

Estudio de Plataformas de Hardware Empleadas en Redes de Sensores Inalámbricas

Lucas Iacono^{1,3}, Pablo Godoy¹, Osvaldo Marianetti^{3,4} y Carlos García Garino^{1,2,4}

¹ITIC, Instituto universitario para las Tecnologías y las Comunicaciones, UNCuyo.

²Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

³Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza

⁴LAPIC, Laboratorio de Investigación y Desarrollo para la Producción Integrada por Computadora, Carrera de Redes y Telecomunicaciones, ITU.

lucas.iacono@um.edu.ar, pgodoy@itu.uncu.edu.ar,

osvaldo.marianetti@um.edu.ar, cgarcia@itu.uncu.edu.ar

Resumen Las redes de sensores constituyen actualmente una herramienta tecnológica muy valiosa para operar en actividades de campo, recolectar información o incluso operar equipos a distancia. Este trabajo describe las características que deben cumplir los dispositivos que componen redes de sensores (Wireless Sensor Network, de ahora en adelante WSN), centrándose en los “nodos” o dispositivos de recolección de datos. Se desarrolla un resumen de distintas tecnologías disponibles en el mercado para ser utilizadas en redes de sensores y sus características fundamentales. Se comparan dos plataformas disponibles, mediante la implementación de un método de envío de datos, evaluando consumo de energía para aplicaciones Zigbee del tipo sensado remoto.

Palabras Claves: WSN, redes de sensores inalámbricos, Zigbee, IEEE 802.15.4, sensado remoto.

1 Introducción

Este trabajo forma parte de un estudio de mayor envergadura, cuyo objetivo es diseñar una red de sensores, que pueda utilizar plataformas de hardware de distintos fabricantes interoperando entre si, así como sus respectivas herramientas de gestión e interacción con GRID y laboratorios remotos.

Una WSN está constituida por dispositivos comúnmente denominados “nodos”, los cuales poseen capacidades reducidas de cómputo, sensado y comunicación inalámbrica [1][2]. Generalmente delegan a otros dispositivos: tareas de gestión de red, enrutamiento de datos y comunicación con pasarelas (gateways) hacia sistemas de computación. Un resumen de antecedentes de interés puede consultarse en el trabajo de Armstrong [3].

En la sección 2 se han estudiado las características fundamentales tomadas en cuenta al momento de seleccionar plataformas de hardware para ser utilizadas en WSN con aplicaciones de sensado remoto de variables (por ejemplo atmosféricas, agronómicas, de control, etc.).

En la sección 3 se mencionan protocolos de común uso en WSN, en la sección 4 se analizan algunas de las plataformas de hardware disponibles en el mercado. Los ensayos realizados con dos plataformas disponibles se presentan en la sección 5 a fin de obtener conclusiones útiles a la hora de proyectar una red de sensores.

2 Requisitos de Hardware

Los nodos que componen las WSN aplicadas a sensado remoto deben cumplir determinadas características para ser confiables y para que su desarrollo sea factible.

Para que una WSN pueda estar formada por decenas de nodos, es fundamental el bajo costo de los mismos; de lo contrario; el costo total de la red sería muy elevado y su desarrollo inviable o no práctico.

Los nodos generalmente no son recargables [4]; y el mantenimiento humano debe ser evitado [5]; por lo cual los nodos deben consumir lo mínimo indispensable para su funcionamiento. También es necesario que los protocolos de comunicación presenten especificaciones que permitan maximizar la vida de los nodos y de la red, como así también distribuir equitativamente el trabajo entre todos los nodos para balancear el consumo de energía de cada uno, y minimizar el impacto en la red de fallas aleatorias en nodos [4].

Para maximizar la vida útil de los nodos es importante que la tensión de alimentación mínima de los nodos sea lo más cercana posible a la tensión de corte de las baterías (tensión mínima que las baterías pueden entregar). De esta manera, el nodo consumirá toda la energía que las baterías pueden entregar. Como ejemplo, un nodo cuya tensión mínima de corte sea 2.7 Volt, y sea alimentado por dos baterías AA en serie, las cuales tendrán 1.8 V como tensión de corte (0.9 volt cada batería), dejará sin uso 50 % de la energía que las baterías pueden entregar [6]. Esto obliga a seleccionar un par nodo-baterías adecuado.

Para evitar tener que realizar tareas de mantenimiento del hardware de la red y debido a que esta puede necesitar desplegarse en ambientes hostiles [5], es necesario que el fabricante garantice la robustez y confiabilidad de los nodos.

Al utilizar radiofrecuencia como medio de envío de datos en los nodos, se requiere nodos cuyo fabricante garantice la buena calidad del radio enlace, para lograr así la mínima potencia de transmisión en el dispositivo que envía los datos, lo cual conlleva a un mínimo consumo en el mismo.

Es necesario que los nodos posean uno o varios canales de conversión analógico-digital o puertos seriales, ya que la mayoría de los sensores entregan una tensión que es función de la variable a medir, y otros utilizan directamente protocolos seriales para transmitir el valor de las variables medidas.

Por otro lado, deben tener capacidad de procesamiento y memoria para soportar los protocolos de comunicaciones a ser utilizados, (los cuales están pensados para plataformas de bajo costo como IEEE 802.15.4 o Zigbee®).

3 Protocolos

El protocolo de comunicación es una parte fundamental de la red de sensores, ya que muchos fabricantes desarrollan sus nodos para ser utilizados con protocolos de comunicación propietarios (Microchip MiWi™) o estandarizados por alguna organización específica (Zigbee®, WirelessHart®, etc.).

Actualmente, existen diversos protocolos de comunicación aptos para ser utilizados en WSN, pero se hará especial referencia a la familia de desarrollos basados en IEEE 802.15.4 ya que estos permiten reducir el consumo y lograr la compatibilidad entre distintos fabricantes.

A pesar de no ser el objetivo fundamental de este trabajo, se mencionan los protocolos de comunicación ya que los mismos influyen sobre la elección del hardware a utilizar en la WSN.

IEEE 802.15.4. Define las especificaciones de la capa física (PHY) y la subcapa de control de acceso al medio (MAC), de dispositivos fijos, portátiles y móviles que se comuniquen de forma inalámbrica, mediante transmisiones que requieran poca tasa de transferencia de datos. Este protocolo se desarrolló pensando en las necesidades de bajo consumo de estos. IEEE 802.15.4 admite dos topologías de red, Estrella o Peer to Peer [7].

Simple MAC (SMAC). Es un desarrollo de Freescale basado en la capa física del estándar 802.15.4. Permite crear redes del tipo punto a punto [8]. Al tener un set de instrucciones reducido (16 primitivas), utiliza poca capacidad de memoria en el microcontrolador, y facilita la tarea del programador. El protocolo está diseñado para aplicaciones que requieren bajo consumo. SMAC ha sido orientado al desarrollo de aplicaciones que utilicen transceptor de RF Freescale y microcontroladores basados en arquitectura Freescale HCS08 (familia de procesadores de 8 bits de Freescale) con interfaz SPI (serial peripheral interface, interfase serial utilizada comúnmente por microprocesadores).

Existen otros desarrollos, que constituyen mejoras al protocolo SMAC, como WiseMAC, CSMA-MPS, X-MAC y SyncWUF [9].

Zigbee. Este estándar ha sido desarrollado como un protocolo que permite reducir de forma significativa el consumo y el costo del hardware. Actualmente ha tomado gran importancia entre los fabricantes de nodos, esto en gran parte debido a los esfuerzos de lograr compatibilidad por parte de la Zigbee Alliance, la cuál esta formada por varias empresas dedicadas al desarrollo de hardware y software. Debido a estas características es que se considera de gran importancia a la hora de evaluar los nodos, verificar si pueden trabajar con Zigbee® y lograr las prestaciones esperadas de este protocolo.

ZigBee® se basa en el estándar 802.15.4 y provee por sobre las capas definidas por este, la capa de red, la cual permite el uso de arquitecturas de redes Malla, Estrella y Árbol [10].

4 Sobre Plataformas de Hardware Disponibles en el Mercado

Las plataformas de hardware descritas a continuación implementan la capa física del estándar IEEE 802.15.4, poseen capacidades de procesamiento y memoria suficientes para poder implementar ZigBee® y ser destinadas a aplicaciones de sensado remoto en WSN. Están preparadas para trabajar en modo de bajo consumo, sus potencias en modo transmisión o recepción están en el rango de los 2 mW, tienen alcances del orden de los 100 m en espacios abiertos y son de bajo costo.

Freescalse. Freescalse Semiconductor Inc., posee, entre otros, dos circuitos integrados de interés para ser usados en redes de sensores inalámbricos, el MC13192 [11], y el MC13213 [12]. El MC13213 integra en un mismo chip un microcontrolador de la familia HCS08 y un transceptor de la familia MC1320x. El MC13192 solo incluye el transceptor y el fabricante aconseja utilizarlo en conjunto con microcontroladores de la familia HCS08. Estos transceptores implementan la capa física del estándar IEEE 802.15.4. Ambos son muy similares, siendo el MC1320x una versión más moderna. Están diseñados para trabajar junto a microcontroladores Freescalse de la familia HCS08, que tienen capacidad de memoria y procesamiento suficiente para soportar la pila de protocolos ZigBee® [11].

Este fabricante, provee el software BeeKit para que sus productos puedan utilizar los protocolos SMAC, IEEE 802.15.4, o ZigBee® [11]. Dicha herramienta es Zigbee Alliance Compliant platform [13].

El MC13192 se emplea en este trabajo junto al microcontrolador MC9S08GT32 (el cual pertenece a la familia de los microcontroladores HCS08) debido a la disponibilidad para realizar las pruebas pertinentes.

Digi. Digi International Inc. produce varios dispositivos de interés para el diseño de WSN. Se analizarán los Xbee ZB y Xbee-PRO ZB ya que ambos implementan el protocolo ZigBee®. La diferencia entre ellos es la potencia de transmisión y por tanto el alcance [14].

Su uso es muy simple por lo cual se los utiliza frecuentemente con fines educativos. Son dispositivos que no necesitan ser programados para aplicaciones simples (como transmitir datos sin restricciones específicas como bajo consumo), pero será necesario un estudio y configuración muy cuidadoso para utilizarlos en una WSN. Poseen un chip Ember EM250 el cual incluye un microcontrolador dedicado y un transceptor 802.15.4. Debido a su firmware, solo pueden configurarse algunos de sus parámetros, por lo que para aplicaciones más complejas será necesario comunicarse con un microcontrolador de uso general a través de una interfaz serie. Los módulos Xbee de Digi poseen la certificación de la Zigbee Alliance [15], lo que garantiza que estos módulos puedan comunicarse con cualquier plataforma certificada por la Zigbee Alliance.

Texas Instruments. Texas Instruments Inc. fabrica dos circuitos integrados, el CC2430 y el CC2480. Este último es ZigBee certified (2006) [16].

El CC2430 es un microcontrolador que incluye en un mismo chip un transceptor CC2420 (que implementa el estándar IEEE 802.15.4), un microcontrolador 8051 y está preparado para soportar la pila de protocolos ZigBee [16]. El CC2480 es un

transceptor ZigBee, el cual se comunica con cualquier microcontrolador utilizando una unidad UART.

Crossbow. Crossbow Technology Inc. Provee entre otras las siguientes plataformas: El TPR2400 (más conocido como TELOS-B), y el MICAz. Ambos poseen el transceptor CC2420 de Texas Instruments, que implementa el estándar IEEE 802.15.4. El módulo TELOS-B, que utiliza el microprocesador MSP430, está pensado para ensayos de laboratorio y enseñanza [6]. El módulo MICAz, utiliza un microprocesador ATMEGA 128L [17].

TELOS-B tiene una característica particular: su tensión de alimentación mínima es de 1.8 v. Lo cuál aumenta la vida útil de dos baterías conectadas en serie como fuente de alimentación, ya que estas entregarán energía casi hasta su tensión de corte [6].

4.1 Análisis de Prestaciones

La Tabla 1 muestra parámetros significativos para evaluar la aptitud de una plataforma para utilizarse como nodo en una WSN aplicada a sensado remoto. Las plataformas descritas al principio de esta sección poseen características comunes entre si y a su vez con las otras mencionadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de datos de algunas plataformas disponibles en el mercado para su empleo en redes de sensores.

Fabric.	Modelo	Pot Max (mW)	Tensión de aliment. (V)	Protocolo Embebido	Entradas analógicas	Consumo Modo sleep (μ A)	Sensibilidad (dBm)
Digi	Xbee ZB	2	2,1 a 3,6	ZigBee	4	<1	-95
Digi	Xbee-PRO ZB (S2B)	10	2,7 a 3,6	ZigBee	4	3,5	-102
Freescale	MC13213	2	2.0 a 3.4	¹ IEEE 802.15.4	8	1	-92
Freescale	MC13192	2,29	2.0 a 3.4	¹ IEEE 802.15.4	No posee ²	1	-92
Texas Instrument	CC2430	1,14	2.0 a 3.6	IEEE 802.15.4	8	0,5	-92
Texas Instrument	CC2480	1	2.0 a 3.4	ZigBee 2006	2	0,5	-92
Microchip	MRF24J40MA [18]	1	2,4 a 3,6	IEEE 802.15.4	No posee ²	2	-94
Crossbow	TELOS-B (TPR2400)	1	1,8	IEEE 802.15.4	8	5,1	-90
Crossbow	MICAz	1	2,7 a 3,3	IEEE 802.15.4	8	<15	-94
Atmel	AT86RF230 [19]	2	1.8 a 3.6	¹ IEEE 802.15.4	No posee ²	20 nA	-101

¹ Se aplica en este caso la capa física del estándar 802.15.4

² La plataforma requiere de un microcontrolador externo, con lo cuál poseería las entradas analógicas y digitales propias del microcontrolador.

No todos los fabricantes indican el alcance del enlace de los equipos mencionados. La misma está en estrecha relación con la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor. Por ejemplo, Digi declara un alcance de 120 metros para su nodos XBee ZB (Potencia de Transmisión 2 mW y Sensibilidad -95 dbm) [14]. Crossbow especifica un alcance de 75 metros para sus nodos MICAz (Potencia de Transmisión 1 mW y Sensibilidad -94 dbm) [18]. Tampoco todos los fabricantes brindan los valores máximos y mínimos de corriente consumida en modo sleep (bajo consumo), por lo que para que la comparativa sea válida, se han indicado los valores típicos (dato disponible en todos los casos).

5 Ensayos

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el funcionamiento de las plataformas utilizadas en WSN es el consumo. Con este propósito se diseñó un ensayo de consumo promedio, el cual se aplica a dos plataformas disponibles en el grupo de trabajo de los autores.

El consumo promedio se define como: El valor medio de la corriente eficaz consumida durante periodos de transmisión/recepción de datos, intercalados entre periodos de bajo consumo. Típicos de una aplicación de sensado remoto. El ensayo se basa en medir el consumo necesario para la transmisión de dos bytes y 20 bytes, y la recepción de 2 bytes. El ensayo se ha aplicado a los módulos XBee ZB y el conjunto transceptor MC13192 y microcontrolador MC9S08GT32.

Para medir los consumos de las plataformas citadas se emplea un osciloscopio Fluke 196C y un multímetro Fluke 189. Ambos con capacidades de adquisición y registro de datos. Para obtener las formas de onda de corriente, se ha utilizado una resistencia serie de 10 ohm, cuya caída de tensión se visualiza en el osciloscopio.

Para realizar el ensayo, los nodos fueron colocados en la misma mesa. Los ensayos fueron realizados utilizando la máxima potencia.

Ensayo de la Plataforma XBee. En las figuras 1 y 2 se muestran las formas de onda de corriente consumida para la transmisión de 2 y 20 bytes de datos desde el nodo a un coordinador respectivamente, simulando reportes de datos. En la figura 3 se muestra la forma de onda cuando el nodo recibe 2 bytes de datos desde un coordinador. En la figura 4 se muestra la forma de onda durante el proceso de asociación.

Las figuras muestran picos de corriente de alrededor de 40 mA, dicho valor será utilizado mas adelante para estimar la corriente promedio consumida por los nodos. Con el multímetro, se mide la corriente durante el modo bajo consumo, la cual es menor a 1 μ A. Puede verse que el consumo máximo se alcanza durante el proceso de asociación (observar que la duración del mismo es de aproximadamente 300 ms.), por lo que se debe evitar re-asociaciones innecesarias.

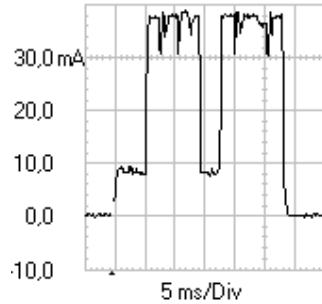


Fig. 1 Nodo enviando 2 bytes

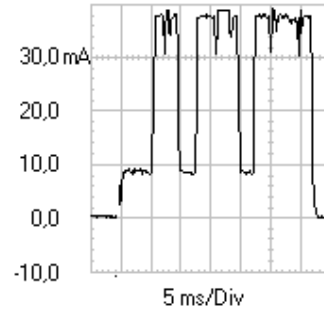


Fig. 2 Nodo enviando 20 bytes

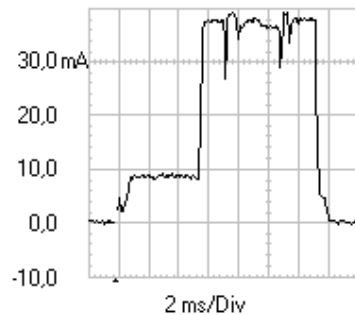


Fig. 3 Nodo recibiendo 2 bytes

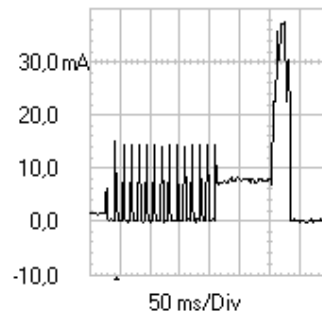


Fig. 4 Nodo en Proceso de asociación

Ensayo de la Plataforma Freescale. En las figuras 5 y 6 se muestran las formas de onda para la transmisión de un paquete de 2 y 20 bytes respectivamente utilizando la combinación transceptor MC13192 y microcontrolador MC9S08GT32. En la figura 7 se muestra la forma de onda cuando el nodo recibe 2 bytes. Para esta plataforma no se ha podido medir la asociación porque la misma requiere intervención manual y los tiempos de reacción del operador afectan significativamente la medición.

Las figuras muestran picos de corriente de alrededor de 40 mA. Con el multímetro; se mide la corriente durante el modo bajo consumo; la cual aproximadamente es de 200 μ A. Es necesario aclarar que Freescale indica que el microcontrolador consume 550 nA (valor típico) en modo STOP2 [20] (modo bajo consumo), y el transceptor consume 1 μ A en modo bajo consumo [11].

Con la aplicación utilizada en el ensayo no se han obtenido los valores indicados por el fabricante de corriente en bajo consumo.

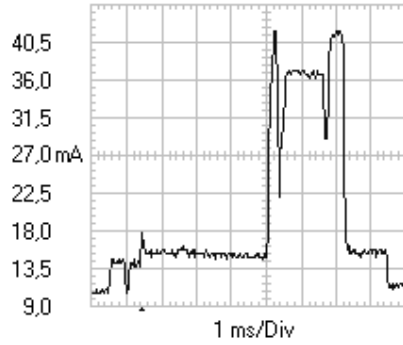


Fig. 5 Nodo enviando 2 bytes

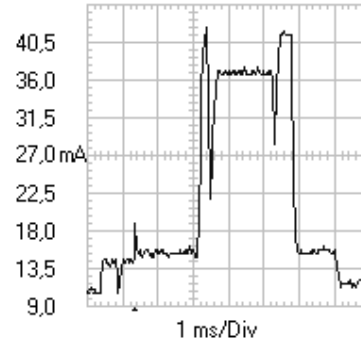


Fig. 6 Nodo enviando 20 bytes

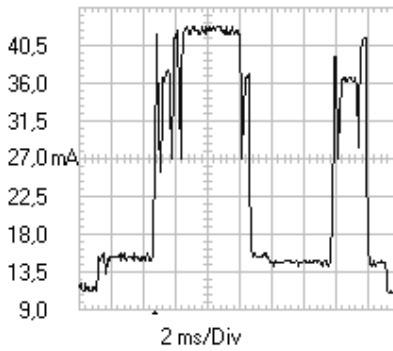


Fig. 7 Nodo recibiendo 2 bytes

5.1 Cálculo del Consumo

Para hacer una estimación del consumo de los nodos, se calcula la corriente promedio consumida por los mismos. Para ello, se considera una transmisión de 20 bytes (como las mostradas en las figuras 2 y 6) cada 5 minutos [5]. Entre dichas transmisiones, el nodo permanece en modo bajo consumo.

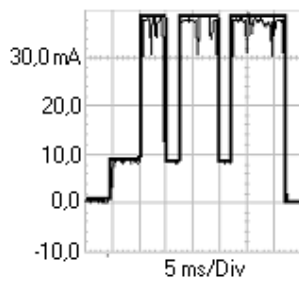


Fig. 8 Nodo enviando 2 bytes

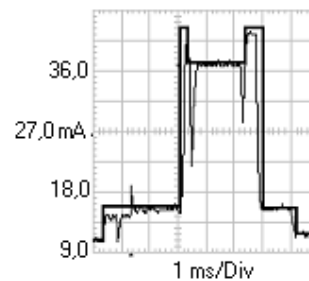


Fig. 9 Nodo enviando 2 bytes

De los tres valores de corriente que declaran los fabricantes para la corriente en bajo consumo, se considera el valor máximo, ya que se pretende realizar un cálculo conservador. Dichos valores son: $9.5 \mu\text{A}$ para el microcontrolador MC9S08GT32 [20] y $6 \mu\text{A}$ para el transceptor MC13192 [11] (Plataforma Freescale), y $1 \mu\text{A}$ para XBee [14].

Para calcular la corriente promedio se debe integrar el área bajo la curva, ver figuras 8 y 9. Con este fin las formas de onda se aproximan como se muestra en las figuras citadas. Las corrientes promedios obtenidas resultan $17.5 \mu\text{A}$ para Freescale y $4.23 \mu\text{A}$ para XBee.

6 Conclusiones

Para algunas de las plataformas existentes en el mercado, se compararon los siguientes parámetros: potencia de transmisión, sensibilidad, consumo en modo sleep y protocolo implementado. Los mismos son determinantes para que el diseñador elija que plataforma se puede adecuar a sus necesidades.

Además se propuso un ensayo de consumo con el cual se midió el consumo de corriente de las plataformas disponibles XBee ZB y Freescale. Del experimento realizado surge que el consumo promedio de la plataforma Freescale es mayor que el de la plataforma XBee. Sin embargo cabe aclarar que para aquellos casos que requieran un microcontrolador externo adicional, la plataforma Xbee incrementará su consumo mientras que la plataforma Freescale mantiene el mismo ya que posee un microcontrolador de uso general, el cuál está incluido en el consumo medido en este trabajo. El ensayo propuesto puede utilizarse para otras plataformas de nodos para WSN. Los parámetros listados en la Tabla 1 junto con los valores del ensayo de consumo, constituyen una herramienta útil en el momento de seleccionar dispositivos para conformar una WSN.

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda financiera recibida del Instituto de Desarrollo Industrial Tecnológico y de Servicios (IDITS) y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) mediante el proyecto PID-PAE 146 Grid Embebida y de Sensores. Lucas Iacono y Pablo Godoy agradecen las becas doctorales otorgada por la ANPCyT a través del proyecto PAE-PID 146 y el Programa PRH financiado por la ANPCyT y la UNCuyo, respectivamente.

Referencias

1. Yong-Sik, C., Young-Jun, J., Sang-Hyun, P.: A Study on Sensor Nodes Attestation Protocol in a Wireless Sensor Network. In Proceedings of The 12th International Conference on Advanced Communication Technology ICACT 2010, vol.1, pp.574-579. (2010)

2. Gajbhiye, P., Mahajan, A.: A Survey of Architecture and Node Deployment in Wireless Sensor Network. In Proceedings of the First International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies. ICADIWT 2008, pp.426-430, (2008)
3. Armstrong, J.: The state of secure application development for 802.15.4. Master Thesis, School of Technology, Master in Science. Brigham Young University (2009).
4. Zhang, X. .: Model design of wireless sensor network based on scale-free network theory. In Proceedings of the 5th international Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Beijing, China (2009)
5. Barrenetxea, G., Ingelrest, F., Schaefer, G., Vetterli, M.: Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring: The SensorScope Experience. In Proceedings of 2008 IEEE International Zurich Seminar on Communications, pp.98-101.(2008)
6. Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D.: Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research. In Proceedings of the 4th international Symposium on Information Processing in Sensor Networks IPSN 2005, pp.364-369, (2005)
7. IEEE Standard 802.15.4. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html>
8. Freescale Semiconductor Inc. Simple Media Access Controller (SMAC) User's Guide (2008).
9. Rousselot, J., El-Hoiydi, A., Decotignie, J D.: Low Power Medium Access Control Protocols for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of 14th European Wireless Conference. EW 2008, pp.1-5. (2008)
10. Shao, Y., Zhang, Y., Wang, J., Qin, T.: Research and Implementation of ZigBee Networking. In Proceedings of International Conference on Mechatronics and Automation. ICMA 2009, pp. 3992-3996. (2009)
11. Freescale Semiconductor Inc. Hoja de datos del transceptor MC13192. Consultada en Junio del 2010
12. Freescale Semiconductor, Inc. Hoja de datos del transceptor MC13213 y Resumen de características del MC13213. Consultada en Junio del 2010
13. Zigbee Alliance. Lista de Zigbee Compliant Plataforms. Disponible en: <http://www.zigbee.org/Products/CertifiedProducts/ZigBeeCompliantPlatforms.aspx>. Consultada en Junio del 2010
14. Digi International Inc., Hoja de Datos XBee ZB y XBee ZB Pro. Disponible en http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_F.pdf. Consultada en Junio del 2010
15. Digi International Inc., <http://www.digi.com/news/pressrelease.jsp?prid=279>. Consultada en Junio del 2010
16. Texas Instrument Inc. Hoja de datos de los circuitos integrados CC2430EM y CC2480. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2480a1.pdf>. Consultada en Junio del 2010
17. Crossbow Technology Inc. Hojas de datos de los módulos TPR2400 y MICAz. Consultada en Junio del 2010
18. Microchip Technology Inc. Hoja de datos del transceptor MRF24J40. Consultada en Junio del 2010
19. Atmel Corporation. Hoja de datos del circuito AT86RF230. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc5131.pdf, 2009. Consultada en julio del 2010
20. Freescale Semiconductor Inc., Hoja de datos del microcontrolador MC9S08GT32. Consultada en Junio del 2010