

# Redes de Sensores y Actuadores (WSAN) en domótica

Manuel J. Buendía, Jose A. Vera, Fernando Losilla, Pedro José Meseguer

DSIE, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar s/n., 30202, Cartagena, SPAIN

**Resumen.** *La domótica, definida como la automatización de viviendas y edificios, es uno de los campos más atractivos para la aplicación de las redes de sensores inalámbricas, siendo todavía un área de estudio poco desarrollada. El presente artículo recoge nuestras primeras experiencias en la integración de estas tecnologías. Para ello se ha realizado una maqueta de una vivienda unifamiliar de tamaño medio, y se han implementado un conjunto de actuadores y sensores domóticos inalámbricos basándonos en la tecnología actual disponible para el desarrollo de redes de sensores.*

## 1 Introducción

En los últimos años las Redes Inalámbricas de Sensores (WSN, Wireless Sensor Networks) [1] se han convertido en un campo de estudio que se encuentra en continuo crecimiento. Consisten en un conjunto de nodos o motes de pequeño tamaño, de muy bajo consumo, que se comunican entre sí inalámbricamente formando una red y que a su vez se conectan con un sistema central siguiendo diferentes topologías. Este sistema es el encargado de recopilar la información recogida por cada uno de los sensores. El ámbito de aplicación de este tipo de sistemas es muy amplio: monitorización de entornos naturales [2], aplicaciones para la defensa [3], aplicaciones médicas [4], etc.

En las Redes Inalámbricas de Sensores y Actuadores (WSAN, Wireless Sensor and Actor Networks) [5] además de nodos sensores existen nodos actuadores. Los sensores van reuniendo información sobre el medio físico, mientras que los actuadores toman decisiones y ejecutan las acciones apropiadas sobre el entorno. Este tipo de redes tienen algunas características que no son propias de las WSN:

- Mientras que los nodos sensores son dispositivos pequeños, baratos, con capacidad de comunicación y procesamiento limitados; los nodos actuadores consumen más energía, son más caros, tienen mayor capacidad de procesamiento y comunicación.
- La capacidad de reacción de los actuadores ante un evento en tiempo real es una cuestión importante. Es necesario introducir mecanismos de coordinación entre los sensores y los actuadores.
- El número de nodos sensores suele ser muy superior al número de actuadores.

En el presente artículo se recogen nuestras primeras experiencias relacionadas con las WSAN y su aplicación en la automatización y control de viviendas y edificios inteligentes.

## 2 Caso de estudio.

El propósito final del trabajo que se presenta en este artículo ha sido el construir una red de sensores y actuadores (WSAN) para su aplicación en la automatización y control de viviendas inteligentes. Para ello se ha definido un caso de estudio consistente en una vivienda unifamiliar de tamaño medio con sistemas de calefacción, aire acondicionado, iluminación distribuida por toda la casa y persianas provistas por un motor para la subida y bajada de las mismas. En principio, una vivienda como la mayoría de las existentes, sin ningún sistema tecnológico complejo.

Los motes de la red serán instalados en la vivienda con una expectativa de vida similar a cualquier elemento electrónico o electromecánico (interruptor, pulsador, sensor de infrarrojos, electro válvula, alarma, etc.) habitual en cualquier hogar. Estos se conectarán a elementos sensores y actuadores, y los datos que se intercambiarán lo harán por dos posibles causas:

- Por eventos externos al nodo. Por ejemplo, la pulsación de un interruptor para dar una orden de encendido.
- De manera periódica para la realización de acciones de control. Por ejemplo, la regulación de temperatura en el sistema de climatización.

Por tanto, se distinguirán nodos sensores que detectarán los cambios que se produzcan en la magnitud que se esté registrando o los eventos ante los que se tenga que ejecutar una respuesta. Normalmente esta respuesta será el envío de un mensaje al nodo actuador.

Por otro lado estarán los nodos actuadores, que serán los que reciban la información conveniente de los sensores y ejecutarán la acción correspondiente en consecuencia, ya sea encender o apagar luces, activar o desactivar un motor de persiana o cualquier otra acción similar.

Con objeto de familiarizarnos con la tecnología y estudiar las verdaderas posibilidades de la misma se ha dimensionado el problema centrándose en un subconjunto de posibles aplicaciones:

- Iluminación. Dentro de este apartado se ha incluido la interacción de sensores y actuadores para realizar distintas funciones de iluminación: conmutación on/off de grupos de luces y regulación relativa o absoluta de luminosidad.
- Persianas. Aquí las aplicaciones se corresponderían con las persianas convencionales o las de lamas, pudiéndose efectuar operaciones de subida/bajada total o por pasos. Esto último se traduciría en los giros de las lamas en un sentido u otro.
- Sensores crepusculares y de temperatura. En este último apartado se han incluido las aplicaciones que incorporan sensores de tipo crepuscular, para la activación o regulación de luces o motores, dependiendo de la iluminación solar, o por otra parte sensores de temperatura que controlarán los sistemas de calefacción o de aire acondicionado, dependiendo de la temperatura interna de la vivienda.

Por último, indicar dos importantes elecciones que se han realizado a la hora de afrontar el trabajo:

- A la hora de direccionar y operar con los diferentes dispositivos inalámbricos se ha elegido el estándar en instalaciones domóticas EIB-KNX[6].
- Se han seleccionado los motes Tmote Sky[7] por proporcionar las mejores prestaciones en cuanto a consumo y alcance frente a otras posibles soluciones comerciales.

### 3. PLATAFORMA DE TRABAJO

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se han seleccionado los Tmote Sky para el desarrollo de este trabajo. Este tipo de mote reúne todo lo esencial para realizar estudios experimentales en una única plataforma de trabajo, incluyendo la capacidad de ser programado directamente a través de un puerto USB.

Sus principales características pueden resumirse a continuación: antena integrada, transmisión RF de acuerdo a la norma IEEE 802.15.4/Zig Bee, banda de frecuencias desde 2.4 a 2.4835 GHz compatible con ISM, velocidad de transferencia de datos de 250 kbps, microcontrolador MSP430 a 8 MHz con 10kB de RAM, bajo consumo, flash externa de 1Mb para almacenamiento de datos, un conjunto de sensores de luz, temperatura y humedad, y soporta TinyOS para implementación y comunicación de redes.

Esta plataforma dispone de dos conectores de expansión, de 10 y 6 pines cada uno, y un par de jumpers que pueden ser configurados para controlar

dispositivos externos (sensores analógicos, displays LCD y dispositivos digitales). Estos pines se encuentran directamente conectados con los correspondientes puertos del microcontrolador TI MSP430 F1611.

Estos motes soportan como sistema operativo TinyOS [8] y son programados en nesC, el cual es un lenguaje de programación orientado a componentes. La idea que subyace detrás de este tipo de programación es que las aplicaciones se construyen combinando componentes que proporciona el propio sistema operativo y componentes que son construidos *ad hoc*. A su vez, cada componente proporciona cierto número de interfaces, y si un programador quiere utilizar un componente, la forma de hacerlo es a través de usar dichas interfaces. Por ejemplo, en la figura 2 se muestra una aplicación que será analizada posteriormente y que se ha construido a partir de cinco componentes, tres de ellos proporcionados por el sistema operativo (Main, GenericComm y TimerC) y dos programados por nosotros utilizando nesC (eibM y LedsIntensityC). Las interfaces son las que se indican encima de las flechas. Así, el componente eibM proporciona la interfaz StdControl y hace uso de las interfaces LedsIntensity, SendMsg, ReceiveMsg, StdControl y TimerMilli.

### 4. IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS DOMÓTICOS

A la hora de implementar los diferentes dispositivos domóticos hemos mantenido los mecanismos de direccionamiento del sistema EIB, el cual establece una dirección física para cada uno de sus componentes, de tal forma que puedan ser identificados dentro de una red.

Por ejemplo, en el caso de las aplicaciones de iluminación, los nodos que se configuren como sensores tendrán el comportamiento de pulsadores convencionales, es decir, estarán conectados a un pulsador. Cuando éste sea pulsado, recibirán un evento del botón y enviarán un mensaje concreto, dependiendo del botón pulsado. Cada botón tendrá asociado un objeto de comunicación, de tal forma que un mismo nodo sensor pueda tener varios botones con varias funciones distintas cada uno de ellos: encender una luz o un grupo de luces en función de un ambiente, incrementar la intensidad de la luz, reducir la intensidad de la luz, o incluso lo que se denominan funciones centralizadas, apagar todas las luces de una casa.

Trasladando todas estas consideraciones al protocolo EIB, se dirá que se asocia una dirección de grupo a cada uno de estos objetos de comunicación. Por ejemplo, la dirección 1/1/1 se puede asociar a un objeto de comunicación que enciende una luz. Cada

vez que se pulse el botón vinculado a dicho objeto se enviará un mensaje con esa dirección de grupo, de tal modo que los mensajes enviados por los nodos pulsadores llegarán a los nodos configurados como accionadores, los cuales llevarán a su vez asociadas una serie de direcciones de grupo ante las que se tendrán que efectuar ciertas acciones. Si un nodo actuador tiene asociada la dirección 1/1/1 y le llega un mensaje con esa dirección realizará la acción consecuente, en este caso, encender la luz

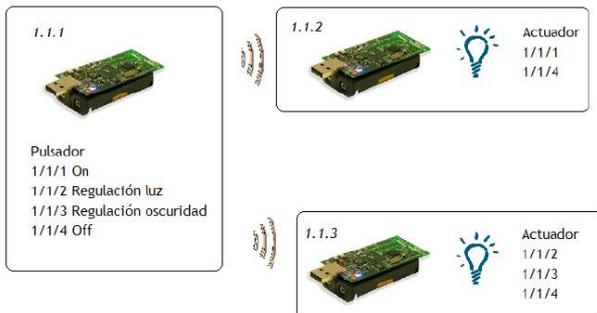


Fig. 1. Ejemplos de motes sensores y actuadores direccionados según EIB.

A modo de ejemplo se puede ver la fig. 1. En este caso se tienen un nodo sensor, cuya dirección física es 1.1.1, y dos nodos actuadores con las direcciones 1.1.2 y 1.1.3. El nodo 1.1.1 tiene cuatro distintos tipos de objetos de comunicación asociados a cuatro direcciones de grupo (1/1/1, 1/1/2, 1/1/3 y 1/1/4). El nodo 1.1.2, es un actuador que tiene asociadas dos direcciones de grupo 1/1/1 y 1/1/4. Y el nodo 1.1.3 tiene asociadas las direcciones 1/1/2, 1/1/3 y 1/1/4. Cuando se pulse el pulsador asociado al objeto 1/1/4 en el nodo 1.1.1 se apagarán todas las luces.

Teniendo esta diferencia entre nodos sensores y nodos actuadores, para las aplicaciones de iluminación se han construido con la ayuda de nesC y TinyOS dos componentes (pulsador y actuador de iluminación). Ambos componentes son muy similares y tienen una configuración como el de la figura 2. En el caso de los pulsadores, el componente carece del módulo `LedsIntensityC`, el cual permite regular el grado de luminosidad de las lámparas sobre las que se está actuando en un rango de 0 a 255. Gracias a esta interfaz, se puede llevar a cabo el encendido, apagado y la regulación de las lámparas.

#### A. Nodos pulsadores de iluminación.

Para el caso de los pulsadores, el componente aplicación pulsador contiene a los componentes `Main`, `EibM`, `GenericComm` y `TimerC`. La interfaz `StdControl` realiza las funciones de inicialización. El componente `GenericComm` implementa las comunicaciones, tanto los métodos de envío de

mensajes (`SendMsg`) como la recepción (`ReceiveMsg`). `TimerC` lleva a cabo las labores de temporización.

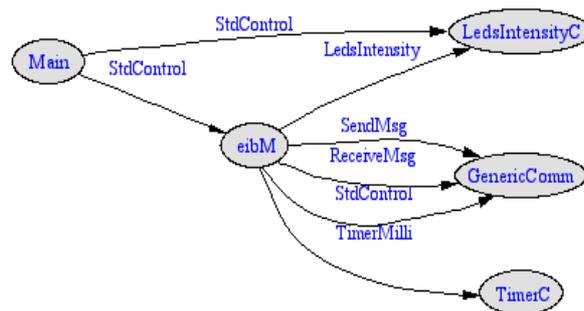


Fig. 3. Configuración del componente aplicación actuador.

`eibM` es el componente central de la aplicación y su funcionalidad es la siguiente: Hace uso de `timerC` programándose un timer que salta cada 100 mseg. Cuando salta éste se genera un evento cuyo manejador se encarga de ver si hay pulsada una tecla, así como la duración de la pulsación (corta o larga) con la ayuda de un contador. A continuación y dependiendo de esto último se invocará a la tarea correspondiente. Si es una pulsación corta se enviará a través de la radio el mensaje que se haya programado para la pulsación corta (encender/apagar) y si es una pulsación larga se enviará para que regule hacia más o menos luminosidad, tal y como se haya definido en el comando de inicialización. Este componente también tiene encomendadas funciones para leer mensajes que provienen de otros nodos, cuando trabaja como nodo de enlace, y transmitir dicha información hacia otros nodos actuadores.

En el caso de recibirse un mensaje de otro nodo sensor, el método `ReceiveEIBMsg.receive` evalúa si es un mensaje nuevo por medio del número de secuencia. Si es nuevo, se actualiza su número de secuencia. A continuación se llama al método que procesa los comandos `ProcessCmd.execute` que actualizará ciertas variables y llamará al interprete de mensajes, el cual es el que decide que debe hacer el nodo. En este caso, al tratarse de un nodo sensor no hará nada y directamente se pasará al evento de tareas y procesado terminando con `ProcessCmd.done`.

Una vez hecho esto, se invocará a la tarea `forwarder` que reenviará el mismo mensaje que se ha recibido a otro nodo, sin realizarle cambio alguno o actualizando los campos que se deseen, como la dirección física o el contador de saltos.

#### B. Nodos actuadores de iluminación.

Para los nodos actuadores se ha desarrollado un componente similar al visto en el apartado anterior con los mismos métodos de recepción y transmisión, aunque en este caso el componente no está preparado para las funciones típicas de un nodo sensor.

La tarea que es la base de funcionamiento de un nodo actuador es el intérprete de mensajes `cmdInterpreter`. En ella se analiza el contenido del mensaje recibido por la radio, determinándose si va destinado a una dirección de grupo ante la que el actuador debe responder o no. Si el nodo receptor tiene registrada dicha dirección de grupo, examinará los datos que vienen a continuación. Entonces se determinará si la función de actuación es de encendido, apagado, conmutación o regulación. En los tres primeros casos la ejecución será bastante simple. Sin embargo, en el caso de la regulación intervendrá el timer. Cada vez que se dispare éste se comprobará si hay que continuar incrementando/decrementando la intensidad de la luz, y si es así, se continuará regulando hacia más o menos luz.

### C. Maqueta demostrativa.

Para comprobar la tecnología desarrollada se ha modificado una maquina comercial de dispositivos domóticos EIB (ver Fig. 4). La maquina consiste en una maquina que incluye los dispositivos EIB habituales en una vivienda comercial de tamaño medio. Los módulos de conexión EIB han sido sustituidos por motes Tmote Sky de Moteiv. Para ello se han realizado las necesarias conexiones a través de los dos conectores de expansión que se han descrito anteriormente.



Fig. 4. Maquina demostrativa y uno de los dispositivos domóticos desarrollados.

## 5. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se ha estudiado la posibilidad de aplicar las tecnologías actuales disponibles en redes de sensores y actuadores al mundo de la domótica. Se han desarrollado con éxito un conjunto de dispositivos domóticos inalámbricos en base a unos motes ampliamente utilizados en el campo de las redes de sensores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Fundación Séneca de la Región de Murcia y a la CICYT del Ministerio de Educación y Ciencia de España su apoyo para la realización de estos trabajos.

## REFERENCIAS

- [1] I.F. Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey" *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] Alan Mainwaring, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, David Culler, and John Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring" *Proc. Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02)*, pp. 88-97, Atlanta, Ga, USA, September 2002.
- [3] H. O. Marcy, J.R. Agre, C.Chien, L.P. Clare, N.Romanov and A. Twarowski, "Wireless Sensor Networks for Area Monitoring and Integrated Vehicle Health Management Applications" *Proc.AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, Portland, Ore, USA, 1999, Collection of Technical Papers. Vol. 1 (A99-36576 09-63).
- [4] L. Schwierbert, S.K. Gupta, and J. Weinmann, "Research challenges in wireless networks of biomedical sensors" in *Proc. 7<sup>th</sup> ACM International Conference on Mobile Computing Networking (MobiCOM'01)*, pp. 151-165, Rome, Italy, July 2001.
- [5] Ian F. Akyildiz and Ismail H. Kasimoglu, "Wireless sensor and actor networks: research challenges" *Ad Hoc Networks 2* (2004), pp. 351-367, May 2004.
- [6] KONNEX website, <http://www.konnex.com>
- [7] MOTEIV website, <http://www.moteiv.com>
- [8] J. Hill, R. Rzewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, "System architecture directions for networked sensors" in *Proc. 9<sup>th</sup> ACM International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS'00)*, pp. 94-103, Cambridge, Mass, USA, November 2000.