

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL Y TOLERANTE A FALLOS PARA MONITORIZACIÓN MÉDICA EN VEHÍCULO EN MOVIMIENTO

J.A. Gázquez<sup>#</sup>, F.L. Guillen<sup>#</sup>, N. Novas<sup>#</sup>, M. Berenguel<sup>§</sup>

<sup>#</sup>Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Dpto. de Arquitectura de Computadores y Electrónica. Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería [jgazquez@ual.es, flguille@ual.es, nnovas@ual.es]

<sup>§</sup>Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Dpto. de Lenguajes y Computación. Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería [beren@ual.es]

## Resumen

*Las modernas tecnologías de comunicaciones inalámbricas ofrecen la posibilidad de perfeccionar algunos sistemas en el marco de la medicina crítica (urgencias y emergencias). El protocolo establecido de traslado de pacientes críticos en vehículos de emergencias, se realiza en la actualidad sin contemplar la comunicación en tiempo real del sistema de monitorización de constantes vitales con el hospital de referencia. En este trabajo se muestra un sistema desarrollado para la adquisición y transmisión vía radio y en tiempo real de la información de un monitor médico estándar con interfaz ethernet, adecuado para la recepción a larga distancia mediante una red híbrida radio-internet.*

*Este trabajo se está realizando en el marco del proyecto de investigación TIC 2003-07953-CO2-O2, por un equipo integrado por investigadores de la Universidad de Almería y Hospital Torrecárdenas del Servicio Andaluz de Salud, y un acuerdo de colaboración con General Electric Medical Systems.*

**Palabras Clave:** Telemonitorización, Radiomodem, Red Híbrida, Telemedicina, Sistemas Embebidos, Tiempo Real.

## 1 INTRODUCCIÓN

La Asistencia Integral y de alta calidad del enfermo en situación de urgencia y emergencia sanitaria, es el objetivo de las sociedades desarrolladas. La perfecta coordinación entre los diferentes eslabones o agentes de la sanidad es una tarea difícil, pero es, con seguridad, la única forma de asegurar la asistencia integral de alta calidad [1].

El traslado de enfermos críticos precisa de una buena coordinación entre hospital emisor y el hospital

receptor, con un objetivo: proporcionar a los enfermos que acuden a cada centro hospitalario, aquellos medios diagnósticos y de tratamiento más adecuados a su problema médico, independientemente de que éstos estén o no disponibles en dicho hospital.

El gran esfuerzo que supone la debida atención al enfermo y la necesidad de coordinación entre centro emisor y el receptor exige una homogeneización de los criterios de traslado, de las maniobras diagnosticas previas y de la elección del medio de transporte que, obviando si terrestre o aéreo, en los casos de pacientes críticos, debe estar dotado de la mejor tecnología disponible [2].

Existen sistemas comerciales de comunicación inalámbricos para monitores médicos, desarrollados con tecnologías de banda ancha (Bluetooth, IEEE 802.11, etc.) adecuados para comunicaciones en un área intrahospitalaria, lo que soluciona el problema para la monitorización de enfermos móviles en una planta o zona. El problema surge cuando se requiere un alcance a nivel de urbano o periurbano, como en el caso de traslados en ambulancias hacia un hospital desde su zona de influencia. Los monitores médicos modernos, normalmente con interfaz ethernet suministran un flujo de información demasiado alto para poder ser transmitido directamente mediante radiomodem en banda estrecha de largo alcance.

En este trabajo se ha desarrollado un sistema de comunicación específico para la transmisión de señales de un monitor médico en vehículos a larga distancia (zonas urbanas y periurbanas) consistente en una red híbrida radiomodem-internet y un método de compresión, cifrado y formateo de la información en tiempo real.

## 2 MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL

### 2.1 Monitor Médico

Un monitor médico es un equipo de uso hospitalario destinado a la adquisición de información de parámetros biológicos de un paciente, de carácter gráfico, como electrocardiograma ECG, curva de saturación parcial de oxígeno SpO<sub>2</sub>, presión arterial invasiva, curva respiratoria y de carácter numérico como la presión arterial, saturación parcial de oxígeno, frecuencia cardíaca y temperatura. El monitor médico dispone de una serie de sensores que conectados al paciente recogen la información del mismo y mediante un sistema de adquisición de datos dicha información es digitalizada, ofreciendo la posibilidad de presentarla en la propia pantalla del monitor y de transmitirla a otros sistemas externos, opción muy útil cuando se supervisa un conjunto de enfermos desde un único puesto.



(a) Dash 2000, GE MS



(b) DS 6100, DNI Nevada

Figura 1. Sistemas médicos usados.

Un instrumento útil para el desarrollo y puesta a punto de aplicaciones con monitores médicos son los simuladores de pacientes que proporcionan señales biomédicas sin presencia humana y permiten simular diversas patologías. En este trabajo se ha usado un monitor DASH 2000 de la firma General Electric Medical Systems y un simulador de pacientes DS 6100 de la casa DNI Nevada, equipos cedidos mediante el acuerdo con GE MS (Figura 1).

La velocidad neta del canal de comunicaciones necesaria para transmitir las señales fundamentales del monitor médico (7 derivaciones del ECG, presión arterial invasiva, respiración y SpO<sub>2</sub>, numéricas y alarmas; un total de 10 gráficas) corresponde a 22 kbits por segundo (para una conexión tipo Ethernet).

La solución de usar sistemas de redes inalámbricas de tipo comercial, como Bluetooth, Zigbee o IEEE 802.11 para la transmisión de esta información médica desde los diferentes monitores médicos hasta la unidad central de control de pacientes, es válida para los traslados dentro del complejo hospitalario, pero totalmente inviable para los traslados interhospitalarios.

### 2.2 Tratamiento de la información

Los monitores médicos producen gran cantidad de información que hay que tratar para poder ser enviada a través de sistemas de comunicación de banda estrecha a los centros de control de pacientes. Toda esta información debe ser:

- *Procesada*: Tratar toda la información que se recibe del monitor médico, además de interactuar con él, ya que se debe interrogar periódicamente al monitor para que éste devuelva la información necesaria. A diferentes tipos de preguntas, el monitor responderá de diferente manera.
- *Comprimida*: reducir el tamaño de la información siempre teniendo en cuenta que no puede eliminarse información de detalles que el profesional médico pueda necesitar para realizar una evaluación del paciente
- *Cifrada*: para imposibilitar el acceso a la información de carácter médico a terceras personas, ya que se está tratando con información confidencial.
- *Transmitida*: se requiere un protocolo de envío que garantice la máxima recepción de datos en tiempo real, ya que en aplicaciones médicas de este tipo, la principal necesidad es conocer en tiempo real qué está pasando; si se pierde un paquete de información, pertenecería al pasado y pierde parte de su importancia. El profesional médico necesita saber en el instante qué está pasando. Se han previsto en todo caso mecanismos para la recepción de paquetes perdidos en el contexto de tiempo real, para poder ser usados en la evaluación de un traslado en el futuro.

### 2.3 Tratamiento en tiempo real

Para el sistema de comunicaciones que se propone y que se analizará más adelante, es necesario construir paquetes de información de tamaño fijo, ya que se va a usar el máximo disponible de un canal de banda estrecha. El monitor médico genera 4 paquetes cada segundo con un formato basado en identificadores de variable de frecuencia de muestreo seguido de los valores de las muestras.

### 2.4 Compresión.

Con el objeto de poder transmitir en un canal de banda estrecha la información del monitor médico, es necesario comprimirla en tiempo real en un factor fijo. La información numérica no es susceptible de ser comprimida sin pérdidas en relación fija, por lo cual se transmitirá íntegra, lo cual no supone problema ya que el volumen de ésta es muy pequeño comparado con la información gráfica. La

información gráfica es susceptible de ser comprimida eficientemente con sistemas con pérdidas; en concreto los sistemas basados en la transformada de Wavelet se adaptan a las señales electrocardiográficas, ya que éstas presentan patrones periódicos no senoidales.

Se ha implementado un sistema basado en la transformada de Wavelet con predictor lineal y diezmado fijo por planos de bits que con una razón de compresión de 10:1 presenta una pérdida de calidad prácticamente indetectable.

### 2.5 Sistema Embebido de control

El funcionamiento del monitor médico responde a la arquitectura Cliente-Servidor; siendo el monitor médico el Servidor. A peticiones del cliente (que corresponde a la unidad de control de pacientes), el monitor médico responde con la información solicitada.

La figura 3 presenta un diagrama físico-funcional del sistema donde también se prevén futuras funciones como la transmisión de imágenes o la localización mediante GPS.

Al no disponer de la unidad de control de pacientes en el rango interhospitalario, se hace necesario el desarrollo de un sistema microcontrolado que se encargue de las funciones del cliente dentro de la arquitectura propuesta.

Se ha evaluado numerosos sistemas microcontrolados, pero se ha optado por la utilización de un microprocesador Intel 386Ex a25 MHz con 512 MB de memoria tipo Flash y 512 KB de RAM. Este microprocesador se encuentra integrado sobre una placa de la casa JK MicroSystem, que además incorpora 2 puertos serie y una interfaz Ethernet 10 BaseT (figura 2).

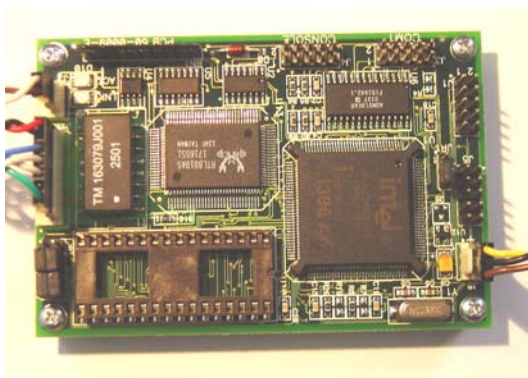


Figura 3. Sistema microcontrolado de la casa JK microSystems.

Este sistema microcontrolado será el encargado de realizar las peticiones al monitor médico, analizarlas, comprimirlas, codificarlas y reenviarlas.

## 3 Comunicaciones

El sistema de comunicaciones está basado en 3 modos de funcionamiento siendo el sistema embebido de control y bajo las órdenes de mayor jerarquía de la unidad receptora el que establezca el modo de funcionamiento, con la propiedad de ser tolerante a fallos [3].

- *Modo directo*: En este caso se establece directamente vía radiomodem la comunicación entre la unidad móvil y la unidad receptora. Este modo es apto para comunicaciones a cortas distancias vehículo-hospital.
- *Modo Híbrido*: Está basado en la retransmisión desde radio hacia internet de los paquetes generados por la unidad móvil mediante unos nodos repetidores situados en edificios corporativos. El modo híbrido es útil en trayectos urbanos y periurbanos.
- *Modo GPRS*: El modo GPRS se establece a requerimiento de la unidad receptora mediante una orden vía GPRS, cuando el modo directo e híbrido no tienen capacidad de comunicación. Este modo es útil para trayectos interurbanos donde el modo directo no sea aplicable.

## 4 Resultados Prácticos.

Se ha desarrollado una aplicación para el control centralizado del sistema y presentación de la información médica bajo entorno Windows. La figura 4 muestra la pantalla principal de funcionamiento, en la cual se muestran la información gráfica, numérica con indicación por color de parámetros fuera de rango, logs de alarmas, indicación de la calidad de las comunicaciones y fiabilidad del canal.

Las pruebas de campo realizadas hasta el momento manifiestan la viabilidad del sistema. Se han realizado diversos itinerarios en modo directo hasta distancias de 8 KM del Hospital Torrecárdenas, pudiendo teledetectarse diversas patologías programadas en el simulador de pacientes. En la actualidad se están efectuando ensayos en modo híbrido con repetidores no situados estratégicamente y se prevé próximamente la ubicación efectiva de repetidores y el desarrollo de ensayos en modo GPRS.

En las pruebas preliminares en modo directo entre la Universidad de Almería y el Hospital Torrecárdenas (8 km de trayecto urbano) la calidad media fue del 45% (en un 45% de las ocasiones ha habido comunicación directa. En situaciones de prueba con repetidores locales situados dentro de la Universidad de Almería la calidad media ha sido del 85% en entornos de 4 km alrededor de la Universidad.

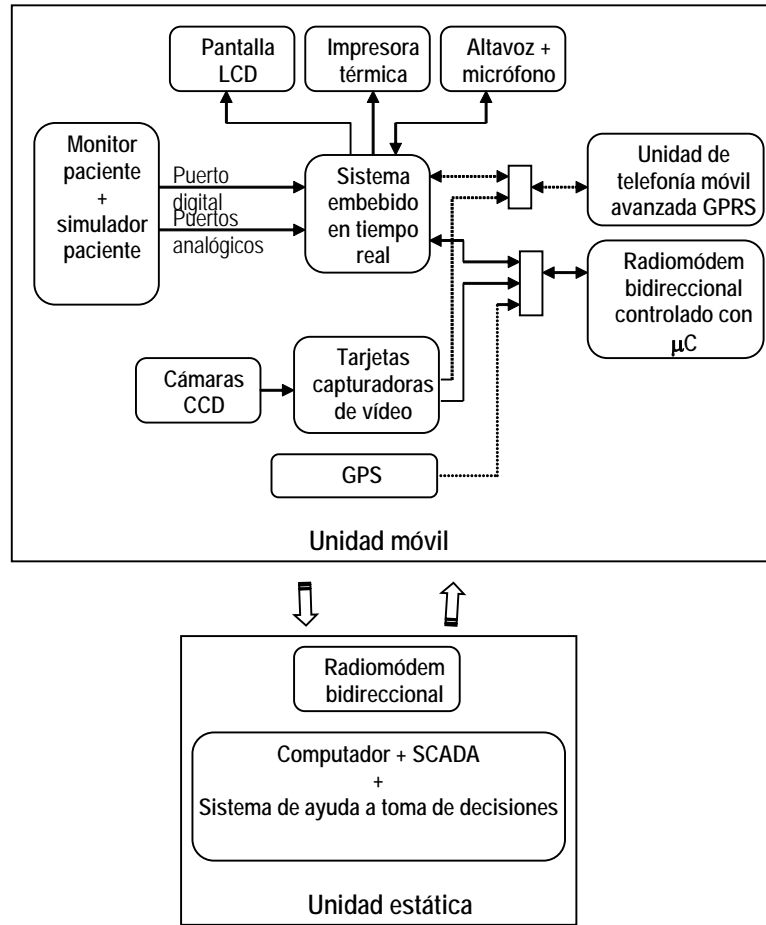


Figura 3. Diagrama del sistema



Figura 4. Pantalla de la Aplicación.

## 5 Conclusiones

Este trabajo presenta los resultados preliminares en el desarrollo de un sistema de monitorización remota de pacientes que son objeto de traslado en ambulancia. El sistema y métodos desarrollados han sido objeto de una patente [3] y se están evaluando tanto sus prestaciones en pruebas sistemáticas de campo como su explotación comercial en estos momentos.

## Agradecimientos

Se quiere agradecer al proyecto de investigación TIC 2003-07953-CO2-O2 del Plan Nacional de I+D+I 2000-2003. A General Electric Medical Systems por su cesión de equipos. Al Hospital Torrecardenas por su colaboración para llevar a buen termino este proyecto y a la Junta de Andalucía por la financiación del grupo TEP-197.

## Referencias

- [1] S.Pavlopoulos et al. "A mobile System for Emergency Health Care Provisión via Telematics Support-Ambulance", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Information Technologies Application in BioMedicine pp 150-154, Washinton USA, 1998.
- [2] Gagliano D. "Wireless Teleambulance telemedicine may lessen stroke morbidity". Telemedicine Today. Vol 6(1) p 22. Febrero 1998.
- [3] Gazquez, J.A, Novas N. , Berenguel M. Lorente, M., Noguerol, M . Patente P200 40 1499 con fecha de solicitud 18-Junio-2004. "Sistema y método de transmisión de datos entre una unidad móvil y una unidad receptora".