

# Pulsecurity: descripción funcional, hardware y procesamiento de señal de un sistema de monitorización para la tercera edad

José Luis Rojo-Álvarez<sup>1,2</sup>, Alejandro Escario-Méndez<sup>2</sup>, Sergio Muñoz-Romero<sup>1</sup>,  
Javier Gimeno-Blanes<sup>3</sup>, Arcadi García-Alberola<sup>4</sup>, Tomás Llorente-Aguado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones y Sistemas Telemáticos y de Computación, Universidad Rey Juan Carlos, Fuenlabrada, España, ({joseluis.rojo,sergio.munoz}@urjc.es)

<sup>2</sup>Pulsecurity, Madrid, (tomasllorente@yahoo.es, alejandro@escario.org)

<sup>3</sup>Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández, Elche, España, (fjavier.gimeno@goumh.umh.es)

<sup>4</sup>Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca de Murcia, Murcia, España, (arcadi@secardiologia.es)

## Resumen

*En nuestros días se están proponiendo un gran número de sistemas y dispositivos wearables para la monitorización, que por lo general se centran en aplicaciones relacionadas con individuos sanos, pero tienen un alcance más limitado en monitorización médica y del ámbito de la salud. Esto es debido posiblemente a dos factores, a saber, el coste de dichos dispositivos y la problemática en cuanto a detección de ritmos subyacentes anómalos y su discriminación del ruido fisiológico y de sensado. En el presente trabajo describimos Pulsecurity, un nuevo sistema de monitorización orientado a las necesidades específicas de la tercera edad, centrándonos en los módulos de análisis de ritmo cardíaco. En primer lugar se presenta una descripción funcional de nuestro sistema, así como su orientación y alcance. A continuación se describe el hardware desarrollado para tener una detección de señales fiable con un coste reducido, y posteriormente se presenta el subsistema de análisis digital de señales y sus capacidades para monitorización prolongada. Dos conjuntos de experimentos muestran primero la problemática asociada a la detección mediante dispositivos wearables frente al ritmo realmente subyacente utilizando el Holter como patrón oro, y a continuación las prestaciones alcanzadas por nuestro sistema de alta fiabilidad. Los resultados hasta la fecha indican que el sistema puede ofrecer posibilidades en la monitorización para escenarios relacionados con la salud y la medicina especializada.*

## 1. Introducción

En la actualidad hay un gran número de sistemas y dispositivos *wearables* que están surgiendo para aplicaciones de monitorización, bien a través del ritmo cardíaco, bien a través de medidas de actividad, entre otras. Habitualmente estas aplicaciones están orientadas hacia individuos sanos, pero tienen un alcance más limitado en monitorización médica y del ámbito de la salud. Posiblemente esto sea debido a dos factores, a saber, el coste de dichos dispositivos y la problemática en cuanto a detección de ritmos subyacentes anómalos y su discriminación del ruido fisiológico y de

sensado [2, 4].

Por otra parte, las aplicaciones de teleasistencia requieren una atención especial hoy en día, dado el progresivo envejecimiento de la población [1]. Un apartado de especial relevancia es la inclusión y comunicación de estos sistemas con dispositivos *wearables*, que ha de considerar tanto aspectos ergonómicos como de usabilidad y comunicaciones, unidos al problema de la generación de falsas alertas cuando la detección de señal es ruidosa.

En este escenario surge *Pulsecurity*, un nuevo sistema de teleasistencia orientado a las necesidades específicas de la tercera edad. En el presente trabajo mostramos el último prototipo, que incluye un hardware innovador y un sistema de procesamiento robusto de las señales detectadas para obtener una estimación fiable y utilizable en teleasistencia del ritmo cardíaco de un sujeto monitorizado.

## 2. Teleasistencia en Nuestro Entorno

El envejecimiento sostenido de la de la población, y el aumento de la esperanza de vida, han generado una necesidad creciente de la atención a nuestros mayores donde desde hace ya cerca de 30 años [1]. Las administraciones públicas y algunas entidades del tercer sector han trabajado en la búsqueda de la herramientas que permitan que las personas puedan envejecer con dignidad y la atención adecuada. En esta dirección, la estrategia primigenia se centró en el establecimiento de espacios adecuados para la atención de las personas con elevado nivel de dependencia, siendo éstas las residencias, mientras que las personas que contaban con una mayor autonomía sanitaria podían estar al cuidado de sus familiares.

Este modelo a lo largo de estos últimos 50 años ha venido evolucionando principalmente por varias circunstancias:

- *Mejoras sistema sanitario y alimentación.* Por un lado, la mejora de los sistemas sanitarios y el aumento de la esperanza de vida han permitido que las personas puedan permanecer en espacios no asistenciales,



Figura 1. Esquema del sistema Pulsecurity.

aun con algún inicio de los deterioros de la salud propios de la edad.

- **Red familiar.** En segundo lugar, la completa entrada en el mercado laboral de ambos cónyuges, han generado una mayor dificultad para que las personas mayores puedan ser atendidas durante todo el día por sus familiares de siguiente generación.
- **Inversión de la pirámide de población.** Finalmente, el aumento del porcentaje de los mayores respecto al total de la población hace cada vez más difícil que el sistema social disponga de herramientas para una atención personalizada en el hogar con presencia física permanente de ayudantes y cuidadores.

Con todo ello, las administraciones, entidades sociales e industria de la atención social, ha encontrado en la tecnología un valioso aliado para permitir la atención domiciliaria con garantías, basado en el servicio de teleasistencia mediante la creación del botón del pánico normalmente ubicado en un colgante que los mayores llevan durante todo el día en su domicilio. Esta tecnología ha supuesto un gran paso adelante en la independencia de nuestros mayores.

### 3. Descripción Funcional

Pulsecurity es un servicio de asistencia para ancianos cuyas alertas se activan automáticamente en caso de peligro y desde cualquier ubicación. La actividad de Pulsecurity se basa en la prestación de un servicio de monitorización en tiempo real de la frecuencia cardíaca del usuario mediante una pulsera inteligente que es capaz de emitir de forma automática y sin intervención activa del usuario un mensaje de alarma en caso de emergencia desde cualquier ubicación, de manera que permitan activar las medidas de atención o seguridad necesarias, facilitando un mayor grado de bienestar al usuario y de tranquilidad a los familiares o cuidadores. La Figura 1 muestra el esquema de funcionamiento.

Pulsecurity es una solución móvil de monitorización de la frecuencia cardíaca que lee en tiempo real el ritmo cardíaco del usuario a través de una pulsera inteligente. Si dicho ritmo cardíaco varía de forma brusca determinando que el usuario puede encontrarse en un estado de riesgo o emer-



Figura 2. Prototipo de Pulsecurity: hardware de bajo coste.

gencia, emitirá de forma automática un mensaje de alarma al móvil de los contactos seleccionados sin intervención activa por parte del usuario. Por ello, la solución engloba 3 partes:

1. Un dispositivo físico como un reloj inteligente con conectividad inalámbrica y pulsímetro integrados, que recoge el pulso del usuario y envía las alarmas a los dispositivos móviles de los contactos identificados por el usuario.
2. Una aplicación software que recoge y analiza la información captada por el pulsímetro del reloj y proporcionará las alertas geoposicionadas en caso de cambio brusco en las mediciones obtenidas.
3. Un panel de control web que permite al usuario o prescriptor del servicio introducir la información necesaria para su funcionamiento así como definir las alarmas (números de teléfono o dirección de email para comunicar las alertas o modificación de datos personales).

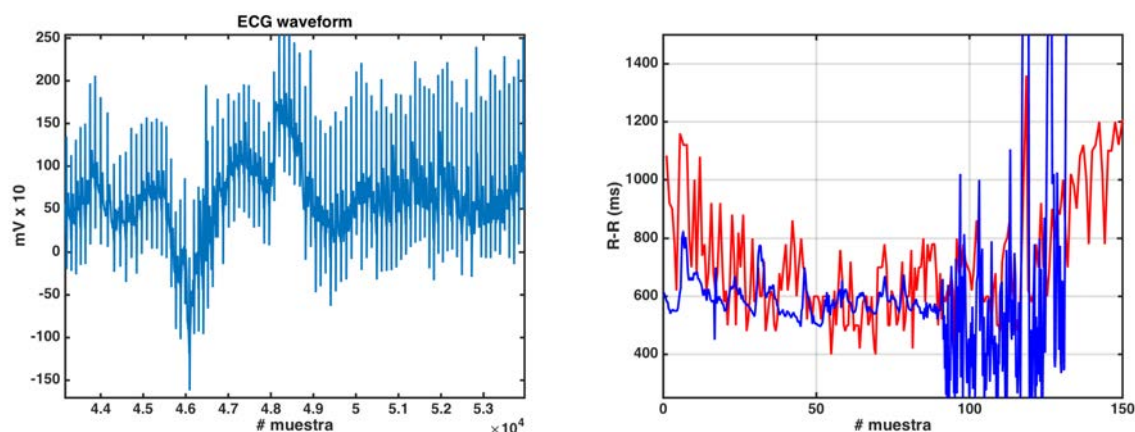
El prototipo hardware (ver Figura 2) se ha construido siguiendo principios de bajo coste y *open source*. Como sensor se ha utilizado un fototransistor a 529 y 497, con un led verde *atmega328p* a 16 MHz, y ADC de 10 bits integrado en el ATmega.

### 4. Procesado Digital y Resultados

En este apartado se muestran dos experimentos realizados para guiar el diseño y funcionamiento del hardware y el software de procesamiento digital de Pulsecurity.

#### 4.1. Pruebas de Fiabilidad en Wearables

El primer experimento consistió en estudiar el alcance de la fiabilidad en la detección de los intervalos RR en disposi-



**Figura 3.** Pruebas comparativas de medidas del Holter cardíaco y un dispositivo comercial habitual para monitorización de ritmo cardíaco mediante pulsioximetría. Izquierda: señal de ECG en Holter sin preprocesar. Derecha: secuencia de intervalos RR detectados por el dispositivo wearable y por el Holter.

tivos *wearables* habituales. Para ello, se planteó un estudio con diseño sencillo, consistente en la medición simultánea del mismo sujeto mediante un dispositivo de prueba y un patrón oro.

Como dispositivo de prueba se utilizó un reloj (Samsung<sup>R</sup>) con capacidad de monitorización del ritmo cardíaco mediante pulsioximetría (leds verdes), envío de señal a un servidor y posterior captura y representación de las señales registradas. El dispositivo no proporcionó la señal de pulsioximetría cruda, sino la señal RR (intervalos entre latidos, en ms), por lo que no se dispone habitualmente de información sobre el postprocesado realizado en este tipo de señales, que incluye la señal cruda (filtrado, detección de picos) y la señal de RR (postprocesamiento para cancelar mediante criterios heurísticos los intervalos RR posiblemente asociados a ruido). Como gold-standard se utilizó un dispositivo Holter (Soring Group<sup>R</sup>), que proporciona la señal ECG subyacente, muestreada a 200 Hz y con la configuración convencional de electrodos, acceso a los criterios y algoritmos de procesamiento y etiquetado, y señal RR resultante.

La Figura 3 muestra los resultados de ambas señales RR resultantes, tras sincronizarlas en el eje de tiempos. Puede verse que la señal RR del Holter es más variable y rugosa, por lo que representaría un patrón subyacente de variabilidad que se corresponde con la señal fisiológica y, en este caso, está libre de ruido y de artefactos de postprocesado. Sin embargo, la señal del wearable muestra dos intervalos de tiempo. En un primer intervalo, la tendencia de la señal RR del Holter se sigue de forma aproximada, pero se pierde buena parte de la variabilidad. Esto es atribuible a la lógica y algorítmica heurística que los sistemas de *wellness* llevan implementado habitualmente, en las cuales el criterio de diseño es eliminar los intervalos RR por encima de un determinado umbral de variabilidad, lo cual proporciona seguridad frente a la cancelación del ruido, pero a costa de eliminar una cantidad notable de la variabilidad fisiológica y no patológica, y también a costa de eliminar a menudo variaciones de ciclo de naturaleza diagnóstica. En un segundo intervalo, el dispositivo en este caso pierde la

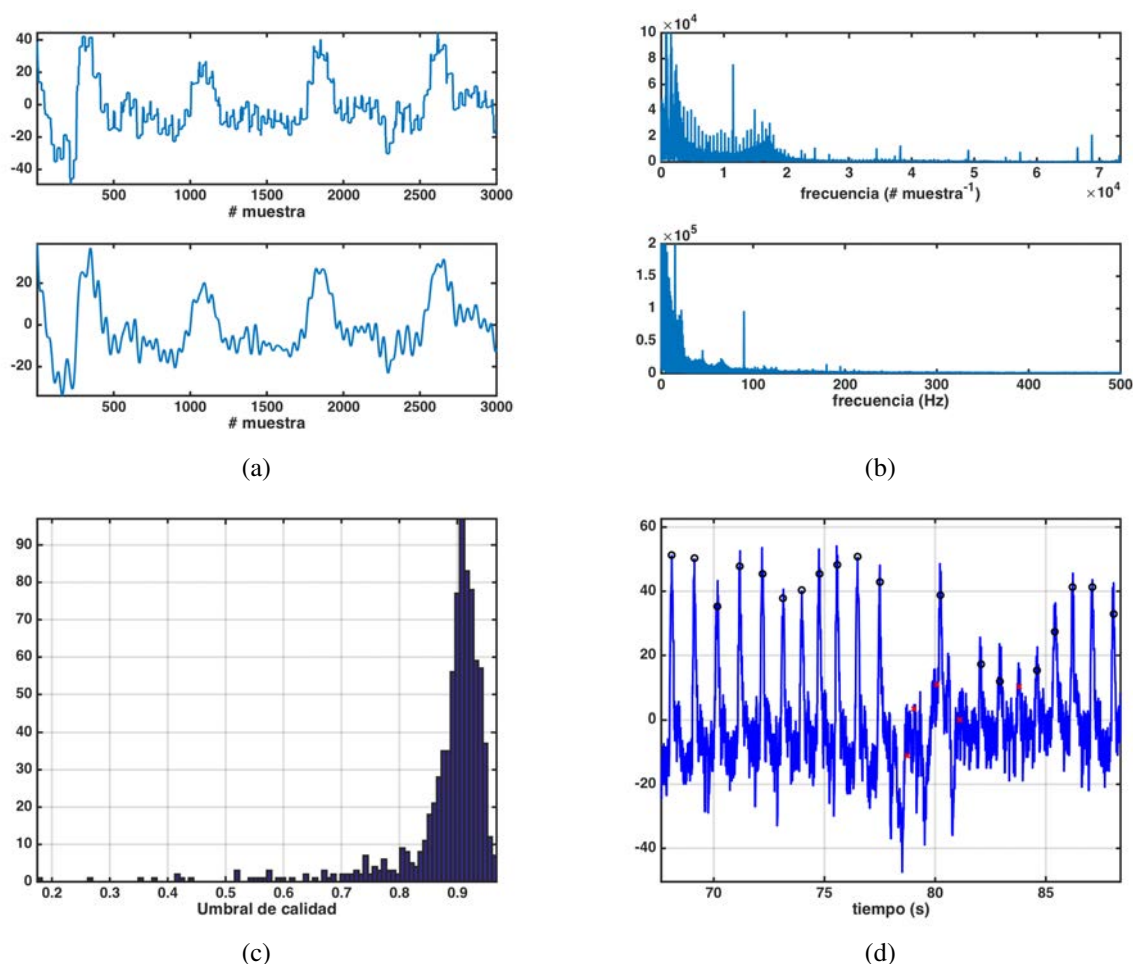
detección y no estima adecuadamente el ritmo cardíaco.

Este experimento es la motivación para utilizar nuestro propio detector y guiar su diseño, permitiendo el acceso a una señal de pulsioximetría subyacente sobre la cual realizar un postprocesado robusto, como se muestra a continuación.

#### 4.2. Análisis Digital Robusto

La Figura 4 muestra el resultado del análisis realizado sobre nuestras señales de pulsioximetría, medidas durante varios minutos (unos 15) en la muñeca de uno de los autores, considerando tanto condiciones de reposo como movimientos suaves y bruscos de la muñeca y pérdida de contacto. El procesado realizado ha partido del convencional utilizado en señales cardíacas [3], adaptándolo a la naturaleza de nuestras señales. Como puede verse, la señal capturada puede tener huecos de sensado y muestreo, que han de resolverse mediante un proceso de interpolación. La figura muestra los espectros en la señal antes y después de interpolar, poniendo en evidencia que en este caso la interpolación cancela un buen número de componentes de intermodulación responsables de ruido de alta frecuencia y banda estrecha. Se muestra todo el espectro para ver el alcance de las intermodulaciones.

A continuación se realiza un filtrado adaptado correlacional en ventanas de longitud similar a un ciclo, que permite establecer una detección de posibles latidos, y un parámetro de calidad de la señal en ese latido. El histograma muestra que el parámetro de calidad, entre 0 y 1, ofrece una distribución estadística compacta, y que el valor de umbral puede establecerse mediante criterios claros sobre este histograma. Utilizando un umbral de 0.8, el último panel muestra la buena capacidad de detección de latidos correctos, y la capacidad añadida de identificar latidos durante los cuales la detección no es fiable, y por lo tanto no deberían considerarse para la generación de alertas o el diagnóstico basado en el ritmo cardíaco.



**Figura 4.** Reconstrucción y calidad digital en nuestro sistema: (a) señal cruda y reinterpolada; (b) espectros correspondientes; (c) histograma del parámetro de calidad; (d) detección de latidos válidos y no válidos.

## 5. Conclusiones

Pulsecurity es un proyecto innovador, con valor añadido que aporta un beneficio a la sociedad mejorando la calidad de vida y seguridad de las personas mayores.

Por otro lado, el seguimiento de constantes vitales de interés clínico remotamente, podrían aumentar aún más la autonomía de las personas en sus domicilios sin necesidad de una asistencia personal permanente. Es en este punto en el que un dispositivo como el que se presenta en este trabajo, junto con el adecuado procesado y la coordinación con el equipo sanitario, puede jugar un importante papel.

El desarrollo del Hardware así como el patrón de la app deberá estar en continuo proceso de investigación y desarrollo para mejorar de forma continua el servicio a sus clientes. Los resultados hasta la fecha muestran las ventajas del diseño hardware realizado y del procesado robusto, que permite tener garantías de que el diagnóstico o la valoración del ciclo cardíaco se va a realizar sobre señal fisiológica, y no sobre ruido o artefactos de detección, lo que permite mejorar la tasa de falsas alertas de forma notable con respecto a otras soluciones y abrir el paso hacia los requerimientos de los sistemas de monitorización en medicina y salud.

## Agradecimientos

Nuestro agradecimiento especial a Patricia Pérez, por su impulso en el nacimiento y puesta en marcha del proyecto emprendedor Pulsecurity. Gracias al Dr. Domingo Pascual, del Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca de Murcia, y al D. Joaquín García Estañ, de la Facultad de Medicina de Murcia, por pruebas y discusiones sobre los criterios de detección de anomalías cardíacas. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos TEC2016-75161-C2-1-4 y TEC2013-48439-C4-1-R.

## Referencias

- [1] V Guise, J Anderson, and S Wiig. Patient safety risks associated with telecare: a systematic review and narrative synthesis of the literature. *BMC Health Serv Res*, 14:588, 2014.
- [2] Z Lu, X Chen, Z Dong, Z Zhao, and X Zhang. A prototype of reflection pulse oximeter designed for mobile healthcare. *IEEE J Biomed Health Inform*, 20(5):1309–1321, 2016.
- [3] L Sormno and P Laguna. *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*. Elsevier Academy Press, 2005.
- [4] SS Thomas, V Nathan, C Zong, K Soundarapandian, X Shi, and R Jafari. Biowatch: A noninvasive wrist-based blood pressure monitor that incorporates training techniques for posture and subject variability. *IEEE J Biomed Health Inform*, 20(5):1291–1300, 2016.