *Maximum Burst Size*) según Ec. 1:

$$BT = (MBS - 1) \cdot \left( \frac{1}{SCR} - \frac{1}{PCR} \right) \text{ (cells)} \quad (1)$$

Para el rango de variación de UDPsize se tomaron valores entre 240bytes (MBS=24 en el estándar de audio G.729), 1380 bytes (VPN, *Virtual Private Networks*) ó 1472 bytes (Ethernet, 1500 bytes menos 28 bytes de *overhead*). Los valores de UDPrate se seleccionaron entre 42ms y 126ms (e.g. videoconferencia [12]).

La caracterización de los equipos de la red se diseñó en NS simulando situaciones de congestión en el enlace de interconexión FR [12] considerando asignación de prioridades (basadas en algoritmos SFQ, *Stochastic Fairness Queuing*), tiempos de propagación (inferiores a 150ms para WAN), modelos de pérdidas (< 1%), etc.

Finalmente, se automatizó la metodología de evaluación mediante un ejecutable diseñado en lenguaje C++, a partir de un fichero de configuración (que incluye parámetros de tráfico y características de red) que puede ser lanzado sobre el entorno de simulación NS y sobre un escenario real de laboratorio. Los parámetros de QoS considerados en el proceso fueron:

- CLR (*Cell Loss Ratio*): tasa de pérdidas o porcentaje de celdas perdidas que no alcanzan el destino.
- BW (*Bandwidth*): capacidad del canal utilizada por cada fuente de tráfico. También suele definirse *throughput* como ocupación de BW o flujo de datos.
- CTD (*Cell Transfer Delay*): el retardo extremo a extremo de cada celda, que incluye tiempos de propagación, espera en cola y servicio en los nodos.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Servicio CBR

El análisis CBR se basa en el control de congestión de TCP que habitualmente se define mediante el algoritmo SS (*Slow Start*) [15] para consultar y detectar el estado de la red y conformar el flujo de datos. Se parametriza mediante una ventana de congestión (*cwnd*) y un valor umbral acorde con el ancho de banda disponible (*ssthresh*, que se inicializa por defecto a 65535 bytes, el máximo tamaño de la ventana). Su esquema de funcionamiento ha sido evaluado sobre NS (ver Fig. 4), según el siguiente algoritmo de implementación:

1. Enviar un paquete (al inicio, o después de un *timeout*).
2. Por cada ACK recibido, enviar dos paquetes.
3. Cada instante en que se recibe un nuevo ACK:  
 $if(cwnd < ssthresh) \text{ then}$   
 $\quad cwnd+ = 1; \quad /*incremento multiplicativo/$   
 $\quad \text{else } cwnd+ = 1/cwnd; /*incremento lineal/$
4. Si se da un *timeout* (un paquete ha sido descartado)  
 $ssthresh = cwnd/2; \quad cwnd = 1;$

El efecto del algoritmo SS se ha evaluado en una conexión sin pérdidas ( $CLR \neq 0$ ), para obtener la dependencia con MSS (ver Fig. 5). El CTD es menor cuando el CLR aumenta, debido a que cada activación de SS rompe el envío continuo de paquetes correspondiente a la liberación transitoria del *buffer* que reduce el tiempo de espera en cola y, por tanto, el CTD medio. Si se considera la variación del tamaño del *buffer*, puede calcularse un valor umbral óptimo que minimice el número de paquetes perdidos por congestión del enlace. Además, debido al incremento del CTD cuando MSS aumenta, es deseable la elección de MSS pequeños.

También se evaluó la ocupación de ancho de banda en situaciones de congestión, considerando servicios CBR con prioridades SFQ. La Figura 6 muestra cómo el BW aumenta con MSS pero de forma no lineal. De hecho, debido al uso del algoritmo SS, la influencia del CLR es más determinante que el MSS para paquetes menores de 1500 bytes. Por encima de este valor, el enlace FR a 2Mbps está prácticamente saturado, independientemente del CLR ya que la transmisión de datos excede la ocupación total. Por debajo, es significativo el efecto del CLR debido a que cada celda perdida activa el algoritmo SS, que reduce la tasa de envío (drásticamente con MSS bajos y CLR altos), y permite un BW disponible alrededor de cientos de Kbps. Además, este efecto SS se minimiza utilizando *buffer* (ver la segunda traza de Fig. 6) que garantiza la existencia de celdas y, así, el enlace ocupado.

### 5.2 Servicio VBR-rt

Siguiendo estas restricciones para los umbrales inferiores de MSS y BW disponible (1500bytes y 300Kbps discutidos en Sec. 5.1), y ajustando el retardo al máximo permitido (<150ms), se ha evaluado el servicio VBR-rt.

Así, la evolución del BW medio al modificar UDPsize y UDPrate (indicado en el lateral derecho), se muestran en Fig. 7. Ahora, debido a que UDP no implementa control de flujo, los resultados muestran la tendencia lineal y directamente proporcional (correspondiente al comportamiento teórico de UDP). Así, un enlace con pérdidas influye en el BW en un factor decreciente constante, pero no es relevante en términos del CTD.

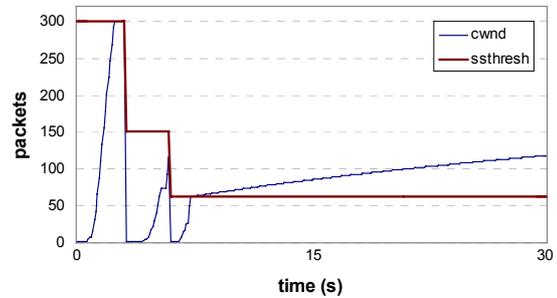


Fig. 4. Esquema de funcionamiento del algoritmo SS.

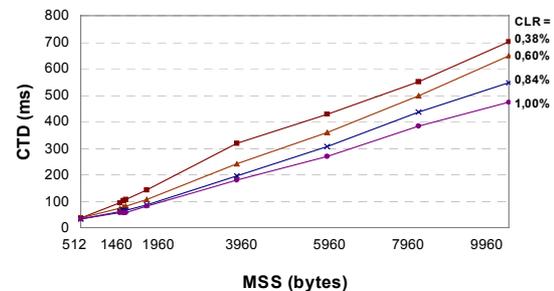


Fig. 5. Evolución del CTD en una conexión con pérdidas.

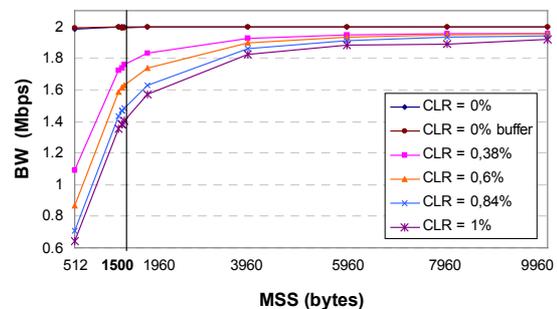


Fig. 6. Variación del BW medio respecto al MSS.

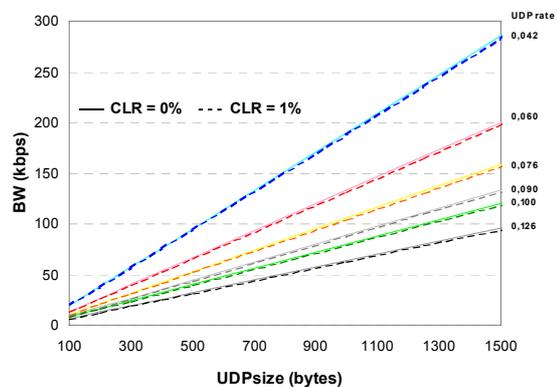


Fig. 7. Throughput respecto a UDPsize y UDPrate.

Finalmente, la evaluación del CTD se discute en Fig. 8. Los resultados de tráfico se han obtenido considerando los entornos FR descritos en la sección 4. Cada gráfica, para 1380 (a) y 1472 bytes (b), representa la variación del CTD para la selección de UDPrate correspondiente al BW disponible (de 64 a 256 Kbps). Por ejemplo, una transmisión RT caracterizada por UDPsize=1472bytes y UDPrate=90ms sobre un enlace de 128Kbps, ver Fig.8(a), no cumpliría el umbral de retardo de 150ms; debería aumentarse UDPrate hasta 100ms, o reducir UDPsize a 1380bytes, ver Fig.8(b).

Pero todos los posibles valores simulados (para UDPsize < 1500bytes) no son deseables de elegir. La Tabla 1, para una situación restrictiva de 128Kbps, indica el porcentaje CLR (%) y el BW sobrante (BW\*) por debajo de la capacidad del enlace, para evitar saturación (*sat*). Siguiendo el ejemplo anterior, la citada transmisión RT implicaría un CLR=1.35% (superior al límite deseado del 1%), que se evitaría tanto con el incremento de UDPrate como con la reducción de UDPsize. Sin embargo, la primera opción es más adecuada (permitiría BW\*=11.29Kbps) que la segunda (sólo BW\*=5.45Kbps), como se muestra en la Tabla 1.

En resumen, la evaluación propuesta en este trabajo constituye una primera aproximación al problema mediante un modelo simplificado de parámetros de tráfico (tamaños y tasas) y estructuras de red (retardo y ancho de banda), siendo necesarios modelos más detallados en las futuras líneas de investigación.

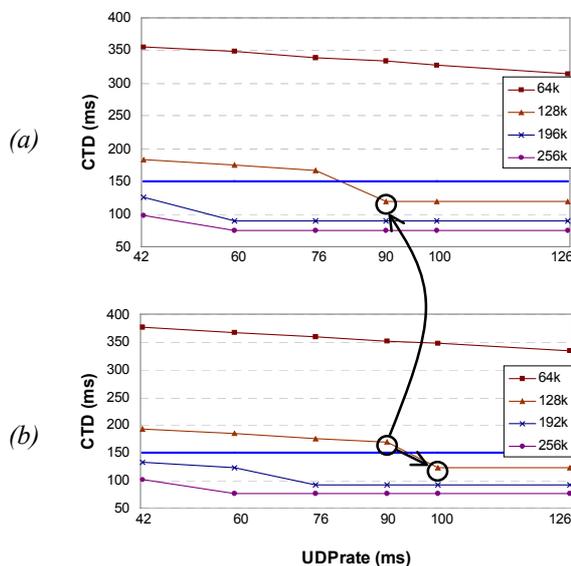


Fig.8. CTD(ms) vs UDPrate(ms) para UDPsize = 1380 bytes (a), 1472 bytes (b).

UDP rate	size = 512		size = 1200		size = 1380		size = 1472	
	CLR	BW*	CLR	BW*	CLR	BW*	CLR	BW*
42	-	30.58	43.97	sat	43.97	sat	53.92	sat
60	-	64.03	19.96	sat	30.38	sat	34.18	sat
76	-	74.17	-	1.84	11.85	sat	16.67	sat
90	-	82.53	-	21.44	-	5.45	1.35	sat
100	-	87.07	-	32.08	-	17.69	-	11.29
126	-	95.53	-	64.08	-	51.92	-	35.43

Tabla 1. CLR y BW sobrante (BW\*) para 128Kbps.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha propuesto una metodología de evaluación de los requerimientos de QoS en una red de Telemedicina definiendo el escenario de estudio y la simulación del sistema. Se han modelado los diversos tráficos obtenidos de la rutina clínica como clases de servicios CBR y VBR-rt, y se ha analizado el sistema completo a partir de un proceso automatizado que permite obtener entornos de simulación sobre NS y escenarios reales de medidas en el laboratorio. A partir del estudio de CBR se han obtenido las restricciones para el BW disponible (cientos de Kbps) y para el tamaño de datos (por debajo de 1500 bytes). Y del análisis de VBR-rt se ha evaluado una relación óptima entre el modelo de aplicación y los recursos de la red de Telemedicina que se ajuste a los valores máximos permitidos de retardo. El método propuesto puede usarse para ajustar los parámetros de la aplicación (e.g. tasa de transmisión de la señal ECG o tamaño de los ficheros médicos enviados), para garantizar los requerimientos deseados de QoS.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Tolly, "Network multimedia: How much bandwidth is enough?", *Data Communications*, no. 23, pp. 44-51, 1994.
- [2] R. Holle and G. Zahlmann, "Evaluation of telemedical services", *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, vol. 3, no. 2, pp. 84-91, 1999.
- [3] K. Shimizu, "Telemedicine by mobile communication", *IEEE Eng Med Biol Mag*, vol. 18, no. 4, pp. 32-44, 1999.
- [4] E.J. Gómez et al, "A broadband multimedia collaborative system for advanced teleradiology and medical imaging diagnosis", *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, vol. 2, no. 3, pp. 146-55, 1998.
- [5] L. Wojnarowski, "Baselink text for Traffic Management Sub-Working Group", *Technical Report 94-0394R4, ATM Forum*, 1994.
- [6] F.J. Martón y J. García, "Diseño de una red telemática global para el sistema de centros sanitarios de Aragón", *XX Congreso Anual de la SEIB*, pp. 389-392, 2002.
- [7] <http://portal.aragob.es/pls/portal30/>
- [8] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation/>
- [9] M.E. Crovella and A. Bestavros, "Self-Similarity in WWW. Evidence and Possible Causes", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 835-846, 1997.
- [10] A. Reyes, "Modelado de tráfico de clientes WWW", PhD Thesis, Univ. Málaga, 2001.
- [11] D. D. Clark, S. Shenker and L. Zhang, "Supporting Real-Time Applications in an Integrated Services Packet Network: Architecture and Mechanism", *Proc. ACM SIGComm Symp*, pp.14-26,1992.
- [12] T.J. Kostas et al. "Real-Time voice over packet-switched networks", *IEEE Networks*, vol.12 no. 1, pp. 18-27, 1998.
- [13] TCPDUMP software. <http://www.tcpdump.org/>
- [14] RFC2330. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2330.txt>.
- [15] RFC2001. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2001.txt>