

Red de Sensores Inteligentes Aplicada a la Monitorización de un Museo Minero

N. Carbonell, S. Casans, A.E. Navarro, D. Ramírez, J. Sánchez
Laboratorio de Electrónica Industrial e Instrumentación (LEII). Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSE). Universidad de Valencia. C/Doctor Moliner 50. 46100 Burjassot. Valencia. España

nucaru@alumni.uv.es; scasans@uv.es; enavarro@uv.es

Abstract

El trabajo que se presenta consiste en el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes aplicada a la monitorización de un museo minero. El sistema desarrollado permite monitorizar en tiempo real parámetros como temperatura, humedad relativa y vibración. El sistema de monitorización se basa en el uso de los microcontroladores PIC encargados de coordinar los nodos inalámbricos distribuidos por la mina y almacenar la información recogida de los diferentes sensores. En caso de sobrepasar los rangos permitidos se activan señales de alarma en la estación base.

Keywords: monitorización remota, red de sensores, comunicación inalámbrica

Introducción

En la actualidad cada vez es más habitual encontrar sistemas de monitorización remota basada en redes de sensores inteligentes dedicadas a diferentes aplicaciones: Domótica, gestión del tráfico, monitorización del consumo energético, sector agrícola, teleasistencia médica y social, monitorización de cuevas...[1-6]. Existen cuevas que son de gran interés, desde el punto de vista cultural, paleontológico o turístico. Algunas de las cuevas, bien por ser visitadas de forma masiva o bien porque de algún modo su estructura ha sido modificada, han visto alterado su microclima. El estudio del microclima en las cuevas es esencial para su conservación por ello se han desarrollado sistemas de monitorización como los de las cuevas de Altamira. Éstas tienen un claro interés cultural, en ellas se monitorizan parámetros como: presión atmosférica, temperatura exterior, humedad relativa, CO₂, flujo térmico...

También se han instalado sistemas de monitorización en determinadas cuevas de interés geológico que monitorizan temperatura, humedad, CO₂ y permiten conocer las características del agua. Otro tipo de cuevas que es posible visitar son antiguas minas que fueron cerradas y por tanto ya no están en explotación. Este tipo de minas han sido acondicionadas para poder ser visitadas y dar a conocer su historia, por tanto se trata de minas dedicadas al turismo. Es muy importante

garantizar la seguridad de los visitantes por lo que se debe tener un seguimiento, al menos semanal, para conocer determinados parámetros como pueden ser detección de vibración sísmica, concentración de CO, ventilación...

El trabajo que se presenta consiste en el desarrollo e implementación de un primer prototipo cuya finalidad es monitorizar el estado de una antigua mina de carbón reconvertida en un museo minero, en concreto se trata del Museo Minero de Escucha situado en la provincia de Teruel, España. En concreto se miden los siguientes parámetros: temperatura, humedad, y detección de cualquier vibración.

Características del Sistema de Monitorización

Debido a las peculiaridades de la mina y la interconexión entre las diferentes galerías, para poder cubrir toda la extensión visitable es necesario utilizar un total de 11 nodos.

Los nodos se pueden dividir en tres tipos:

- *Nodos tipo 1:* trabajan a la frecuencia de 2,4 GHz y permiten establecer conectividad con un computador personal vía USB.
- *Nodos tipo 2:* Trabajan tanto a la frecuencia de 2,4 GHz como a la frecuencia de 868 MHz simultáneamente. Éstos actúan como repetidores para poder establecer la comunicación a nivel hardware de dos

módulos inalámbricos de distinta frecuencia. De este modo es posible, según se requiera y atendiendo a las características de las galerías, combinar dentro de la mina nodos que trabajan a diferente frecuencia garantizando la comunicación.

- *Nodos tipo 3:* Trabajan a la frecuencia de 2,4 GHz, todos ellos incluyen al menos tres sensores además de una memoria externa para poder almacenar los datos. En función de las características de las galerías se utilizan antenas de diferente potencia para

garantizar la comunicación a lo largo de las galerías.

La Figura 1 muestra las galerías de la mina y los nodos sensores distribuidos en su interior que forman la red de sensores inteligente. Concretamente la red de sensores está formada por un total de 11 nodos, combinando los diferentes tipos, dos nodos repetidores ubicados a la entrada de la mina, un nodo master conectado a un computador personal encargado de recoger toda la información y mostrarla al usuario y por último nueve nodos sensores ubicados en las diferentes galerías.

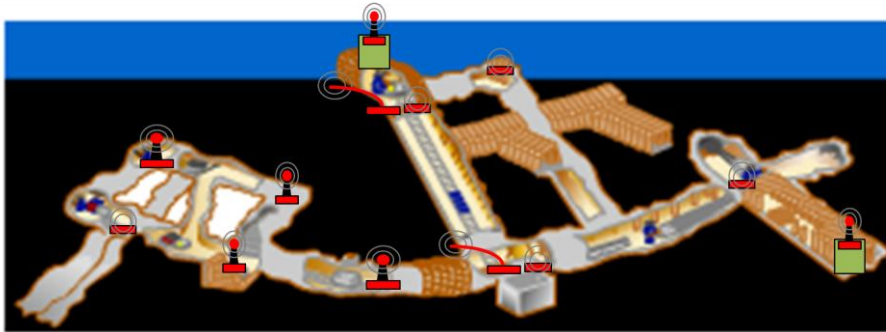


Figura 1. Distribución de nodos remotos en las diferentes galerías de la mina.

A. Hardware:

Seguidamente se describen las principales características hardware de los diferentes nodos.

Nodo tipo 1: La Figura 2 muestra el nodo principal ubicado en la estación base. Éste incluye un módulo Xbee-PRO con frecuencia de transmisión 2,4 GHz. Se encarga de recibir la información transmitida por los diferentes sensores, ésta proviene de los nueve nodos sensores ubicados en diferentes galerías de la mina. La información del módulo inalámbrico se transmite al PC mediante un módulo FTDI que permite adaptar los niveles lógicos del puerto UART del módulo Xbee-PRO a los niveles de tensión TTL del puerto USB. Se ha aprovechado la comunicación USB para alimentar el nodo mediante el computador personal sin la necesidad de añadir una fuente de alimentación externa. Debido a que esta alimentación es de 5 V, se añadió un regulador para adaptar los niveles de tensión aceptados por el módulo Xbee-PRO. Este módulo se alimenta con una tensión 3,3 V.

Se ha incluido un tri-led que permite visualizar en todo momento si el módulo está encendido, transmitiendo o recibiendo datos.

Este nodo se encarga de configurar los módulos inalámbricos, también permite visualizar y almacenar los datos provenientes de los módulos remotos en históricos mediante

el uso de una aplicación desarrollada con LabVIEW.



Fig. 2. Nodo tipo 1 ubicado en el computador personal.

Nodo tipo 2: La Figura 3 muestra el nodo repetidor. El sistema de monitorización incluye dos nodos repetidores, éstos se usan con la finalidad de conseguir que la comunicación inalámbrica tenga una mayor longitud de alcance.

Se caracteriza por realizar la comunicación hardware de dos módulos Xbee-PRO; uno de frecuencia 2.4 GHz con otro de frecuencia 868 MHz. De este modo cuando le llega la información inalámbrica al módulo de frecuencia 2.4 GHz, éste la transmite al módulo de frecuencia 868 MHz, que a su vez la reenvía al siguiente nodo repetidor. Los nodos repetidores también funcionan a la inversa, es decir que cuando le llega la información al módulo de 868 MHz ésta se transmite al módulo de 2.4 GHz y la reenvía al resto de nodos.

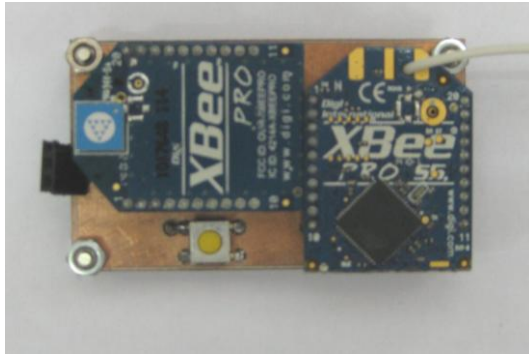


Fig. 3. Nodo tipo 2 funciona como repetidor.

Nodo tipo 3: La Figura 3 muestra el nodo de sensores. Éste está compuesto por:

Microcontrolador: El microcontrolador seleccionado para la aplicación desarrollada es el PIC18LF2620 de Microchip, éste incluye un convertidor analógico-digital de 10 bits de resolución. Su tensión de alimentación es de 3,3 V reduciendo así su consumo.

Modulo RF: Utiliza el módulo Xbee-PRO que funciona a la frecuencia de 2.4 GHz, éste se comunica con el microcontrolador mediante comunicación serie.

Sensor de humedad: El sensor SHT15 de Sensirion, permite obtener el valor de la humedad relativa del ambiente con una resolución de 0.5% RH. Éste se comunica con el microcontrolador mediante la comunicación I2C.

Memoria externa: Se ha utilizado una memoria EEPROM capaz de almacenar un volumen de datos hasta 512 kbits (M2451 de STMicroelectronics).

Calendario y sensor de temperatura: Se ha utilizado el circuito integrado DS1307, éste permite contar segundos, minutos, horas, día del mes, día de la semana, mes y año mediante el uso de un oscilador externo. La información proporcionada por este integrado es accesible mediante el uso del puerto I2C. La resolución de la temperatura es de ± 0.5 °C, suficiente para la aplicación desarrollada.

Sensor de vibración: El sensor de vibración utilizado es el ADXL335, éste permite detectar las vibraciones de la mina en los tres ejes con un margen de medida de ± 3 g.

Conector RJ11: Su única finalidad es la de poder reprogramar el microcontrolador que controla y supervisa el funcionamiento del nodo en la misma placa. En este caso se utiliza el programador MPLAB-ICD2 de Microchip junto con el compilador CCS.

Entradas analógicas: Tanto el microcontrolador como el módulo inalámbrico Xbee disponen de una serie de entradas analógicas que hacen posible la conexión de diferentes sensores. En este caso se han utilizado tres sensores, todos ellos con salida digital, lo que supone disponer de la posibilidad de conexión de mayor número de sensores con salida analógica.

La alimentación de los nodos sensores se realiza mediante pilas. Todos los dispositivos utilizados en dichos nodos requieren una alimentación en tensión de 3,3 V. Es por ello que se ha seleccionado una pila que proporciona directamente una tensión de 3,6 V. El consumo de estos módulos es de 70 mA transmitiendo y de 10 mA en modo Sleep.

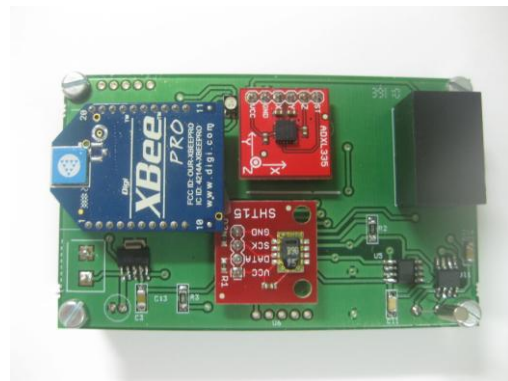


Fig.4. Nodo tipo 3, realiza la función de sensado.

B. Software:

El sistema de monitorización y control dispone de una interfaz gráfica desarrollada con el programa LabVIEW. Ésta permite realizar las siguientes funciones:

- Configurar las características del puerto serie.
- Configurar el calendario de los nodos sensores.
- Visualizar en tiempo real, mediante el uso de gráficas, los parámetros de: temperatura, humedad y vibración.
- Descargar los datos almacenados de los sensores a lo largo del día en un documento Excel
- Visualizar mediante gráficas los datos que se han almacenado en el documento Excel.

La Figura 5 muestra el panel frontal desarrollado con LabVIEW que permite seleccionar el nodo cuya información se quiere visualizar. Ésta se muestra en tiempo real permitiendo conocer en todo momento las condiciones de temperatura, humedad relativa y vibración del nodo sensor seleccionado.

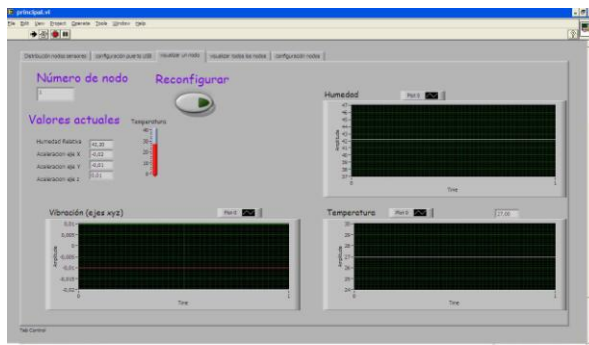


Fig.5. Visualización en tiempo real de los diferentes parámetros medidos (temperatura, humedad y vibración)

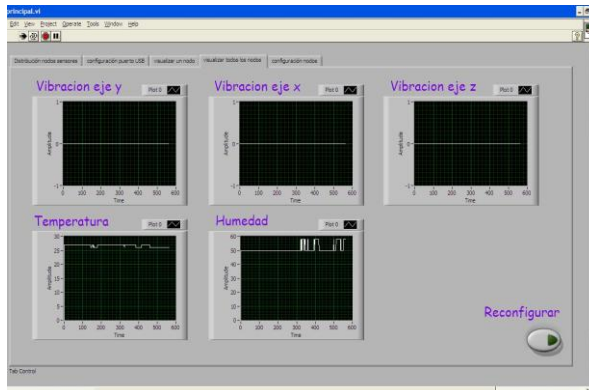


Fig.6. Visualización de los datos almacenados en el fichero Excel.

La Figura 6 corresponde a otra función del programa en la que se puede visualizar los datos que han sido almacenados en un fichero Excel durante un determinado intervalo de tiempo: días, meses o años.

Conclusiones

El desarrollo de la red de sensores distribuidos aplicada a la monitorización en el museo minero ofrece la posibilidad de tener un seguimiento constante de diferentes parámetros. El número de parámetros a medir puede ampliarse con relativa facilidad en el caso de tratarse de sensores con salida analógica. En este caso, se han desarrollado los primeros prototipos de una red de sensores inteligentes cuyos nodos pueden ser reconfigurados de forma sencilla y pueden actuar como emisores o transmisores. Los módulos transmisores-receptores se han elegido de tal modo que, simplemente cambiando el tipo de antena, cualquier nodo puede aumentar considerablemente el alcance de la señal. Los nodos remotos se han diseñado de forma modular de tal modo que pueden ser fácilmente ampliables añadiendo nuevos sensores sin tener que modificar los nodos remotos diseñados. Por las características software de la red de sensores, ésta puede ser

ampliable sin tener que desactivar el sistema de monitorización. Dadas las características actuales de la mina, los nodos también se caracterizan por ser autónomos y por tanto necesariamente uno de los principales requisitos del diseño fue conseguir bajo consumo. Este sistema, comparándolo con el actual, permitirá tener un seguimiento mucho más cómodo de las condiciones ambientales de la mina y evidentemente éste se realizará durante las 24 h del día.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al soporte financiero de los proyectos ENE2008-06588-C04-04 el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y del Fondo Social Europeo para el Desarrollo Regional y ACOMP/2010/231 de la Generalitat Valenciana.

Referencias

- [1] O'Reilly TC, Headley K, Edgington DR, et al.; "Instrument Interface Standards for Interoperable Ocean Sensor Networks." OCEANS 2009 Conference, pp: 1099-1108. MAY 11-14, 2009.
- [2] Thosteson ED, Widder EA, Cimaglia CA, et al.; "New Technology for Ecosystem-Based Management: Marine Monitoring with the ORCA Kilroy Network.", OCEANS 2009 Conference, pp: 1114-1120, 2009.
- [3] Hu B, Hu B, Wan JZ, et al.; "UWMAIS: ubiquitous water monitoring platform". CLUSTER COMPUTING-THE JOURNAL OF NETWORKS SOFTWARE TOOLS AND APPLICATIONS Vol. 13 pp: 153-165, 2010.
- [4] Harnett CK, Blumenthal N, Fox JF, et al.; "Wireless sensor network for calibration and deployment of low-cost fluid flow-rate sensors". IEEE INSTRUMENTATION & MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, VOLS 1-3, pp: 395-400, 2009.
- [5] Salvador P, Nogueira A, Valadas R.; "Markovian Models for Medical Signals on Wireless Sensor Networks". IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION WORKSHOPS, VOLS 1 AND 2 Pages: 167-171, 2009.
- [6] Cavallo F, Aquilano M, Odetti L, et al.; "A first step toward a pervasive and smart ZigBee sensor system for assistance and rehabilitation". IEEE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION ROBOTICS, VOLS 1 AND 2, pp: 736-741, JUN 23-26, 2009.