



Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería

ISSN: 0718-3291

facing@uta.cl

Universidad de Tarapacá

Chile

Kaschel Cárcamo, Héctor; Pérez Bahamondes, José
Monitoreo ubicuo de salud en tiempo real con WBSN
Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 22, núm. 2, abril, 2014, pp. 169-176
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77231016003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Monitoreo ubicuo de salud en tiempo real con WBSN

Ubiquitous health monitoring in real-time with WBSN

Héctor Kaschel Cárcamo¹ José Pérez Bahamondes¹

Recibido 9 de agosto de 2013, aceptado 13 de enero de 2014

Received: August 9, 2013 Accepted: January 13, 2014

RESUMEN

Este documento presenta un diseño integrado de vigilancia ubicua de salud en tiempo real utilizando WBSN (Redes de Sensores Corporales Inalámbricos) y las nuevas tecnologías como M2M y computación en la nube. Considera un servidor médico inteligente ubicado en la nube y un dispositivo móvil inteligente que actúa como *router* y coordinador o concentrador virtual en el lado cliente-paciente. Esta solución ha sido diseñada para pacientes que no pueden tolerar interrupciones en su seguimiento médico, para los cuales un sistema de monitoreo en tiempo real contribuye a mantener sus vidas.

Palabras clave: Diagnóstico, ECG (electrocardiograma), diabetes, monitoreo de salud, motas, sensores, M2M (máquina a máquina), SVM (máquina de soporte vectorial), virtual hub, WBSN (redes de sensores corporales inalámbricos).

ABSTRACT

This paper introduces an integrated design for real-time health pervasive monitoring using WBSN (Wireless Body Sensor Networks) and new technologies like M2M and cloud computing. It considers an intelligent medical server in the cloud and an intelligent mobile device acting as router and coordinator or virtual hub at the patient's site. This solution has been designed for patients who cannot tolerate interruption in their health care monitoring and for whom monitoring in real time helps to support their lives.

Keywords: Diagnostic, ECG (health monitoring, mote, sensors, diabetes, M2M (machine to machine), SVM (support vector machine), virtual hub, WBSN (wireless body sensor networks).

INTRODUCCIÓN

Antes del desarrollo de la instrumentación médica moderna el monitoreo fisiológico de pacientes se basaba en la capacidad del médico para detectar señales específicas externas para establecer un diagnóstico adecuado. Actualmente esto no es suficiente y para un diagnóstico adecuado de enfermedades son necesarios modernos instrumentos de vigilancia fisiológica. Es sabido que a nivel mundial diversas patologías, principalmente las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, entre otros, harán colapsar los sistemas de salud en los

próximos 30 años y ya este colapso se empieza a visualizar en Chile en hospitales y clínicas regionales en períodos complejos del año. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de dispositivos médicos de monitoreo que permiten controlar muchos parámetros fisiológicos de manera no invasiva. Como consecuencia inmediata, han surgido las Redes de Sensores Corporales Inalámbricas (WBSN) que aprovechan las bondades de las redes inalámbricas y sensores de vigilancia fisiológica para tener monitoreo ambulatorio de salud de manera remota, lo que cambiará profundamente el sector de la atención de salud para los próximos años.

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile. Av. Ecuador 3519. Santiago, Chile.
E-mail: hector.kaschel@usach.cl; jose.perez@usach.cl

Las WBSN emplean sensores portátiles aplicados al cuerpo humano y que pueden tener la característica de ser invasivos o no invasivos. Con ellos y la infraestructura de red es posible la medición remota y de manera continua de movimientos del cuerpo y de parámetros fisiológicos, como la frecuencia cardíaca, tensión muscular, conductividad de la piel, volumen y frecuencia respiratoria, etc. Las aplicaciones donde las WBSN pueden ser útiles incluyen la detección precoz o prevención de enfermedades, cuidado de ancianos, recuperación asistida de pacientes, monitoreo deportivo, etcétera.

Junto con lo anterior, el monitoreo continuo permite recopilar gran cantidad de datos que pueden ayudar a mejorar los sistemas de diagnóstico y de asistencia al paciente. La posibilidad de contar con grandes colecciones continuas de datos permite llevar para cada paciente estadísticas relevantes y personalizadas en relación con cambios en las tendencias de parámetros fisiológicos y de salud en general a corto y largo plazo. Un seguimiento a largo plazo de las tendencias puede permitir la detección precoz de signos que indican un deterioro de la salud del usuario [1]. Por otro lado, el empleo de WBSN en rehabilitación asistida puede mostrar el progreso del tratamiento en tiempo real y los procedimientos de asistencia al paciente pueden ser guiados con la ayuda del computador.

El adelante, el resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: La sección *Necesidad de las WBSN* presenta una breve visión estadística que justifica la urgente incorporación de la tecnología WBSN como apoyo al diagnóstico y tratamiento de pacientes. La sección *Descripción de la solución* ofrece una breve descripción de la propuesta general de la arquitectura de comunicaciones ubicua WBSN e introduce algunos términos y conceptos relacionados como son M2M (Machine to Machine) y computación en la nube. Dentro de esta sección se indican los *Requisitos de diseño de mote*, donde se detallan algunas características de la interacción entre el servidor médico, el cliente y el dispositivo intermediario entre ellos; y además el uso de las máquinas de soporte vectorial *SVM en detección de arritmias* para el análisis de señales fisiológicas. Finalmente, la sección *Conclusiones* entrega los aspectos principales que se deben considerar en el diseño de un sistema de monitoreo obicuo de salud en tiempo real con WBSN.

NECESIDAD DE LAS WBSN

La Tabla 1 muestra estadísticas oficiales de muertes ocurridas en Chile durante el 2010 (Fuente: DEIS-MINSAL, elaborada a base de Lista estándar para causas principales de defunción publicada en el Boletín de la OMS, abril 2006; 84(4): 297-304), donde se observa que las principales causas de fallecimientos son la enfermedad cerebrovascular (9,08%) y la enfermedad isquémica del corazón (7,95%), que corresponden a tasas de 52,0 y 45,6 muertes por cada 100.000 habitantes, respectivamente. Un desglose según género obtenido de la misma fuente indica que para el mismo año 8,35% (tasa 51,5) son por causa cerebrovascular y 8,9% de los hombres murieron por enfermedad isquémica del corazón (tasa 54,9); mientras que en el caso de las mujeres 9,91% (tasa 52,5) de los decesos se produjo por enfermedad cerebrovascular y 6,87% (tasa 36,4) se debió a enfermedad isquémica del corazón.

Por otro lado, en el caso de hombres la tercera causa de muerte correspondió a cirrosis y enfermedad hepática, con 5,76% (tasa 35,5), mientras que en las

Tabla 1. Principales causas de muerte en Chile 2010.

2010		Porcentaje
Causa	Nº Defunciones	
Enfermedades cerebrovasculares	8.888	9,08
Enfermedades isquémicas del corazón	7.789	7,95
Cirrosis y otras enfermedades del hígado	4.285	4,38
Enfermedades hipertensivas	3.976	4,06
Neumonía	3.928	4,01
Demencia y Enfermedad de Alzheimer	3.732	3,81
Diabetes mellitus	3.684	3,76
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	3.500	3,57
Tumor maligno del estómago	3.316	3,39
Enfermedades del sistema urinario	3.138	3,20
Síntomas, signos y estados morbosos mal definidos	2.467	2,52
Resto de causas	49.227	50,27
Todas las causas	97.930	100,00

mujeres la tercera causa de muerte fue demencia y enfermedad de Alzheimer, con 5,37% (tasa 28,4). Estas tendencias se han mantenido desde el 2005, observándose un notable y constante aumento del Alzheimer en el caso de mujeres.

En consecuencia, se tiene que las enfermedades cerebrovasculares e isquémicas del corazón concentran 17,03% de todas las muertes en el 2010. Al tener un sistema de monitoreo ubicuo preventivo permitiría salvar muchas vidas humanas.

En el caso de enfermedad cardíaca, la principal causa es la arterioesclerosis, una enfermedad degenerativa de las arterias que a lo largo de los años las obstruye debido al engrosamiento de una capa de acumulación de grasa en su revestimiento interior. Estas áreas de engrosamiento pueden inducir una repentina trombosis que obstruye por completo los vasos impidiendo el flujo sanguíneo hacia el miocardio, lo que produce la muerte: es el conocido “ataque cardíaco” o infarto al miocardio. Esta causa de deceso antes de los 50 años es más frecuente en hombres que en mujeres, pero sobre los 50 las cifras se igualan. El infarto al miocardio puede ser letal causando la muerte en forma inmediata (muerte dentro de una hora una vez presentados los síntomas), o puede inducir cambios compensatorios o degenerativos en el corazón que pueden resultar letales a días o años tras el infarto, como en los casos de ruptura súbita de la pared del miocardio o insuficiencia cardíaca congestiva.

Deteniéndose un momento sobre el último tema, la insuficiencia cardíaca congestiva es el resultado de un músculo cardíaco dañado. Este daño puede ser causado por un ataque al corazón, pero también puede deberse a presión arterial alta, defectos cardíacos congénitos, o arteriosclerosis en desarrollo. Esto debilita la capacidad del corazón en mantener la circulación sanguínea corporal. A medida que la sangre circula más lenta, la sangre que regresa al corazón retrocede en las venas, provocando congestión en los tejidos. El resultado es la inflamación, que ocurre con más frecuencia en las piernas y los tobillos, pero puede pasar en otras partes del cuerpo también. A veces hay fluidos que se acumulan en los pulmones e interfieren con la respiración. La insuficiencia cardíaca congestiva afecta también la capacidad de los riñones de desechar el sodio y el agua, y esto conduce a

más inflamación. Los síntomas más comunes de insuficiencia cardíaca congestiva son la inflamación de piernas o tobillos o falta de respiración. El tratamiento para la insuficiencia cardíaca congestiva en general incluye una dieta apropiada, droga terapéutica, actividades diarias modificadas y, en casos avanzados, trasplante cardíaco. Cuando los médicos pueden encontrar la causa específica de la insuficiencia cardíaca congestiva, esta con normalidad puede ser tratada o es posible corregirla, como en el caso de enfermedades valvulares del corazón por fiebre reumática, en que pueden ser reemplazadas quirúrgicamente. La mayoría de los casos de insuficiencia cardíaca congestiva pueden ser tratados [2].

Considerando ahora la enfermedad cerebrovascular (ECV), se tiene que esta es una patología que afecta a los vasos sanguíneos que suministran sangre al cerebro. También se le conoce como ictus, apoplejía, infarto cerebral, ataque cerebral, embolia o trombosis cerebral. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la ECV se define como el desarrollo rápido de signos clínicos de disturbios de la función cerebral o global con síntomas que persisten 24 horas o más, o que llevan a la muerte con ninguna otra causa evidente que el origen vascular y es la tercera causa de muerte en países industrializados, luego de las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, siendo a la vez la primera causa de invalidez en el mundo. En términos sencillos, un ataque cerebral ocurre cuando un vaso sanguíneo en el cerebro se bloquea (ataque cerebral isquémico) o se revienta (ataque cerebral hemorrágico). Sin la sangre y sin el oxígeno que esta transporta, parte del cerebro empieza a morir y la parte del cuerpo controlada por la zona dañada del cerebro no puede funcionar adecuadamente. El ataque cerebral isquémico sucede cuando un vaso sanguíneo (arteria) que abastece de sangre a una zona del cerebro queda bloqueado por un coágulo de sangre. Cerca del 80% de todos los ataques cerebrales son isquémicos. El ataque cerebral hemorrágico sucede cuando una arteria en el cerebro tiene una fuga o se revienta (se desgarró) [2].

En la hemorragia intracerebral es muy frecuente la presencia de hipertensión arterial (HTA). El riesgo de enfermedad cerebrovascular en los pacientes con HTA (presión superior o igual a 160 mmHg la sistólica y/o superior o igual a 95 mmHg la diastólica), al compararlo con el de los pacientes normotensos,

es de 3,1% en los varones y de 2,9% en las mujeres [2]. La HTA puede ser tratada de forma efectiva, disminuyendo de esta forma la ocurrencia de las enfermedades cardiovasculares, especialmente la enfermedad cerebrovascular.

Según lo expuesto, la hipertensión es un problema grave y un factor de riesgo importante para la enfermedad cerebrovascular y de la arteria coronaria (ataques de corazón); además también puede causar daños a órganos vitales como el riñón. El poder controlar la presión arterial de forma continua y con precisión es en extremo útil. Junto con la presión arterial, otras señales fisiológicas (electrocardiograma ECG, electroencefalograma EEG, etc.) pueden ser medidas por los biosensores que proporcionan alertas inmediatamente cuando se detectan anomalías en la condición fisiológica de un paciente. El desarrollo de sensores biomédicos [3] portátiles dentro de una infraestructura inalámbrica abre, entre otras posibilidades, la del cuidado inteligente de ancianos, proporcionando vigilancia omnipresente de los pacientes incluso cuando se mueven, lo que lleva a una mejor calidad de atención al paciente. La utilización de sensores inalámbricos contribuye a la detección automática temprana de enfermedades que pueden llevar a la insuficiencia cardíaca o enfermedades cerebrovasculares.

Estos dispositivos pueden monitorear de manera no invasiva indicadores de la salud, en particular del corazón, que incluyen ECG, tasa de respiración, nivel de actividad del paciente, acumulación de fluidos corporales, mientras el paciente continúa con su vida cotidiana. En una posible implementación el sensor puede enviar las lecturas indicadoras de salud del paciente a un dispositivo transmisor (que puede ser por ejemplo un teléfono inteligente) que las retransmite de forma inalámbrica al equipo computacional que actúa como servidor médico en la institución de salud que controla el monitoreo. Cuando los algoritmos en los servidores detectan alguna anomalía los datos son transmitidos a los médicos vía *web* o a su teléfono inteligente, avisando al paciente que necesita atención inmediata.

Otro factor de riesgo que ha ido aumentando en la población en el último tiempo en Chile ha sido el aumento de la diabetes en las personas. Al analizar la presencia de antecedentes de diabetes en familiares directos 30,2% presenta esta condición, siendo

significativamente más alto en las mujeres (33,2%) que en los hombres (26,9%) [4].

En la actualidad la enfermedad de la diabetes está presente en muchas personas, desde niños hasta adultos en ambos sexos, con una alta prevalencia en los mayores de 15 años que viven en Chile, con 9,4% [5]. Se pronostica que al 2030 el 7,7% de la población mundial padecerá de la diabetes de tipo 2 [6].

En Chile la diabetes mellitus tipo 2 es mucho más común que la tipo 1. Cerca del 90% de las personas con diabetes son tipo 2 y se desarrolla sobre todo en el adulto. La diabetes tipo 1 es poco frecuente. Se desarrolla de preferencia en los niños y adolescentes, aunque se puede presentar en cualquier edad. Sus síntomas en general son intensos. Entre ellos destacan: sed intensa, excesiva orina, pérdida de peso, decaimiento general y falta de energía [4].

En cambio en la diabetes mellitus tipo 2 los síntomas suelen ser más solapados en las personas con este tipo de diabetes. Algunas no presentan síntomas al inicio y solo son diagnosticadas algunos años después de declarada la afección, incluso cuando ya han aparecido varias complicaciones asociadas a la diabetes [4]. De aquí la importancia de contar con un sistema de monitoreo y detección que permita en forma prematura prevenir esta patología. En [6] se muestra un método para predecir la diabetes de tipo 2 mediante el uso de sensores,

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

En esta sección se describe la arquitectura de comunicaciones empleando tecnologías de comunicaciones y computación de nueva generación. El sistema permite monitoreo de salud ubicuo y generación de alerta temprana en caso que los valores de señales fisiológicas recibidas se aparten de los rangos predefinidos como normales para cada paciente [7]. El diseño considera el empleo de comunicación M2M (máquina-a-máquina) para procesos cliente-servidor con un servidor médico en la nube [8] y un dispositivo móvil inteligente (IMD) del cliente (por ejemplo, un teléfono inteligente con sistema operativo Android) en el extremo del paciente. Esto nos lleva a vigilancia omnipresente o ubicua [9], un sistema con mayor cobertura, mayor eficacia en la comunicación, mejor tolerancia

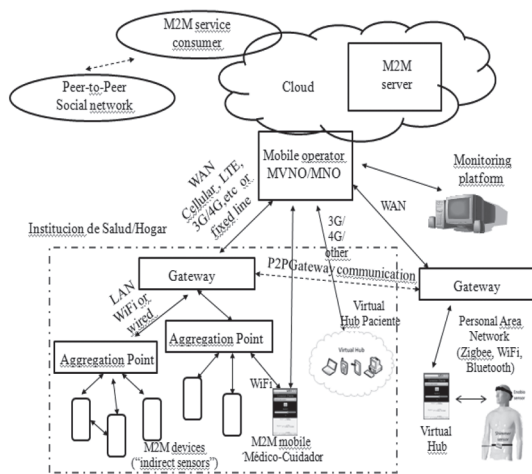


Figura 1. Arquitectura M2M para monitoreo WBSN [11].

a fallos y la disponibilidad de información del paciente en la medida que las redes y plataformas de comunicaciones de área extendida lo permitan.

En principio, la solución que aquí se plantea considera la implementación de vigilancia fisiológica WBSN empleando sensores no invasivos, aunque el diseño es también válido si se emplean sensores del tipo invasivo.

El diseño (Figura 1) incorpora tecnologías inalámbricas que incluyen los casos WPAN [10], WLAN y WWAN, permitiendo que el monitoreo pueda ser realizado durante todo el día tanto en los casos “en casa” como “fuera de casa” de manera continua y sin interrupciones.

Los datos recolectados y prefiltrados por el MOTE (dispositivo WSN) se transmiten al IMD o “Virtual Hub” (Smartphone/PDA) del paciente. Este preanaliza los datos y en caso de encontrar algo anormal reenvía los datos al servidor médico ubicado en la “nube” para el análisis, aprovechando la infraestructura de telecomunicaciones M2M [11]. La arquitectura mostrada, que se detalla en la Figura 1, destaca: Sensores WBS y MOTE(s); Virtual Hub; y el M2M Server (Servidor Médico Experto) (en “nube”).

La Figura 2 muestra la interacción entre la recolección de datos fisiológicos del paciente por medio de los biosensores en su cuerpo conectados al MOTE

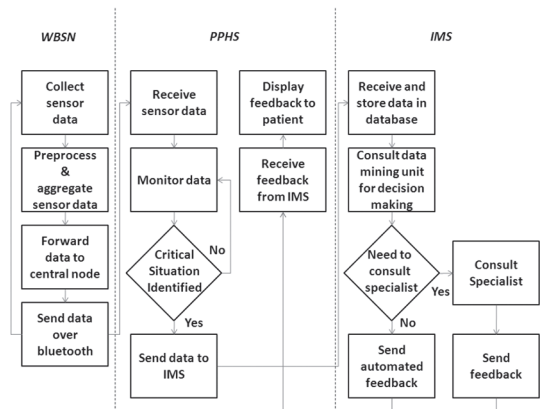


Figura 2. Interacción entre componentes WBSN [7].

local (portado por el paciente), el IMD o “Virtual Hub” [8] y el Servidor Médico Experto en la nube.

REQUISITOS DE DISEÑO DE MOTE

La mayoría de las plataformas WSN existentes son de aplicación genérica. Sin embargo, para WBSN se requiere una plataforma distinta, no obstante algún subconjunto de una genérica pueda ser compartida.

En [13] se muestra el desarrollo de una plataforma inalámbrica para nodos sensores (MOTE) de aplicación WBSN llamado TelG. Las principales características de TelG MOTE son como sistema de vigilancia de la salud de tamaño pequeño, bajo consumo energético y costo eficiente, ofrece procesamiento en tiempo real de datos y capacidad multisalto. La Tabla 2 muestra los requisitos de transmisión de las velocidades de transmisión requeridos según sea la aplicación de la WBSN para efectuar un sistema de monitoreo remoto [14].

En la Figura 3 se muestra una comparación de las velocidades de transmisión y consumo energético de una WBSN comparado con otras tecnologías inalámbricas.

SVM EN DETECCIÓN DE ARRITMIA

Para prevenir ataques al corazón y derrames cerebrales resulta fundamental contar con prediagnóstico. En el caso del corazón, el electrocardiograma (ECG) desempeña un papel muy importante proporcionando información clínica significativa de los pacientes

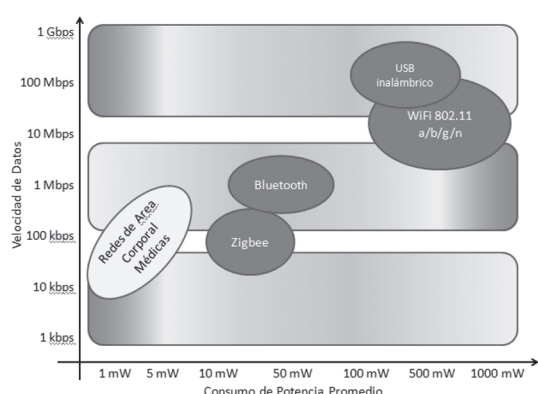


Figura 3. Comparación velocidades de transmisión y consumo de energía de las WBSN con otras tecnologías [12].

Tabla 2. Requisitos de transmisión para monitoreo remoto según el estudio de referencia [14].

Aplicación	Velocidad de transmisión	Ancho de banda	Precisión
ECG (12 derivaciones)	288 kbps	100-1000 Hz	12 bits
ECG (6 derivaciones)	71 kbps	100-500 Hz	12 bits
EMG	320 kbps	0-10000 Hz	16 bits
EEG (12 derivaciones)	43.2 kbps	0-150 Hz	12 bits
Saturación de oxígeno en la sangre	16 bps	0-1 Hz	8 bits
Monitoreo de glucosa	1600 bps	0-50 Hz	16 bits
Temperatura	120 bps	0-1 Hz	8 bits
Sensor de movimiento	35 kbps	0-500 Hz	12 bits
Implante coclear	100 kbps		
Retina artificial	50-700 kbps		
Audio	1 Mbps		
Voz	50-10 Mbps		

que tienen una actividad anormal del corazón. El análisis de los registros ECG permite al médico clasificar el tipo de anomalía al que corresponde el trastorno. No obstante, la práctica convencional exige un monitoreo en clínica durante un tiempo relativamente largo y con el médico alerta en todo momento, lo que puede ser una desventaja si se considera que producto de la fatiga por largas horas de trabajo la detección de algunos eventos de arritmia pudiera ser pasada por alto. Como

ayuda frente a este problema se ha presentado el que la interpretación de la lectura ECG pueda ser auxiliada por una máquina especial (herramienta de *software*) equipada con inteligencia artificial. Si se cuenta con un patrón de señal ECG relacionada con un funcionamiento anormal del corazón, esta información puede ser utilizada como referencia para detectar señales similares en un paciente bajo estudio en corto tiempo, de manera que el médico pueda optimizar su tiempo y el tratamiento al paciente. Existen varias herramientas de análisis para realizar la detección y clasificación de los registros ECG de arritmia. Entre estas, la utilización de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, *support vector machines*) se ha posicionado como una herramienta de clasificación que supera a varios otros métodos de clasificación. SVM transforma la función de espacio multidimensional en un espacio de características separables linealmente con la ayuda de la función núcleo. Hay una importante cantidad de investigaciones que muestran el procedimiento de aplicación de las SVM para la clasificación de las arritmias. Diversos estudios han probado con funciones núcleo y parámetros diferentes para las SVM para tratar de obtener cada vez mejores modelos de clasificación con exitosos resultados de buena exactitud diagnóstica. Como ejemplo se puede citar [15], donde SVM se usa en conjunto con Lógica Difusa (teoría fuzzy). En [16] se emplea SVM junto con algoritmos genéticos para clasificar los registros ECG de arritmia. En [17-18] se proponen métodos para clasificar las diferentes anomalías cardíacas empleando Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) con transformada wavelet mediante la cual una señal en el dominio del tiempo pueda ser transformada al dominio tiempo-frecuencia tal que las características de frecuencia y la ubicación de características particulares en una serie de tiempo puede resaltarse simultáneamente. Una de las grandes ventajas del uso de wavelets es que permiten la extracción precisa de la característica de señales no estacionarias tales como ECG.

La detección y clasificación automática de datos de señales de electrocardiograma (ECG) es de gran importancia para el diagnóstico de las anomalías cardíacas. En el diseño propuesto en este trabajo debe ser realizado en primera instancia por el Virtual Hub (IMD) y posteriormente, más en detalle, por el Servidor Médico. Apuntando a este objetivo, se puede citar [19], donde se presenta un prototipo exitoso.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha dado una visión general de las WBSN centrando el estudio en las aplicaciones relacionadas con la salud humana, en particular como solución a la problemática del monitoreo de las actividades y la frecuencia cardíaca de una persona. Con el apoyo de estadísticas reales de mortalidad se ha justificado la necesidad de incorporar al más breve plazo, tanto como sea posible, las tecnologías WBSN para el seguimiento y diagnóstico precoz de enfermedades en el concepto de monitoreo ubicuo de salud, destacándose en particular las relacionadas con problemas cardíacos, principalmente. Sin embargo, el sistema de monitoreo ubicuo de salud propuesto tiene como objetivo cubrir en forma transversal distintas patologías que naturalmente dependerá de cada país según sean las causas de muertes más frecuentes. Para nuestro país, es fundamental que pudiera implementarse en un corto plazo. De esta forma los pacientes no deberán trasladarse a centros asistenciales de salud ni ser atendidos en primera instancia de modo directo por personal que sea críticamente necesario. Lo anterior permitirá diagnosticar en forma temprana cualquier tipo de patología, como por ejemplo preinfartos, diabetes, estrés, entre otros. La arquitectura propuesta permite el monitoreo ubicuo de salud al basarse en las actuales tecnologías M2M y *Cloud computing*, focalizando el análisis en la autonomía y el apoyo de un sistema experto contenido en el servidor médico en la nube, que supervise y apoye de manera permanente a los pacientes bajo monitoreo, manteniendo estrecho contacto con el personal médico relacionado. Finalmente, se han hecho algunos comentarios y recomendaciones acerca de la implementación de la plataforma colectora de datos provenientes de sensores (Mote) y se ha destacado la bondad que presentan las máquinas de soporte vectorial, en particular con la transformada Wavelet, para el análisis de señales fisiológicas que incluyen la detección temprana de problemas de arritmia. Se ha propuesto la implementación de este prediagnóstico, donde sea realizado primeramente en el IMD (o *virtual hub*) de manera regular y que, en caso de anomalía detectada, los datos sean enviados por el propio IMD al servidor médico para continuar con el protocolo de emergencia definido. Finalmente, este sistema permitirá aumentar la calidad de vida en las personas y conjuntamente para el país le

permitirá reducir los costos de salud y reducir las ausencias laborales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con el aporte financiero del proyecto DICYT USACH Código 061213KC “Diseño e implementación de una Energía IWSN (Industrial Wireless Sensor Network) Tolerante a Fallas, eficiente y con alta seguridad”.

REFERENCIAS

- [1] E.S. Winokur, M.K. Delano and C.G. Sodini. “A Wearable Cardiac Monitor for Long-Term Data Acquisition and Analysis”. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 60, Issue 1, Part 2, pp. 189-192. 2013.
- [2] E.S. Adrià Arboix y M.B. Adrià Arboix. “Factores de Riesgo en la Enfermedad Cerebrovascular aguda: Estudio Comparativo en Infarto y Hemorragia Cerebral en 1702 Pacientes”. Medicina Clínica. Vol. 116 N° 3, pp. 89-91. 2001.
- [3] K.J. Kappiarukudil and M.V. Ramesh. “Real-Time Monitoring and Detection of Heart Attack Using Wireless Sensor Networks”. Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), pp. 632-636. Venice, Italy. 2010.
- [4] Reporte de Vigilancia de Enfermedades No Transmisibles. Situación Epidemiológica de las ENT en Chile. Ministerio de Salud. Chile. 2011.
- [5] “Encuesta Nacional de Salud”. ENS 2009-2010.
- [6] K. Khalfallah, H. Ayoub, J.H. Calvet, X. Neveu, P. Brunswick, S. Griveau, V. Lair, M. Cassir and F. Bedioui. “Noninvasive Galvanic Skin Sensor for Early Diagnosis of Sudomotor Dysfunction: Application to Diabetes”. IEEE Sensors Journal. Vol. 12, Issue 3, pp. 456-463. March, 2012.
- [7] R. Shahriyar, M.F. Bari, G. Kundu, S.I. Ahamed and M.M. Akbar. “Intelligent Mobile Health Monitoring System (IMHMS)”. International Journal of Control and Automation. Vol. 2, Issue 3, pp. 13-28. 2009.
- [8] C.C. Yang and J.T. Huang. “The Era of Cloud Computer thru Bio-Detecting and Open-Resources to Achieve the Ubiquitous

- Devices". 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI2012), pp. 1355-1358. 2012.
- [9] C. He, X. Fan and V. Li. "Toward Ubiquitous Healthcare Services With a Novel Efficient Cloud Platform". IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 60, Issue 1, Part 2, pp. 230-234. 2013.
- [10] X. Chen, X. Lu, Z. Liu, S. Fang, D. Jin and L. Zeng. "A Heterogeneous High Speed Wireless Body Sensor Network Based on SC-UWB and ZIGBEE". IEEE Conference of Global Telecommunications (GLOBECOM 2011), pp. 1-5. Houston, TX, USA. 2011.
- [11] S. Abbate, M. Avvenuti and J. Light. "MIMS: A Minimally Invasive Monitoring Sensor Platform". IEEE Sensors Journal. Vol. 12, Issue 3, pp. 677-684, 2012.
- [12] S. Drude. "IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPAN)". Tutorial, July, 2006.
- [13] M.R.A. Rahim, R.A. Rashid, N.F.S.H.S. Ariffin, M.A.S.A. Hadi Fikri, A. Hamid and A. Mohd. "Development of TelG Mote for Wireless Biomedical Sensor Network (WBSN) Application". International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE 2011), pp. 284-289. Berlin, Alemania. 2011.
- [14] D. Barakah and M. Ammad-Uddin. "A survey of Challenges and Applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and role of a Virtual Doctor Server in existing Architecture". IEEE Third International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS) 2012, pp. 214-219. 2012.
- [15] N. Özcan and F. Gürgen. "Fuzzy Support Vector Machines for ECG Arrhythmia Detection". International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 2973-2976. Istanbul, Turquía. 2010.
- [16] J. Nasiri, M. Naghibzadeh, H. Yazdi and B. Naghibzadeh. "ECG Arrhythmia Classification with Support Vector Machines and Genetic Algorithm". Third UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation, EMS '09, pp. 187-192. Athens, Greece. 2009.
- [17] D. Ghosh, B. Midya, C. Koley and P. Purkait. "Wavelet Aided SVM Analysis of ECG Signals for Cardiac Abnormality Detection". INDICON. 2005 Annual IEEE, pp. 9-13. Chennai, India. 2005.
- [18] T. Yingthawornsuk. "Classification of Cardiac Arrhythmia via SVM". 2nd International Conference on Biomedical Engineering and Technology, pp. 861-866. Singapore. 2012.
- [19] W. Liang, S. Hu, Z. Shao and J. Tan. "A real-time cardiac arrhythmia classification system with wearable electrocardiogram". IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER 2011), pp. 102-106. Shenyang, China. 2011.