

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED SENSORIAL INALÁMBRICA (WSN)

D. Digón¹, B. Bordetas², A. Otín², N. Medrano² y S. Celma²

¹*Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Universidad de Zaragoza. España.*

²*Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Universidad de Zaragoza. España.
{digon, 509760, arantotin, nmedrano, scelma}@unizar.es*

En este documento se propone un trabajo de Investigación en el campo de la Instrumentación Electrónica, que consiste en la implementación de una red sensorial inalámbrica (WSN). El alumno deberá encargarse de la programación de los microcontroladores de los dispositivos nodales, y de la interfaz gráfica de usuario (GUI) que permitirá la monitorización de las medidas de los nodos sensoriales en tiempo real. Los requisitos para que el alumno pueda desarrollar adecuadamente este trabajo son tener conocimientos previos de programación en lenguaje C, y fundamentos en Electrónica Digital y Sistemas Electrónicos Digitales. Se prevé que este trabajo tenga una duración de 200 horas, lo que lo convierte en un trabajo adecuado como proyecto fin de carrera en estudios técnicos de grado o incluso adaptarlo como proyecto final de estudios de máster.

1. Introducción

Una red sensorial consiste en un conjunto de dispositivos nodales que intercambian información entre ellos mediante un protocolo de comunicación, y sirven para monitorizar cooperativamente las medidas que realizan sobre determinados parámetros físicos y su control. Cada uno de estos nodos, contiene sensores y actuadores, un procesador que controla su funcionamiento, una unidad de memoria que sirve para almacenar las lecturas de los sensores, una batería y un transceptor encargado de la comunicación.

En los años 70, aparecieron las primeras redes sensoriales, cuyos nodos intercambiaban información entre sí mediante cables. Su dominio de aplicación estaba muy limitado debido a su alto coste de instalación y mantenimiento. Además, para una topología en la que todos los nodos se comunican entre sí (“peer to peer”), el número de conexiones necesarias tiene una dependencia cuadrática con el número de dispositivos nodales como se muestra en la Ec.1,

$$C = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

donde C y n son el número de conexiones y de nodos, respectivamente. En la figura 1 se muestran las conexiones para una red de seis nodos y en la figura 2 se representa esta dependencia, donde se observa que, para sólo 25 nodos de una red sensorial cableada, el número de cables necesarios para las comunicaciones alcanza la cifra de 300. Este hecho significa que la complejidad del sistema de cableado y su coste de instalación limitan en la práctica el número de nodos de la red.

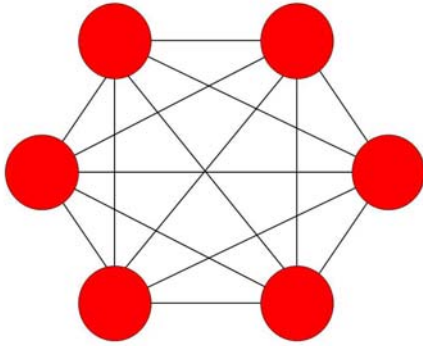


Figura 1. Conexiones para una red de 6 nodos.

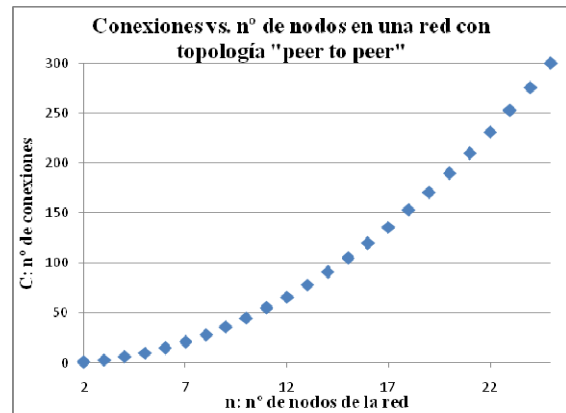


Figura 2. Conexiones frente a número de nodos en una red sensorial con topología "peer to peer".

En la actualidad, el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y de la tecnología VLSI (*Very Large Scale Integration*) de fabricación de circuitos integrados ha permitido la implementación de redes sensoriales inalámbricas (WSN: *Wireless Sensor Networks*). Sus principales características son: la movilidad entre nodos, capacidad de recolocación y auto organización, bajo coste y rapidez de instalación, mantenimiento barato y bajo consumo [1]. Las aplicaciones de las redes sensoriales son numerosas, desde la monitorización de un campo de cultivo, el control de presión de los neumáticos de un automóvil, hasta el seguimiento médico de un paciente. Debido a esta diversidad de aplicaciones y características, actualmente las redes sensoriales están en pleno apogeo y, en consecuencia, nuestra sociedad precisa de profesionales bien formados en la materia, tanto en el sector empresarial, como en el mundo académico. Como respuesta a esta demanda, se propone un trabajo de investigación en el campo de las redes sensoriales inalámbricas que consiste en la implementación de un sistema de monitorización de hábitat mediante una WSN con 5 dispositivos nodales. La duración del trabajo es de aproximadamente 200 horas, en las que el alumno se encargará de distintas tareas, como el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (*Graphical User Interface* ó GUI) que permite la monitorización desde PC (*Personal Computer*), la programación de los microcontroladores de los nodos y diseño de distintas topologías de red. El alumno debe tener una formación previa en programación en lenguaje C y conocimientos avanzados de electrónica digital. Este trabajo se puede plantear como proyecto fin de carrera en estudios técnicos de grado o incluso adaptarlo como proyecto final de estudios de máster. En nuestro caso se puede aplicar actualmente a Ingeniería Técnica en Electrónica Industrial ó Tesis fin de Máster en el Máster en Física y Tecnologías Físicas, ambos estudios son ofertados por la Universidad de Zaragoza conducentes a titulación oficial.

2. Descripción del material y de las herramientas de trabajo

Para el desarrollo de la red sensorial inalámbrica (*Wireless Sensor Network*), el alumno utilizará el Kit de demostración Atmel® AVR® Z-Link™ ATAVRRZ200 [2] que se muestra en la figura 3. Está constituido por 5 dispositivos nodales RCB (*Radio Control Boards*) y un tablero de control con pantalla LCD (*Board Display*) que forman una red LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*) con una tecnología de comunicaciones de Radio Frecuencia basada en el estándar IEEE 802.15.4™ [3].



Figura 3. Kit ATAVRRZ200.

Los cinco dispositivos nodales son idénticos entre sí y cada uno contiene un radio transceptor AT86FR230, una antena PCB (*Printed Circuit Board*), un microcontrolador Atmega1281, conectores, dos baterías AAA, un interruptor para alimentación y un conjunto de sensores.

El AT86FR230 es un radio transceptor de bajo consumo con alta sensibilidad (-101 dBm) y un radio de alcance de unos 30 metros. Opera en la banda libre de radio frecuencia ISM (Industrial-Scientific-Medical) a 2.4 GHz, y consta de 16 canales de comunicación. El Atmega1281 es un microcontrolador de bajo consumo CMOS de 8 bits, basado en la arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) de AVR. Sus principales características son: la memoria Flash de 128 Kbytes, una EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) de 4 Kbytes, una memoria SRAM (*Static Random Access Memory*) de 8 Kbytes, 32 registros de propósito general, seis *Timers/Counters*, 4 transceptores universales de comunicación serie (USART), una interfaz de comunicación serie de dos cables (*Two Wires Interface*, TWI), un puerto serie SPI (*Serial Peripheral Interface*), un interfaz de test JTAG que cumple los requisitos del estándar IEEE 1149.1, que es utilizado para la programación y depuración “on chip” de los microcontroladores, y un convertidor analógico digital de 10 bits con entradas únicas y diferenciales y ganancia programable.

La placa con LCD (*Liquid Crystal Display*) permite la monitorización cuando no sea posible el uso de un PC. Además de la pantalla, contiene un microcontrolador Atmega128, dos botones y un joystick. La principal diferencia entre el Atmega128 y el Atmega1281 es el tamaño de la memoria SRAM, que son 4 y 8 Kbytes respectivamente. La elección del Atmega128 se debe a que es adecuado para tareas de control de la pantalla LCD, donde los requerimientos del espacio de memoria no son tan exigentes como en los dispositivos nodales.

En cuanto a los sensores, existe una gran variedad en el mercado. Podemos clasificarlos en dos grandes grupos: analógicos y digitales. Para los primeros, la tensión de salida, que puede ser única o diferencial, se conecta al convertidor A/D del microcontrolador. Para minimizar el consumo de potencia y ruido, son utilizados modos “*sleep*” del microcontrolador, incluso durante las conversiones. Los sensores analógicos que se utilizan en este trabajo son: termistores, sensores de temperatura LM35, y una sonda de medida del contenido de humedad en suelo Decagon EC-5 [4]. Los sensores digitales, a diferencia de los analógicos, realizan la conversión A/D. Precisan señal de reloj y un protocolo de comunicaciones para la transmisión de las lecturas al microcontrolador. Los sensores digitales que se proponen para el trabajo, son el sensor MS5540B de presión y temperatura de Intersema [5], y el sensor SHT10 de humedad relativa y temperatura de Sensirion [6].

Las herramientas de programación utilizadas son AVRStudio4 y WinAVR para la programación de los microcontroladores que hay en los nódulos y en la placa con *display*, y Matlab2006b [7] para la programación de la interfaz gráfica de usuario (GUI) que se utilizará en la monitorización de la red sensorial desde PC.

3. Desarrollo del trabajo

Se ha planteado una planificación del trabajo, en el que se estudiarán con profundidad aspectos esenciales para el buen desarrollo del trabajo y comprensión de las redes sensoriales, con el fin de formar al alumno de una manera completa en el diseño e implementación de esta tecnología. Para ello, se le entrega al alumno la placa de entrenamiento STK300 [8] que contiene el microcontrolador atmega128, puerto serie, LEDs, interruptores y conectores, que permitirá al alumno familiarizarse con los micros de la casa Atmel y su programación en lenguaje C [9]. Con el kit ATAVRZ200 se deberá desarrollar la red sensorial.

En primer lugar, la atención se centrará en la adquisición de las lecturas de los sensores analógicos, profundizando en el acondicionamiento de señales y su posterior conversión A/D desde el micro, y con los sensores digitales en la comunicación síncrona que ha de establecerse para su inicialización, control y adquisición de datos. La programación estará orientada a la optimización de los recursos para conseguir un buen diseño de la aplicación: modos “*sleep*” y funciones de interrupción para conseguir bajo consumo y así aumentar la duración de las baterías, mínimo tamaño de código fuente (FLASH) realizando el procesado de los datos en el GUI y minimización del espacio de programa (SRAM) con el atributo PROGMEM, que permite guardar variables en la memoria Flash, liberando espacio de programa en la SRAM. Para acceder a estas variables durante la ejecución del programa, utilizaremos funciones especiales definidas en un archivo de cabecera proporcionado por el fabricante.

Después, se continuará con el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas entre los motes, empleando la librería MAC (*Medium Access Control*) que proporciona acceso desde nuestra aplicación a capas inferiores de software que controlan el transceptor con funciones llamada (“*calls*”) y respuesta (“*callbacks*”), siguiendo el modelo de software de la red LR-WPAN de comunicaciones del estándar IEEE 802.15.4TM que se muestra en la figura 4. Este modelo describe las diferentes capas de software. La aplicación es el nivel superior en la jerarquía. La capa MAC controla el acceso al canal de radio, proporcionando una interfaz entre la aplicación y la capa PHY (“*Physical*”) que viene definida por el estándar. La capa HAL (“*Hardware Abstraction Layer*”) es la inferior y depende del modelo de radio transceptor.

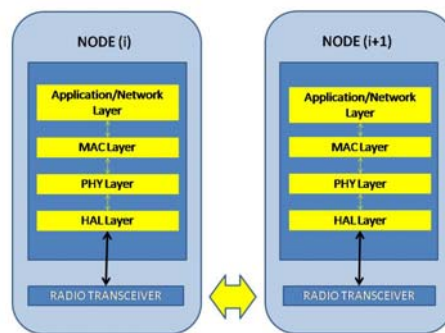


Figura 4. Modelo de red del estándar IEEE 802.15.4TM.

Se propone como aplicación específica la monitorización de un campo de cultivo como se muestra en la figura 5, pero el alumno podrá elegir cualquier otra, y seleccionar los sensores que precise para ello. Consiste en el control y medida de diferentes parámetros físicos (temperatura, presión, humedad, pH del suelo, el nivel de pesticidas y herbicidas de sus frutos...) que permitan al usuario conocer el estado de un campo de cultivo a tiempo real en un cuarto o caseta de control a través de la GUI ejecutada desde un PC conectado al nodo coordinador mediante el bus RS232, o incluso de forma remota usando el PC conectado al nodo coordinador como servidor remoto de su puerto serie, permitiéndonos la monitorización desde cualquier PC con conexión a Internet, utilizando Agilent IO Control [10].

En la figura 6 se muestra un ejemplo de interfaz gráfica de usuario en la que ha de establecerse la comunicación serie con el nodo coordinador que permita la adquisición de los datos, se realizará también su procesado y visualización de las medidas de los nodos sensoriales. Se desarrollará utilizando Matlab2006b que es una herramienta muy potente que nos proporciona un entorno de desarrollo GUI (GUIDE) muy didáctico y fácil de manejar. Finalmente, la figura 7 muestra el esquema completo del sistema de medida final.



Figura 5. Ejemplo de aplicación de una red sensorial: monitorización de hábitat.

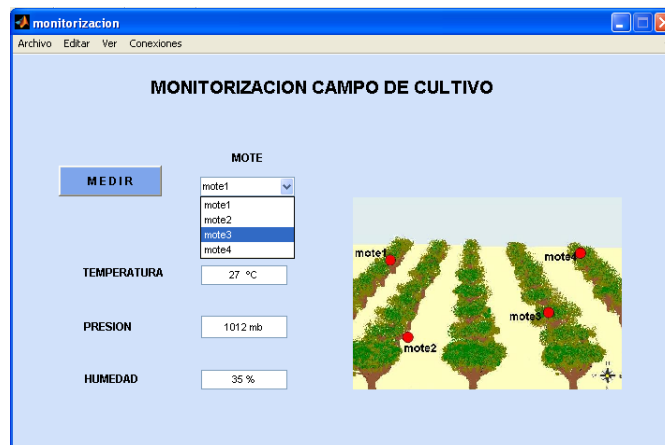


Figura 6. Monitorización de un campo de cultivo.

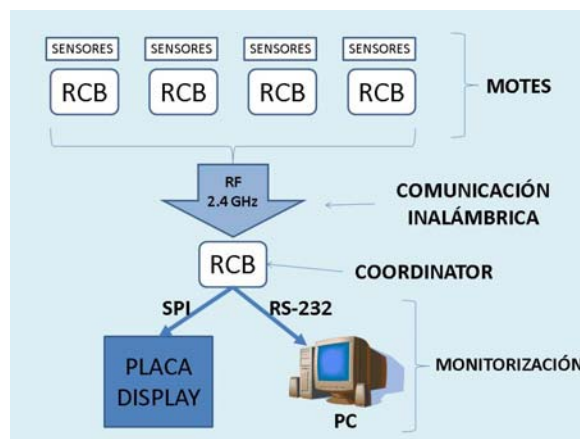


Figura 7. Esquema del sistema completo.

4. Conclusiones

Es importante resaltar que la planificación del trabajo, no pretende limitar al alumno a la hora de realizar otros diseños de redes sensoriales, sino guiarle para una formación eficiente en los aspectos fundamentales a través de una aplicación específica, de mucho interés, como es la monitorización de un campo de cultivo. Es decir, el alumno tendrá libertad, tanto en el diseño de la red, como en el uso de los recursos de los que se disponen, como en la elección de los sensores, la topología de la red, o el uso de otras herramientas de software. El objetivo es el aprendizaje de las técnicas de programación y su filosofía de optimización de recursos como ya se ha comentado.

Este tema de trabajo ha sido elegido debido a la multitud de aplicaciones de las redes sensoriales, como la monitorización del hábitat, detección de incendios y terremotos, sistemas de seguridad, domótica, automoción, control médico, sistema de control industrial, inventarios y seguimiento de mercancías. Este hecho se debe a las excelentes características de las WSN, como son: ubicuidad, auto-organización, bajo consumo, movilidad, autonomía, instalación económica, fácil y rápida. Por otra parte, concluimos que es fundamental para una buena implementación de la red sensorial, un buen manejo de los recursos energéticos, con el fin de alargar la vida de las baterías de los nodos de la red sensorial.

El trabajo fue puesto en práctica por dos estudiantes de la Universidad de Zaragoza: una estudiante de Ingeniería Técnica en Electrónica Industrial, y un estudiante del Máster en Física y Tecnologías Físicas. Trabajaron conjuntamente en la programación del microcontrolador para las lecturas de diferentes tipos de sensores. La estudiante de Ingeniería se centró en el desarrollo de un demostrador que consta de una interfaz gráfica de usuario con MATLAB para volcar los datos de un mote a un PC a través del puerto serie para la monitorización de hábitat, mientras el estudiante del Máster se centró en aspectos de la programación relacionados con la minimización del consumo, con una programación orientada a eventos, usando modos *sleep* del microcontrolador, funciones de interrupción y el modo sleep del transceptor, sin entrar en los detalles del protocolo de comunicaciones que se utiliza. Ambos estudiantes obtuvieron la calificación de Sobresaliente en sus respectivos trabajos.

Referencias

- [1] B. Krishnamachari. *Networking Wireless Sensors*. Cambridge University Press, New York (2005)
- [2] Atmel®. *ATAVRRZ200 DKit and AT86RF230 radio transceiver User Guide* (2006).
- [3] J.A. Gutiérrez, E.H. Callaway, Jr, R.L. Barret, Jr. *Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4™*. IEEE Press (2007).
- [4] Decagon Devices, Inc. *Soil Moisture Sensor. Operator's Manual*. (2001)
- [5] <http://www.intersema.ch/>
- [6] <http://www.sensirion.com/>
- [7] <http://www.mathworks.com/>
- [8] <http://www.kanda.com/>
- [9] B.W. Kernighan, D.M. Ritchie. *The C Programming Language*. Prentice Hall. (1988)
- [10] <http://adn.tm.agilent.com/>