

Plataforma IOT para Monitoreo Remoto de pacientes con Insuficiencia Cardíaca y técnicas de IA para la detección temprana de Fibrilación Auricular

» Sergio Javier Liberczuk

CAETI – Universidad Abierta Interamericana – Facultad de Tecnología Informática, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ). Buenos Aires, Argentina.

Universidad de Buenos Aires (UBA). Ciudad de Buenos Aires, Argentina

Resumen

El Telemonitoreo permite obtener información de rutina sobre el estado del paciente con fines de seguimiento y cuidado remoto. Las plataformas de telemonitoreo implementan mecanismos a través de sistemas de software que leen las alteraciones de los signos vitales, y permiten detectar descompensaciones en etapas incipientes para facilitar su tratamiento. En el presente artículo describimos la primera plataforma de telemonitoreo que combina IoT e IA y que se está desarrollando en el país. Esta plataforma permite que pacientes con diferentes patologías crónicas -actualmente insuficiencia cardíaca- puedan recibir la atención adecuada desde casa. El proyecto comprende dos objetivos técnicos concretos: a) desarrollar una aplicación móvil que controle los dispositivos de medición, incluido un ECG monocanal, b) producir algoritmos de procesamiento de señales biomédicas y, en particular, de detección de fibrilación auricular que se incluyan en la plataforma. En este artículo se informan los resultados preliminares del proyecto, centrándose en describir el diseño y evaluación de algoritmos de detección de Fibrilación Auricular, que han logrado resultados alentadores en términos de Exactitud, Precisión, Especificidad y Sensibilidad.

PALABRAS CLAVE: MONITOREO REMOTO DE PACIENTES (RPM), ECG, APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, IOT, FIBRILACIÓN AURICULAR (FA).

IOT Platform for Remote Monitoring of Patients with Heart Failure and AI techniques for the early detection of Atrial Fibrillation

Abstract

Telemonitoring allows routine information to be obtained about the patient's condition for monitoring and remote care purposes. Telemonitoring platforms implement mechanisms through software systems that read alterations in vital signs and allow decompensations to be detected in incipient stages to facilitate their treatment. In this article we describe the first

telemonitoring platform that combines IoT and AI and that is being developed in the country. This platform allows patients with different chronic pathologies - currently heart failure - to receive appropriate care from home. The project comprises two specific technical objectives: a) develop a mobile application that controls measurement devices, including a single-channel ECG, b) produce biomedical signal processing algorithms like atrial fibrillation detection that are included in the platform. This article reports the preliminary results of the project, focusing on describing the design and evaluation of Atrial Fibrillation detection algorithms, which have achieved encouraging results in terms of Accuracy, Precision, Specificity and Sensitivity.

KEYWORDS: REMOTE PATIENT MONITORING (RPM), ECG, MACHINE LEARNING, IOT, ATRIAL FIBRILATION (AF)

Introducción

De acuerdo con las definiciones del Ministerio de Salud de la República Argentina, la telesalud involucra “la entrega de servicios de salud usando las TICs, específicamente cuando la distancia es un obstáculo para los servicios de la salud” [1]. Según dichas definiciones, la telesalud comprende cuatro dimensiones: la telemedicina, la teleeducación, la teleinvestigación y la telegestión.

La telemedicina involucra a su vez un espectro de opciones para la atención y seguimiento médico mediado por las tecnologías informáticas. Dentro de éstas, se tiene la teleconsulta, o la búsqueda de información médica o asesoramiento por personal médico, la cual puede desarrollarse entre pacientes y profesionales de la salud o entre estos últimos. En la actualidad, la teleconsulta es la de mayor uso por ser la consulta médica la base de la práctica clínica en medicina. La teleconsulta puede realizarse asincrónicamente, es decir, cuando la recopilación de información y su análisis por parte del profesional se realizan en momentos distintos, y sincrónica, en donde la consulta se realiza en tiempo real (por ejemplo, mediante videoconferencia). Por otra parte, se tiene el **Telemonitoreo**, que permite obtener información de rutina o especial con respecto a la condición del paciente -variables fisiológicas, imágenes, etc.- con el fin de monitoreo o seguimiento. Intuitivamente, el telemonitoreo ofrece oportunidades para identificar la escalada de síntomas y facilitar los cuidados proactivos oportunos.

El telemonitoreo, como tal, es particularmente beneficioso para el cuidado en el hogar de pacientes con enfermedades crónicas [2][3]. Por ejemplo, se estima que un 10% de la población mayor a 70 años padece insuficiencia cardíaca, mientras que un tercio de la población adulta padece hipertensión arterial. Así, las plataformas de monitoreo implementan a través de sistemas de software mecanismos que monitorean a distancia la presencia de síntomas o alteraciones en los signos vitales, lo que permite detectar las descompensaciones en etapas incipientes y facilitar su tratamiento evitando la saturación de los sistemas de salud. Esto permite reducir significativamente la mortalidad tanto como la tasa de reinternaciones y la adherencia terapéutica de los pacientes.

La adopción de sistemas de monitoreo, sin embargo, no está libre de desafíos [4] entre los que pueden mencionarse la usabilidad, ergonomía y facilidad de operación -sobre todo pensando en adultos mayores-, la redituabilidad económica, la durabilidad y robustez, y la compatibilidad con

estándares establecidos tales como HL7 y FHIR [5]. Así, en el marco del proyecto dirigido por el autor en el CAETI (Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática) y desde la empresa Virtual Sense, y en conjunto con investigadores del CONICET del IAM (Instituto Argentino de Matemática) y del ISISTAN (Instituto Superior de Ingeniería de Software Tandil), es que se está desarrollando la primera y única plataforma de telemonitoreo que integra IoT (Internet of Things) y aprendizaje maquina (IA) del país, financiado por un subsidio de la Fundación Sadosky y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

El propósito de la plataforma es permitir a los pacientes con diferentes patologías crónicas -actualmente la plataforma se enfoca en la insuficiencia cardíaca- recibir una atención adecuada desde el hogar. En su versión actual, el proyecto comprende 2 objetivos técnicos, vale decir el desarrollo de: a) una aplicación móvil que utiliza el protocolo Bluetooth Low Energy para conectarse a diferentes dispositivos médicos de medición, incluido un ECG inalámbrico, b) el desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales biomédicas como los de detección de fibrilación auricular o estimación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para cuantificar de algún modo aproximado el nivel de estrés del paciente.

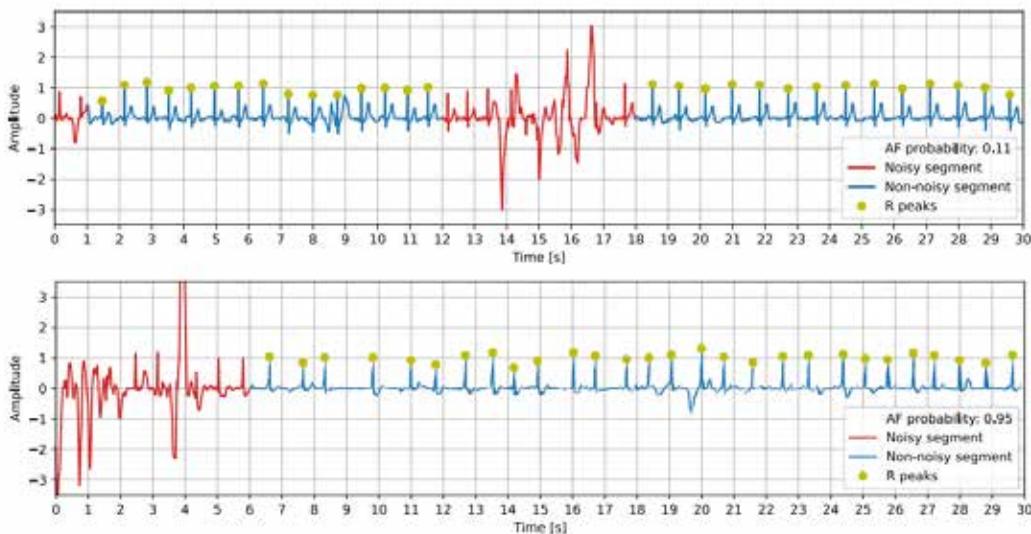
En la primera sección de este artículo, **Algoritmos de detección y Bases de datos**, se reportan los resultados preliminares de este proyecto, con foco en describir el diseño, la evaluación y la validación de los algoritmos de detección de Fibrilación Auricular implementados al momento. Por su parte, la sección **Arquitectura** brinda detalles de la arquitectura de software de la plataforma y las tecnologías involucradas en su estado actual. Finalmente, la sección de **Conclusiones** concluye el artículo y describe los próximos pasos a seguir en el proyecto.

Algoritmos de detección y base de datos

Las plataformas de telemonitoreo, y en particular, aquellas que detectan patologías cardíacas, favorecen la toma de datos, con fines de análisis posterior, mediante smartphones o dispositivos portátiles. Esto resulta de gran utilidad ya que posibilita el monitoreo continuo en un gran número de usuarios hogareños. Sin embargo, las señales de electrocardiograma (ECG) obtenidas mediante tales dispositivos suelen ser de baja calidad debido a la alta proporción de ruido. Esto se debe a que los dispositivos son portátiles, pequeños y no tan sofisticados, y a que en la mayoría de los casos la señal no es tomada por un profesional de la salud sino por el propio paciente. En el contexto de este proyecto, se trabajó en los algoritmos para procesar estas señales como paso previo a realizar la detección temprana de patologías cardiovasculares. Para poder procesar estas señales, es necesario primero detectar su calidad, permitiendo encontrar segmentos no ruidosos. De esta forma, la detección de calidad de señales cobra importancia y se vuelve clave para cualquier tipo de procesamiento posterior. Los segmentos no ruidosos son los que luego se procesan para realizar detección automática de fibrilación auricular (FA). Se trabajó con datos obtenidos de dispositivos monoderivación.

Figura 1.

Detección de Ruido (en rojo) en la señal de ECG, arriba) señal sin FA presente, abajo) señal con FA presente



Los algoritmos aquí desarrollados se construyeron utilizando la base de datos Short Single-Lead AF Database (SSLAFDB) de Physionet [6]. Esta cuenta con 8528 señales de ECG de 1 derivación de duración entre 9 y 60 segundos obtenidas mediante un dispositivo para smartphone. La frecuencia de muestreo de las señales es de 300 Hz. Estas señales se encuentran clasificadas en 4 clases según el ritmo predominante: N: Ritmo normal/sinusal, A: Fibrilación auricular, O: Otros ritmos y ~: Ruidosas.

En la siguiente tabla pueden verse los resultados obtenidos para la validación de los algoritmos utilizando 5 atributos de la señal distintos previamente calculados. En la primera columna se utilizaron solo ritmos A y N para entrenar y testear. En la columna de la derecha se muestran los resultados agregando ritmos O al conjunto de datos y clasificando de forma dicotómica entre FA y no FA. Todas las métricas reportadas fueron obtenidas realizando validación cruzada con 5 particiones.

Tabla 1.

Resultados de la Detección de FA

	Ritmos N y A	Ritmos N, A y O
Exactitud	92.74	86.62
Precisión	94.90	88.35
Especificidad	95.11	88.84
Sensibilidad	90.37	84.4

Arquitectura

Se ha desarrollado una primera versión de la plataforma, que incluye una aplicación móvil desarrollada en Flutter y un backend en PHP y Laravel. Flutter [7] es un framework open source de Google que permite construir aplicaciones móviles multiplataforma utilizando el lenguaje Dart, y compilar el código de forma nativa a diferentes plataformas móviles (Android, iOS) y Web. Actualmente, se ha producido una versión para Android8.

El backend, por su parte, expone a través de una API Rest diversos servicios para recepcionar mediciones realizadas por los dispositivos y comunicadas por la app. Estas mediciones se almacenan en el backend y se asocian a un paciente, el cual se identifica de forma unívoca a través de las credenciales de acceso a la app. Además, en el backend existen servicios que, mediante Docker, ejecutan los algoritmos de detección de ruido en señal ECG y fibrilación auricular, los cuales están implementados en Python. En lo que respecta a la APP en sí, la misma integra diferentes SDK que implementan los mecanismos específicos para comunicarse, con los dispositivos de medición soportados. Al momento, esto incluye:

- Una balanza (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chipsea.-btcontrol.en>) de la empresa OKOK International.
- Un tensiómetro (<https://www.linkedin.com/company/joytech-healthcare>) de la empresa JoyTech Health Care Inc.
- Un pulsioxímetro de la empresa YonkerCare (<https://www.yonkerCare.com/>).
- Un ECG de la empresa Borsam Biomedical Instruments (<http://en.wecardio.-com/>).

Figura 2.

Dispositivos Vinculados a la plataforma



En algunos casos, se integró un SDK existente provisto por la empresa, y en otros, se implementó como parte del proyecto el SDK a partir de la especificación de bajo nivel del protocolo BLE específico del dispositivo. Cabe destacar que los SDK están implementados en código nativo, por lo que la comunicación Dart-SDK se realiza utilizando el mecanismo de Method Channel [6]. Este mecanismo permite llamar desde Flutter a funciones nativas, por ejemplo, código Java o Kotlin para SDK versión Android o código Swift o Objective-C para SDK versión iOS.

Conclusión

En este artículo se han descrito los avances hacia una plataforma de software para telemonitoreo, que apunta a permitir un monitoreo permanente de pacientes, lo que posibilita detectar emergencias o situaciones de riesgo, reducir los tiempos de traslado y riesgos de contagios intrahospitalarios. Asimismo, la plataforma permitirá a las instituciones médicas atender a un número mayor de pacientes, a un menor costo, y con mayor eficiencia en los resultados. La

plataforma constituye un aporte para mejorar el acceso al sistema de salud de la población en principio de Argentina que padece patologías crónicas, debido a que permite el acceso a los profesionales más capacitados de acuerdo a cada patología, independientemente de su localización territorial.

En una primera etapa, la plataforma buscará brindar el servicio a pacientes que sufren insuficiencia cardíaca y han tenido una internación en los últimos 12 meses, ubicados en el Área Metropolitana de Buenos Aires. Como pasos subsiguientes, se validarán los resultados de los algoritmos mediante señales de ECG reales, en base al dispositivo ECG ya integrado (ECG WeCardio de la empresa Borsam). Con estos datos de pacientes reales, se podrán además analizar ciertas métricas de performance, como sensibilidad y especificidad versus los distintos niveles de ruido presentes en la señal. Además, se ampliará la plataforma para atender pacientes con hipertensión arterial, diabetes, parkinson y otras enfermedades crónicas, para lo que se profundizará en la integración con dispositivos de medición necesarios, se expandirá la funcionalidad de la app, y se desarrollará la algoritmia necesaria. Por otra parte, debido a que el backend ya cuenta con soporte de almacenamiento de datos, se está diseñando una interfaz bajo los estándares HL7 y FHIR ([\url{https://hl7.org.ar/site/home}](https://hl7.org.ar/site/home)) para intermediar entre clientes y backends externos (como pueden ser sistemas de hospitales e historia clínica) para permitir acceder a dichos datos de acuerdo a los principios de interoperabilidad de dichos estándares. En principio, esta interfaz solo aplicará a los datos observados de los dispositivos de medición y los datos de pacientes, para luego expandirse a todo el espectro de los datos que almacena la plataforma.

Referencias

- » [1] Ministerio de Salud de la República Argentina (2023), "Preguntas frecuentes sobre Telesalud". <https://www.argentina.gob.ar/salud/telesalud> (último acceso Abril de 2023).
- » [2] Merchant, M. H., Alsalem, A. B., Warnock, M., Wirth, D., and Ogunniyi, M. O. (2018), "The Impact of Telemonitoring on 30-day Readmissions for Patients Hospitalized with Heart Failure: A Safety-Net Hospital's Experience". *Journal of Cardiac Failure*, 24(8), S93.
- » [3] Koehler, F., Koehler, K., Deckwart, O., Prescher, S., Wegscheider, K., Kirwan, B., Winkler, S., Vettorazzi, E., Bruch, L., Oeff, M., and others (2018), "Efficacy of telemedical interventional management in patients with heart failure (TIM-HF2): a randomised, controlled, parallel-group, unmasked trial". *The Lancet*, 392(10152), 1047-1057.
- » [4] Hashemi, A., Nourbakhsh, S., Tehrani, P., and Karimi, A. (2018), "Remote tele-monitoring of cardiovascular patients: Benefits, barriers, new suggestions". *Artery Research*, 22, 57-63.
- » [5] Setyawan, R., Hidayanto, A. N., Sensuse, D. I., Suryono, R. R., and Abilowo, K. (2021), "Data Integration and Interoperability Problems of HL7 FHIR Implementation and Potential Solutions: A Systematic Literature Review". *5th IEEE International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)* (pp. 293-298)
- » [6] PhysioNet (2017), "AF Classification from a short single lead ECG recording: the PhysioNet/ Computing in Cardiology Challenge 2017". <https://archive.physionet.org/challenge/2017/> (último acceso Abril de 2023)
- » [7] Windmill, E. (2020), "Flutter in action". Simon and Schuster.