

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN EN LÍNEA PARA REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS MÓVILES

ONLINE MONITORING SYSTEM FOR MOBILE WIRELESS SENSORS NETWORKS

Leonardo Daniel Sánchez Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana
ldsm@correo.azc.uam.mx

Carlos Ernesto Carrillo Arellano

Universidad Autónoma Metropolitana
ceca@xanum.uam.mx

Carolina Salinas García

Universidad Autónoma Metropolitana
alumn_caro@hotmail.com

Resumen

Una red de sensores inalámbricos móviles (MWSN) está constituida por nodos capaces de moverse y recolectar información de su entorno mediante sensores. Gracias a la movilidad de estos nodos, la red puede fácilmente incrementar o modificar su área de muestreo. La monitorización de una MWSN es un desafío complejo debido a que la topología de la red cambia constantemente y se puede perder la conectividad entre los nodos. Por lo tanto, para monitorizar una MWSN se necesita de una aplicación que no sólo muestre la posición de los nodos en el área de muestreo y los datos obtenidos por éstos, sino que también muestre en tiempo real los cambios que sufren la topología y la conectividad entre los nodos. En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación Web capaz de mostrar en tiempo real los cambios en la topología de una MWSN, así como los enlaces activos en la red.

Palabras Claves: Desarrollo de sistemas, interfaces hombre-máquina, red de sensores móviles.

Abstract

A mobile wireless sensor network (MWSN) is constituted by nodes capable of move and collect information from their surroundings through sensors.

Thanks to the mobility of these nodes, the network can increase or change easily its sampling area. Monitoring an MWSN is a complex challenge because the topology changes constantly and it is common the loss of connectivity between the nodes. Therefore, to monitor an MWSN requires an application that not only shows the position of the nodes in the network and the data obtained by them, but also shows in real time the changes suffered by the topology and the existing connectivity between the nodes This paper presents the development of a web application capable of showing in real time the changes in the topology of a MWSN, as well as the active links in the network.

Keywords: *Human machine interface, systems development, mobile wireless sensor networks.*

1. Introducción

Hoy en día, las redes de dispositivos inalámbricos están presentes en numerosos sectores de nuestra sociedad. Particularmente, la utilización de redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks* o WSNs) ha incrementado notablemente debido a que estos sistemas permiten capturar información del área geográfica en la que son desplegados. Como consecuencia, las aplicaciones de las WSN van desde el desarrollo de sistemas inteligentes para el transporte público [Katiyar, 2011], hasta la monitorización de variables ambientales para desarrollar sistemas agrícolas inteligentes [Fauzi, 2012].

Una WSN está constituida por pequeños dispositivos autónomos, conocidos comúnmente como nodos. Estos dispositivos están equipados con sensores que permiten monitorizar condiciones físicas o ambientales de un área geográfica. Además, los nodos son capaces de establecer enlaces inalámbricos entre sí para poder encaminar la información recolectada hacia un nodo central denominado como el *sink* de la red [Akyildiz, 2002]. Los nodos encargados de recolectar los datos a lo largo del área de interés se deben distribuir estratégicamente considerando en todo momento que el rango de muestreo de los sensores es reducido. Por lo tanto, es claro que el número de sensores necesarios para monitorizar completamente un área geográfica es proporcional al tamaño del área.

Esto implica que el número de sensores necesarios crezca proporcionalmente al incrementar el área de muestreo. Esto representa un problema cuando el área que se desea monitorizar es de gran tamaño, ya que no solo impone retos para la administración de la red, sino que supone altos costos de infraestructura y, además, se crea una topología de red compleja. La solución más sencilla para resolver este problema de escalabilidad es agregar movilidad a los nodos, ya que de este modo se puede incrementar el área monitorizada por nodo y se reducen los costos de infraestructura. Esto cambia el paradigma de una WSN a una MWSN (*Mobile Wireless Sensor Network*). Sin embargo, agregar movilidad a los nodos trae consigo otros problemas, tales como conectividad intermitente entre los nodos, una topología que cambia dinámicamente, y la dificultad de establecer rutas de comunicación entre los nodos y el *sink* de la red [Ramasamy, 2017]. Aunado a esto, la cantidad de información que puede generar una sola WSN es enorme, por lo que no basta con almacenar los datos capturados por los nodos de la red, sino que además es de suma importancia procesarla en tiempo de ejecución para su presentación a través de interfaces entendibles y amigables que permitan una fácil interpretación de esta. Así, resulta evidente que toda MWSN requiere de un sistema que permita conocer y visualizar el estado de la red en tiempo de real, de manera entendible y amigable, prestando especial atención a la topología dinámica de la red y a los enlaces existentes en ella.

En este trabajo se presenta el diseño, implementación y verificación de un sistema de monitoreo en línea para redes de sensores inalámbricos móviles. Dicho sistema no sólo muestra la información recolectada por los nodos de la red, sino que, además, permite visualizar en tiempo real la topología de la red y sus cambios dinámicos. Además, la aplicación muestra cómo se modifican los enlaces existentes entre los nodos de la red. Con esta información se pueden precisar las dificultades de comunicación entre los nodos de la red.

2. Métodos

Con el surgimiento del llamado Internet de las Cosas o IoT por sus siglas en inglés, el número de dispositivos conectados a Internet se ha incrementado

sustancialmente [Al-Fuqaha, 2015]. Debido a esto, una gran cantidad de datos e información se genera en el mundo, por lo que la visualización de estos se ha vuelto un tema de suma importancia. En particular, en el campo de las redes inalámbricas, diversos esfuerzos se han realizado para el desarrollo de herramientas que permitan visualizar los datos obtenidos por una red de sensores inalámbricos. Por ejemplo, en [Hernández, 2014] se presenta el desarrollo de una aplicación Web para el monitoreo de la temperatura y la humedad a través de una red inalámbrica de sensores estáticos mediante el protocolo ZigBee. Los autores de dicho trabajo se enfocan principalmente en los datos obtenidos de la y dejan de lado el estado de esta. En [Vazquez, 2013] los autores presentan el desarrollo de una aplicación web que permite monitorizar la temperatura de un lugar de manera remota a través de una red de área local o Internet. En ese trabajo los autores se enfocan en el caso de una red con un solo nodo estático. Otros ejemplos de estos esfuerzos son el desarrollo de aplicaciones diseñadas específicamente para el monitoreo del estado de la red, como los trabajos presentados en [Soares, 2013] y [Buschmann, 2005]. En [Soares, 2013] se presenta una propuesta que permite monitorizar de manera remota el estado de una red inalámbrica de sensores, sin embargo, esta sólo funciona para redes estáticas. Por otro lado, en [Buschmann, 2005] se presenta una herramienta para el monitoreo de una red de sensores inalámbricos, sin embargo, esta se ve limitada al tener que ser instalada bajo ciertas condiciones y sólo puede ser utilizada en aquellos equipos en los que se haya instalado. Finalmente, en [Usurelu, 2017] se presenta una herramienta para el monitoreo de datos e información que se puede obtener a partir de diversas redes. La mayoría de estas herramientas de software se basan en el modelo de tres capas de un sistema de información, tal y como se muestra en la figura 1.

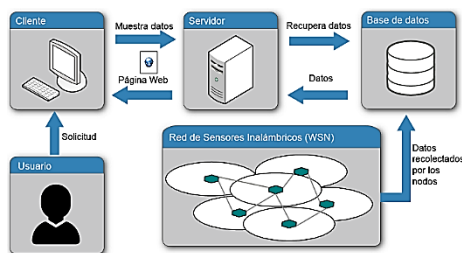


Figura 1 Modelo de tres capas para el diseño de aplicación de visualización de datos.

Como se puede observar, las variables muestreadas por los sensores se almacenan periódicamente en un medio persistente, p. ej. una base de datos, para su posterior consulta y presentación. Normalmente, este tipo de aplicaciones utilizan páginas Web para presentar los datos adquiridos por la WSN, de modo que las páginas Web se generan al momento de la consulta con los datos disponibles en el medio de almacenamiento persistente. Para ello, el servidor utiliza un lenguaje programación que recupera los datos del medio persistente, y posteriormente, se construye una página Web con los datos obtenidos. Es claro que este tipo de aplicaciones sólo permiten conocer el estado actual de la red cuando se realiza una petición explícita, es decir, cuando se realiza una consulta de manera directa por parte del usuario. Lo anterior limita ampliamente el potencial de este tipo de aplicaciones, ya que cada vez que se quiere conocer el estado de la red se tiene que repetir todo el ciclo de descrito en la figura 1. Bajo este enfoque, se tiene que solicitar constantemente el estado de la red para verificar la existencia de algún cambio, aumentado así la carga del sistema y la latencia de la respuesta para la aplicación. Se puede notar que el enfoque de la consulta de datos descrito anteriormente no es adecuado para aplicarlo a las MWSN, ya que no atienden los requerimientos de visualización de datos y ubicación espacial de los nodos en tiempo real. En este trabajo se propone diseñar una aplicación que permita monitorizar el estado de una MSWN en todo momento y en todo lugar. Para ello, se propone utilizar el protocolo HTTP como protocolo de la capa de aplicación para realizar la consulta y presentación de datos. El esquema propuesto contempla el uso de tecnologías Web 2.0, tal y como se muestra en la figura 2.

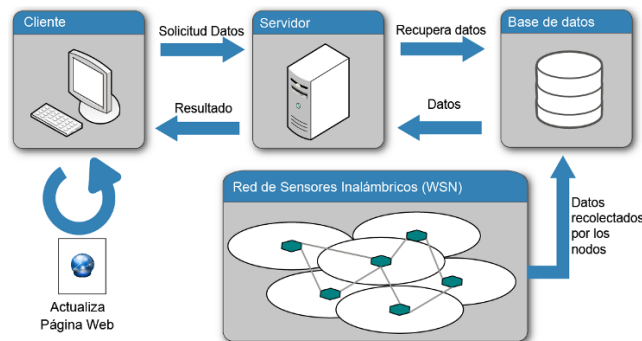


Figura 2 Modelo de comunicación propuesto entre los módulos de la aplicación.

La propuesta consiste en combinar el modelo de 3 capas con tecnologías asíncronas para crear una aplicación interactiva que permita conocer el estado de una WMSN en todo momento, en todo lugar, reduciendo la carga en el servidor, requiriendo una baja latencia de respuesta y sin necesidad de que el usuario solicite la información de manera explícita. Es decir, la aplicación monitoriza en tiempo real la ubicación de los nodos, las lecturas realizadas por los ellos, así como los cambios en la topología de la red y las modificaciones sufridas en los enlaces de comunicación.

La aplicación propuesta consiste en tres niveles: modelo, vista y controlador. Para el modelo se propone el uso de una Base de Datos (BD) relacional considerando que un espacio solo puede existir una y solo una red de sensores. Además, se considera que cada nodo monitorea su entorno cada cierto tiempo, lo que deriva en las entidades, atributos y relaciones descritos en la figura 3.

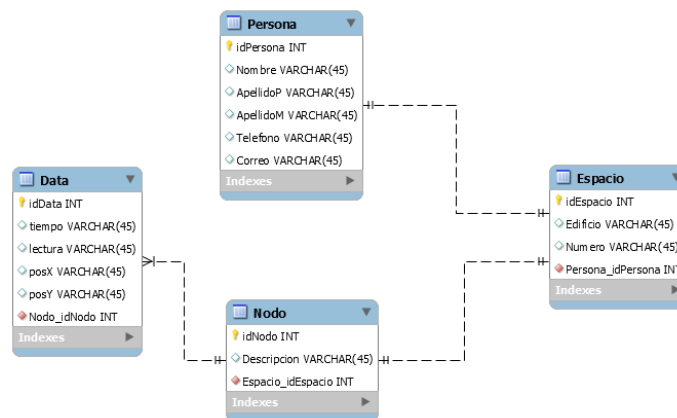


Figura 3 Diagrama Entidad-Relación para el sistema de monitorización.

Es importante señalar que, por el momento, la aplicación propuesta en este trabajo es independiente del protocolo de intercambio de mensajes empleado por la red de sensores. Es sabido que existen diversos protocolos de capa de aplicación para la transmisión de datos en una red de sensores, tales como los protocolos Message Queue Telemetry Transport (MQTT) y Constrained Application Protocol (CoAP) [Karagiannis, 2015]. Sin embargo, la aplicación propuesta parte de una premisa importante, cada que los sensores inalámbricos generan datos, estos son

recibidos por un nodo central, el cual podría ser un cliente MQTT, y almacenados en una base de datos. En consecuencia, la manera en la que los procesos de comunicación en la red y de almacenamiento en la base de datos son, momentáneamente, transparentes para la aplicación propuesta, pues la aplicación detecta únicamente las inserciones de información en la base de datos y reacciona a dichos eventos.

Para el desarrollo del controlador se emplea el lenguaje PHP 7 del lado del servidor y Java Script 5 del lado del cliente. En este caso, el servidor utiliza PHP para recuperar los datos de la BD y procesarlos, posteriormente los datos se entregan al cliente en forma de resultado. En este punto, es muy importante señalar que cuando el usuario hace por primera vez una solicitud explícita de información, el servidor construye una página Web como respuesta. Dicha página incluye código JavaScript para que ésta se actualice automáticamente de manera periódica.

Posterior a esto, no es necesario que el usuario vuelva a solicitar la información de manera explícita, es la misma página quien manda la solicitud de información. En este caso, el servidor no construye ninguna página Web, solo utiliza PHP para recuperar los datos de la BD y los entrega en un formato específico al cliente. De esta manera el cliente no recarga toda la página Web, sino una parte de esta. Para ello, es necesario emplear tecnología AJAX con el objeto *XMLHttpRequest* para hacer envíos de solicitud de información asíncronos. Finalmente, para la presentación de información se propone utilizar en el lado del cliente HTML 5 con CSS 3 y Java Script para la solicitud y actualización de la página Web. La figura 4 muestra los componentes del sistema y su interacción.

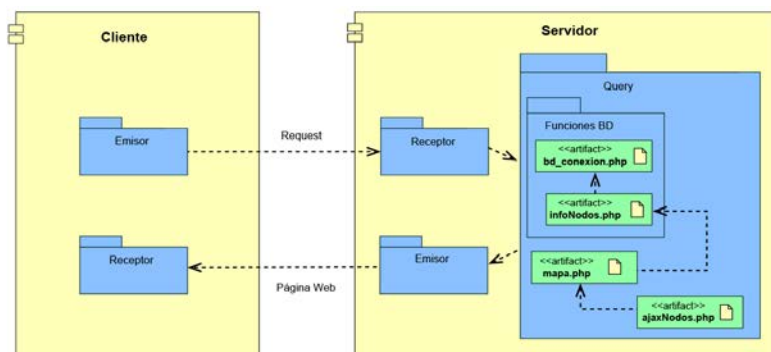


Figura 4 Diagrama de componentes del sistema.

3. Resultados

Para realizar pruebas operativas a la herramienta de monitorización se utilizó el programa BonnMotion [Aschenbruck, 2010]. Esta herramienta de software permite crear trazas de movilidad, las cuales se emplearon para simular el comportamiento de una red inalámbrica de sensores móviles. El movimiento de cada nodo es controlado empleando una traza de movilidad generada por BonnMotion. Para las pruebas realizadas se tomó en consideración una red de sensores constituida por 10 nodos móviles. La movilidad de dichos nodos se define mediante el modelo *Random Way Point*. Los datos generados por la traza de movimiento son: identificador de nodo, posición en el eje x, posición en el eje y, y tiempo en el que se detecta un movimiento. Posteriormente, a estos datos se les agregaron las lecturas de datos simulados con números aleatorios. Por el momento, sólo se generaron los datos relacionados a la temperatura, sin embargo, se pueden generar cualquier cantidad de datos deseados. A continuación, la traza de movilidad se inserta, registro por registro, en la BD con un retardo de 2 segundos entre cada registro de la traza para simular de esta manera la generación de datos periódicos de la red. Este proceso de inserción de información en la base de datos puede simular la comunicación entre un cliente MQTT y la base de datos. Por el momento, se asume que este proceso es transparente para la aplicación y, para los objetivos de este proyecto, se puede omitir. El resultado obtenido se muestra en la figura 5.

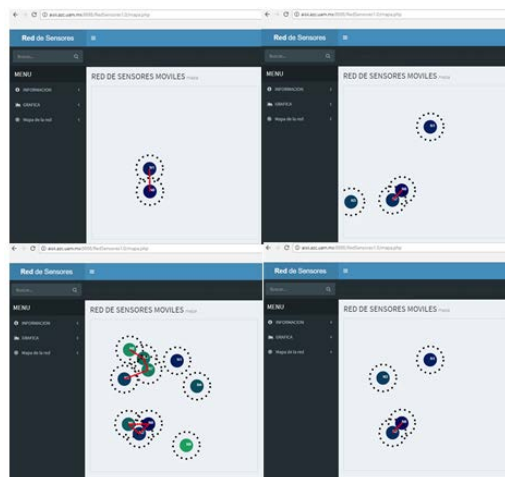


Figura 5 Funcionamiento del sistema.

Como se puede apreciar, la herramienta permite visualizar en todo momento la posición de todos los nodos, la topología de la red, así como la conectividad, si es que existe entre los nodos de la red. La herramienta de monitorización está disponible en la dirección Web <http://aisii.azc.uam.mx:8888/RedSensores1.0/>, en donde se puede verificar su funcionamiento. Adicionalmente, la aplicación cuenta con una sección para cargar cualquier traza obtenida mediante el software BonnMotion. Esta traza se cargará en el sistema y se visualizará a través de la herramienta de monitorización. En enlace para que el usuario pueda subir una traza creada con el software BonnMotion encuentra disponible en el siguiente enlace web <http://aisii.azc.uam.mx:8888/RedSensores1.0/formularioTraza.html>. El código fuente de la aplicación también está disponible en el siguiente enlace <http://aisii.azc.uam.mx:8888/RedSensores1.0/codigo.zip>.

4. Discusión

Hoy en día existen diversas herramientas que permiten monitorizar y visualizar el estado de una red de sensores, pero muy pocas permiten conocer los cambios dinámicos que tiene de una red de sensores móviles. La aplicación desarrollada en este trabajo permite monitorizar en tiempo real un espacio geográfico mediante una red de sensores móviles. Esta aplicación no solo visualiza la topología de la red, sino que también permite verificar el estado de los enlaces de la red. Si bien, la herramienta funciona empleando los datos generados en nuestras pruebas, también funciona para cualquier otra traza generada con la herramienta BonnMotion y para cualquier conjunto de datos generados por una red de sensores móviles, siempre y cuando cumplan con el formato establecido por la aplicación. Por otro lado, la aplicación permite visualizar la traza generada por la herramienta BonnMotion, lo que la convierte en un complemento de esta última. De esta manera, la herramienta presentada en este trabajo, en conjunto con el simulador BonnMotion, generan una herramienta para el complemento en el aprendizaje de redes de comunicación.

Es importante enfatizar que la aplicación web se ha evaluado simulando el comportamiento una red de sensores. Es decir, los protocolos de comunicación

entre los nodos de la red y el procesamiento de los datos en el *sink* han sido omitidos. La traza de datos generados por la aplicación BonnMotion ha sido considerada como una simulación del comportamiento de la red de sensores móviles.

Es importante recordar que el objetivo de esta propuesta se centra en el desarrollo de la aplicación web y no en la implementación de la red. Una vez que se ha verificado que la aplicación web refleja fielmente el comportamiento de la red de sensores simulada, se puede implementar como trabajo futuro una red de sensores e integrarla con la aplicación web para validar conjuntamente todo el sistema.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación Web que permite monitorizar una red de sensores inalámbricos móviles. Las características más significativas de esta aplicación son las siguientes:

- La aplicación permite visualizar en tiempo real los cambios que sufre la topología de la red y, además, permite visualizar claramente el estado de los enlaces entre los nodos. De esta manera es posible atender los problemas de conectividad dentro de la red.
- La aplicación visualiza la información capturada por los nodos de la red, así como su evolución temporal.
- Esta aplicación puede funcionar como un buen complemento para visualizar trazas generadas con el software BonnMotion, lo cual le brinda versatilidad a la aplicación.

Finalmente, el código de la aplicación, así como la versión de prueba, han sido puestos a disposición de la comunidad para que se realicen pruebas y/o mejoras. Como trabajo futuro los autores pretenden agregar a la aplicación funciones que les permitan desplegar servicios o funciones especiales a los sensores remotos de manera sencilla e intuitiva. Además, los autores integrarán la aplicación web con una red de sensores implementada en hardware. Se espera que los nodos de la

red empleen un protocolo de comunicación de la capa de aplicación, tal como CoAP ó MQTT, así como desarrollar funciones que permitan introducir los datos capturados por la red de sensores en la base de datos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E, Wireless sensor Networks: A survey, *Computer Networks*, Vol. 38, 393-422, 2002.
- [2] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M., Internet of Things: A survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications, *IEEE Communications Surveys and tutorials*, Vol. 17, No. 4, 2347-2376, 2015.
- [3] Aschenbruck, N., Ernst, R., Gerhards-Padilla, E. & Schwamborn, M., BonnMotion: a mobility scenario generation and analysis tool, *Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2010.
- [4] Buschmann, D. Pfisterer, S. Fischer, S. Fekete, A.Kröller, SpyGlass: a wireless sensor network visualizer, *ACM SIGBED Review*, vol. 2, pp. 1-6, 2005.
- [5] Fauzi, M. Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System, *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, No. 41, 1204-1210, 2012.
- [6] Hernández Hernández, Red de monitoreo remoto inalámbrico de sensores con dispositivos ZIGBEE, proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, 2014.
- [7] Karagiannis, V. Chatzimisios, P., Vazquez-Gallego, F., & Alonso-Zarate, J. A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things, *Transactions on IoT and Cloud Computing*, 2015.
- [8] Katiyar, V., Kumar, P. & Chand N. An Intelligent Transportation Systems Architecture using Wireless Sensor Networks, *International Journal of Computer Applications*, Vol. 14, No. 2, 22-26, 2011.

- [9] Ramasamy, V., Mobile Wireless Sensor Networks, Wireless Sensor Networks Philip John Sallis, IntechOpen, 2017.
- [10] Soares, Wireless Sensor Networks Monitoring Tool, reporte final, FCTUC, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, 2013.
- [11] Usurelu, C.C. & Pop, F., My City Dashboard: Real-time Data Processing Platform for Smart Cities, Journal of Telecommunications and Information Technology, 89-100, 2017.
- [12] Vázquez Sánchez, Monitoreo de Temperatura a través de una aplicación web, Universidad Autónoma del Estado de México, 2013.