

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Automatización de procesos
Recibido: 10/08/19 | Aceptado: 10/11/19 | Publicado: 22/11/19

Propuesta de Arquitectura de Dispositivo para Controlar Parámetros del Corazón

Device Architecture Proposal to Control Heart Parameters

Ignais La Paz Trujillo

¹Universidad de las Ciencias Informáticas. Km 2½ Autopista La Habana - San Antonio de los Baños, La Habana.
ilapaz@uci.cu

Resumen

En el presente trabajo se muestran datos de la principal causa de muerte en Cuba, lo que resulta en una gran cantidad de defunciones por enfermedades cardiovasculares como un problema social. Se hace énfasis en que una respuesta a tiempo a pacientes en estado crítico puede reducir las posibilidades de muertes. Se presentan tecnologías de software y hardware factibles para monitorizar funciones del corazón. Apoyado en esto, se realiza una propuesta de arquitectura de un sistema capaz de controlar los parámetros del corazón de una persona con el fin de mantener informado al personal médico de su estado en tiempo real. Asimismo, se propone un mecanismo de alarma en caso de descompensación y de localización del paciente en caso de estar inhabilitado para informar su situación. La implementación de la propuesta reduciría el tiempo de respuesta de los galenos, así como la tasa de mortalidad en pacientes con enfermedades cardiovasculares por falta de intervención temprana.

Palabras clave: Enfermedades cardiovasculares; internet de las cosas; plataformas IoT; Arduino; e-Health Sensor Shield v2.

Abstract

In the present work, data were shown on the main cause of death in Cuba, resulting in a large number of death due to cardiovascular diseases as a social problem, it was emphasized that a timely response to critically ill patients could reduce the chances of death. Feasible software and hardware technologies were presented to monitor heart functions. Based on this, he made the proposal of the architecture of a system capable of controlling the parameters of a person's heart in order to keep the medical staff informed of their status in real time, to have an alarm mechanism implemented in case of decompensation and locate the patient in case of being disabled to inform their status. If the

proposal is implemented, it could be said that the response time would be reduced, which would result in a decrease in the mortality rate in patients with cardiovascular diseases.

Keywords: *Cardiovascular diseases; internet of things; IoT platforms; Arduino; e-Health Sensor Shield.*

Introducción

Partiendo de la práctica de que todas las cosas a nuestro alrededor generan datos hoy se manejan nuevos términos tecnológicos; ya no solo se pueden comunicar mediante dispositivos de cómputo personas con personas, en la actualidad es posible conectar todo tipo de objetos que generan información, se pueden vincular a Internet aparatos de cualquier magnitud, desde una cafetera, un zapato, una casa hasta un avión o un buque. Campos de cultivos agrícolas son hoy monitorizados y controlados a distancia gracias al Internet, surgiendo así conceptos como Internet de las cosas, IoT por sus siglas en inglés.

Internet de las cosas abarca una amplia gama de procesos y sistemas informáticos, basados principalmente en recolectar información de todo a nuestro alrededor capaz de brindar algún dato que permita generar eventos o respuestas de otros sistemas o del propio ser humano. Su empleo se puede ver presente en diferentes casos de uso como: la domótica, ciudades inteligentes, la agricultura, la industria y la medicina.

Para Cuba uno de los pilares principales de su sistema social es la medicina. El gobierno cubano no escatima al encaminar considerables inversiones en garantizar una población sana, llegando incluso a beneficiar a otros países con sus logros en el área de la salud. A pesar de los esfuerzos el principal padecimiento en relación con las 10 primeras causas de muerte, son las enfermedades del corazón que ocupan el primer lugar con una tasa de 241.6 por 100 000 habitantes(2017), según el Anuario Estadístico de Salud para el período 2017-2018. En el 2017 hubo 27176 muertes por enfermedades del corazón lo cual representa el 64.9% de las defunciones totales del país en ese año. (Dra. BessConstantén, 2018)

Cuba se acoge a la profilaxis trazada por el PLAN DE ACCIÓN MUNDIAL PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE LAS ENFERMEDADES NO TRANSMISIBLES 2013-2020, aun así, las medidas no son suficiente.

El intervalo de tiempo que transcurre desde que el paciente con infarto agudo de miocardio entra en un hospital hasta que recibe tratamiento resulta fundamental para su supervivencia y no debería ser superior a 90 minutos. La tasa relativa de mortalidad, en pacientes que han sufrido un infarto, aumenta en el 7,5% por cada 30 minutos de retraso. Por tanto, el período de respuesta es fundamental para disminuir la tasa de mortalidad en pacientes con problemas del corazón. (funciondelcorazon.com, 2019)

El objetivo fundamental de este trabajo es realizar una propuesta de arquitectura de un sistema basado en internet de las cosas para minimizar el tiempo de respuesta de atención a pacientes con enfermedades cardiovasculares en caso de un posible estado de shock y/o infarto del miocardio. El sistema debe ser diseñado para personas que se encuentren fuera de sala de ingreso, relativamente alejados de un centro hospitalario. Se estima que si se controlaran los parámetros presión arterial y pulsaciones del corazón, cuando estos denoten una evidente descompensación el sistema debe ser capaz de generar alarmas y así prevenir una posible muerte.

Materiales y métodos o Metodología computacional

Hoy Cuba cuenta con una red de datos 3G capaz de dar servicio desde casi cualquier rincón de la geografía nacional. Las tecnologías asociadas al uso de IoT son cada vez más accesibles, pues se encuentran varias posibilidades libres de uso en internet. Hardware económico y de diferentes gamas son hoy asequibles y libres para probar e innovar soluciones prácticas. Apoyado en ello el presente trabajo intenta dar una propuesta de arquitectura a una solución para disminuir los tiempos de respuestas a pacientes que presentan síntomas de infarto del miocardio u otra dolencia del corazón, esto a su vez traería consigo una disminución de casos de defunción en Cuba por causas relacionadas con enfermedades cardiovasculares. La idea central consiste en demostrar que es posible censar parámetros que permitan conocer el estado de un paciente en todo momento, enviar los datos de manera remota y establecer un mecanismo de alarma y respuesta en caso necesario.

Internet de las Cosas.

Existen diversas percepciones cuando se refiere a Internet de las Cosas, muchos autores realizan su propia interpretación según su uso o experiencia, esto hace que sea un término difícil de conceptualizar. Sin embargo, una manera sencilla de entender sería usando el concepto de adoptado por la IEEE tomado del libro *Architecting the Internet of Things* de Dieter Uckleemann, Mark Harrison y Florian Michaeles publicado en 2011:

"Internet de Cosas es una parte integrada de Futuro Internet y podría definirse como a dinámica global red infraestructura con capacidades auto configurables basadas en estándar y protocolos de comunicación interoperables donde "cosas" físicas y virtuales tienen identidades, atributos físicos, y personalidades virtuales y usan interfaces inteligentes, y son perfectamente integrado en la red de información."(Minerva, 2015)

Por otro lado, para obtener valor de IoT, es útil tener una plataforma en la que crear y administrar aplicaciones, ejecutar análisis y almacenar y proteger sus datos. Al igual que un sistema operativo para una computadora portátil, una plataforma hace muchas cosas en segundo plano que hacen la vida más fácil y menos costosa para los desarrolladores y usuarios.(Minerva, 2015)

Plataformas IoT:

Una plataforma IoT es una tecnología de múltiples capas que permite el aprovisionamiento, la administración y la automatización simples de dispositivos conectados dentro del universo de Internet de las cosas. Básicamente conecta su hardware, por diverso que sea, a la nube mediante el uso de opciones de conectividad flexibles, mecanismos de seguridad de nivel empresarial y amplios poderes de procesamiento de datos. Para los desarrolladores, una plataforma IoT proporciona un conjunto de características listas para usar que aceleran enormemente el desarrollo de aplicaciones para dispositivos conectados, así como también se ocupan de la escalabilidad y la compatibilidad entre dispositivos. (Project, 2019)

En general una plataforma IoT consta medularmente de tres partes:

1. Los dispositivos desplegados en campo, local o entorno sobre el cual se quiera tener control o recolección de datos
2. Una pasarela o Gateway la cual conecta el flujo y almacenamiento de los datos entre el resto de las partes, además de contar con la capacidad de realizar tareas automatizadas a partir del análisis de la información.
3. La nube la cual puede ser vista como la capa de acceso, visualización y compartición de los datos.

Todas estas características nos aportan una gran gama de posibilidades para experimentar y explotar de manera sencilla las potencialidades de IoT. La capacidad de una plataforma de comunicarse con diferentes tecnologías y dispositivos incide en una ventaja. Existen diferentes tecnologías como Arduino de hardware abierto prestas a ser usadas por su bajo costo monetario y con interfaces fáciles de aprender.

Arduido:

Arduino es el ecosistema de hardware y software de código abierto líder en el mundo. La compañía ofrece una gama de herramientas de software, plataformas de hardware y documentación que permiten a casi cualquier persona ser creativa con la tecnología. Arduino es una herramienta popular para el desarrollo de productos IoT. Originalmente comenzó como un proyecto de investigación de Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino y David Mellis en el InteractionDesignInstitute de Ivrea a principios de la década de 2000. (Arduino, 2019)

Arduino cuenta además con una amplia gama de sensores y actuadores los cuales pueden ser acoplados con disímiles fines. En varios centros de estudio y experimentación colectando datos como: temperatura, presión, presencia, humedad entre otros, se han logrado proyectos como invernaderos inteligentes, pequeños robots con funcionalidades básicas o locales domotizados.

Para este trabajo principalmente es de interés la detección del pulso y presión arterial de un ser humano.

e-Health Sensor Shield v2.0:

El e-Health Sensor Shield v2.0 permite a los usuarios de Arduino y Raspberry Pi realizar aplicaciones biométricas y médicas donde se necesita monitorización corporal mediante el uso de sensores. Esta información se puede utilizar para monitorear en tiempo real el estado de un paciente o para obtener datos confidenciales para luego ser analizados para un diagnóstico médico. La información biométrica recopilada se puede enviar de forma inalámbrica utilizando cualquiera de las 6 opciones de conectividad disponibles: Wi-Fi, 3G, GPRS, Bluetooth, 802.15.4 y ZigBee, según la aplicación. En total, las señales biológicas tratadas son:

- Posición del Cuerpo
- Pulso y Oxímetro
- Presión Sanguínea
- Temperatura
- Flujo Respiratorio
- Respuesta Galvánica de la Piel
- Glucómetro
- Electrocardiograma
- Electromiograma

En su página oficial se puede acceder por un precio de 240€ lo que al cambio en el momento de este trabajo tiene un equivalente de 264.86 USD. (Robot, 2019)

Basado en hardware similares, la empresa TheIoT Marketplace ha creado el dispositivo MySignals el cual es comercializado con precios superior a los 1400 € cuenta además con un servicio a plataforma con diferentes ofertas que van desde 99 a 499€ La siguiente tabla muestra un estudio comparativo con algunos datos de interés para su comparación.

	e-Health V2.0	MySignals
Arquitectura	Compatible con Arduino	Libelium IoT Core
Memoria RAM	2k	8k
Microprocesador	Atmega 328	Atmega 2560
Memoria Flash	32k	256k
Sensores	10	16
Señales de Radio	BT, ZigBee, 4G/3G/GPRS	BLE, Wi-Fi, BT, ZigBee, 4G/3G/GPRS
Sensores		
Posicion del Cuerpo	Si	Si

Flujo Respiratorio	Si	Si
Temperatura	Si	Si
Electromiograma	Si	Si
Electrocardiograma	Si	Si
Flujo de aire	Si	Si
Respuesta galvánica	Si	Si
Presión Sanguinea	Si	Si
Pulsómetro	Si	Si
Glucómetro	Si	Si
Espirómetro	No	Si
Ronquido	No	Si

Tabla 1 Comparación e-Health vs MySignals

Es evidente que MySignals es superior en cuanto a prestaciones, pero e-Health Sensor Shield v2.0 cuenta con todo lo necesario para el sistema que se desea proponer. Otro aspecto a tener en cuenta es que, aunque MySignals posee varias conexiones inalámbricas no está diseñado para ser un dispositivo portátil, más bien está trata a pacientes que se encuentren por lo general en reposo o acostados.

Otra propuesta interesante la trae Javier Mata Contreras de la Universidad de Málaga, España, en su tesis **SENSORES BIOLÓGICOS SOBRE ARDUINO CON CONEXIÓN BLUETOOTH A APP ANDROID**, la cual resume que su solución expone una aplicación para terminales móviles que permite la adquisición y representación, entre otras funcionalidades, del electrocardiograma y el electromiograma del usuario. La adquisición de los datos biométricos está realizada mediante una arquitectura Arduino UNO Rev. 3 extendida con el sistema e-Health Sensor Shield V2.0. La comunicación entre el bloque de adquisición de datos y la aplicación móvil se realiza mediante el protocolo Bluetooth gracias a la extensión para Arduino Communication XBee Shield con el Bluetooth Module PRO. La aplicación móvil ha sido desarrollada sobre Android a través del entorno de desarrollo Android Studio. Dicha aplicación permite la representación gráfica de los datos obtenidos, así como su almacenamiento para su posterior visualización. (Contreras, 2017)

Debido a que en esta solución el paso de la información de los sensores es a una aplicación para Android y la comunicación es mediante bluetooth, se limita el acceso a los datos, la lectura es local y solo para los dispositivos que cuenten con el sistema operativo específico.

Comunicación:

Como se mencionó anteriormente, el funcionamiento lógico de los sistemas de IoT deben contar un mecanismo de conexión, para así lograr una recolección de datos, supervisión, o control de un entorno de manera remota. Gracias a que hoy no solo contamos con ethernet, nuevos protocolos son difundidos como IEEE 802.11b más conocido como Wi-Fi, o las redes de datos móviles 3G, 4G y hasta 5G se puede lograr con diversas técnicas y la ventaja de poder acoplar objetos físicos de manera inalámbrica.

Si uno de los objetivos de la solución a proponer es poder monitorizar a un paciente, doliente de una enfermedad cardiovascular, lo fundamental es tener acceso de su estado desde cualquier lugar fuera de un hospital, algo más cercano a la vida cotidiana. e-Health Sensor Shield v2.0 cuenta con múltiples opciones de conectividad, y dada la condición que el presente trabajo es una propuesta puramente teórica, no se tiene total garantía que pueda hacer uso de la red 3G cubana ya que no es conocimiento la frecuencia por la que opera el dispositivo, por lo que se propone un aditamento opcional para la conexión.

ADAFRUIT FONA MÓDULO 3G GSM Y GPS 808 es una tarjeta fácilmente acoplable a un microcontrolador Arduino, y cuenta con las siguientes características:

- Cuatro bandas 850MHz GSM, 900MHz EGSM, 1800MHz DCS, 1900MHz PCS capaz de conectar con cualquier red GSM global con cualquier SIM 2G
- Por tratarse de la especificación europea también es dual-band UMTS/HSDPA 900/2100MHz WCDMA + HSDPA para conectar con redes 3G europeas.
- GPS integrado proporcionado por el Qualcomm PM8015 GPS que puede ser consultado y controlado por puerto serie.
- Puede realizar y recibir llamadas mediante micro auriculares o con altavoz y micro externos.
- Enviar y recibir SMS
- Enviar y recibir datos por GPRS (TCP/IP, HTTP, etc.)
- Soporte USB nativo, se puede conectar a un PC y por puerto serie podremos usar comandos AT, obtener coordenadas GPS y usarlo como modem.(2019)

Además cuenta con otras particularidades muy interesantes:

- Se alimenta a través de una batería a 3.7V (de al menos 500mA) y cuenta con circuito de carga integrado. La recarga se realiza a través de puerto micro USB y dispone de indicadores led de carga y carga completa.
- Conector Jack de 4 polos para micro auriculares (sirve cualquiera compatible con Android o iPhone)
- Zócalo SIM estándar en la parte posterior. (Adafruit, 2018)

El dispositivo tiene un precio en su página oficial de 39.95 USD.

Para el caso de Cuba esta tarjeta presenta varias ventajas, aunque es válido señalar que es imprescindible la versión europea, ya que la red de datos disponible por la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. transmite por los 900MHz WCDMA.(ETECSA, 2019)

Resultados y discusión

Aprovechando las ventajas de todos los elementos de hardware y software descritos anteriormente se propone un prototipo de sistema. Se sugiere aplicar esta propuesta principalmente a personas con diagnóstico de enfermedades del corazón.

La arquitectura es basada en el principio de una plataforma IoT: El dispositivo e-Health Sensor Shield v2.0 se encargaría de monitorizar constantemente las funciones vitales del corazón del paciente, los datos serían procesados por microcontrolador Arduino, para este caso es recomendable usar el modelo UNO, el cual resulta de los más usados, es relativamente pequeño (68.6 mm x 53.4 mm), con condiciones probadas en este tipo de proyectos y su precio oficial es de 22.00 USD(2019). Como se mencionó anteriormente lo más recomendable para la comunicación con el módulo Gateway de la plataforma IoT resulta el uso de la placa Adafruit FONA la cual en su versión europea cuenta con la frecuencia por la que opera ETECSA, de esta forma siempre que las condiciones, tanto atmosféricas como cobertura, permitan la conexión mediante servicios implementados a través de la red 3G.

El Gateway enviaría los datos a la nube donde el médico o personal encargado desde un terminal móvil o una computadora instalada en el hospital tendría en todo momento acceso al estado del paciente en tiempo real. La plataforma contaría además con un sistema de alarmas el cual se accionaría cuando los parámetros muestren algún síntoma que constituya una situación de peligro para el paciente. Con el objetivo de dar respuestas automatizadas las plataformas IoT cuentan con mecanismos inteligentes de procesamiento de datos (learning machine), esto traería consigo que a medida que la plataforma aprenda de la base de datos histórica, las respuestas a umbrales de alarmas serán cada vez más eficiente.

Otras de las bondades que trae consigo la tarjeta Adafruit FONA es que contiene conectores de audífonos los cuales se podrían hacer uso para mantener informado a su portador de cualquier situación anómala, y con un sistema de GPS, el paciente estaría en casi todo momento localizado geográficamente, en caso que el doliente entrara en estado de shock o no le fuera posible llamar a urgencia, el servicio de ambulancia sabría dónde encontrarlo y trasladarlo al centro de atención sin pérdida de tiempo.

Con un diseño ergonómico, el dispositivo puede ser usado en una banda ajustada a unos de los brazos del portador, lo que no impediría realizar casi ningún tipo de actividad diaria. Se podrían probar dos modelos, uno con la tarjeta Adafruit FONA el cual tendría un precio total de 326.81 USD, otro sin ella, si se asegurara que con solo e-Health

Sensor Shieldv2.0 el dispositivo puede conectarse a la red 3G de ETECSA, haciendo uso del módulo GPS 6G, también disponible para Arduino y con un precio de 17.43€(19.24 USD) tendría un precio final de 324.05 USD. El costo de la plataforma podría considerarse despreciable, en internet existe varias opciones que cuentan con versiones libres como son el caso de Thingsboard.io y Kaa Project.

Una implementación en Cuba de la solución propuesta no solo traería consigo un considerable ahorro monetario al país, sino que cumpliría con el objetivo propuesto, al tener control sobre el estado del corazón de un paciente en tiempo real se podría prevenir cualquier descompensación o infarto agudo de miocardio. En caso que el paciente se cayera en un estado crítico se tendría conocimiento de su ubicación y se podría acudir en corto periodo de tiempo a su auxilio, disminuyendo así los casos de muerte por este tipo de dolencia.

Conclusiones

A partir del estudio de estadísticas de las defunciones en Cuba en personas con enfermedades cardiovasculares, y del análisis de los sistemas de software y hardware existentes que permitan sensor datos provenientes del corazón:

- Se propuso una arquitectura compuesta de plataforma IoT y hardware libre capaz de tener en casi todo momento conocimiento del estado de un paciente fuera del entorno de una sala de ingreso u hospital.
- La arquitectura propuesta puede ser capaz de disminuir los tiempos de respuesta y atención al paciente en caso de descompensación o peligro de muerte.
- Mediante un sistema de alarma el personal médico, el paciente y el servicio de ambulancia pueden ser avisados de un estado crítico mediante un mecanismo de alarmas.
- Se puede tener conocimiento en casi todo momento de la ubicación geográfica del paciente en casi todo momento.

Se podría mencionar como otra ventaja el fácil acceso a las plataformas IoT y lo económico del hardware necesario con respecto a la importancia de la función social. La evidente desventaja de la propuesta es que solo cuenta con una base teórica, no se realizaron pruebas a ninguna de las funcionalidades puesto que no se contaba con el hardware necesario, lo que trae consigo como recomendaciones adquirir las tecnologías necesarias propuestas para implementación y prueba de la solución.

Referencias

Adafruit. 2019. <https://www.adafruit.com>. [En línea] 2019. <https://www.adafruit.com/product/3147>.

- Arduino.** 2019. <https://arduino.cc>. [En línea] 2019. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- . 2019. <https://www.arduino.cc/>. [En línea] Arduino, 2019. <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>.
- Contreras, Javier Mata.** 2017. *SENSORES BIOLÓGICOS SOBRE ARDUINO CON CONEXIÓN BLUETOOTH A APP ANDROID*. Málaga : s.n., 2017.
- . 2017. *SENSORES BIOLÓGICOS SOBRE ARDUINO CON CONEXIÓN BLUETOOTH A APP ANDROID*. *SENSORES BIOLÓGICOS SOBRE ARDUINO CON CONEXIÓN BLUETOOTH A APP ANDROID*. Málaga : s.n., 2017. Vol. 1, 1.
- cooking hacks.** <https://www.cooking-hacks.com>. [En línea] <https://www.cooking-hacks.com/ehealth-sensors-complete-kit-biometric-medical-arduino-raspberry-pi>.
- Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.** 2019. <http://www.etecsa.cu>. [En línea] 2019. http://www.etecsa.cu/telefonía_movil/.
- Fundación Española del Corazón.** El tiempo, factor clave de supervivencia al sufrir infarto agudo de miocardio. [En línea] <https://fundaciondelcorazon.com>.
- Generation Robots.** <https://www.generationrobots.com>. [En línea] <https://www.generationrobots.com/en/402001-e-health-sensor-shield-v20-for-arduino-raspberry-pi-and-intel-galileo.html>.
- IEEE.** 2015. Towards a definition of the Internet of Things. *iot.ieee.org*. [En línea] Mayo de 2015. 1.
- Kaa Project.** 2019. <https://www.kaaproject.org>. [En línea] Kaa Project, 2019. <https://www.kaaproject.org/what-is-iot-platform>.
- McKinsey, Eric Lamarre and Brett May of.** 2019. <https://www.mckinsey.com>. [En línea] 2019. <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/making-sense-of-internet-of-things-platforms>.
- Ministerio de Salud Pública. Dirección de Registros Médicos y Estadísticas de Salud.** 2017. *Anuario Estadístico de Salud*. La Habana : Comité Editorial, 2017.
- Organización Mundial de la Salud.** <https://www.who.int/>. [En línea] OMG. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.
- Soloelectrónicos.** 2018. <http://soloelectronicos.com>. [En línea] 8 de Marzo de 2018. <http://soloelectronicos.com/tag/sensor-cardiaco-arduino/>.
- The IoT Market Place.** 2019. <https://www.the-iot-marketplace.com/>. [En línea] 2019. <https://www.the-iot-marketplace.com/>.