

Sistema de telemonitorización en vehículos de emergencias médicas sobre UMTS

E. Viruete, C. Hernández, J. Ruiz, J. Fernández, A. Alesanco, E. Lleida, A. Ortega, A. Hernández, A. Valdovinos, J. García

eviruete@unizar.es, alu2096@csi.ull.es

Tlf: 976 762698 – Fax: 976 762111

Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, España

Resumen

En este artículo se presenta un sistema de telemonitorización de pacientes en entornos de emergencias médicas diseñado para comunicar al personal de una ambulancia con especialistas en un hospital remoto. La arquitectura del sistema está basada en protocolos avanzados de señalización que permiten llevar a cabo sesiones multicolaborativas. El sistema cuenta con: transmisión en tiempo real de señales biomédicas (incluyendo ECG, presión sanguínea y saturación de oxígeno en sangre), videoconferencia, transmisión de imágenes de alta resolución y otras facilidades como pizarra multicolaborativa, chat y acceso web a bases de datos. Para simplificar su uso, dispone de una interfaz manos libres con reconocimiento de voz, además de un sistema de cancelación de ecos y ruido en el interior de la ambulancia. El sistema ha sido optimizado para operar sobre redes móviles de tercera generación usando los codecs más apropiados. Los resultados de evaluación muestran un comportamiento fiable sobre redes UMTS.

1. Introducción

La telemedicina móvil (m-health) constituye un área nueva dentro de la telemedicina que trata de aprovechar los avances más recientes en el contexto de las redes móviles para aplicarlos al entorno de las aplicaciones de telemedicina. La convergencia de información e infraestructuras de telecomunicaciones alrededor de los sistemas de telemedicina y teleasistencia médica está fomentando el desarrollo de muy diversas aplicaciones móviles eficientes y de bajo coste. Una revisión acerca de aplicaciones de telemedicina inalámbricas y sistemas m-health puede encontrarse en [1,2].

Dentro de la telemedicina, la telecardiología es una de las áreas más maduras. En ella, la transmisión de señales electrocardiográficas (ECG) es un campo ampliamente tratado en el que la aparición de redes móviles abre nuevas posibilidades. Uno de los retos principales de la telecardiología lo constituyen la monitorización de pacientes y el diagnóstico temprano en el área de las emergencias médicas, donde es necesaria la transmisión de ECG en tiempo real.

La telemedicina de emergencia es sinónimo de telemedicina móvil, ya que la única forma de comunicar una ambulancia

con un hospital es a través de un canal inalámbrico. En [3] se desarrolló un sistema donde las señales ECG se transmitían desde una ambulancia al hospital usando un canal móvil. La experiencia fue satisfactoria, consiguiendo reducir el tiempo necesario para reconocer a un paciente una vez llegado al hospital.

En este contexto, este artículo presenta un sistema de telemonitorización de pacientes en vehículos de emergencias médicas sobre UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).

En la sección 2 se expone la arquitectura del sistema desarrollado. Posteriormente, en la sección 3 se describen los módulos de la interfaz de usuario de forma detallada. La sección 4 recoge los resultados obtenidos en diversas pruebas de evaluación del sistema. Finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones y posibles líneas futuras de este trabajo.

2. Arquitectura del sistema

El sistema de telemonitorización desarrollado se ubica dentro de un entorno de emergencias médicas como el presentado en la Figura 1.

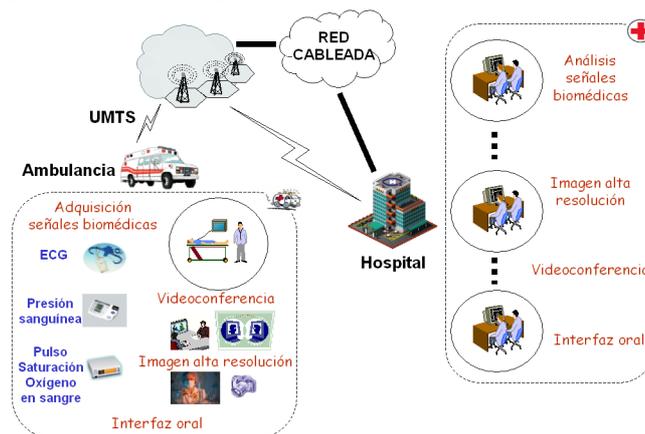


Fig. 1: Entorno de emergencias médicas

En este entorno, una ambulancia equipada de forma adecuada puede conectarse a una red hospitalaria a través de una red móvil UMTS. En los hospitales, uno o varios médicos participan en una sesión multipunto con la ambulancia dentro de un entorno multicolaborativo, recibiendo información acerca del paciente y de su

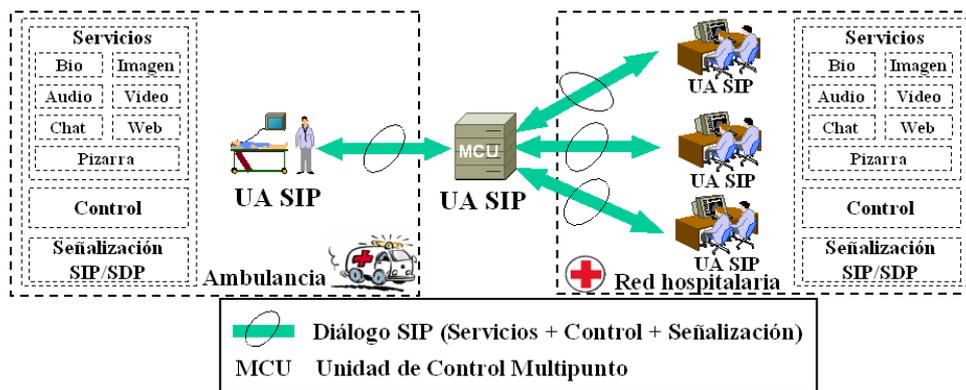


Fig. 2: Arquitectura funcional y servicios de red del sistema

estado. De esta forma pueden emitir un diagnóstico en el menor tiempo posible.

A continuación se describen los aspectos más relevantes de la arquitectura de este sistema:

i. Características básicas: La arquitectura del sistema está basada en los protocolos SIP (Session Initiation Protocol) [4] y SDP (Session Description Protocol) [5]. Tanto la ambulancia como los médicos participantes en una sesión se unen a la misma a través de la creación de un diálogo SIP en el momento en el que se conectan al sistema. Los mensajes SIP que sirven para la creación de cada diálogo transportan, a su vez, mensajes SDP con la descripción (protocolo de transporte, puertos y codecs utilizados) de todos los servicios de red que serán enviados en el contexto del diálogo.

ii. Arquitectura funcional: Desde un punto de vista funcional, el sistema está estructurado según una topología en estrella, cuyo elemento central es el encargado del establecimiento, mantenimiento y liberación de la sesión multipunto entre todos los participantes en la misma. Cada uno de ellos establece un diálogo SIP con este elemento central o MCU (Multipoint Control Unit), el cual se ocupa de recibir la información de los servicios de red, procesarla de forma adecuada y reenviarla hacia su destino.

La Figura 2 presenta la arquitectura funcional del sistema, poniendo especial énfasis en el uso del protocolo SIP como base del mismo. Como se puede observar, todos los elementos cuentan con un agente de usuario (UA) SIP encargado del establecimiento, mantenimiento y liberación de los diálogos SIP. Los extremos del sistema crean un único diálogo SIP cada uno, mientras que la MCU, gracias a un UA SIP más elaborado, puede mantener varios diálogos SIP al mismo tiempo, permitiendo así la operación multipunto.

iii. Servicios de red: Los servicios de red incluidos en el sistema desarrollado están asociados a información que se desea compartir dentro de un entorno multicolaborativo. La única excepción la constituye el servicio web, incluido como un servicio más, pero fuera del ámbito compartido. De forma más concreta, el sistema cuenta con servicios para compartir información biomédica, audio, vídeo, imágenes de alta resolución e información de carácter gráfico y textual. A todos ellos debe añadirse un servicio definido exclusivamente para el intercambio de información de control.

Cada uno de estos tipos de información se encuentra asociado a un servicio de red determinado. Concretamente, existen siete servicios de red en una sesión a través de este sistema: audio, vídeo, información biomédica (Bio), control, pizarra, chat e imagen (Figura 2). Cada uno de ellos usa un protocolo de transporte adecuado a sus características, por lo que los servicios en tiempo real (audio, vídeo e información biomédica) usan el protocolo RTP (Real-Time Transport Protocol), mientras que el resto de servicios utilizan el protocolo TCP (Transmission Control Protocol).

El servicio de red de control es el más importante de todos, ya que se encarga de la transmisión de información relativa al estado, gestión y mantenimiento del sistema. Además, permite indicar a la MCU los destinatarios de la información recibida.

iv. Calidad de servicio (QoS): Para el envío de la información asociada a los servicios de red se ha desarrollado una librería de transporte que permite al sistema abstraerse de las particularidades de la red que lo soporta. Además, esta librería ofrece la posibilidad de utilizar las colas asociadas a los servicios con diferentes políticas de trabajo, lo que unido a un conjunto de herramientas para medir parámetros de red (retardo, ancho de banda y pérdidas), le permiten informar sobre la QoS obtenida en cada instante. De esta forma, y a través de señalización SIP/SDP, los participantes en una sesión pueden adecuar parámetros de protocolos de alto nivel (codecs usados, tasa de transmisión, tasa de compresión, etc.) de forma que la información transmitida se encuentre adaptada a las características de la red en cada momento.

v. Funcionamiento de la MCU: La MCU, como elemento central del sistema, es la encargada de recibir y procesar la información asociada a cada servicio de red para su posterior envío en función del plano de presentación especificado a través del servicio de control. Cada servicio de red tiene asociado un plano de presentación que define la forma en la que se va a enviar la información y sus destinatarios (Figura 3). El tratamiento que reciben los servicios en la MCU es básicamente el mismo, y consiste en el mero reenvío de la información, salvo las lógicas excepciones de servicios tales como audio, vídeo e información biomédica:

- Audio: La MCU incorpora un mezclador de audio que decodifica la señal de audio asociada a cada

usuario y la suma a la del resto para su posterior codificación y envío.

- **Video:** El servicio de vídeo desarrollado permite visualizar, además del usuario local, a un único usuario remoto. Ello supone que la MCU sólo reenvía una señal de vídeo a cada usuario del sistema. La señal elegida es comunicada a la MCU a través del servicio de control.
- **Información biomédica:** El tratamiento del servicio de información biomédica en la MCU es similar al del servicio de vídeo. La información biomédica es generada únicamente por un usuario del sistema (ambulancia), mientras que el resto sólo puede actuar como receptor de la misma.

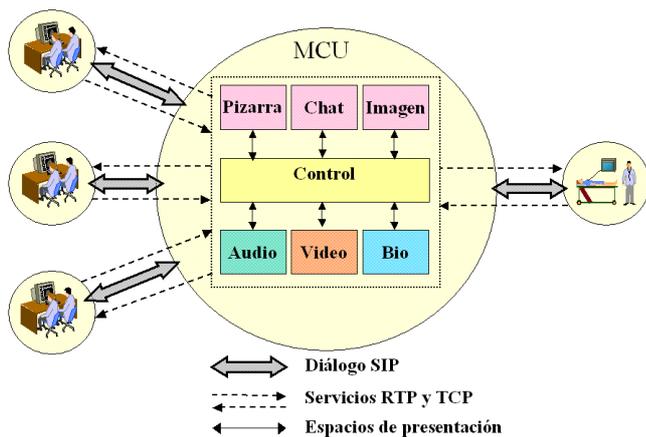


Fig. 3: Servicios en la MCU

vi. Seguridad: El sistema permite el cifrado de las comunicaciones mediante el protocolo IPsec (IP Security Protocol) para garantizar confidencialidad, integridad, autenticación y no repudio en las mismas.

vii. Interfaz de usuario: La interacción entre un usuario y este sistema se realiza a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada bajo entorno Windows. En la siguiente sección se describen los módulos de esta interfaz de forma detallada.

3. Módulos de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario del sistema se ha dividido en una serie de módulos asociados al tipo de información que tratan. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de dichos módulos:

i. Módulo de señales biomédicas: Se encarga de la adquisición, compresión, codificación, representación y transmisión de las señales biomédicas. Los equipos médicos utilizados para realizar la adquisición son un electrocardiógrafo, un pulsioxímetro y un tensiómetro. La señal de ECG se almacena siguiendo el estándar SCP-ECG (Standard Communication Protocol – ECG). Con el fin de mejorar la eficiencia en la transmisión, se realiza la compresión de la información de ECG mediante la Transformada Wavelet (WT) y se emplea una codificación basada en códigos de longitud variable reversibles (RVLC, Reversible Variable Length Code).

ii. Módulo de videoconferencia: Realiza la captura, envío y reproducción de la información de vídeo y audio obtenidas mediante una cámara web y un micrófono.

Con el fin de reducir el ancho de banda, estos datos se someten a un doble proceso de compresión y codificación. Para el tratamiento de la señal de vídeo se sigue el estándar H.263, mientras que el audio se codifica usando el codec AMR (Adaptive Multi-Rate).

iii. Módulo de imagen de alta resolución: Permite obtener imágenes de alta calidad mediante el uso de una cámara conectada al ordenador a través de una tarjeta de adquisición de imágenes. Este módulo cuenta con opciones para previsualizar las imágenes obtenidas con la cámara y modificar sus principales características (brillo, contraste, saturación, etc.) en tiempo real. Las imágenes capturadas pueden almacenarse y transmitirse en distintos formatos, con diversas calidades y niveles de compresión. Estas imágenes son enviadas de forma automática al módulo de pizarra de los usuarios remotos, permitiendo señalar y marcar determinadas zonas para facilitar la realización de un diagnóstico.

iv. Módulo de pizarra: Permite dibujar y transmitir formas básicas sobre un fondo liso o una imagen. La imagen de fondo puede ser cargada desde un archivo o desde el módulo de imagen de alta resolución. También incorpora una herramienta de zoom digital para ampliar zonas de la imagen con diversos factores de aumento.

v. Módulo de chat: Permite la comunicación entre los distintos usuarios conectados al sistema mediante mensajes de texto.

vi. Módulo web: Incorpora las funcionalidades básicas de un navegador para posibilitar, por ejemplo, el acceso a bases de datos remotas con información clínica. Este es el único servicio no colaborativo, ya que su información no se comparte con el resto de usuarios.

vii. Módulo de cancelación de ecos y reducción de ruido: Para facilitar al máximo el uso de la interfaz de usuario dentro de una ambulancia, ésta puede utilizarse en modo manos libres. Dado que el interior de una ambulancia es un entorno cerrado y ruidoso, se han desarrollado dos módulos internos que se ocupan de la cancelación de ecos y reducción de ruido. El cancelador de ecos sigue el estándar G.167 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), mientras que la reducción de ruido se realiza mediante un filtro reductor de ruido basado en un estimador de mínimo error cuadrático medio sobre la amplitud del log-espectro de la señal de voz (MMSE-LSA, Minimum Mean Square Error-Log Spectrum Amplitude).

viii. Módulo de reconocimiento de voz: El uso de la interfaz del sistema dentro de una ambulancia se ve simplificado en mayor medida gracias al uso de un módulo de reconocimiento de voz (interfaz oral). Este módulo se ha programado según el estándar del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) ES 202 050 como método de parametrización del sistema de reconocimiento automático del habla. Gracias a él, algunas de las funciones de la aplicación se pueden controlar mediante el uso de comandos orales. Para que la interfaz pueda distinguir los comandos que van dirigidos a ella de otras conversaciones, estos irán precedidos de una palabra clave específica y poco común.

Los dos primeros módulos descritos anteriormente (señales biomédicas y videoconferencia) se encuentran asociados a información en tiempo real, la cual se comprime usando codecs apropiados. El control de la QoS dentro del sistema puede obligar a alguno de estos módulos a variar los parámetros de utilización de su codec para conseguir unas mejores prestaciones. Los posibles modos de utilización de los codecs de cada uno de estos dos módulos se encuentran en la Tabla 1.

	Codec	Tasa
Audio	AMR	4.75, 5.15, 5.9, 6.7, 7.4, 7.95, 10.2, 12.2 (Kbps)
Vídeo	H.263	5, 10 (Frames por segundo)
Señales biomédicas	WT-RVLC	5, 10, 20 (Kbps)

Tabla 1: Codecs para servicios en tiempo real

Para completar la descripción de la interfaz de usuario, la Figura 4 muestra parte de la misma a modo de ejemplo. En ella puede apreciarse la implementación de los módulos de transmisión de señales biomédicas, videoconferencia y chat.

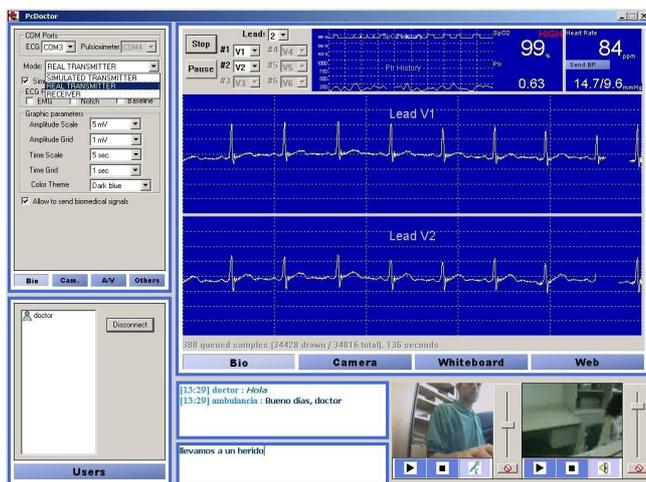


Fig. 4: Interfaz gráfica de la aplicación

4. Evaluación del sistema

Con el fin de evaluar las prestaciones del sistema, se han realizado diversas pruebas para medir su comportamiento sobre accesos UMTS a 64 Kbps en lo que a ancho de banda medio y retardo se refiere.

En la Tabla 2 se presentan los resultados referentes al ancho de banda medio utilizado por los servicios de red en tiempo real. En ella puede observarse que la utilización de un mayor número de muestras por paquete reduce el ancho de banda del servicio de audio. En cuanto al servicio de vídeo, es el que mayor ancho de banda consume en media, aunque de forma instantánea puede variar en gran medida en función del movimiento que presente la escena de vídeo transmitida. Finalmente, podemos observar que el servicio de Bio se adapta a la tasa especificada en el codec que usa.

En cuanto al retardo extremo a extremo, las pruebas realizadas muestran que se encuentra en torno a los 200 ms, aunque al principio de la transmisión sobre el enlace

UMTS puede llegar hasta los 1.4 s. No obstante, cabe reseñar que las tramas se ven retrasadas en función de su tamaño. Esto supone que los tráficos de tramas de tamaño pequeño se ven muy influenciados por tráficos con tramas grandes.

	Modo de operación		Ancho de banda IP (Kbps)
	Muestras/paquete	Tasa (Kbps)	
Audio	1	4.75/12.2	21.2/28.8
	3	4.75/12.2	10.5/18.1
Vídeo	Frames por segundo: 5/10		16/24
Bio	Tasa (Kbps): 5/10		5.3/10.3

Tabla 2: Ancho de banda IP de servicios en tiempo real

5. Conclusiones

En este artículo se ha presentado una visión general de un sistema de telemonitorización de pacientes diseñado para comunicar una ambulancia con médicos en un hospital a través de un enlace UMTS, de forma que estos puedan realizar un diagnóstico del paciente de la forma más rápida posible, todo ello dentro de un entorno multicolaborativo. Los resultados de evaluación muestran un sistema factible sobre accesos UMTS a 64 Kbps.

Actualmente se está estudiando la mejora de la QoS dentro del sistema, así como la realización de pruebas de movilidad en entornos reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Telefónica Móviles de España, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (ICYT) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) TIC2001-2481, y el Fondo de Investigación Sanitaria (FIS) FIS G03/117.

Referencias

- [1] C.S. Pattichis, E. Kyriacou, S. Voskarides, M.S. Pattichis, R. Istepanian and C.N. Chizas, "Wireless telemedicine systems: an overview", IEEE Antenna's and Propagation Magazine, vol. 44 (2), pp. 143-153, 2002.
- [2] S. Tachakra, X.H. Wang, R.S.H. Istepanian and Y.H. Song, "Mobile e-health: the unwired evolution of telemedicine", Telemedicine Journal and e-Health, vol. 9 (3), pp. 247-257, 2003.
- [3] S. Pavlopoulos, E. Kyriacou, A. Berler, S. Dembeyiotis, D. Koutsouris, "A Novel Emergency Telemedicine System Based on Wireless Communication Technology—AMBULANCE", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 2 (4), pp. 261-267, Dic. 1998.
- [4] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol", Internet RFC 3261, Jun. 2002.
- [5] M. Handley, V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", Internet RFC 2327, Abr. 1998.