

Efecto de los errores en un canal inalámbrico sobre la calidad del vídeo de ecografía transmitido en tiempo real

C. Hernández¹, A. Alesanco¹, J. García¹

¹ Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones, Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón, Universidad de Zaragoza {chramos, alesanco, jogarmo}@unizar.es

Resumen

En este artículo se presenta un estudio sobre los efectos de los errores en un canal inalámbrico sobre la transmisión de vídeo de ecografía en tiempo real. Para simular la transmisión sobre un canal inalámbrico se ha utilizado el modelo de Gilbert-Elliott, evaluándose la influencia de los distintos parámetros del canal en la calidad del vídeo transmitido. Además, se ha estudiado la eficiencia de la utilización de los protocolos de transporte: UDP y UDP-Lite. También se ha analizado el efecto de utilizar el codec de vídeo XviD con distintas tasas de compresión. Basándonos en los resultados obtenidos se observa que la elección de la tasa de compresión del codec dependerá de la tasa de error de bit (BER) del canal, de forma que la elección de una tasa de compresión alta para la transmisión de ecografía puede provocar una mayor distorsión en el vídeo recibido que si se elige una tasa de compresión menor. Por otra parte, se observa que utilizando el protocolo de transporte UDP se obtienen mejores resultados en todo los casos estudiados.

1. Introducción

De los numerosos campos que engloba la Telemedicina, cabe destacar la importancia de aquellos destinados a proporcionar servicios sanitarios a pacientes con cardiopatías, que en su mayoría tienen un carácter crónico. En muchos de estos casos, los pacientes deben desplazarse grandes distancias para llegar al hospital donde se encuentra el cardiólogo que realiza el seguimiento de la enfermedad [1]-[3].

La ecocardiografía es una técnica ampliamente utilizada en cardiología para realizar un primer diagnóstico de una cardiopatía y para efectuar un control periódico de las mismas. Esta técnica está basada en el registro de vídeo de ultrasonidos y presenta varias ventajas sobre otras técnicas de adquisición de imágenes médicas: es no invasiva, no produce radiación ionizada y es relativamente barata. Por estos motivos, el uso de las redes de comunicación para transmitir el vídeo de ecografía desde el centro de salud más cercano al paciente, o incluso su domicilio, hasta el hospital donde se encuentre el especialista supone un ahorro en tiempo, dinero y molestias, tanto para el paciente como para el servicio de salud. La rápida evolución de las tecnologías de redes móviles e inalámbricas ha permitido la aparición de nuevos escenarios de aplicación de los sistemas de telemedicina, como aquellos situados en zonas rurales de difícil acceso o en vehículos de emergencia, mejorando la

calidad, el acceso, la equidad y la continuidad de la asistencia médica. Sin embargo, la utilización de canales inalámbricos para transmitir la información conlleva una serie de consideraciones relacionadas con el canal como son las altas tasas de error y los desvanecimientos de la señal.

Tradicionalmente, las aplicaciones en tiempo real han utilizado UDP (*User Data Protocol*) como protocolo de transporte [4]. UDP es un protocolo no orientado a conexión, que no realiza retransmisiones cuando recibe un datagrama con errores. Esto lo convierte en un protocolo indicado para las comunicaciones con altas restricciones de retardo, como es la transmisión de vídeo en tiempo real. Si hay un error en el datagrama, el paquete se descarta y la información se pierde. UDP-Lite [5] es un protocolo basado en UDP que sólo realiza la detección de errores en la cabecera del datagrama y, opcionalmente, parte de los datos, permitiendo que la información llegue a su destino aunque contenga errores.

Para poder transmitir la información en tiempo real es necesario realizar la compresión del vídeo de ultrasonidos con el fin de optimizar el uso de los recursos de red. Una solución muy extendida para comprimir el vídeo de ultrasonido ha sido la utilización de métodos de compresión para vídeo convencional, como aquellos usados en la codificación de películas [6]-[7]. Sin embargo, la compresión y transmisión del vídeo de ecografía no debe degradar la calidad de las imágenes, impidiendo efectuar un diagnóstico médico a partir de ellas.

En este artículo se estudia el efecto de las condiciones de un canal inalámbrico en la calidad del vídeo de ecografía transmitido. También se evalúa la eficiencia de usar los protocolos UDP y UDP-Lite.

2. Materiales y métodos

2.1. Ecocardiogramas

El vídeo de ecografía utilizado en este estudio fue adquirido en la consulta de un cardiólogo utilizando un ecógrafo portátil, SonoHeart SonoSite Elite, conectado a un ordenador mediante una tarjeta digitalizadora de vídeo, Plextor ConvertX M-402U. Se trata de una secuencia de vídeo de 12 minutos de duración con una velocidad de frame de 25 frames por segundo y una resolución de 640x480 píxeles codificados en formato RGB24 (24 bits

por píxel). Es un vídeo de ecografía muy representativo ya que muestra los distintos modos de ecocardiografía: modo 2D, modo doppler, modo de doppler pulsado y continuo y modo M.

La secuencia de vídeo original requiere la utilización de un gran ancho de banda para poder ser enviada en tiempo real a través de un canal inalámbrico (aproximadamente 180 Mbps). Por este motivo se realiza la compresión del vídeo utilizando XviD [8]. Este codec está basado en el estándar MPEG-4, es de código abierto y permite realizar la codificación en tiempo real, obteniendo vídeos de buena calidad usando tasas de compresión relativamente bajas. En estudios previos [9], se ha evaluado el efecto de la compresión sobre la calidad del vídeo utilizando dos codecs basados en MPEG-4 (XviD y DivX).

A partir de la secuencia de vídeo original, se obtienen trazas del vídeo comprimido con información referente a cada frame: número de secuencia, instante de la muestra, tamaño y datos del frame.

2.2. Protocolo de transporte

Con la información de cada frame se construye un paquete encapsulando los datos a través de la pila de protocolos, añadiendo las cabeceras correspondientes a cada capa. En este estudio se utilizan como protocolos de transporte UDP y UDP-Lite. La cabecera del datagrama UDP consta de cuatro campos: puerto origen, puerto destino, longitud y *checksum*. El campo longitud indica la longitud de todo el datagrama: cabecera y datos, y el *checksum* se utiliza para realizar el control de errores en la totalidad del datagrama. Si hay un error en el datagrama UDP, el *checksum* no será correcto y el paquete será rechazado. El datagrama de UDP-Lite es similar al de UDP, pero en este caso, el campo longitud es sustituido por el de *cobertura*, que indica el número de bytes considerados por el *checksum* para realizar la comprobación de errores. De esta forma, si el campo cobertura sólo incluye la cabecera, los paquetes con errores en los datos no serán descartados. El protocolo usado en la capa de red es el protocolo de Internet (IP). Para este estudio, no se consideran los errores en la cabecera, debido a que la mayoría de los protocolos de redes móviles inalámbricas realizan la compresión de la cabecera, quedando reducida a unos pocos bytes que son despreciables frente a la longitud de los datos [10].

2.3. Canal inalámbrico

Con el fin de simular la transmisión a través de un canal inalámbrico se utilizó el modelo de canal de Gilbert-Elliot [11], cuyo principio de funcionamiento corresponde al de una cadena de Markov de dos estados (Figura 1).

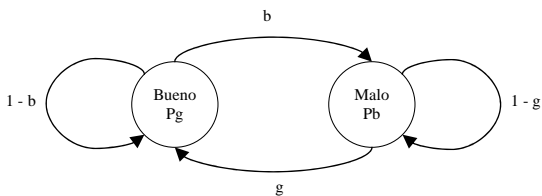


Figura 1. Modelo de canal de Gilbert-Elliot.

Como se observa en la Figura 1, hay un estado *Buena* donde la probabilidad de error es P_g , y un estado *Mala* donde la probabilidad es P_b . La probabilidad de error en el estado *Buena* es considerablemente inferior a la del estado *Mala*. Los parámetros b y g representan la probabilidad de transición desde el estado *Buena* al *Mala*, y del estado *Mala* al *Buena*, respectivamente. Las siguientes expresiones muestran la relación entre las probabilidades de transición y las propiedades del canal.

$$g = \frac{1}{ABL} \quad (1)$$

$$b = \frac{BER - P_g}{ABL \cdot (P_b - BER)} \quad (2)$$

siendo BER la tasa de error de bit medio del canal y ABL, la longitud media de ráfaga de bits erróneos. La variación de estos parámetros influirá en la frecuencia y duración de las ráfagas de errores.

2.4. Evaluación del vídeo recibido

Tras ser transmitidos a través del canal, los paquetes se desencapsulan para obtener los datos correspondientes a cada frame de vídeo. Si un frame es rechazado y no llega a su destino, se reemplaza por el frame anterior para, de esta forma, mantener la velocidad de frame. Cada frame recibido se descomprime y se compara con el frame correspondiente del vídeo original para poder evaluar la pérdida de calidad producida tras el proceso de compresión y transmisión. Para poder cuantificar esta pérdida de calidad se utiliza el índice de distorsión señal a ruido (PSNR), que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N [I(x, y) - J(x, y)]^2 \quad (4)$$

donde MSE es el error cuadrático medio, $I(x,y)$ es el frame original, $J(x,y)$ es el frame descomprimido, y $M \times N$ es la dimensión del frame expresada en píxeles.

3. Resultados y discusión

Para poder evaluar el efecto de la transmisión de ecografías en tiempo real, se estudiaron dos modelos distintos de canal. Uno con un ancho de banda de 384 Kbps, característico de las redes UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), y otro con un ancho de banda de 1 Mbps para evaluar la transmisión en una red Wi-Fi.

En ambos modelos de canal, la probabilidad de error en el estado *Mala* (P_b) fue 10^{-2} , y en el estado *Buena* (P_g) fue 10^{-7} . El resto de propiedades consideradas para estudiar su influencia en la calidad del vídeo recibido se muestran en la Tabla 1. Para cada combinación posible de estos parámetros, se simuló la transmisión del vídeo comprimido utilizando ambos protocolos: UDP y UDP-

Lite, y para cada combinación de parámetros se repitió la transmisión 10 veces, con el propósito de obtener una media estadística significativa de los resultados, realizando un total de 4480 transmisiones de vídeo.

Protocolos	Ancho de banda del canal (Kbps)	Tasa de compresión (Kbps)	ABL (bytes)	BER
UDP	384	64	10	10^{-6}
		128	50	
		384	100	
UDP-Lite	1024	64	500	10^{-5}
		128	1000	10^{-4}
		384	5000	10^{-3}
		768	10000	
		1024		

Tabla 1. Propiedades de canal y vídeo.

El efecto del BER sobre la calidad del vídeo transmitido usando ambos protocolos se muestra en la Figura 2. Los resultados representados corresponden a la transmisión del vídeo comprimido utilizando una tasa de compresión de 384 Kbps, sobre un canal con un ancho de banda de 384 Kbps y unos valores de ABL de 10, 500 y 10000 bytes. Observando estos resultados se aprecia que cuando se incrementa el BER, la calidad del vídeo transmitido disminuye, y como para un mismo valor de BER, cuando el ABL es mayor, se obtienen mejores resultados de PSNR. Comparando ambos protocolos se observa una clara superioridad de UDP en todos los casos, siendo más significativo cuando el BER es mayor.

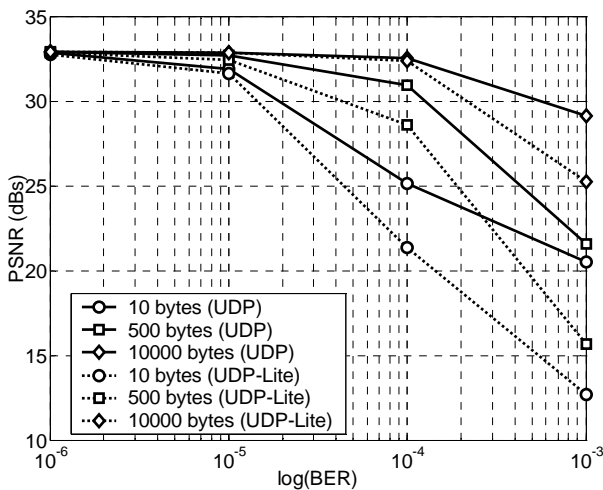


Figura 2. Comparativa de la influencia del BER sobre la calidad del vídeo para UDP y UDP-Lite.

La influencia del BER sobre la calidad del vídeo se muestra en la Figura 3, pero ahora, se estudia el comportamiento de las diferentes tasas usadas en la compresión del vídeo. En este caso, se evalúa la transmisión del vídeo usando UDP sobre un canal con un ancho de banda de 1 Mbps y un ABL de 500 bytes. La Figura 3 muestra el efecto conjunto de los errores de compresión y los errores introducidos durante la transmisión a través del canal inalámbrico. Los valores de PSNR en el eje Y muestran únicamente el error de compresión, considerando la transmisión sobre un canal ideal, sin errores. Cuando aumenta la tasa de compresión,

la calidad del vídeo mejora. Sin embargo, cuando se incrementa el BER del canal, la calidad del vídeo empeora, siendo este efecto más considerable cuando la tasa de compresión es mayor. Esto es debido a que cuando se utiliza una tasa de compresión grande, los frames comprimidos tienen mayor longitud y por tanto, están más expuestos a ser afectados por los errores del canal.

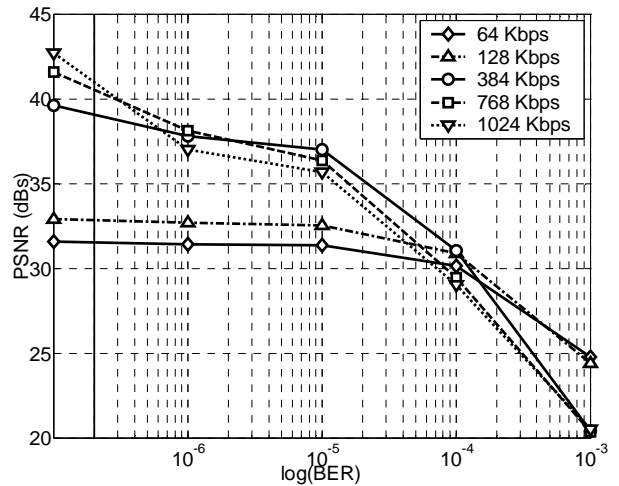


Figura 3. Efecto del BER sobre la calidad del vídeo para cada tasa de compresión utilizando UDP.

Los efectos de la compresión y transmisión en tiempo real sobre la calidad subjetiva del vídeo se muestran en las Figuras 4, 5 y 6. La primera imagen corresponde a un frame extraído del vídeo original, antes de ser comprimido y transmitido. La segunda imagen muestra el efecto de la compresión del vídeo usando el codec XviD con una tasa de compresión de 384 Kbps. Finalmente, la tercera imagen muestra el mismo frame comprimido tras ser transmitido a través de un canal inalámbrico con un ancho de banda de 1 Mbps y un BER de 10^{-4} . Como se observa en estas imágenes, el efecto de la compresión es apenas significativo, sólo se aprecia, en ocasiones, una pequeña pérdida de detalle o se introducen unos pocos píxeles erróneos. La pérdida de calidad más significativa se produce cuando el vídeo comprimido se transmite a través de un canal erróneo.

4. Conclusiones

Tras evaluar los efectos de las propiedades de un canal inalámbrico sobre la calidad del vídeo de ecografía transmitido, se observa que la elección de la tasa de compresión del codec depende del BER del canal. Cuantos más errores presente el canal, la tasa de compresión elegida no debería ser muy alta con el fin de obtener unos valores de calidad aceptables. Usando UDP como protocolo de transporte se obtienen en todos los casos, mejores valores de PSNR que utilizando UDP-Lite. A la vista de estos resultados, es mejor rechazar los frames erróneos, sustituyéndolos por el frame anterior, en lugar de introducir frames con errores. Sin embargo, es necesario señalar que los resultados obtenidos en este estudio se corresponden con índices matemáticos que

proporcionan una referencia sobre la elección de los parámetros de compresión en una transmisión sobre un canal inalámbrico. Actualmente, se está llevando a cabo un análisis cualitativo de los vídeos por parte de cardiólogos, así como también se está evaluando la relación entre los valores de PSNR obtenidos en este estudio y la calidad de los vídeos para uso clínico.



Figura 4. Frame de vídeo original.



Figura 5. Frame reconstruido tras comprimirlo con XviD.



Figura 6. Frame reconstruido tras ser comprimido y transmitido a través de un canal inalámbrico con errores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos TSI2004-04940-C02-01 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), proyecto PI051416 del Fondo de Investigación Sanitaria (FIS) y el European IST Project PULSERS Phase II (IST – 027142).

Referencias

- [1] [1] S. B. Freedman, *Direct transmission of electrocardiograms to a mobile phone for management of a patient with acute myocardial infarction*, Journal of Telemedicine and Telecare, 1999; Vol. 5: pp. 67-69.
- [2] D. Shanit, R. A. Greenbaum, *Towards a comprehensive telecardiology monitoring centre for community-based services*, Journal of Telemedicine and Telecare, 1997; Vol. 3: pp. 60-62.
- [3] G. Molinari, G. Reboa, M. Frascio, M. Leoncini, A. Rolandi, C. Balzan, A. Barsotti, *The role of telecardiology in supporting the decision-making process of general practitioners during the management of patients with suspected cardiac events*, Journal of Telemedicine and Telecare, 2002; Vol. 8: pp. 97-101.
- [4] Postel, J., *User Datagram Protocol, RFC 768*, USC/Information Sciences Institute, August 1980. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>
- [5] Lars-Ake Larzon, Mikael Degermark, Stephen Pink, Lars-Erik Jonsson, Godred Fairhurst, *The Lightweight User Datagram Protocol (UDP-Lite)*, Internet proposed standard RFC 3828, July 2004. Available: <http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=3828>
- [6] F. Y. Chan, A. Taylor, B. Soong, B. Martin, J. Clark, P. Timothy, A. Lee-Tannock, L. Begg, R. Cincotta, R. Wootton, *Randomized comparison of the quality of realtime fetal ultrasound images transmitted by ISDN and IP videoconferencing*, Journal of Telemedicine and Telecare, 2002; 8: 91-96.
- [7] Sun K. Yoo, D. K. Kim, S. M. Jung, E-K Kim, J. S. Lim, J. H. Kim, *Performance of a Web-based, realtime, tele-ultrasound consultation system over high-speed commercial telecommunication lines*, Journal of Telemedicine and Telecare, 2004; 10: 175-179.
- [8] *Home of the XviD codec*. Available: <http://www.xvid.org>.
- [9] C. Hernández, A. Alesanco, R. Granero, J. García. "Diseño y evaluación de un sistema de teleecardiografía en tiempo real" .XXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB 2005), Madrid, pp. 243-246. Noviembre. 2005.
- [10] Seeling, P.; Reisslein, M.; Fitzek, F.H.P.; Hendrata, S.; *Video quality evaluation for wireless transmission with robust header compression* Information, Communications and Signal Processing, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia. Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Volume 3, 15-18 Dec. 2003 pp. 1346 - 1350 vol.3.
- [11] J. P. Ebert and A. Willig. *A Gilbert-Elliot Bit Error Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation*. Technical University Berlin. Telecommunication Networks Group. Berlin, March 1999.