

## **Wireless solution for the implementation of a telemedicine system**

J. M. R. Ascariz, L. Boquete, I. Bravo, P. Martín

Universidad de Alcalá, Departamento de Electrónica,  
28871 Alcalá de Henares, Spain  
luciano.boquete@uah.es

**Abstract.** Bluetooth and GSM is used for the implementation of a system of patients' monitoring, being possible the sending of the electrocardiogram and the values of the arterial tension, levels of glucose and times of coagulation to a Control Center, being possible to obtain of the latter a response in real time. In the patient's home a PAN is constructed (Personal Area Network) formed by a system by the aptitude to transmit for Bluetooth the electrocardiogram of the patient (Portable Module) to a Module of Analysis and Communications. The latter analyzes automatically the electrocardiogram and communicates with the Control Center by means of mobile telephony. With the system developed also there is possible the sending of automatic and sure form of the information stored in certain personal analyzers of widespread use.

# Solución inalámbrica para la implementación de un sistema de telemedicina

J. M. Rodríguez Ascariz<sup>1</sup>, Luciano Boquete<sup>1</sup>, Ignacio Bravo<sup>1</sup>,  
Pedro Martín Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá de Henares,  
España, boquete@depeca.uah.es

**Resumen.** Se utiliza Bluetooth y GSM para la implementación de un sistema de monitorización de pacientes, siendo posible el envío del electrocardiograma y de los valores de la tensión arterial, niveles de glucosa y tiempos de coagulación a un Centro de Control, siendo posible obtener de este último una respuesta en tiempo real. En el hogar del paciente se estructura una PAN (Personal Area Network) formada por un sistema con la capacidad de transmitir por Bluetooth el electrocardiograma del paciente (Módulo Portátil) a un Módulo de Análisis y Comunicaciones. Este último analiza automáticamente el electrocardiograma y se comunica con el Centro de Control mediante telefonía móvil. Con el sistema desarrollado también es posible el envío de forma automática y segura de la información almacenada en determinados analizadores personales de uso extendido.

## 1 Introducción

Se ha diseñado un sistema de telemedicina que monitoriza el electrocardiograma de un paciente permitiendo diagnosticar de forma preventiva patologías donde el tiempo de reacción es de vital importancia. Además tiene la posibilidad de conexión a diferentes tipos de analizadores personales (glucómetros, coagulómetros, etc.), para el envío de otra información de interés para el seguimiento de determinados pacientes, todo ello dentro de una estructura modular, que puede ser adaptada a las necesidades de cada caso particular.

El sistema está dividido en tres módulos cuyas características son:

- **Bajo consumo:** uno de los módulos es portátil y debe tener suficiente autonomía para su funcionamiento continuado a lo largo del día. Así mismo, este módulo portátil deberá tener poco peso y ser ergonómico.
- **Coste reducido:** se trata de un equipo que no debe suponer un coste inadmisibles a los sistemas de sanidad para que pueda ser utilizado por el mayor número posible de pacientes.
- **Respuesta rápida y fiable:** en este tipo de patologías la atención temprana es fundamental para la vida del paciente.

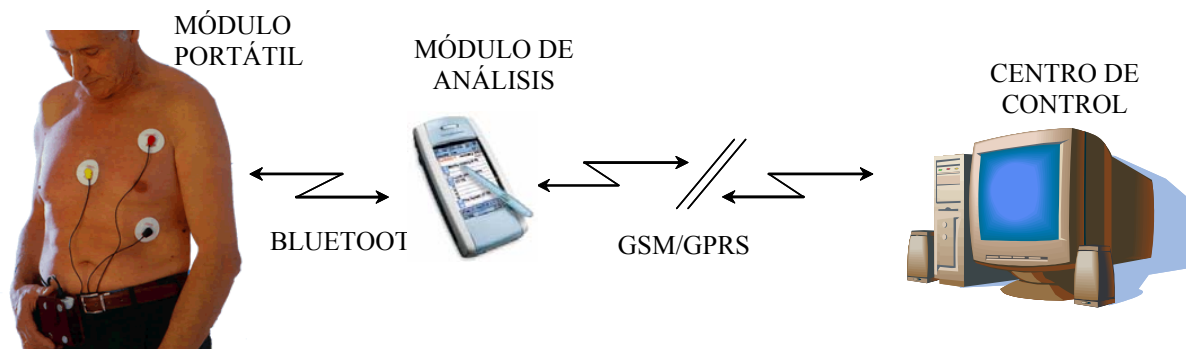


Fig. 1. Diagrama general del sistema.

Para crear una PAN (Personal Area Network), una opción ventajosa puede ser la utilización del protocolo Bluetooth. Es utilizado por un gran número de dispositivos comerciales, como ordenadores personales, PDA's, teléfonos móviles, etc., aspecto este que permite su amplia utilización. Los sistemas con el protocolo Bluetooth han sido diseñados primariamente para la conexión inalámbrica de sistemas informáticos [1], aunque con el tiempo se ha extendido a otros tipos de aplicaciones, como puede ser domótica [2][3] electrónica de vehículos [4] o sistemas de seguridad [5], entre otras posibilidades. Aunque es posible adquirir módulos Bluetooth que funcionan a partir del protocolo RS232 o similares, en la solución implementada se ha optado por la implementación de este protocolo mediante un sistema microcontrolador.

Para la obtención y análisis de la señal electrocardiográfica se debe conseguir una solución de compromiso entre un número elevado de derivaciones (en principio, cuantas más se obtengan mejor) y el grado de complejidad a la que se somete al paciente: número de electrodos, cables, etc. Por este motivo, se adquirirán 2 derivaciones del electrocardiograma, lo que permite un análisis de la señal valorada entre ejes diferentes. Si el vector de despolarización es perpendicular al electrodo explorador no se recoge señal y por lo tanto, el uso de una sola derivación podría originar la falta de detección de una o varias ondas del complejo P-QRS-T. La utilización de 2 derivaciones permitirá obtener cada una de estas ondas, sin comprometer en exceso la complejidad al paciente. Sobre las señales obtenidas, se analizarán los siguientes parámetros:

- Detección de la existencia de la onda P y del complejo QRS.
- Medida de la duración de la onda P y del complejo QRS.
- Longitud del ciclo cardíaco (intervalo entre ondas R).

El sistema desarrollado está formado por los siguientes elementos (Fig. 1):

- **Módulo Portátil (MP):** equipo destinado a la captura, y transmisión del ECG a corta distancia. Está constituido por un sistema microcontrolador, 2 amplificadores de la señal ECG (2 derivaciones), un sistema de transmisión Bluetooth y un sistema autónomo de alimentación eléctrica. En condiciones normales forma una PAN que se comunica con el Módulo de Análisis.
- **Módulo de Análisis (MA).** Se puede considerar como un equipo intermedio entre el MP y el Centro de Control establecido en el hospital. Una de sus funciones principales es realizar una detección de gran calidad de las características del ECG y detectar posibles anomalías, entre un conjunto restringi-

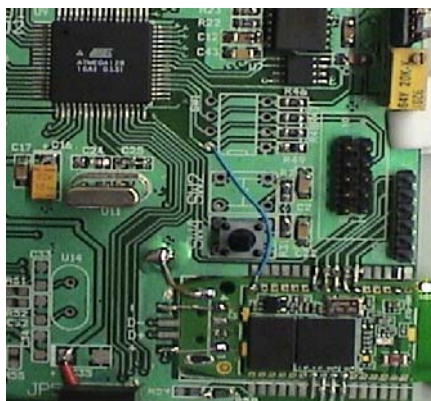


Fig. 2. Módulo portátil.

do de posibilidades. Por un lado, recibe la señal de ECG enviada por Bluetooth desde el MP y por otro lado, se comunica con el Centro de Control mediante telefonía móvil (mensajes cortos de telefonía: SMS o llamadas en modo datos, según el caso). En el MA se ejecutan una serie de algoritmos que analizan la señal de ECG recibida, con el fin de detectar determinadas anomalías en el paciente, debido a que se trata de un elemento con elevada capacidad de computación. Otra de las posibilidades del MA es la de poder conectarse con determinados analizadores personales de uso común (glucómetros, coagulómetros, etc.) y descargar los datos que éstos puedan tener almacenados, para que de este modo, incorporar esta información y enviarla al Centro de Control. La comunicación con estos dispositivos se realiza a través de puertos RS232 utilizando los comandos propios de cada analizador. El MA se ha implementado sobre dos modelos diferentes de teléfonos móviles (NOKIA 6600 y P800 SonyEricsson) y PDA's.

- **Centro de Control (CC):** unidad central para el control, bajo la supervisión de especialistas médicos, de un número indeterminado de pacientes bajo monitorización. Estará implementado sobre un ordenador personal y tendrá las funciones de comunicación por telefonía móvil, gestión de pacientes, generación de informes, etc.

## 2 Módulo portátil

El diseño de este elemento se ha llevado a cabo de acuerdo a las directrices marcadas por la norma europea [6]: "*Particular requirements for the safety, including essential performance, of ambulatory electrocardiographic systems*". Se define en esta norma el ancho de banda mínimo (0,05 - 40 Hz), impedancia de entrada ( $> 10M\Omega$ ) duración del sistema de baterías ( $> 24$  horas), CMRR mínimo del sistema de amplificación de la señal ( $> 60dB @ 50Hz$ ,  $> 45dB @ 100Hz$ ), etc.

El funcionamiento del MP está gobernado por el microcontrolador ATmega128, con núcleo RISC de 8 bits, capaz de alcanzar velocidades de hasta 16 MHz, lo que le confiere hasta 16 MIPS de capacidad de ejecución. Incorpora numerosas prestaciones: a nivel de memoria dispone de 128 kB de memoria Flash (reprogramable más de

10000 veces), 4 kB de EEPROM y 4 kB de SRAM. A nivel de comunicaciones permite comunicaciones IIC, SPI y 2 UARTs. La programación se realiza sobre la propia tarjeta electrónica, a través de un interfaz JTAG.

Sus principales funciones son: Inicialización y configuraciones iniciales (puerto de comunicaciones, conversores ADC, ganancia y off-set de los amplificadores, etc.) digitalización periódica de 1 ó 2 derivaciones, según configuración, recepción y atención a comandos enviados por el MA (en cualquier momento, el MP puede recibir desde el MA comandos para variar la ganancia o el off-set de alguna de las etapas, desactivar/activar la digitalización de alguna de las derivaciones, en definitiva, configurar de forma remota parámetros del MP).

La comunicación Bluetooth se consigue mediante un módulo basado en el chipset BlueCore2-Ext de CSR, conectado al microcontrolador (interfaz de transporte) mediante UART. Con este módulo basado en el BlueCore2-Ext, se dispone de comunicaciones SPI e IIC, dos interfaces de comunicación ampliamente extendidas. El firmware integrado por dicho módulo cumple la especificación 1.1 de Bluetooth, permitiendo, en el interfaz radio, comunicaciones asíncronas (ACL) de hasta 720 kbps (con transporte USB) y tres canales síncronos (SCO) de 64 kbps. Se trata de un dispositivo de Clase 2 (potencia de transmisión 4 dBm) con una sensibilidad típica de -80 dBm, capaz de alcanzar los 15 metros en entorno de oficina (numerosos obstáculos) y los 45 metros en espacio libre. Se muestra en la Fig. 2 una imagen parcial del prototipo implementado.

### 3 Módulo de análisis

Este subsistema se ha implementado sobre plataformas comerciales de uso común, y que día a día tienen un coste más asequible: teléfonos móviles y PDA's. Un aspecto básico en el diseño del MA es la definición del interfaz de usuario, que debe ser cómodo y amigable y facilitar la navegación entre las diferentes opciones, pues en muchos casos, debe ser utilizado por personas con pocos conocimientos informáticos.



Fig. 3. Interfaz del MA

Se muestra en la Fig. 3 el interfaz del MA recibiendo las señales de ECG de un paciente. A partir de ese interfaz, el usuario puede seleccionar de forma sencilla las opciones de Enviar el electrocardiograma al Centro de Control, Capturar datos de un analizador personal, Grabar, Salir, etc.

En el MA se han programado las siguientes funciones:

- Recepción del ECG desde el MP, y su visualización y/o envío en tiempo real al Centro de Control.
- Análisis de la señal recibida. Se puede configurar los parámetros a analizar así como los algoritmos a utilizar en cada caso, dentro de las opciones programadas. Además de los algoritmos indicados en [7], se han programado algoritmos basados en wavelets, que en cualquier caso están aún bajo investigación.
- Drivers para comunicación y captura de datos de diferentes tipos de analizadores personales: medidores de tensión arterial, glucómetros y coagulómetros.
- Comunicaciones por telefonía móvil mediante llamadas (para el envío del ECG) y SMS, para el envío de alarmas, configuraciones, etc.
- Base de datos, para el almacenamiento de información del paciente.

Sobre el MA es posible realizar además las siguientes funciones:

- Memorización de la señal de ECG, ya sea debido a determinados eventos (taquicardias, bradicardias, etc.) o de forma periódica cada cierto tiempo.
- Memorización de los datos obtenidos de los analizadores personales, y visualización de los mismos en las gráficas adecuadas, aún cuando hayan sido enviados al Centro de Control.
- Posibilidad de visualizar 1 o los 2 canales del ECG sobre la pantalla de la PDA, con el fin de apreciar mejor sus detalles.
- Funcionamiento de análisis en modo “gráfico”. Con esta opción, aparece sobre la pantalla de la PDA la señal de ECG y los puntos que los algoritmos han obtenido. De esta forma, es fácil comprobar si la ejecución de los algoritmos de análisis del ECG dan el resultado esperado.

## 4 Centro de control

Se basa en la utilización de un ordenador personal con las siguientes funciones: base de datos, servicio de consulta, comunicaciones por telefonía móvil, impresora y módulo de análisis inteligente de la información recibida. El mismo ha sido implementado utilizando el lenguaje LabWindows (Fig. 4), y su función es centralizar la información de los posibles pacientes, y que un especialista médico pueda seguir el estado de cada uno de estos pacientes, y así por ejemplo, comprobar el comportamiento de los algoritmos de análisis automático, el estado de cada paciente, generar y enviar informes al paciente, actuar sobre la ganancia y/o off-set de un equipo, etc.

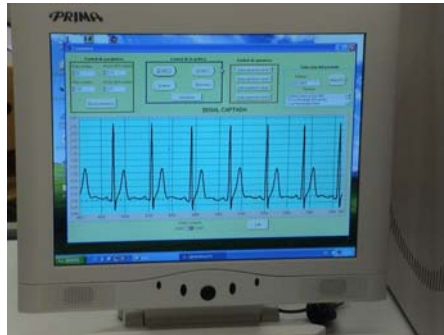


Fig. 4. Centro de Control

## 5 Resultados

Consideramos como la parte más novedosa de nuestro sistema el desarrollo hardware y software del Módulo Portátil. Se resumen a continuación sus características eléctricas, que cumplen con la norma [6]:

- Autonomía (batería 150mah): 28 horas
- Impedancia de entrada: 15 M $\Omega$
- Ancho de banda: 0.05 - 250 Hz
- CMRR: > 100 dB.

A nivel funcional se han realizado toda suerte de pruebas, para comprobar que el sistema funciona según las especificaciones indicadas, en particular:

- Pruebas de transmisión del ECG (1 y 2 canales) al CC.
- Pruebas de captura y transmisión de datos desde varios analizadores personales comerciales: glucómetros, coagulómetros, etc.
- Pruebas del sistema en modo análisis de datos, utilizando un teléfono móvil Nokia y SonyEricson.
- Pruebas con el paciente moviéndose en un ambiente con obstáculos.

En la figura 5 se muestra otro ejemplo del sistema implementado.

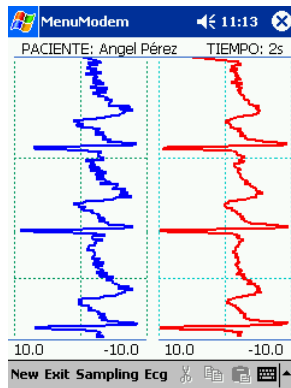


Fig. 5. MA sobre una PDA

## 6 Conclusiones

Se ha presentado un sistema que permite la monitorización inalámbrica de la señal electrocardiográfica de un paciente, además de la incorporación de información procedente de diferentes tipos de analizadores personales. La información obtenida se puede transmitir de forma eficiente a larga distancia para su correcto análisis y si procede, es posible comunicarse de inmediato con el paciente. Las tecnologías desarrolladas pueden además ser de utilidad en otros campos, como puede ser control remoto de sistemas (domótica, sistemas industriales, etc.)

## Referencias

1. Bluetooth Specification Core ver. 1.1, [www.bluetooth.org](http://www.bluetooth.org)
2. Sriskanthan, N., F. Tan and A. Karande,: Bluetooth based home automation system, *Microprocessors and Microsystems*, vol. 26, Issue 6, pp. 281-289.
3. Kanma, H., Wakabayashi, N., Kanazawa, R. and Ito, H.: Home appliance control system over Bluetooth with a cellular phone, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, n° 4, 1049-1053 Nov. 2003.
4. G. Leen and D. Heffernan,: Vehicles without wires, *Computing & Control Engineering Journal*, pp. 205-211, Octu.2001.
5. Soo-Hwan Choi, Byung-Kug Kim, Jinwoo Park, Chul-Hee Kang; and Doo-Seop Eom,: An implementation of wireless sensor network for security system using Bluetooth, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, n° 1, 236-244 Feb. 2004.
6. European Standard EN-60601-2-47: Particular requirements for the safety, including essential performance, of ambulatory electrocardiographic systems, 2001.



7. G. M. Friesen, T. C. Jannett, M. A. Jadallah, S. L. Yates, S. R. Quint, y H. T. Nagle,: A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms, IEEE Trans. on Bio-medical Engineering, vol. 37, no. 1, pp. 85-98, Ener. 1990.