

DESARROLLO DEL COMPONENTE DE HARDWARE DE UN DISPOSITIVO DE TELE-MONITOREO INALÁMBRICO DE EVENTOS CARDIACOS

Development of the hardware component of a device for Tele-monitor wireless of cardiac events

RESUMEN

El desarrollo de dispositivos que permitan monitorear la actividad eléctrica del corazón mientras el paciente realiza sus actividades cotidianas es una necesidad creciente a nivel mundial. Este trabajo reporta el desarrollo del componente de hardware dentro del proyecto “Sistema de Tele-Monitoreo Inalámbrico de Eventos Cardiacos WHAM (*Wireless Heart Arrhythmia Monitoring*)” liderado por el Grupo de Dinámica Cardiovascular de la Universidad Pontificia Bolivariana. Como resultado de este trabajo se obtuvo un primer prototipo funcional con la capacidad de almacenar eventos cardiacos en una memoria flash tipo SD y transmitirlos inalámbricamente a un servidor de monitoreo por medio de un modem GSM-GPRS.

PALABRAS CLAVES: Arritmias Cardiacas, Monitor Electrocardiográfico Ambulatorio, Telemedicina, Telemetría Biomédica, Transmisión GPRS.

ABSTRACT

The development of devices to monitor the electrical activity of the heart while the patient is carrying out their daily activities is a growing need worldwide. Reported in this paper is what has been done in the development of the hardware component within the project WHAM (Wireless Heart Arrhythmia Monitoring), led by the Group of Cardiovascular Dynamics of the Bolivarian Pontifical University. As a result of this work was a first working prototype with the ability to store cardiac events in a flash type SD and transmit them wirelessly to a server monitoring via a modem GSM-GPRS.

KEYWORDS: *Arrhythmias, Telemedicine, Telemetry Biomedical, Transmission GPRS*

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades relacionadas con el corazón han ocasionado un gran número de muertes en los países occidentales [1]. El diagnóstico oportuno de las anomalías cardíacas es muy importante para establecer un tratamiento eficaz y oportuno, y una de las principales herramientas con la que cuenta el médico para éste propósito es el electrocardiograma (ECG ó EKG), que desde su invención a principios del siglo XX ha jugado un papel importante en el diagnóstico de arritmias y otras enfermedades cardíacas [2]. Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el diagnóstico de estas enfermedades el Grupo de Dinámica Cardiovascular de la universidad desarrolla el proyecto: “Sistema de Tele-Monitoreo Inalámbrico de Eventos Cardiacos WHAM (*Wireless Heart Arrhythmia Monitoring*)” que tiene como propósito implementar un sistema inalámbrico de monitoreo de eventos cardiacos automático que permita realizar el ejercicio completo de asistencia, desde la detección automática, grabación local de las señales Electrocardiográficas (ECG) anormales y transmisión de

los datos a través de una red de telefonía celular usando GPRS (*General Packet Radio System*); hasta el enrutamiento de la información al especialista de tal forma que pueda enviar indicaciones al equipo y al paciente de forma remota. En este sistema un dispositivo adosado al cuerpo del paciente amplifica, filtra, digitaliza, analiza y registra la señal ECG; y ante la detección de una anomalía cardíaca se encarga de transmitir los datos a un servidor del centro de asistencia en donde son evaluados y remitidos a un especialista, el cual podría enviar indicaciones al paciente.

Se pretendió específicamente dentro del proyecto WHAM, asistir en el desarrollo del componente de hardware de los dispositivos de monitoreo y en particular en la implementación de las funciones de grabación de las señales y de transmisión inalámbrica de los datos. Con este propósito se diseñaron e implementaron funciones de captura, almacenamiento y transmisión de señal ECG.

Para alcanzar los objetivos propuestos se desarrolló una aplicación para el microcontrolador del dispositivo de monitoreo con el fin de configurar y controlar un modem

JOHN BUSTAMANTE OSORNO

Médico, PhD Cardiología
Director Grupo de Dinámica
Cardiovascular
Universidad Pontificia Bolivariana
john.bustamante@upb.edu.co

JOSE FRANCISCO SÁENZ

Ingeniero Electrónico. Esp. BME
Investigador Grupo de Dinámica
Cardiovascular
Universidad Pontificia Bolivariana
jose.saenz@upb.edu.co

ADRIAN ALBERTO AMAYA

Ingeniero Electrónico.
Investigador Grupo de Dinámica
Cardiovascular
Universidad Pontificia Bolivariana
aaamaya@internexa.com

SERGIO A. MARIN CORREA

Estudiante Ingeniería Electrónica.
Asistente de Investigación Grupo de
Dinámica Cardiovascular
Universidad Pontificia Bolivariana
sergiomarin@gmail.com

GPRS teniendo en cuenta el protocolo de aplicación a utilizar con el servidor del Centro Especializado de Monitoreo Cardiovascular (CEMC) y así poder lograr un intercambio de información eficiente y confiable con este. Esta aplicación permite hacer uso funcional sobre una memoria flash mediante el almacenamiento de las señales recogidas por el dispositivo, siguiendo los esquemas de manejo de memoria requeridos en un monitoreo de eventos cardiacos [3].

2 ESQUEMA GENERAL

El esquema del sistema de telemedicina WHAM, propuesto para monitoreo cardiaco en tiempo real se muestra en la figura 1, en el cual los pacientes portarán un dispositivo ambulatorio electrocardiográfico (AECG) del tipo de monitor de eventos automático que denominamos CAREII (*Cardiac Abnormality Recorder*) el cual se encarga de registrar las señales, detectar la presencia de anomalías y realizar la comunicación con el servidor de un Centro Especializado de Monitoreo Cardiovascular (CEMC). La comunicación se realiza por medio de una red de telefonía celular GSM-GPRS [4] a través de la cual los equipos móviles tienen acceso a Internet. De esta manera se conectan con el CEMC en el cual una aplicación servidor permite realizar la autenticación de los dispositivos, esta se encarga de mediar la transmisión de los datos y almacenar la información en una base de datos. La visualización y análisis de los datos obtenidos se realiza por medio de una aplicación específica que permite al especialista realizar un estudio sobre las señales y emitir reportes. Una aplicación tipo web permite realizar un análisis básico desde cualquier lugar con acceso a Internet.

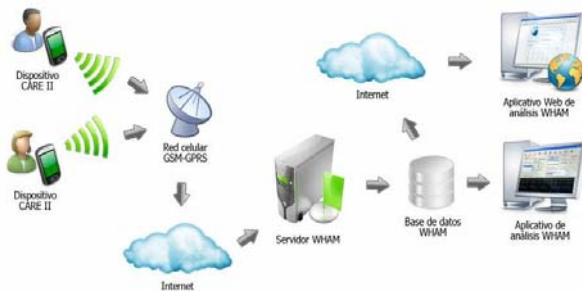


Figura 1. Esquema funcional del sistema de Tele-Monitoreo de Arritmias WHAM

2.1 HARDWARE DEL DISPOSITIVO DE MONITOREO

El dispositivo de monitoreo efectúa las tareas de adquisición de las señales bioeléctricas, procesamiento digital, cálculo de la frecuencia cardiaca, reconocimiento de anomalías, registro de señales ECG, registro de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV), transmisión de datos al CEMC e interacción con el usuario. En la figura 2 se muestra la estructura en bloques del CARE II. Los diferentes módulos del dispositivo están integrados

en una única tarjeta electrónica exceptuando el módem GSM-GPRS cuya tarjeta se acopla directamente a la primera como se muestra en la figura 3.

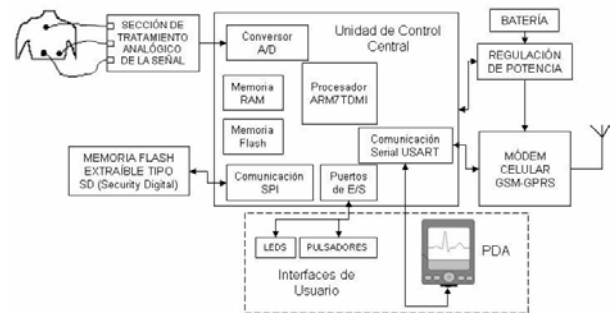


Figura 2. Diagrama de bloques del dispositivo de monitoreo CARE II.



Figura 3. Fotografía del hardware del dispositivo de monitoreo CARE II

2.2 ESQUEMA DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de los eventos y el registro HRV se realizan en una memoria flash extraíble tipo Multimedia Card (MMC) ó Secure Digital (SD), por lo que la capacidad de almacenamiento de información que se puede alcanzar es considerable. En la memoria del dispositivo se almacenan principalmente dos tipos de información. La primera corresponde a los diferentes eventos generados por la detección automática de arritmias o la activación manual del paciente. Cada evento es almacenado en memoria como un archivo independiente compuesto por un encabezado, en el que se indican los datos asociados a un evento como fecha, hora y motivo de activación; y la señal ECG obtenida. El segundo tipo de información corresponde al registro de la frecuencia cardiaca latido a latido la cual es almacenada en otro archivo independiente que puede ser enviado periódicamente al CEMC.

En el sistema existen dos formas diferentes para iniciar el registro de un evento, la primera es la forma automática, en la cual el sistema constantemente esta analizando las señales que provienen del paciente, y por medio de algoritmos especializados en la detección de arritmias cardiacas se reconocen las anomalías y se inicia el almacenamiento del evento. La segunda forma es la manual, en la cual el paciente al tener algún síntoma

puede presionar el botón de grabación que posee el dispositivo y hacer que de esta manera el sistema comience a guardar un evento.

2.3 ESQUEMA DE COMUNICACIÓN Y RECEPCIÓN DE CONEXIONES

El sistema de comunicación entre los dispositivos con el servidor se basa en una arquitectura cliente-servidor donde cada uno de los dispositivos envía datos al servidor y esperan una respuesta de este. Cada vez que un dispositivo se conecta a un servidor se sigue el procedimiento que se observa en la figura 4, donde en primera instancia, el dispositivo de monitoreo establece la comunicación con el servidor mediante la apertura de un socket TCP de acuerdo a la dirección IP del servidor y el puerto de aplicación definido. Con la conexión establecida, se procede a la autenticación del equipo de monitoreo con el servidor, esto con el fin de proteger la integridad de los datos. La transmisión de datos se sigue de acuerdo a un protocolo de aplicación diseñado específicamente para ello. Éste protocolo permite la autenticación del dispositivo ante el servidor, y la autorización para el envío de datos, ya sea señales ECG de un evento cardíaco o los registros de variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). Cada tipo de datos es recibido por el servidor y al finalizar la recepción, si no se presentaron errores, se envía al dispositivo un código indicando que los datos se recibieron satisfactoriamente y se adjunta una actualización de la configuración del dispositivo y de la fecha y hora del servidor. Si durante el proceso de comunicación ocurre un error en el envío de datos, el servidor envía al dispositivo un código indicando que los datos fueron corruptos y se requiere retransmitir la totalidad de estos.

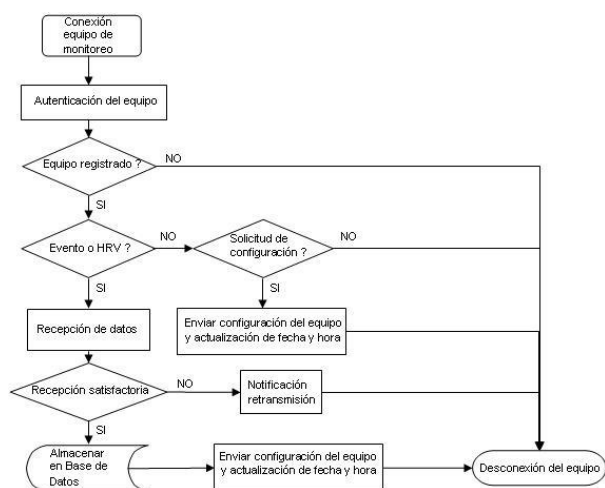


Figura 4. Diagrama de transmisión de datos.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se evaluó el funcionamiento del sistema desarrollado mediante diferentes tipos de ensayos que comprometían varios métodos, cada uno con el fin de validar diferentes

características del sistema. Estos incluyeron la transmisión de señales obtenidas mediante procesos de simulación, como también señales obtenidas de personas. En la tabla 1 se muestran algunas características relevantes del dispositivo de monitoreo CARE II.

Característica	Valor
Voltaje de alimentación externo (VA)	1.5 a 3.3 VDC
Consumo de potencia @ VA = 3.0V	Monitoreo Activo: 105mW Transmisión de datos: 1W promedio 3W pico
Canales de ECG	1 Canal con 3 electrodos
Frecuencia de muestreo	150mps
Resolución de muestras	10 bits
Unidad de procesamiento y control central	Atmel AT91SAM7S256
Almacenamiento de datos	Memoria extraíble tipo SD Interfaz SPI Hasta 1GB de capacidad Sistema de archivos FAT16
Comunicaciones	Serial RS-232 GPRS Clase 10 – TCP/IP
Velocidad de transmisión RS-232	115.200 bps
Dimensiones	100x60x20mm

Tabla 1. Características generales dispositivo de monitoreo

Se realizaron pruebas de comunicación con el CEMC, en las cuales se transmitieron archivos con señales adquiridas y se tomaron medidas de tiempo de transmisión. Estas pruebas se realizaron a diferentes horas del día con el fin de tener una estadística de variación de velocidad dependiendo del tráfico de la red, obteniendo los datos que se muestran en la tabla 2.

Característica	Valor
Tamaño promedio de archivos transmitidos	3,545 Bytes
Tiempo de transmisión promedio	8.3 Seg
Velocidad de transmisión promedio	3.38Kbps
Latencia	4 Seg

Tabla 2. Resultados de pruebas de conectividad y transmisión de datos

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha presentado el desarrollo del componente de hardware de un esquema de tele-monitoreo que constituye una alternativa para el seguimiento de pacientes afectados de arritmias cardíacas. El resultado de este proyecto, relacionado con la detección y registro de eventos electrocardíacos vinculados en un monitor compacto con capacidad de comunicación inalámbrica con un CEMC.

A partir de lo obtenido con el presente desarrollo, se reconoce la importancia de continuar con una labor de pruebas sistemáticas que permitan realizar una validación más extensa del sistema desde el punto de impacto médico, donde la principal expectativa al finalizar el

1. Las notas de pie de página deberán estar en la página donde se citan. Letra Times New Roman de 8 puntos

proyecto es dejar al servicio de la comunidad una herramienta que posea la suficiente calidad y rendimiento para ser utilizada en los centros asistenciales para el seguimiento de los pacientes de manera confiable y segura.

El estándar GPRS ofrece un enlace inalámbrico seguro para la transmisión de información médica gracias a la encriptación y autenticación inherente al protocolo, y además es una buena alternativa para acceder sistemas de telemedicina a través de Internet desde cualquier lugar donde haya cobertura de las redes celulares. Se recomienda para unas posibles optimizaciones del sistema migrar a tecnología EDGE, ya que permite mayor velocidad de transmisión de datos lo que generaría un tiempo de respuesta más óptimo ante un evento.

Se recomienda también que se estudie la posibilidad de implementar algoritmos de compresión y de encriptación de la señal ECG, para permitir mayor capacidad de almacenamiento, menores tiempos de transmisión y mayor seguridad

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] SÁENZ, José; AMAYA, Adrian y NAVAS, Daniel. Diseño e Implementación de un Equipo de Captura, Almacenamiento y Análisis de Eventos Electrocardiacos Utilizando una Computadora de Bolsillo Tipo PDA. Medellín, 2004, 136p., Tesis (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Eléctrica – Electrónica. Ingeniería Electrónica.

[2] KINLAY, S; LEITCH, J y NEIL, A. "Cardiac event recorders yield more diagnoses and are more cost-effective than 48-hour Holter monitoring in patients with palpitations: A controlled clinical trial". En: Annals of Internal Medicine. Vol. 126, (1996); p.16-20.

[3] American National Standard ANSI/AAMI EC38:1998 Ambulatory electrocardiographs. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 1998.

[4] MULTI-TECH SYSTEMS INC. "AT Commands for Wireless GSM/GPRS Modems with IP Connectivity - Reference Guide". PN S0000333, 2006. [En línea] <disponible en: <http://www.multitech.com/documents/Collateral/manuals> > [consulta 3 Jul. de 2007]