

MMIG: A Middleware for Communicating a WSN to a Web Site for Monitoring Vital Signs

SMGI: Sistema de comunicación RIS 802.15.4 -WEB para monitorización de signos vitales

A. J. Laflor-Hernández, J.I. Nieto-Hipólito, M. Vázquez-Briseño, H. Cervantes-De Ávila,
J. D. Sánchez- López, E. Jiménez García
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO-UABC, Ensenada, B.C., México
Email: arturo_laflor@hotmail.com; jnieto@uabc.edu.mx

Abstract — This paper presents the development of MMIM (Middleware for Monitoring and Information Management): a collection of software that communicates a wireless sensor network (WSN) based on IEEE 802.15.4 standard with a web site. The WSN collects vital signs of patients and sends them to a database located in a web server. On the other end, people who care for the health of these patients, monitor the web site using the collected data and set parameters that control the behavior of the devices (sensors of the WSN) in terms of time intervals for checking samples and alerts.

Keywords — Wireless sensor network applications, e-health.

Resumen — Este trabajo presenta el desarrollo de SMGI (Sistema de Monitorización y Gestión de la Información): sistema multicapa que permite establecer comunicación confiable entre una red inalámbrica de sensores (RIS) basada en el estándar IEEE 802.15.4 y un sitio web. El sistema tiene como propósito, brindar servicios de monitorización de signos vitales de pacientes que portan dispositivos con sensores, a través del sitio web, además de permitir el establecimiento de intervalos de muestreo y límites para emisión de alertas,

Palabras Claves — Redes inalámbricas de sensores, e-health.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas de sensores (RIS) debido a la versatilidad que presentan, están encontrando aplicación en cada vez más áreas de la vida cotidiana, se utilizan en la industria, el comercio, la salud y la milicia, entre otras. Las RIS basadas en el estándar IEEE 802.15.4, son redes organizadas en topología Par-a-Par (P2P), estrella o una combinación de ambas. Están constituidas por pequeños nodos sensores que poseen cierto nivel de cómputo, memoria para el procesamiento y almacenamiento temporal de datos. Las RIS son desplegadas o distribuidos en espacios geográficos diversos para percibir el mundo físico. Los datos que captan del ambiente u objetos observados, son transmitidos a través de un canal inalámbrico de comunicación entre nodo y nodo, teniendo la posibilidad de formar rutas para cubrir grandes superficies hasta llegar a

una estación base donde serán almacenados y procesados de tal manera que produzcan información útil. En los últimos años la aplicación de sistemas basados en RIS se ha extendido en áreas como la preservación y cuidado de patrimonios culturales. Al respecto [5] presenta una aplicación para vigilancia de reliquias en un museo y [1] describe la manera en que mediante una RIS se puede tener información del estado de un edificio (en este caso, la Torre Águila, en Italia) a fin de darle mantenimiento en el momento oportuno. La proliferación de aplicaciones como estas, muestran por qué en el año 2003, [6] listó las RIS (WSN, por sus siglas en inglés) entre las 10 tecnologías que cambiarían el mundo en los años futuros.

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema que comunica una RIS basada en el estándar IEEE 802.15.4 con un portal web. La RIS recaba signos vitales de pacientes y los envía a una base de datos. Por otra parte, las personas encargadas del cuidado de la salud de dichos pacientes, monitorizan los datos a través del portal web y establecen parámetros que controlan el comportamiento de los dispositivos en cuanto a intervalos de tiempo para las muestras y verificación de alertas.

La base del diseño para la construcción de SMGI, se encuentra en el modelo de referencia OSI y la estrategia para el desarrollo de los componentes que le dan funcionalidad, retoma conceptos y mecanismos fundamentales de tecnologías como IP-MOVIL (Mobile IP), Proxy, el protocolo TCP (Transport Control Protocol), el protocolo IP (Internet Protocol) y la tecnología DTN (Delay Tolerance Networks).

II. ESTADO DEL ARTE

Las RIS normalmente incluyen en su infraestructura, Nodos Sensores (NS), Nodos Coordinadores (NC) y una Estación Base (EB), la cual concentra la información de toda la red y que servirá de puente para establecer la comunicación con usuarios finales o con otros sistemas a los que preste servicios. La organización de la red, la forma en que la información se transporta a través de la misma, así como el proceso y tratamiento de los datos, están definidos por los sistemas que residen en los dispositivos antes

mencionados. De esta manera, se puede decir que el comportamiento de la red depende de los sistemas que la conforman.

Al revisar la literatura, se puede extraer la taxonomía que muestra la Fig. 1 referente a los sistemas que se han desarrollado para diseñar RIS. Esta taxonomía permite identificar con claridad y precisión las características que se desean dar a un sistema que trabajará con una RIS, dependiendo de las demandas requeridas en el contexto para el que se va a implementar.

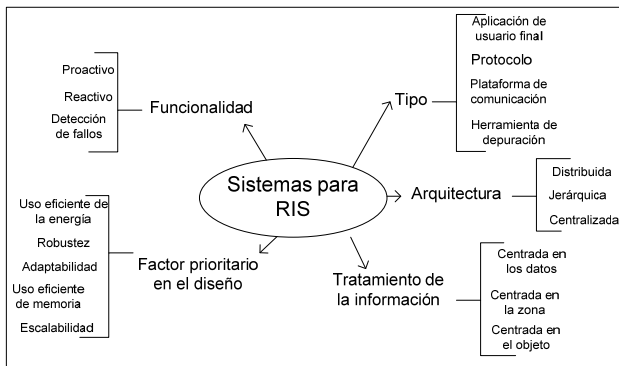


Fig. 1. Taxonomía de sistemas para RIS.

Arquitectura: La arquitectura define las tareas que se realizarán en los diversos dispositivos de la red. Las redes con arquitectura jerárquica procesarán tareas completas en cada dispositivo dependiendo de su capacidad y su importancia dentro de la red. Por ejemplo, un NC procesará tareas de mayor importancia que un NS, y la EB procesará las tareas de mayor importancia dentro de la red. En la arquitectura distribuida una tarea puede ser procesada por diferentes nodos y la asignación de la misma o parte de ella depende más de la disponibilidad de los nodos que del tipo de nodo que se trate. Por último, en la arquitectura centralizada los NS se encargan únicamente de transmitir los datos que captan del medio físico, los NC de organizar las celdas que les corresponden y de transmitir los datos que reciben de los NS, y es la EB quien tiene toda la responsabilidad del procesamiento de los datos.

Funcionalidad: Las RIS al igual que todas las redes inalámbricas son proclives a fallos, lo cual hace que los sistemas trabajen para satisfacer las necesidades por las cuales fueron creadas, y además deben lidiar con solucionar los problemas de congestión, pérdida de enlace y corrupción de los datos. Cuando los sistemas después de sucedidos los eventos responden para satisfacer las necesidades dependiendo de la naturaleza del evento, se dice que tienen un comportamiento reactivo, si mediante mecanismos implementados en los diferentes dispositivos, se anticipan a corregir los posibles errores antes de que los eventos se disparen, se dice que tienen un comportamiento proactivo y cuando su prioridad es mantener a la red estable, independientemente de cómo lo logren y el momento en que lo hagan, se consideran sistemas de detección de fallos.

Tipo: Los sistemas se clasifican por tipo dependiendo de su prioridad en los servicios que presten. Por ejemplo, si un sistema permite interactuar a personas con la red de sensores, será una aplicación de usuario, mientras que si permite a un experto revisar el estado de la información en cualquier punto de la red que ésta se encuentre, será una herramienta de depuración.

Factor prioritario en el diseño: Dependiendo de las necesidades que la red tenga que satisfacer y las condiciones en las que vaya a operar, puede haber uno o más factores que incidan de manera especial en el desarrollo de los sistemas. Por ejemplo, si una red tendrá sus NS en un ambiente hostil y peligroso para el ser humano, será trascendente cuidar el consumo de energía puesto que el reemplazo de baterías cuando la carga se agota, no es factible. Por otra parte, si se sabe que la red puede llegar a crecer demasiado, el diseño debe incluir de manera prioritaria, mecanismos de escalabilidad, ver Fig.1.

Tratamiento de la información: Los sistemas deben mantener una política que determinará su comportamiento en cuanto al tratamiento que dan a la información al momento de procesarla. Esta política puede ser centrada en los datos (data-centric), donde el principal foco de atención son los datos. Por ejemplo, una aplicación que le interesa conocer el promedio de temperatura de una determinada extensión de terreno o de cierto grupo de personas. La política centrada en la zona (zone-centric), consiste en una implementación cuyo interés está centrado en la región de donde proviene el dato. Por ejemplo, una RIS encargada de emitir alertas en caso de riesgo de incendio. La política centrada en los objetos tiene su prioridad en el objeto del que procede la información, aquí cada objeto observado porta un dispositivo con sensores acoplados y las lecturas que se hagan deben viajar a través de las diferentes capas y dispositivos de la red con un identificador que haga evidente al sistema, el objeto del que proceden los datos. Como ejemplos se puede citar la vigilancia de objetos valiosos en museos [5] o la monitorización de pacientes en implementaciones de RIS en el área de la salud [3].

III. PROPUESTA

Este trabajo puede considerarse con base en las clasificaciones que hace [4], como un sistema de comunicación que se constituye en un middleware, complementado con una aplicación de usuario final (como prueba de concepto). Tomando en cuenta la taxonomía descrita en la sección II, se puede clasificar de la siguiente manera:

Arquitectura jerárquica, puesto que las diversas tareas se ejecutan de manera completa en los diferentes dispositivos a los que han sido asignadas, dependiendo de la cantidad de recursos que consumen, la capacidad de memoria y energía con que éstos cuentan.

Sistema reactivo, debido a que ejecuta procesos en respuesta a eventos que ocurren en diferentes partes de la red.

Su *factor prioritario* de diseño será la confiabilidad en la entrega correcta y en tiempo de datos, de extremo a extremo. En este caso los extremos del sistema son por un lado los NS que recaban la información de los signos vitales de pacientes y por el otro lado, el sitio web que presta servicios de monitorización y control a los usuarios finales. Esto lo ubica dentro de la clasificación de sistema robusto. Con base en el tratamiento que se da a la información, está ubicado dentro de la política people-centric.

La estrategia para lograr la confiabilidad, lo cual es el factor prioritario en el diseño, ha sido emplear conceptos fundamentales (como muestra la Fig. 2) de protocolos y desarrollos tecnológicos que han servido para los mismos fines en redes como Ethernet o WiFi.

IP-Móvil: El concepto que retomamos de IP-Móvil es que cada NS posee una dirección única que se mantiene independientemente del NC al que se asocie. El NS puede moverse por un espacio geográfico con cobertura y saltar de un NC a otro, manteniendo el identificador con el que es reconocido en la base de datos. Para lograr esto, el NS mantiene siempre dos direcciones, una externa asignada al momento de cargarle la aplicación y una interna que adquiere cuando se asocia a un NC.

TCP: Se utilizará el concepto básico de transmisión de mensajes de reconocimiento (ACK, abreviatura en inglés) por cada paquete transmitido, con el fin de asegurar su entrega en el otro extremo. Así mismo se retoma el concepto del "three hand check", (aunque con algunas variantes), cuando se trata de solicitar información en tiempo real de algún dato desde el sitio web a un NS.

DTN: El concepto básico de DTN, tiene que ver con el almacenamiento temporal de la información [2] en los nodos, cuando existen problemas para transmitir de un dispositivo de red a otro, de tal manera que los datos se mantienen en el último dispositivo que los recibió, hasta que pueden ser retransmitidos. En la propuesta de este trabajo se considera la realización de esta actividad en los NS y NC de con el propósito de aumentar la confiabilidad en la entrega de los datos.

Proxy: La idea de un proxy es la de ser intermediario entre los proveedores de servicios de información y los consumidores de los mismos. La propuesta incluye un servidor de base de datos donde se almacena la información y un sitio web para acceder a ella, esta parte del sistema es el intermediario entre la red de sensores y el usuario final.

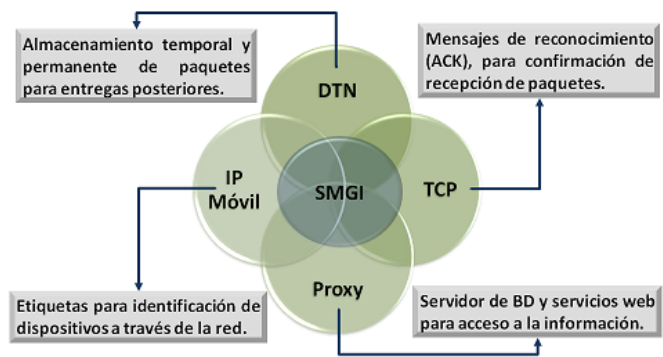


Fig. 2. Estrategia para lograr confiabilidad.

IV. DESARROLLO

La estructura del sistema SMGI se basa en la arquitectura del modelo OSI, de tal manera que se desarrollaron componentes que por su función, se ubican en las capas que define como marco de trabajo dicho modelo. La descripción gráfica del sistema SMGI puede observarse en la Fig. 3, la cual presenta cinco bloques o niveles dentro de los cuales se encuentran los componentes que realizan las tareas para que el sistema cumpla con las especificaciones requeridas. Cada nivel representa una capa, excepto el primero que contiene la capa física y la capa de control de acceso al medio (MAC), las cuales se ha preferido dejar en un solo bloque, debido a que no es desarrollo propio, sino la versión 1.0.1 de MAC 802.15.4 que la compañía Freescale pone a disposición de los desarrolladores para que éstos la tomen como plataforma base en el desarrollo de aplicaciones para RIS.

Aplicación	
SMC_WEB	Sistema de Monitorización y control WEB.
SATD	Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos.
Sesión	
IIS	Internet Information Service
Transporte	
SCPD	Sistema de Comunicación y Persistencia a Datos.
AG	Aplicación de Gestión.
ICRS	Interface de Comunicación con la Red de Sensores.
ICBD	Interface de Comunicación con la Base de Datos.
SCNS	Sistema Coordinador de Nodos Sensores.
Red	
ARP	Componente de resolución de direcciones.
NWK_LAYER	Aplicación de servicios de acceso a la MAC desarrollada por Freescale.
Enlace/Física	
MAC	Capa de enlace desarrollada por Freescale.
PHY	Capa Física desarrollada por Freescale.

Fig. 3. Arquitectura multicapa del sistema

Para lograr la comunicación efectiva entre la RIS y el Sistema de Monitorización y Control Web (SMC_WEB), se diseñó un paquete de datos denominado SCNAD_paq, el cual contiene cabecera, cuerpo y fin de paquete. Así mismo, se crearon dos componentes: La Interface de Comunicación con la Red de Sensores (ICRS) y el Sistema de Coordinación de Nodos Sensores (SCNS), que se encargan de leer la estructura del paquete e interpretar la información de manera congruente, para posteriormente darle el formato correcto de tal manera que sea almacenada en la base de datos cuando procede de la red de sensores, o asignarla a las estructuras en el nodo sensor cuando la fuente es el sistema de monitorización.

Por otra parte, para dar la confiabilidad deseada a la entrega de datos, se empleó como estrategia, el diseño de componentes que aplican conceptos básicos de las redes DTN y el protocolo TCP, dos tecnologías orientadas a entrega de datos de manera confiable, mediante diversos mecanismos a los cuales se hizo referencia en la sección III.

El concepto de TCP es aplicado dentro del sistema, tanto en la comunicación entre los dispositivos de la red de sensores donde se encuentra habilitada la opción de espera de ACK por parte de los emisores en la capa de enlace, como en los componentes de la capa de transporte donde se han empleado mecanismos de confirmación de entrega de paquetes con tiempos de retardo y reenvío de los mismos en caso de ser necesario. Así mismo el concepto DTN se ha empleado en dos componentes: 1) Se configuró la plantilla MAC de Freescale para permitir la funcionalidad de envío de paquetes de forma indirecta, lo que consiste en separar un espacio de la memoria para dedicarlo al almacenamiento temporal de paquetes que no pueden ser entregados de manera inmediata durante un tiempo indefinido o hasta que el búfer se llene y los paquetes más antiguos sean reemplazados por otros recientes y 2) La base de datos mantiene dos colas donde los paquetes son almacenados y permanecen hasta que los sistemas que requieren la información los solicitan.

Además de la estrategia de implementar los conceptos TCP y DTN, se eligió utilizar la opción de redes señalizadas, lo cual determina que el mecanismo de acceso al medio será CSMA/CA ranurado con opción a GTS, mecanismo que ha sido habilitado para garantizar la comunicación libre de contienda entre los nodos sensores y su coordinador, de tal manera que haya más probabilidad de éxito en la transmisión de la información.

En cuanto a la estrategia para lograr la asociación correcta entre los datos provenientes de los dispositivos y los registros de los pacientes en la base de datos, aún cuando los nodos cambien de celda y por consecuencia de dirección, se realizaron procedimientos basados en los conceptos de IP-MOVIL. La implementación consiste en un componente embebido en el NC que mantiene una tabla de direccionamiento lógico que crea registros para relacionar la dirección asignada por el nodo coordinador al nodo sensor durante su asociación, con la etiqueta del nodo que se

mantiene de manera fija en el nodo sensor. El componente consulta la tabla de direccionamiento lógico en cada transmisión de paquetes que pasa por el nodo coordinador y hace el correspondiente intercambio de direcciones de tal manera que el paquete sea enviado al destino correcto cuando proviene del sistema de monitorización y a la tabla que corresponde en la base de datos cuando proviene de un nodo sensor.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La confiabilidad en la entrega de paquetes desde los nodos sensores hacia el servidor de base de datos donde la información se considera segura y persistente, fue la restricción de diseño de mayor importancia en el desarrollo del sistema SMGI. Los resultados que a continuación se presentan, proporcionan la información que permiten establecer los límites en los que el sistema se comporta de manera estable y permiten hacer una evaluación del logro de los objetivos propuestos.

A. Escenario y Procedimiento

1. Se configuraron ocho nodos para que enviaran un total de 100 paquetes a la base de datos donde fueron asociados a registros de pacientes diferentes.
2. Los nodos se distribuyeron de manera aleatoria en un área de aproximadamente 80m² como muestra la Fig. 4. El espacio donde se hizo este experimento es cerrado y cuenta con computadoras, muebles de madera y metal, y una red con terminales Ethernet y WiFi.
3. Se estableció una ventana de tiempo de 500 segundos para el envío de los paquetes, la cual permaneció constante durante todas las pruebas del experimento. Esta ventana de tiempo corresponde al envío de un paquete por NS cada cinco segundos. Con este intervalo de tiempo se garantiza que los temporizadores del servidor que mantiene la base de datos y el temporizador del SMC_WEB activen de manera oportuna los procedimientos que hacen las lecturas del puerto serie y base de datos respectivamente y envíen la confirmación correspondiente a la red de sensores.
4. Las pruebas se realizaron empezando con un nodo enviando 100 paquetes en la ventana de tiempo dada, la segunda prueba incluyó dos nodos enviando 100 paquetes cada uno en la misma ventana de tiempo, hasta completar ocho nodos y 800 paquetes transmitidos.
5. Durante cada prueba se registró la cantidad de paquetes entregados, la cantidad de retransmisiones que se hicieron y la cantidad de paquetes que no llegaron a destino.

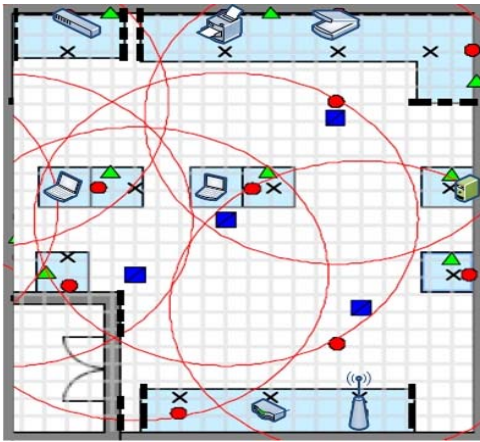


Fig. 4. Lugar donde se realizaron las mediciones del experimento.

B. Resultados

La gráfica de la Fig 5 presenta la eficiencia S en la entrega de paquetes. En este caso $S = [(pn+pr)/pt]$, donde pn es la cantidad de paquetes nuevos que se recibieron, pr es la cantidad de paquetes que se retransmitieron y llegaron con éxito a su destino, y pt es la cantidad total de paquetes transmitidos.

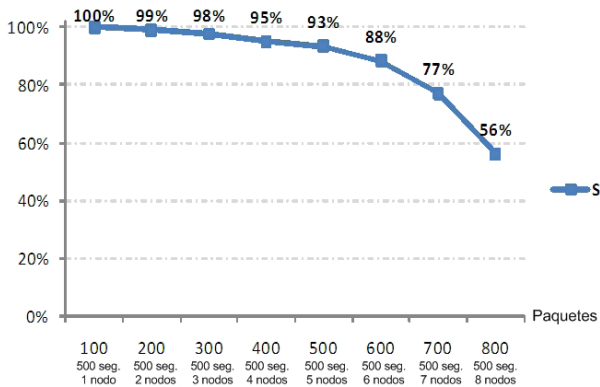


Fig. 5. Eficiencia S del sistema en la entrega de paquetes.

Por otra parte, la gráfica de la Fig. 6 muestra la cantidad de retransmisiones que se hacen durante la transmisión de los paquetes. Un paquete se reenvía utilizando el algoritmo de ventana deslizante cuando tras su primer envío, el nodo no recibe el mensaje de confirmación correspondiente y se pueden tener un total de ocho intentos. Cuando se alcanza este número de intentos sin tener éxito, el nodo pasa a estado inactivo hasta un nuevo mensaje del SMC_WEB indicándole que puede volver a transmitir.

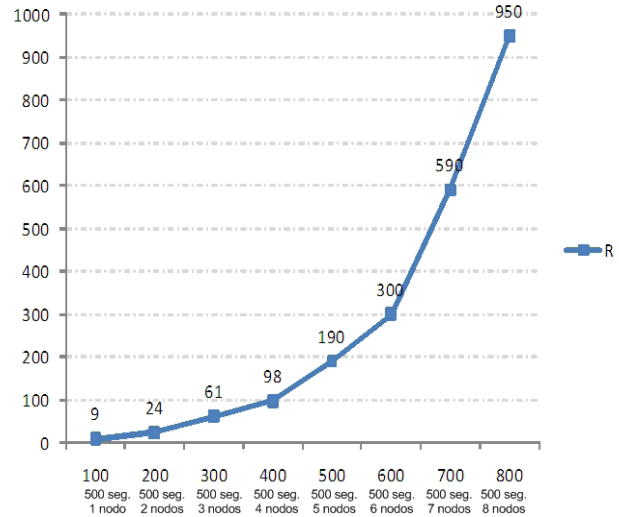


Fig. 6. Retransmisiones R realizadas en el proceso.

Además de las pruebas realizadas en el escenario con alta carga de trabajo, se realizaron otras pruebas aumentando el intervalo de tiempo para transmisión de paquetes procedentes de un mismo nodo, como muestra la Tabla I.

C. Discusión de los resultados.

Los resultados que arrojaron las pruebas realizadas muestran que el sistema llega a su límite de operatividad estable, cuando los intervalos de tiempo para adquisición de datos se establecen en cinco segundos o menos con 6 nodos o más asociados a un nodo coordinador. Por otro lado, se puede observar en la tabla I que la confiabilidad en la entrega de paquetes tiende a 100% a medida que el intervalo de tiempo entre reenvíos procedentes de un mismo nodo se hace más grande. Estos resultados son satisfactorios al confrontarlos con los objetivos propuestos, puesto que los requerimientos de medición de signos vitales para pacientes en estado no críticos en México, se realiza en el orden de horas o fracciones de las mismas. Este sistema, ofrece la adquisición de signos vitales con alto grado de confiabilidad en el orden de minutos o fracciones de los mismos, con un límite de 20 segundos para un total de 8 nodos sensores por cada nodo coordinador (primer renglón de la Tabla I).

TABLA I
Retransmisiones realizadas en el proceso

Intervalo (segundos)	Paquetes transmitidos	Paquetes recibidos	Retransmisiones	Confiabilidad
20	800	760	67	95%
30	800	776	44	97%
45	800	792	31	99%



VI. TRABAJO A FUTURO

A fin de mejorar el trabajo realizado y acercarlo a su implementación en un escenario real se propone lo siguiente:

1. Construir un nodo coordinador que además de los componentes mencionados, incluya otros, que garanticen la transmisión indirecta de paquetes del lado del puerto serie, lo cual incrementaría el nivel de eficiencia del sistema, permitiendo atender a más pacientes y realizar la lectura de signos vitales en intervalos de tiempo más pequeños.
2. Construir del lado del servidor, una interface TCP/IP análoga al componente ICRS que en este sistema presta servicios de lectura y escritura hacia la red de sensores. Esto permitirá utilizar un dispositivo más pequeño que una computadora, como intermediario entre los nodos coordinadores y el servidor que mantiene la base de datos.
3. El desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, de tal manera que los servicios de monitorización y control, estén disponibles en equipos que por su tamaño y versatilidad pueden ser portados en todo momento y en cualquier lugar.

RECONOMIENTOS

Este trabajo se desarrolló dentro del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) ofertado por la Universidad Autónoma de Baja California. Además, contó con el apoyo de una beca CONACYT y con los recursos asignados al Cuerpo Académico de TELEMÁTICA mediante partidas PIFI y de la 14 Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación de la UABC.

REFERENCES

- [1] Matteo Ceriotti, Luca Mottola, Gian Pietro Picco, Amy L. Murphy, Stefan Guna, Michele Corra, Matteo Pozzi, Daniele Zonta, and Paolo Zanon. “Monitoring heritage buildings with wireless sensor networks: The torre aquila deployment”. In IPSN '09: Proceedings of the 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks, pages 277–288, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [2] Adam Dunkels, Juan Alonso, Thiemo Voigt, Hartmut Ritter and Jochen Schiller. “Connecting Wi-reless Sensornets with TCP/IP Networks”. Lecture Notes in Computer Science, 2004, Volume 2957/2004, pages 583-594.
- [3] Tia Gao, C. Pesto, L. Selavo, Yin Chen, Jeong G. Ko, Jong H. Lim, A. Terzis, A. Watt, J. Jeng, Bor-Rong Chen, K. Lorincz, and M. Welsh. “Wireless medical sensor networks in emergency response: Implementation and pilot results”. In Technologies for Homeland Security, 2008 IEEE Conference on, pages 187–192, 2008.
- [4] Mauri Kuorilehto, Marko Hännikäinen, and Timo D. Hämmäläinen. “A survey of application distribution in wireless sensor networks”. EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., 2005 (5):774–788, 2005.
- [5] Dong Li, Wei Liu, Ze Zhao, and Li Cui. “Demonstration of a wsn application in relic protection and an optimized system

deployment tool”. IPSN'08: Proceedings of the 7th international conference on Information processing in sensor networks, pages 541–542, Washington, DC, USA, 2008.

- [6] Wade Rush. “10 emerging technologies that will change the world”. Technology Review, pages 33–56, February 2003.