

Diseño de un Dispositivo Médico Inteligente: Una Aplicación de IoT en Salud en el Hogar

Design of a Smart Medical Device: An IoT Application in Home Health

ROSE-GÓMEZ, César*†¹, FLORES-MONTAÑO, Karen², ALMADA-BORBÓN, José², GÓMEZ-BRISEÑO, Guillermo²

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Hermosillo, Avenida Tecnológico s/n, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México. ¹Laboratorio de Sistemas Inteligentes¹. ²Departamento de Ingeniería Electrónica.

ID 1º Autor: César Enrique Rose-Gómez / ORC ID: 0000-0003-3384-0789 / Researcher ID Thomson: F-2575-2018 / CVU CONACYT-ID: 212992

ID 1º Coautor: Karen Flores-Montaña / ORC ID: 0000-0003-2146-1116 / Researcher ID Thomson: F-2821-2018 / arXiv ID: KarenFloresM

ID 2º Coautor: José Alberto Almada Borbón / ORC ID: 0000 0002 6672 55871116 / Researcher ID Thomson: F-3516-2018 / arXiv ID: JOSE_ALMADA

ID 3º Coautor: Guillermo Gómez-Briseño / ORC ID: 0000-0003-4738-95621116 / Researcher ID Thomson: F-4365-2018 / arXiv ID: GGBMC096

Recibido: 20 de Diciembre, 2017; Aceptado 22 de Febrero, 2018

Resumen

Las tecnologías de la información y de la comunicación han penetrado en todos los ámbitos de nuestras vidas, afectando nuestro entorno social, la economía, la cultura y la salud, entre otros. La Internet, y cada vez más, la Internet móvil, es una base indispensable para los principales sectores económicos, tales como las finanzas, la producción y los servicios. Impulsados por la Internet, el mundo real y el mundo virtual se unen en una Internet de las Cosas (IoT). Para esta revolución industrial se incluye máquinas capaces de aprender, tecnologías para la nube, tecnología de sensores, comunicación de máquina a máquina y tecnologías de automatización que ya han coexistido desde hace años en el medio industrial. El internet de las cosas en el ámbito de la salud tiene diferentes aplicaciones. Algunos ejemplos son el diagnóstico de enfermedades, la medicina preventiva, la toma de decisiones más rápida y precisa y la mejora de la calidad de vida de los pacientes crónicos. En este artículo se muestra el diseño e implementación de un dispositivo médico inteligente que permite monitorear a pacientes ambulatorios con padecimientos cardiacos, asimismo permite la detección de anomalías cardiacas y la generación de alertas para una atención inmediata.

Iot, Dispositivo Médico, Sistema Inteligente

Abstract

Information and communication technologies have penetrated all areas of our lives, affecting our social environment, economy, culture and health, among others. The Internet, and increasingly the mobile Internet, is an indispensable basis for major economic sectors, such as finance, production and services. Driven by the Internet, the real world and the virtual world are united in an Internet of Things (IoT). This industrial revolution includes machines capable of learning, cloud technologies, sensor technology, machine-to-machine communication and automation technologies that have already coexisted for years in the industrial environment. The Internet of things in the field of health has different applications. Some examples are disease diagnosis, preventive medicine, faster and more accurate decision-making, and improved quality of life for chronic patients. This paper shows the design and implementation of an intelligent medical device that allows the monitoring of outpatients with heart disease, as well as the detection of cardiac anomalies and the generation of alerts for immediate care.

Iot, Medical Device, Intelligent System

Citación: ROSE-GÓMEZ, César, FLORES-MONTAÑO, Karen, ALMADA-BORBÓN, José, GÓMEZ-BRISEÑO, Guillermo. Diseño de un Dispositivo Médico Inteligente: Una Aplicación de IoT en Salud en el Hogar. Revista de Tecnología e Innovación 2018, 5-14: 14-19

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: crose@ith.mx)

†Investigador contribuyendo como primerAutor.

Introducción

En el sector salud de nuestro país, como en algunos otros, se tienen diversas problemáticas debido al incremento de la población, lo cual impacta en la demanda de recursos como servicios de atención a la salud, de centros hospitalarios, de médicos, entre otros. Aunado a lo anterior, se tiene la carencia de especialistas o la centralización de los médicos y hospitales en las principales ciudades del país, con lo cual un gran sector de la población no tiene una atención suficiente y de calidad. Adicionalmente, el incremento de las personas enfermas ha sido de manera importante, entre estas enfermedades se encuentran las cardiovasculares, las cuales en el mundo constituyen la primera causa de muerte, en nuestro país se encuentran estas enfermedades cardiovasculares en los primeros lugares de la mortalidad (Instituto Nacional de Salud Pública, 2012).

En México al igual que en otros países en el mundo se ha iniciado la Telemedicina para encontrar diversas soluciones a los problemas previamente mencionados. La Tele-Cardiología es la aplicación de la Telemedicina a la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares (Secretaría de Salud, 2007). La Telemedicina requiere de recursos técnicos; recursos humanos, tanto médico como de las tecnologías de información y comunicación; infraestructura; equipo médico; entre otros.

Una fuerte tendencia actual es el desarrollo de dispositivos que permitan realizar algunas de las tareas mencionadas anteriormente. Sin duda alguna, el Internet y la Web han modificado casi todas las actividades que desarrolla el ser humano, anteriormente se tenía que acudir a una sucursal bancaria para realizar alguna transacción, actualmente se puede desde la comodidad del hogar usando el Internet.

Asimismo, para realizar una compra sólo era posible de una manera presencial en la tienda o almacén, en este momento usted puede hacerlo a través de la Internet y no solo de manera local, puede hacer una compra en China usando las aplicaciones que se tienen en la Web. Podríamos seguir mostrando una cantidad enorme de casos donde la Internet tiene una influencia muy importante.

Sin embargo, se considera muy importante discutir un área de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) que ha causado una verdadera revolución: el internet de las cosas. En (Evans, 2011) se reporta que en el 2003 había una población mundial de 6.3 mil millones de personas, la cantidad de dispositivos conectados era de 500 millones, la tasa de dispositivos conectados por persona era de 0.08.

En el año 2010, se tenían más dispositivos conectados que personas en el mundo, esto es, la población mundial era de 6.8 mil millones, la cantidad de dispositivos conectados era de 12.5 mil millones, la tasa era de 1.84. Y de acuerdo a los pronósticos se espera que para que en el año 2020 se tenga una población de 7.6 mil millones de personas, con 50 mil millones de dispositivos conectados, con una tasa de 6.58 dispositivos conectados por persona. Lo anterior muestra un rápido crecimiento que ofrece inmensas oportunidades, para personas, empresas y sectores industriales enteros con respecto al desarrollo de aplicaciones para los dispositivos.

En (Cama, De la Hoz, & Cama, 2012) se muestra que esta gran cantidad de dispositivos que cada vez se están conectando a la Internet corresponden a diversos nodos de diferentes áreas, por ejemplo: sensores personales, teléfonos móviles, automatización de edificios, transporte, logística, medición inteligente y automatización industrial.

La Internet de las cosas (Internet of Things, IoT), algunas veces denominado "Internet de los objetos", se refiere a muchas disciplinas, tecnologías y dominios de aplicaciones. La IoT involucra sensores, circuitos, sistemas embebidos, comunicaciones, interfaces inteligentes, gestión de energía, gestión de datos, fusión de datos, gestión de conocimiento, sistemas en tiempo real, procesamiento distribuido, diseño de sistemas y técnicas sofisticadas de software que se relacionan con los grandes datos.

En este artículo se muestra el diseño e implementación de un dispositivo médico inteligente que permite monitorear a pacientes ambulatorios con padecimientos cardiacos, asimismo permite la detección de anomalías cardiacas y la generación de alertas para una atención inmediata.

El dispositivo médico propuesto, como se muestra en la figura 1, se compone de dos elementos principales: la tarjeta de adquisición y preprocesamiento de datos y el otro es una computadora Raspberry para el cómputo inteligente.



Figura 1 Componentes del dispositivo médico Fuente: Elaboración propia con imágenes de www.flaticon.es

El artículo se divide en las siguientes secciones: en la primera se presenta la adquisición y el preprocesamiento de la señal ECG, posteriormente se presentan algunos de los diversos módulos que componen el procesamiento de la señal ECG. Los módulos considerados en esta sección son: detección de eventos de la señal ECG, la generación de características, la clasificación de arritmias y la generación de alertas.

Adquisición y preprocesamiento de la señal ECG

Un sistema de acondicionamiento de señales es aquel que realiza un conjunto de operaciones sobre una señal, operaciones relacionadas a la conversión, tratamiento y almacenamiento de datos, con el fin de poder visualizar e identificar el comportamiento de la misma. En la mayoría de las aplicaciones y debido a la naturaleza propia de las señales, es necesario hacer uso del procesamiento analógico, ya que las señales de este tipo, no podrían ser procesadas por una computadora debido al ruido o a las características inherentes de las mismas. Se diseñó un circuito electrónico para obtener la señal ECG, este circuito tiene una etapa de amplificación, una etapa de filtrado, una etapa de aislamiento y una etapa de conversión analógica a digital.

En la figura 2 se muestra el circuito como diagrama de bloques y en la figura 3 se muestra la señal ECG obtenida en tiempo real, se despliega la señal en un osciloscopio, lo cual permite verificar la forma de onda y su frecuencia.

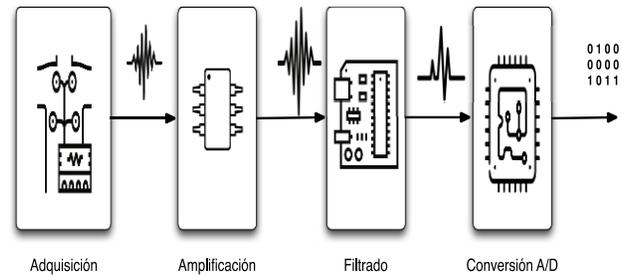


Figura 2 Diagrama a bloques del circuito para adquirir y acondicionar la señal ECG Fuente: Elaboración propia con imágenes de www.flaticon.es

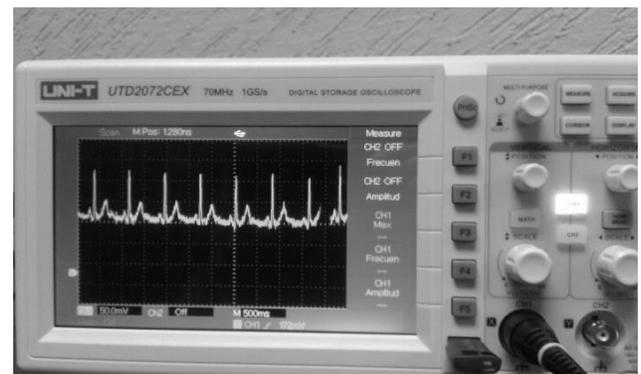


Figura 3 Señal ECG en tiempo real

Detección de eventos y generación de características de la señal ECG

El procesamiento de la señal ECG consta de dos partes, la primera de ellas trata del mejoramiento de la señal y la segunda es la detección de los eventos tales como: complejo QRS, intervalo RR, onda P, onda T, segmento ST, intervalo PR, etc., estos eventos se muestran en la figura 4.

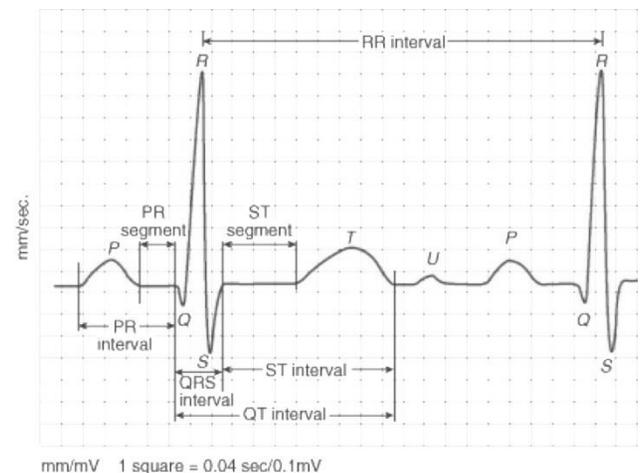


Figura 4 Eventos de la señal ECG

El algoritmo implementado en este trabajo está basado en el algoritmo de Pan y Tompkins (Pan & Tompkins, 1985), el cual es un algoritmo de detección en tiempo real, basado en el análisis de la pendiente de la señal en la banda de interés. Es decir, dada la señal de un ECG, se filtra en el rango de 0.5 a 50 Hz para monitoreo y se analiza la señal extraída del filtro en un rango de de 0.5 a 100 Hz. Una vez que los picos de la onda R son detectados, se usa la técnica de la transformada Wavelet para detectar las ondas P y T, los resultados de este algoritmo se puede consultar en (Rose-Gomez & Serna-Encinas, 2014).

En la figura 5 se muestra la detección de las ondas P y T en diferentes latidos de registros de la base de datos MIT-BIH (Moody & Mark, 1990), para comparar nuestros resultados se usaron los presentados en (Elgendi, 2014), en la figura 5 se muestran algunos de ellos. En la figura 6 se muestra la detección con nuestro algoritmo para las mismas señales. En el artículo de Elgendi se muestran un total de 29 señales, de las cuales nuestro algoritmo empata 22 y difiere en 7.

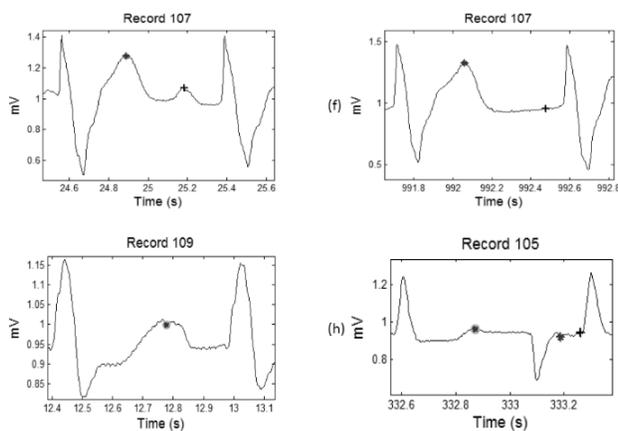


Figura 5 Detección de eventos P y T de la señal ECG

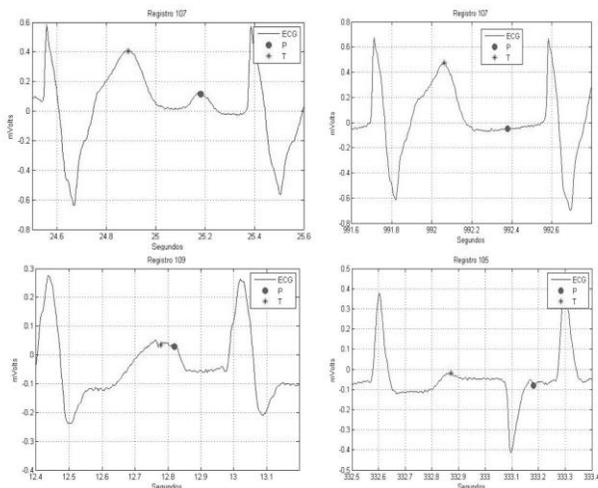


Figura 6 Detección de eventos P y T de la señal ECG con nuestro algoritmo

Posteriormente se calculan los diferentes segmentos e intervalos. Por cada latido se consideran las siguientes características (Rose-Gómez, 2015), las cuales son usadas como la entrada a la red neuronal:

- Duración compleja QRS
- Tipo complejo QRS
- Duración intervalo PQ
- Tipo intervalo PQ
- Duración intervalo QTc
- Tipo intervalo QTc
- Duración onda T
- Tipo onda T
- Intervalo RR
- Intervalo preRR
- Intervalo post RR
- Promedio local de intervalos RR
- Categoría derivada de los intervalos RR
- Incremento o decremento tasa ritmo corazón
- Incremento o decremento tasa ritmo corazón Prematuridad
- Energía complejo QRS
- Muestras en complejo QRS
- Muestras en la onda T

Clasificación de arritmias usando una red neuronal

El algoritmo general considera los siguientes algoritmos:

- 1.- Detección de eventos en la señal ECG.
- 2.- Clasificación de Arritmias.
- 3.- Detección de Ritmo Normal.
- 4.- Detección de Bradicardia / Taquicardia.
- 5.- Análisis de Intervalos de Conducción.

En esta sección se describe, por cuestiones de espacio, sólo el algoritmo para la detección de arritmias. La red neuronal artificial usada en la experimentación es de retropropagación, con gradiente conjugado, escalado de tres capas con 38 neuronas en su capa de entrada, 16 neuronas en su capa oculta y 4 neuronas en su capa de salida. Para el entrenamiento de la red neuronal se seleccionaron arritmias que fueran representativas, esto es, además de considerar los registros del latido normal (NOR), se consideraron los bloqueos de rama (LBBB y RBBB) y el latido prematuro auricular (APB), en (Rose-Gómez & Serna-Encinas, Generación de Alertas de Anomalías Cardiacas Usando un Algoritmo Inteligente Híbrido, 2015) se pueden encontrar los resultados de esta experimentación.

Las experimentaciones de todos los algoritmos se realizaron en Matlab, una vez que las pruebas realizadas se consideraron satisfactorias se procedió a implementar los algoritmos en el lenguaje ANSI C, de tal manera que se pudieran ejecutar en el dispositivo móvil para el procesamiento inteligente de la señal ECG.

Se realizaron pruebas con dos tipos de computadoras con procesadores ARM y con posibilidades de comunicación a través de WiFi y Bluetooth. La primera de ellas fue una computadora Gumstix Overo, la cual fue descartada porque su configuración es compleja y tiene un alto costo comparada con otros modelos. Se seleccionó una computadora Raspberry Pi B+, con la cual se han hecho diversas pruebas. Este dispositivo tiene un bajo costo y ha ejecutado perfectamente bien los algoritmos previamente mencionados.

En cuanto a los resultados obtenidos para la generación de alertas de tipo verde (no críticas), es importante señalar que la alerta se detecta cuando hay 5 o más latidos con la anomalía correspondiente, se usaron los datos mostrados en la tabla 1 y en esta misma tabla se muestran los resultados de alertas para este conjunto de datos.

Tipo	Registros	Tiempo	Latidos	Alerta
NOR	100,101,113,115,122	160 seg.	136	3 (Bradycardia)
LBBB	109,111,207,214	200 seg.	167	17
RBBB	118,124,212	170 seg.	158	17
APB	209,232	100 seg.	114	10

Tabla 1 Alertas generadas

Los resultados obtenidos motivaron a considerar el clasificador como bueno para usarlo en los diversos algoritmos, como la detección de Taquicardia / Bradycardia.

Agradecimiento

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por el apoyo para los proyectos de investigación 5079.13-P y 5753.16-P.

Conclusiones

En este artículo se han presentado los módulos de adquisición y preprocesamiento de la señal ECG, así como su procesamiento para detectar arritmias o anomalías cardiacas de tal manera que se puedan generar alertas, estas alertas se consideran del tipo verde, ya que las arritmias usadas para el experimento no son tan peligrosas como las fibrilaciones o como lo es un infarto al miocardio.

Las pruebas realizadas de los componentes del dispositivo médico que se ha diseñado, nos han mostrado la viabilidad de su uso en tiempo real en pacientes de tipo ambulatorio, de tal manera que bajo la consideración del sistema en el contexto de IoT, permitirá su uso en cualquier lugar donde se encuentre conectividad a la Internet. Este proyecto aún se encuentra en proceso y actualmente se está trabajando en la mejora del circuito de adquisición de la señal en aspectos de reducción de ruido y en la fuente de poder del circuito. Asimismo, se está en la etapa final de la detección de isquemias. Como trabajo futuro se tiene la detección de fibrilaciones a través de redes neuronales profundas.

Referencias

Cama, A., De la Hoz, E., & Cama, D. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. *Revista INGE CUC*, 8 (1), 163-172.

Elgendi, M. (2014). Obtenido de vixra.org: <http://vixra.org/pdf/1301.0056v1.pdf>

Evans, D. (2011). Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo, Cisco Internet Business Solutions Group.

Instituto Nacional de Salud Pública. (2012). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados nacionales. México: Instituto Nacional de Salud Pública.

Moody, G., & Mark, R. (1990). The MIT-BIH Arrhythmia Database on CD-ROM and software for use with it. *Computers in Cardiology*, 17, 185-188.

Pan, J., & Tompkins, W. (1985). A Real Time qrs Detection Algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. bme-32, págs. 230-236. IEEE.

Rose-Gomez, C., & Serna-Encinas, M. (2014). Procesamiento del Electrocardiograma para la Detección de Cardiopatías. Encuentro Nacional de la Computación ENC 2014. Ocotlán, Oaxaca: Sociedad Mexicana de la Computación.

Rose-Gómez, C. (2015). Sistema Inteligente para Alerta de Cardiopatías en Pacientes de Tipo Ambulatorio. Informe Técnico, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Hermosillo, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Hermosillo.

Rose-Gómez, C., & Serna-Encinas, M. (2015). Generación de Alertas de Anomalías Cardíacas Usando un Algoritmo Inteligente Híbrido. *Electro* 2015 , 37, 274-279.

Secretaría de Salud. (2007). Telemedicina, Serie Tecnologías en Salud (Vol. 3). México, México: Secretaría de Salud.