

Sistema de Monitoreo, Diagnóstico y Geolocalización de Pacientes de Riesgo Cardiológico.

Eduardo N CAMPAZZO

Departamento de Cs. Ex. Físicas y Naturales, Universidad Nacional De La Rioja
La Rioja, La Rioja CP 5300, Argentina

RESUMEN

El sistema al cual hace referencia el presente artículo está compuesto por dispositivos de hardware que permiten la captura, digitalización y transmisión de señales cardíacas para posteriormente transmitir las a través de un teléfono móvil a un servidor. El dispositivo conectado al paciente en forma ambulatoria tiene el principio de funcionamiento de un holter, que a su vez es conectado a una interfaz electrónica, que transmite los datos a un teléfono celular, este último retransmite las señales cardíacas en tiempo real conjuntamente con su geolocalización a través del GPS del dispositivo móvil, a un servidor con un sistema de procesamiento de señales digitales para la detección de problemas cardíacos tipificados y la geolocalización de los pacientes ambulatorios.

La primera etapa de captación de señales biométricas es constituida por electrodos de electrocardiograma conectados a amplificadores de instrumentación y filtros electrónicos activos. Esta señal adaptada para su ingreso a un conversor analógico digital con microcontrolador que transmite la captura y conversión a un teléfono celular a través de conexión Bluetooth, este último posee una aplicación que transmite las señales digitales a través del servicio de internet provisto por la red de telefonía a un servidor con un software de análisis que detecta patrones de probable existencia de problemas cardiovasculares.

Palabras Claves: Monitoreo Cardíaco, geolocalización de pacientes, diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, EKG remoto.

1. INTRODUCCIÓN

Según la OMS las enfermedades cardiovasculares (ECV) representan la principal causa de muerte en el mundo, más del 20% de las muertes registradas son producto de una ECV. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Federación Mundial del Corazón (World Heart Federation - WHF) presentaron la iniciativa 25x25, que propone reducir un 25% la mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares para el año 2025.

Un porcentaje significativo de las muertes por ECV son debidas a taponamientos en arterias coronarias. Según el Ministerio de Salud de la Nación Argentina se estiman más de 50 mil infartos cada año, por lo cual, desde el Colegio Argentino de Cardioangiólogos Intervencionistas (CACI) instan a seguir tomando conciencia sobre la importancia de la prevención, a partir del control de los factores de riesgo y de trabajar para actuar en forma inmediata ante la presencia de los primeros síntomas de un evento coronario.

En el mercado, actualmente se dispone de dispositivos denominados holters, que principalmente monitorean las señales cardíacas de manera local y registran la información en una memoria, en principio lo hacían en cintas electromagnéticas (tradicional cinta de audio) y actualmente lo hacen en memorias móviles como SD, para que posteriormente esas señales sean analizadas por un médico especialista cardiólogo.

También existen aplicaciones de smartphones que permiten monitorear el ritmo cardíaco en tiempo real, para detectar variaciones en el mismo durante una jornada de ejercicios o monitoreando el sueño.

En aplicaciones de smartphones más avanzadas, con interfaces de hardware conectadas a los mismos se logra registrar las señales cardíacas.

A través de este proyecto se desarrolló un sistema que integró diferentes tecnologías que no solo se limitan a registrar sin conectividad el funcionamiento cardíaco, como los holters, sino también poder apoyar un sistema de emergencia a través de innovación tecnológica diseñada y desarrollada en el marco de la presente propuesta.

Si bien es cierto que en este proyecto se integran tecnologías preexistentes, es importante destacar que en próximas etapas del proyecto está previsto el desarrollo e implementación de algoritmos que permitirán con un alto grado de precisión el diagnóstico temprano de enfermedades cardiovasculares, permitiendo generar alertas para los sistemas de emergencia.

Las tecnologías utilizadas para el desarrollo del prototipo funcional son del tipo open hardware, en el caso del hardware, es decir de libre utilización.

El software se desarrolló en diferentes tecnologías según el módulo, en el caso del microcontrolador se utilizó *lenguaje C++*, en la aplicación móvil *android studio* y por último en el caso del servidor *Visual Studio C# y sql server* como base de datos.

El principal factor crítico lo constituye la conectividad del dispositivo con el servidor, teniendo en cuenta la baja confiabilidad de las redes de datos de internet, tanto banda ancha como la de telefonía celular. Como medida para mitigar este factor crítico se prevé una conexión redundante a internet a través de Red 4G y Wifi, con un sistema de monitoreo que permita disparar una alerta en caso de pérdida de conexión o una conexión inestable.

La necesidad de una doble conexión de 4g/Wifi, implica que el paciente ambulatorio debe estar en un lugar de acceso a ambas redes, por lo que se limitaría la movilidad del paciente a su hogar o un domicilio con acceso a redes Wifi. Esto sería conveniente

sobre todo en lugares donde la red 4g tiene una disponibilidad reducida o baja confiabilidad.

2. DISEÑO Y DESARROLLO

El sistema consta de una etapa de captura de señales cardiovasculares, compuestas por amplificadores de instrumentación que adecuan la señal para posteriormente digitalizarla. La digitalización y posterior transmisión serial (bluetooth) de las señales son realizadas por conversores de 10 bits del microcontrolador del *Arduino Uno ATmega328*. En una etapa intermedia se encuentra una aplicación móvil que es la encargada de recibir la señal transmitida por el microcontrolador para posteriormente graficarla y retransmitirla a un servidor que las analizará.

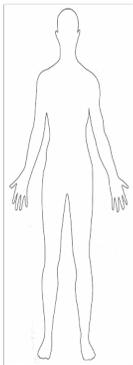


Figura 1: Diagrama de Bloques del Sistema. Componentes de Software y Hardware.

Amplificadores y filtros analógicos

Para adecuar las señales cardiovasculares es necesario amplificarlas con una ganancia aproximada de 1000, ya que las señales en la superficie de la piel están comprendidas entre $100\mu\text{V}$ y 3 mV . Por otro lado, estos amplificadores deben tener un elevado rechazo al ruido, puesto que para la amplitud de las señales de entrada el factor ruido es significativo. Por estas características de las señales de entrada donde se necesita elevada ganancia y rechazo al ruido, se elige una configuración de amplificadores de instrumentación.

En el prototipo se utilizó un circuito *SHIELD-EKG-EMG* bajo *Licencia Creative Commons* que se muestra en la Figura 2.

Esta placa tiene la configuración de amplificadores de instrumentación como así también la posibilidad de generar una señal de calibración. Por otro lado, el factor de forma de esta placa permite la conexión directa con el *Arduino Uno*, este último constituye la placa con microcontrolador empleado en el sistema para la conversión A/D y transmisión serial al teléfono celular, que por sus características funcionales es el elegido para el desarrollo del prototipo.

El *SHIELD-EKG-EMG* es un módulo de extensión para placas compatibles con *ARDUINO*. La placa viene con conectores montados sobre su superficie. Esta placa permite al *Arduino UNO* capturar señales electrocardiográficas. Puede supervisar su ritmo cardíaco y registrar su pulso.



Figura 2: SHIELD-EKG-EMG. Licencia Creative Commons.

Convertor analógico digital y microcontrolador

En esta etapa se digitaliza la señal analógica provista por el circuito que captura y adecua la señal cardíaca en la etapa anterior. Asimismo, esta señal es transmitida a través de un puerto serial con una interfaz Bluetooth a un teléfono celular. Las funciones requeridas descriptas las realiza una placa *Arduino UNO* y un módulo *Bluetooth HC-06*.

En principio se utiliza circuito *Arduino UNO* para el prototipo, mostrado en la figura 3. Este provee en un único dispositivo la capacidad de conversión, procesamiento y transmisión serial de las señales adquiridas. Como así también la posibilidad de incorporar el módulo Bluetooth que automatiza el protocolo de comunicación con el teléfono celular. De esta forma resolvemos todas las funcionalidades necesarias en esta etapa con un único dispositivo con su correspondiente módulo Bluetooth.

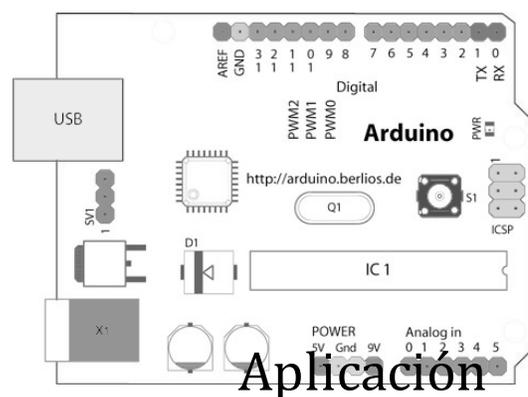


Figura 3: Esquema Arduino UNO <https://www.arduino.cc/en/Reference/Board>

Por otro lado, la velocidad de conversión que se necesita por las características de frecuencia de la señal adquirida es de 750 muestras de 10 bits por segundo. La elección de esta es debido a la necesidad de aplicar filtros por software para eliminar

principalmente las interferencias de 50 hz con sus armónicas y detectar variaciones de 5mV.

Para desarrollar el programa que controla el Arduino UNO se utilizó la IDE para C++ que provee la plataforma arduino.cc, esta también provee herramientas que permiten un desarrollo ágil para el prototipado incorporando la posibilidad de gestionar las conexiones seriales de forma automática.

Aplicación Teléfono Celular

La aplicación del teléfono celular fue realizada con *Android Studio* con el *Android Software development Kit* (Android SDK) para celulares con Sistema Operativo Android aunque se prevé la posibilidad de desarrollarlo para otras plataformas.

Este desarrollo permite al dispositivo móvil realizar las siguientes funciones:

- Gestionar la conexión a través de Bluetooth con el Arduino UNO, estableciendo velocidad de conexión y formato de datos.
- Recibir los datos provistos por la etapa anterior y calcular la variación de pulsaciones por minuto y mostrar en la pantalla del dispositivo móvil en tiempo real.
- Establecer conexión con el software del servidor de la próxima etapa para enviar los datos de las señales cardíacas integradas con la geolocalización del paciente.

Si bien es cierto que a través de la aplicación se puede mostrar las señales electrocardiográficas, se determinó que las mismas no son significativas para el paciente. Por esto se optó por mostrar la cantidad de pulsaciones por minuto y su variación.

Aplicación server de análisis señales ECG

Este componente de software es instalado en un servidor, que en un principio esta pensado para su ubicación en un centro de emergencias de salud.

Esta aplicación esta desarrollada en C#, y muestra en tiempo real las señales ECG de todos los pacientes ambulatorios.

Para graficar las señales ECG es necesario primero eliminar las componentes de ruido, especialmente las originadas por las fuentes de 50 Hz. Asimismo, para el análisis de estas señales se aplican a las mismas transformadas de Wavelet y una posterior comparación de patrones con el fin de comparar las señales del paciente ambulatorio con señales previamente tipificadas con el objetivo de diagnosticar enfermedades cardiovasculares.

3. FUNCIONAMIENTO

La primera etapa de la interfaz es conectada al paciente ambulatorio a través de los electrodos, que en este prototipo son 3, y son colocados como electrodos periféricos, en las extremidades. Posteriormente se inicializa el Arduino UNO y después se conecta la aplicación del teléfono celular.

Desde la aplicación móvil se transmiten los datos electrocardiográficos del paciente con la geolocalización al servidor. El servidor muestra el electrocardiograma de los pacientes ambulatorios y su geolocalización. Del análisis de señales que surge de la aplicación de las transformadas de

wavelet y comparación de patrones surgen posibles alertas de enfermedades cardiovasculares de los pacientes ambulatorios.

4. TRABAJO A FUTURO DEL SISTEMA

Si bien es cierto que el prototipo desarrollado es completamente funcional es necesario destacar que aun existen problemas por resolver, relacionado con la utilización de recursos de energía y datos en los dispositivos móviles. Por otro lado, también es necesario aclarar que el software de análisis de datos cardiográficos esta en una primera etapa de desarrollo, con un porcentaje de aciertos en el diagnostico aceptable. Se pretende optimizar el uso de algoritmos para el análisis de señales biométricas para mejorar la precisión del diagnóstico inmediato de ECV.

En la bibliografía consultada se puede observar que existen diferentes maneras de abordar el análisis de señales cardiológicas a través de transformadas de wavelet, o de Fourier para realizar análisis espectrales. También se pueden implementar filtros por software para el procesamiento de señales digitales y así evitar los errores inducidos por los ruidos indeseables.

Interfaz de captura y adaptación de señales biométricas

Se puede mejorar la captura de datos aumentando la cantidad de electrodos o derivaciones, ya que nuestro prototipo cuenta con 3 y se puede ampliar incorporando nuevos circuitos *SHIELD-EKG-EMG*, puesto que los mismos permiten conexiones en clúster de un máximo 6 dispositivos utilizando la totalidad de los conversores A/D que posee el *Arduino UNO*.

En el prototipo se utiliza circuitos comerciales para la captura y adecuación de las señales cardiológicas, por lo cual se puede agregar filtros activos para eliminar ruidos y en consecuencia mejorar la relación señal ruido.

Software de análisis de señales

Se puede incorporar nuevos patrones de señales biométricas previamente censadas con enfermedades cardiovasculares diagnosticadas para agregar al sistema experto, y porque no también a motores de machine learning logrando optimizar el auto-diagnostico del sistema teniendo en cuenta la heterogeneidad de los pacientes y las diferentes patologías que ellos pueden tener con sus condiciones individuales.

Incorporando inteligencia artificial se puede incrementar la precisión de los diagnósticos realizados por el sistema, disminuyendo el margen de error, esto puede ser producto de la incorporación de nuevos patrones comparativos de señales provenientes de otros pacientes.

5. CONCLUSIONES

El sistema propuesto en el presente documento no pretende reemplazar a los profesionales de la salud para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, pero si se puede considerar una herramienta más de apoyo a estos profesionales para que puedan realizar diagnósticos y tratamientos con un mayor grado de acierto. También este desarrollo representa un sistema de prevención para que los pacientes de riesgo de ECV puedan tener una rápida respuesta en caso de un evento producto de una cardipatía, puesto que los sistemas de emergencia podrán estar

informados en tiempo real el estado de los pacientes ambulatorios.

Dicho monitoreo puede ser realizado desde las guardias de emergencias de los centros de salud (sanatorios, hospitales y servicios de emergencias), los que al recibir las señales de alerta asignarían las ambulancias con los servicios coronarios correspondientes en el menor tiempo posible.

Este sistema permite:

- a) Mejorar la detección y tiempo de respuesta ante una emergencia coronaria.
- b) La anomalía cardíaca detectada en forma temprana, permite a los pacientes de riesgo esperar, en el caso que sea necesario, una intervención quirúrgica coronaria previamente planificada en la tranquilidad de su hogar.
- c) Ahorro de costos de servicios de internación por liberación de camas para pacientes estabilizados que pueden recuperarse en sus hogares utilizando el monitoreo cardíaco ambulatorio.
- d) Los cardiólogos pueden realizar un seguimiento continuo y en tiempo real de la evolución cardíaca de sus pacientes en recuperación.
- e) Mejora en la calidad de vida y recuperación del paciente, por encontrarse monitoreado en la comodidad de su hogar, en un entorno familiar y sin el riesgo de contraer alguna enfermedad hospitalaria.
- f) Permite aprovechar los avances tecnológicos innovando y modernizando el sector de salud.
- g) Contribuye a la disminución de la mortalidad de pacientes con enfermedades cardiovasculares al minimizar el riesgo de atenciones cardíacas tardías.

6. REFERENCIAS

- [1] Almeida Rute. y OLMOS Salvador. Automatic delineation of t and p waves using a Wavelet-based multiscale approach, En: international congress on computational bioengineering, España, 2003.
- [2] BLANCO, Harold. y CONTRERAS Sonia. Caracterización de señales ECG para el reconocimiento de arritmias cardíacas utilizando Wavelet, Universidad tecnológica de Bolívar, Colombia.
- [3] CHOUAKRI S., BAREKSI-REGUIG F. The Assessment of the Wavelet transform theory: Application to the electrocardiogram signal. En: Memorias ACOMEN 2002. Bélgica. Mayo de 2002.
- [4] COHEN, Albert. y KOVACEVIC, Jelena. Wavelets: The mathematical background En: Proceedings of IEEE, April 1996.
- [5] CUESTA, David. Estudio de métodos para procesamiento y agrupación de señales electrocardiográficas. España, Septiembre 2001. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- [6] FRIESEN, Gary. Et al. A comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms, En: IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 31, Núm. 1, Enero, 1990, pp. 85-98.
- [7] GERTZ E., P. DI JUSTO. Environmental Monitoring with Arduino. O REILLY. 2012.
- [8] GUARÍN, Gustavo. Extracción de parámetros de ECG en tiempo real basados en Transformaciones no lineales y Wavelets sobre DSP, Manizales, Colombia, 2004.

- [9] H. Spath. Cluster Analysis Algorithms. Ellis Horwood, 1980. 22. L. Sörnmo. Time-varying digital filtering of ecg baselinewander. Medical and Biological Engineering and Computers, pages pp. 503–508, 1993.
- [10] I. Rezek and S.J. Roberts. Learning ensemble hidden markov models for biosignal analysis. In 14th International.
- [11] J.J. Segura, D. Cuesta, L. Samblás, and M. Aboy. A microcontroller-based portable electrocardiograph recorder. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 51(9):1686–1690, 2004.
- [12] KOKTURK Gulden. A real time simulate QRS detection system constructed using Wavelet filtering technique. En: IEEE Trans. Biomedical. 1998.
- [13] LI, Cuiwei., ZHENG, Chongxun., TAI, Changfen. Detection of ECG Characteristic Points Using Wavelet Transforms, En: IEEE Transactions on biomedical engineering, vol. 42, N° 1, Enero 1995.
- [14] MARTÍNEZ, Juan y OLMOS, Salvador. Sistema de detección de puntos significativos de la señal ECG basado en la transformada Wavelet, URSI 2000. Libro de Actas pág. 603-604. Zaragoza, España.
- [15] MENDOZA, A., ARCHILA, J., y ARDILA, A. Caracterización del intervalo QT en una señal electrocardiográfica usando la transformada Wavelet, En: memorias II congreso latinoamericano de ingeniería biomédica, Cuba 2001.
- [16] NOVÁK, Daniel. Processing of ECG signal using Wavelet. Final Thesis. Praga, 2002. Czech Technical University in Prague. Faculty of Electrical Engineering, Department of Cybernetics.
- [17] PROVAZNIK, Ivo. Wavelet analysis for signal detection Applications to experimental cardiology research. Republica Checa, 2002. Tesis de habilitación, Brno University of Technology.