

# Sistema de monitorización a través de 6LoWPAN para la recolección de variables aplicadas a la agricultura de precisión

J. Gómez López<sup>1\*</sup>, F. Gil Montoya<sup>2\*\*</sup>, F. Manzano Agugliaro<sup>3\*\*</sup> y A. Cama Pinto<sup>4\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Dpto. de Lenguajes y Computación de la Universidad de Almería (Spain)

<sup>\*\*</sup>Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería (Spain)

*Resumen*— Uno de los cambios más importantes que se han producido en los últimos años en el levante almeriense es la explotación de cultivos intensivos. En este tipo de cultivos es muy importante la utilización de técnicas y tecnologías para mejorar el rendimiento de la plantación. En el presente trabajo se presenta un sistema de monitorización avanzado para la recolección de variables aplicadas a la agricultura de precisión. El sistema de monitorización emplea en su capa de transporte una red de sensores, que utiliza 6LoWPAN y RPL, que miden la humedad, temperatura, luz en el aire y el contenido volumétrico de agua en suelo. La red de sensores envían los datos recolectados a un equipo empotrado que almacena los datos en una base de datos y a través de la plataforma Web permite visualizar de forma gráfica y en tiempo real los valores obtenidos en las plantaciones.

*Palabras clave*— wireless sensor network, WSN, TinyOS, blip, telosb, tmote sky, 802.15.4, 6LoWPAN, 802.11, RPL, TinyRPL.

## I. INTRODUCCIÓN

EL uso de las redes de sensores inalámbricos (WSN - Wireless Sensor Network) es una tecnología emergente en el área de la agricultura intensiva. Con la tecnología inalámbrica se proporciona flexibilidad en la instalación de los sensores, robustez en la red, mientras que se reduce la complejidad y el coste de mantenimiento [1].

El objetivo principal del trabajo es desarrollar y desplegar un sistema de monitorización avanzado utilizando la tecnología WSN para el entorno agrícola.

Los objetivos específicos son:

[a] Diseñar una red de sensores para monitorizar el contenido volumétrico de agua del suelo (VWC), la humedad, temperatura y luz sobre un campo de invernadero empleando 6LoWPAN para la comunicación entre los nodos.

[b] Diseñar un sistema que permita la recolección de los datos de la red de sensores, los almacene en una base de datos y permita mostrar los datos a

través de una página web.

[c] Evaluar el rendimiento de la WSN.

Para la realización del proyecto es importante utilizar dispositivos empotrados que permitan una perfecta integración entre sí y que posibiliten su utilización en un invernadero.

## II. DISEÑO DEL SISTEMA

Tal y como muestra la figura 1, el sistema esta compuesto por tres elementos: a) los sensores que leen la información ambiental; b) la red WSN que transporta los datos; y c) el servidor que recibe, almacena y muestra los datos.

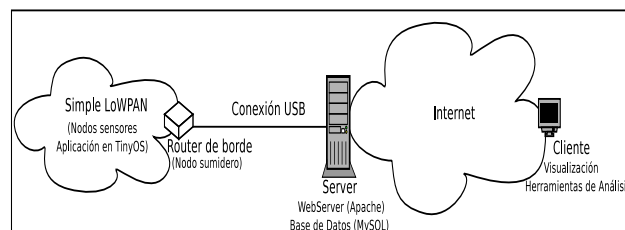


Fig. 1

ARQUITECTURA PROPUESTA.

### A. Sensores

Los sensores son los encargados de recolectar los valores de las variables ambientales del aire y del suelo de la zona de cultivo y transportarlos hasta el nodo sumidero. Se emplean los sensores integrados a los dispositivos inalámbricos (motas) y sensores externos de suelo que se acoplan a las motas.

### B. Red de sensores

La WSN está formada por los nodos sensores que envían la información recolectada al nodo sumidero (multipoint-to-point) que cumple también la función de router de borde, así por una de sus interfaces se conecta con el servidor y por la otra con la LoWPAN.

<sup>1</sup>e-mail:jgomez@ual.es.

<sup>2</sup>e-mail:pagilm@ual.es.

<sup>3</sup>e-mail:fmanzano@ual.es.

<sup>4</sup>e-mail:acp329@alboran.ual.es.

Si los nodos están alejados del nodo sumidero a una distancia mayor de 320 metros [2] es necesario realizar multi-saltos y para este fin se utiliza el protocolo de enrutamiento RPL [3].

La WSN utiliza la tecnología 6LoWPAN que se utiliza en redes inalámbricas de área personal de baja potencia (LoWPANs) que son redes aisladas IPv6. Una LoWPAN es un conjunto de nodos 6LoWPAN que comparten en común un prefijo de dirección IPv6 (los primeros 64 bits de una dirección IPv6). De los tres tipos de LoWPANs que hay, nuestro estudio está enfocado al llamado "Simple LoWPAN" [4].

### C. Servidor

El servidor se encarga de almacenar en una base de datos la información recolectada por la WSN para poder mostrarla a los clientes, a través de la Web, de una forma cómoda y sencilla.

## III. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

A continuación se describe el hardware utilizado en el sistema.

### A. Motas TelosB

Para el despliegue de la WSN se ha empleado motas de diseño de código abierto basadas en la plataforma "Telosb" [5] con antenas de 5 dBi de ganancia.

Estas se encargan de la recolección y transporte de los datos del suelo, así mismo tienen integrados sensores de humedad, temperatura y dos de luz para medir la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar total. El tiempo de muestreo se realiza cada minuto.

### B. Sensor de suelo

Entre los sensores de humedad de suelo más utilizados y estudiados en la actualidad se encuentran los fabricados por la empresa Decagon. Cuenta con varios modelos (EC-5, EC-10 y EC-20) con visible diferencia en el tamaño del sensor de suelo.

Se utiliza el modelo EC-20 porque tiene el sensor de mayor tamaño (20 centímetros) y ofrece el estudio del suelo a más profundidad por su longitud. Pero aún cuando el modelo EC-20 y EC-5 tienen rendimientos similares [6] se opta por el EC-20 principalmente por su bajo consumo de energía que es alrededor de 2mA a 2.5V mientras que el del EC-5 es de 10 mA a 2.5V [7], aspecto relevante cuando trabaje en conjunto con la WSN pues este sensor de suelo se comunica y alimenta directamente de la mota TelosB, de ese modo al tener un menor consumo de energía permite un mayor tiempo de

vida en las baterías de la mota.

El sensor de suelo Decagon EC-20 [7] mide el contenido volumétrico de agua y se acopla al conector de expansión de 10 pines de la mota Telosb. El hilo de tierra del sensor de suelo se conecta con el pin de tierra de la mota, el de excitación con el pin Vcc y su salida analógica con el pin ADC. Dado que el sensor de suelo tiene un conector de audio, se utiliza un jack de audio como interfaz para la interconexión entre el sensor de suelo y la mota TelosB.



Fig. 2

EL SENSOR DE SUELO CONECTADO A UNO DE LOS NODOS TELOS B DE LA WSN. ARRIBA EN EL LABORATORIO. ABAJO PUESTO EN EL CAMPO DE FÚTBOL DE LA UNIVERSIDAD.

### C. El Servidor

Aunque se puede utilizar cualquier equipo que cumpla la función de servidor, se utiliza un equipo con arquitectura embebida por tener más portabilidad, una mejor integración en el invernadero, y un mayor ahorro de energía. Se emplea la "computadora de enchufe" Sheevaplug [8] que opera con un procesador ARM de 1,2 GHz y un sistema GNU/Linux embebido (Debian 6.0).

Inicialmente el Sheevaplug tiene una memoria interna de 512 MB, pero para aumentar la capacidad de almacenamiento de la base de datos se utiliza una tarjeta SD de 8GB.

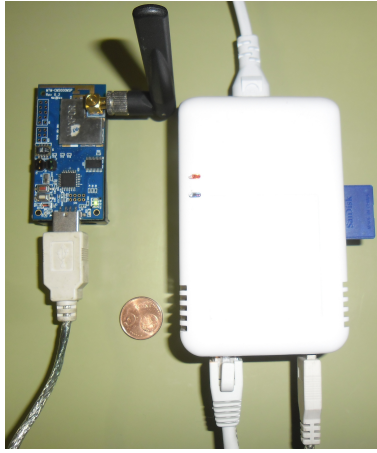


Fig. 3

EL SERVIDOR "SHEEVAPLUG" CON SU CONEXIÓN USB AL NODO SUMIDERO ( LA MOTA TELOS B), EL CABLE DE RED PARA SU ACCESO A INTERNET, UNA MEMORIA SD QUE ALMACENA LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS Y EL CABLE DE ALIMENTACIÓN. A MANERA COMPARATIVA SE MUESTRA UNA MONEDA DE 5 CENTAVOS DE EURO.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

##### A. Implementación en TinyOS

Las motas TelosB utilizan el sistema operativo de código abierto TinyOS que cuenta con una arquitectura basada en componentes y tiene un modelo de ejecución dirigida por eventos [9]. Utiliza la pila de protocolos 6LoWPAN implementada por TinyOS denominada Blip en su segunda versión (BLIP 2.0) en todos los nodos de la red [10]. A cada uno de ellos se les asigna una dirección IPv6, y la comunicación se realiza por enlaces de un sólo salto o multi-saltos dependiendo si la cobertura inalámbrica entre el nodo en cuestión y el nodo sumidero se encuentra fuera de su alcance.

##### A.1 El nodo Sumidero

El nodo sumidero tiene instalado la aplicación PppRouter que le permite actuar como un router de borde para BLIP 2.0 para que una de sus interfaces se comunique por el enlace serie con el servidor y la otra con 6LoWPAN sobre 802.15.4.

##### A.2 Los Nodos Sensores

La aplicación desarrollada (6LoW-Soft\_mote\_soil20) se instala en los nodos sensores. Se basa en el proyecto [11] y en la aplicación [12] y está programada para obtener los valores del sensor de suelo externo Decagon EC-20 y de los sensores integrados en los nodos.

La comunicación entre los datos de humedad recogidos por el sensor de suelo y la mota TelosB se lleva a cabo a través del componente Msp430Adc12ClientC y su correspondiente interfaz. Así por ejemplo se establece en el código fuente al pin ADC0, para que reciba los datos de la salida

analógica del sensor de suelo.

Para leer la salida analógica del sensor de suelo se necesita una resolución mínima de 12 bits [7], siendo este uno de los motivos por el cual se emplea la mota TelosB.

Después de excitar el sensor de suelo durante 10 ms se reciben los datos en bruto. Estos datos son utilizados para conocer el contenido volumétrico de agua ( $\theta$ ) por medio de la siguiente ecuación:

$$\theta(\text{m}^3/\text{m}^3) = 0.000424 x - 0.29 [7]$$

siendo "x" el dato en bruto recibido inicialmente por la mota en su puerto ADC.

Ya que el voltaje de salida del sensor de suelo es directamente proporcional al voltaje de excitación, se utiliza el voltaje de las baterías de las motas como el voltaje referencial para que esté calibrado adecuadamente con el sensor de suelo y reciba los datos con un menor margen de error. Así, para seleccionarlo se configura el puerto ADC con el parámetro REFERENCE\_AVcc\_AVss.

De acuerdo con el datasheet del sensor de suelo [7], el sensor trabaja correctamente mientras el voltaje de la batería supere los 2,0V. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el voltaje mínimo necesario de la mota para que opere correctamente su radio es de 2.1 V.

##### A.3 Ahorro de energía

Para controlar el ciclo de trabajo en las radios de las motas se añade la función LPL [13] (Low Power Listening) en todos los nodos. De esta manera se consigue mayor tiempo en la autonomía de las baterías principalmente porque el mayor consumo de energía en los nodos se produce cuando la radio está operando, y es de 17.4 ó 19.7 mA en la transmisión y recepción respectivamente. Con LPL un nodo enciende su radio el tiempo suficiente para detectar una portadora en el canal. Si detecta la señal portadora mantiene la radio encendida durante el tiempo que se recibe un paquete. En LPL el parámetro sleep\_interval se configura como el intervalo de tiempo que la radio duerme hasta que se enciende para detectar la portadora, y está dado en ms. Sin embargo, si bien se configura en todos los nodos, en el caso del nodo sumidero no es importante tener en cuenta el tiempo de vida de las baterías debido a que se alimenta de la conexión USB que le ofrece el servidor Sheevaplug tal como se aprecia en la figura 3.

##### A.4 Enrutamiento

Por tratarse de una red que puede trabajar con enlaces multi-saltos se emplea para el caso del enrutamiento el protocolo RPL [3] (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks) en

cuyo prototipo de implementación en TinyOS 2.x es denominada TinyRPL[14], esta se agrega en la configuración de todas las motas; aún cuando TinyRPL tiene poco tiempo de desarrollado, las pruebas realizadas muestran que tiene un desempeño comparable con CTP (Collection Tree Protocol) el protocolo de enrutamiento de facto de TinyOS[15].

En su interacción con TinyRPL, blip inicia las operaciones de TinyRPL una vez que a un nodo le es asignado una dirección global. Después que TinyRPL establece una ruta usando mensajes ICMPv6 relacionados a RPL (por ejemplo cuando TinyRPL obtiene conocimiento de cual es el siguiente salto de nodo para cualquier destino soportado o deseado), se añade la ruta en la tabla de enrutamiento de Blip [15]. De esta manera TinyRPL encuentra las rutas de forma automática sin la necesidad de crearlas manualmente lo que le da un enfoque más realista al momento de implementarlo en cualquier plantación ya que no importa la posición de los nodos (siempre que cuenten con visibilidad entre ellos) haciendo que el proyecto se pueda replicar en cualquier campo agrícola sin tener en cuenta la distribución de la WSN.

### B. Coexistencia con otras normas en 2.4 GHz

Aún cuando los dispositivos IEEE 802.15.4 tienen menos probabilidades de causar interferencias a otras normas como Wi-Fi debido a su bajo ciclo de trabajo (menos del 1%) [16] se debe de asegurar su coexistencia ya que el principal afectado puede ser la WSN. Por ello en nuestro caso de estudio se evalúa previamente los canales Wi-Fi en 2.4 GHz que están trabajando alrededor. Por ejemplo, en las pruebas realizadas estaban presentes en el ambiente los canales Wi-Fi 1, 6 y 11. Por lo que de los canales 802.15.4 libre de interferencia (15,20,25,26) empleamos el 26 [17], [18].

### C. El servidor

El servidor trabaja con la estructura LAMP (Linux Apache MySQL y PHP), almacena la información procedente de los sensores de la red en una base de datos y exhibe los datos a través de páginas web dinámicas desarrolladas en PHP que muestra los valores obtenidos de una manera fácil y cómoda a los usuarios a través de Internet. Los datos que se envían desde la mota sumidero al servidor se reciben a través de un socket UDP. Un script basado en lenguaje Python recoge los datos en bruto y los convierte a sus respectivas unidades de medida (por ejemplo, la temperatura se guarda en grados centígrados).

Para la generación de gráficos se utiliza Open Flash Chart [19] que es una herramienta de gráficos basada en Flash, personalizable y basado en código abierto. Se utiliza para mostrar los valores almacenados en la base de datos en forma de gráficos estadísticos facilitando su comprensión, como por ejemplo,

permitiendo ver las fechas de las muestras a lo largo de toda la gráfica mientras mueve el ratón sobre ellos. Y por último se utiliza Ajax para dar un mayor dinamismo a la web y mostrar los datos en tiempo real. Además, se instala el servicio que controla el protocolo punto a punto (PPP) para su efectiva comunicación con el nodo sumidero. Usando PPP, un nodo de TinyOS que trabaja con RPL puede presentarse a sí mismo como una interfaz de red a otro host o router [15]. En definitiva, hace posible la comunicación entre el router de borde y el servidor.

Por último, se ha creado un script que se inicia automáticamente para que se comunice con el nodo sumidero y almacene la información de la WSN en la base de datos.

### D. La Aplicación Web

La aplicación Web se ha dividido en cuatro secciones: Home, Valores, Graficas y GraficaRT. En la sección "Home" se muestra una breve descripción del proyecto con algunas imágenes y esquemas del mismo. En la sección "Valores" se muestran los datos en tablas mientras que en la sección "Graficas" se muestran los datos gráficamente. En ambos casos primero se indica el ID del nodo, la variable ambiental que desea analizar (temperatura, humedad, voltaje, TSR, PAR o VWC). Para la visualización de los datos es posible especificar un intervalo de tiempo a través de dos calendarios y horarios. De manera similar, la sección "GraficaRT" muestra en tiempo real los valores obtenidos por un sensor para una determinada variable ambiental.

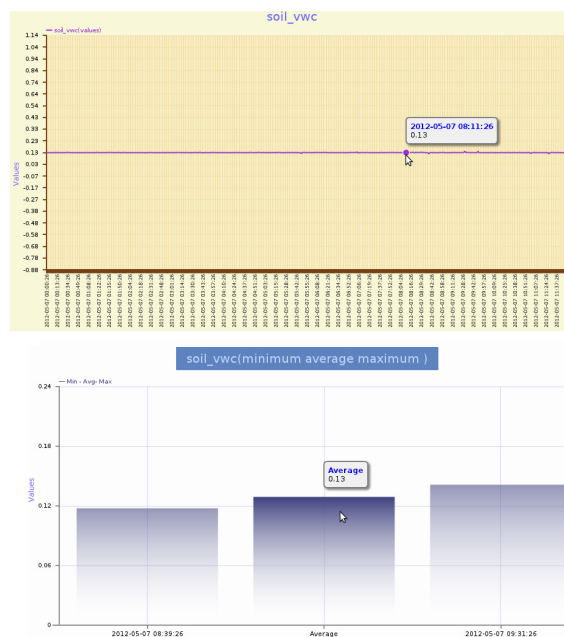


Fig. 4

ARRIBA) CURVA DE MEDICIÓN PARA EL CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA (VWC) ENTRE UN PERIODO DE TIEMPO ELEGIDO POR EL USUARIO. ABAJO) GRÁFICA DE BARRAS CON VALOR MÍNIMO, PROMEDIO Y MÁXIMO DEL VWC EN EL MISMO PERIODO.

## V. RESULTADOS

Uno de los factores más importantes que hay que tener en cuenta en el sistema es su consumo de energía. El objetivo del sistema es que sea autónomo durante el mayor tiempo posible para ofrecer una mayor libertad en su puesta en marcha en los invernaderos. Un elevado consumo provocar un sistema ineficiente e inviable ya que o bien, es necesario cambiar las baterías continuamente o se tiene que realizar un tendido eléctrico para alimentar el sistema; esto último inviable en casi todos los invernaderos.

Para reducir el consumo de energía de las motas se activa la función LPL pero es necesario ver su impacto en las comunicaciones y la viabilidad del sistema en grandes superficies.

En la tabla 1 se muestra el ahorro de energía variando el parámetro `sleep_interval` llegando a tener una duración que oscila entre los 63 y 656 días.

TABLA I

AHORRO DE ENERGÍA. CONSUMO DE CORRIENTE DE UNA MOTA CON UN PAR DE BATERÍAS ALCALINAS AA/2500MAH

<code>sleep_interval</code>	Duración de baterías
256 (ms)	63 días
512 (ms)	86 días
1024 (ms)	330 días
2048 (ms)	656 días

Para medir el rendimiento del sistema, se ha puesto en marcha el sistema en un campo de fútbol por tratarse de un espacio grande y abierto entre los nodos. Para cada configuración del sistema, se han obtenido y analizado los datos obtenidos durante una hora.

En la primera prueba del sistema se ha permitido un único salto y se han ubicado los sensores a una distancia de 100 y de 200 metros. En ambos casos se ha obtenido un rendimiento óptimo del sistema teniendo una latencia media de 70,51 ms y una tasa de recepción del paquete (PRR) del 99,67% para ambas configuraciones.

TABLA II

RENDIMIENTO DE BLIP 2.0/TINYRPL EN UN SALTO

\*PRR = TASA DE RECEPCIÓN DE PAQUETE

Distancia (m)	100	200
Latencia (ms)	69.34	71.68
*PRR (%)	99.67	99.67

También se realizaron pruebas en enlaces multi-salto, con cada salto de 50 metros. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento estable del

sistema (véase la tabla III)

TABLA III

RENDIMIENTO DE BLIP 2.0/TINYRPL EN 3 SALTOS

Nro. de saltos	1	2	3
Latencia (ms)	70.38	110.29	178.44
PRR (%)	99.52	99.54	98.44

A continuación se ha añadido la funcionalidad LPL en todos los nodos de la red para analizar su impacto en la latencia del sistema y en la tasa de recepción de paquetes.

En la tabla IV se muestra el rendimiento del sistema con una red de un salto ubicando los sensores a una distancia de 100 y 200 metros. Como se pueden apreciar en los resultados el rendimiento del sistema es peor ofreciendo una latencia media de 134,66 ms frente a los 70,51 ms de latencia del sistema sin LPL. Además, la tasa de recepción de paquetes baja al 75% frente al 99,67% anterior.

TABLA IV

MEDICIONES CON BLIP 2.0/ TINYRPL + LPL PARA UN SALTO CON UN "SLEEP\_INTERVAL" DE 128 MS.

Distancia (m)	100	200
Latencia (ms)	132.72	136.59
PRR (%)	75	75.47

En las pruebas con enlaces multisalto, donde cada salto es de 50 metros (con un "sleep\_interval" de 128 ms) también se obtiene una mayor latencia y una menor PRR.

TABLA V

RENDIMIENTO DE BLIP 2.0/TINYRPL + LPL EN TRES SALTOS

Nro. de saltos	1	2	3
Latencia (ms)	132.34	269.47	373.58
PRR (%)	75	54	39

## VI. DISCUSIÓN

De los datos obtenidos en las tablas anteriores se aprecia que el uso de Blip2.0/TinyRPL utilizados en nuestra aplicación para llevar la información, tanto en enlaces de un salto como en multi-salto tiene un rendimiento de aproximadamente el 99% respecto al PRR en todos los casos y una latencia que aumenta cuando se opera en multisalto por el procesamiento que le otorga cada nodo, pero aún así sigue siendo bajo.

Cuando se emplea LPL en combinación de Blip 2.0/TinyRPL disminuye su rendimiento del PRR

en un salto al 75% mientras que en el segundo y tercer salto es más notoria la disminución para el PRR y su latencia. Este comportamiento refleja que por ser TinyRPL una implementación reciente su compatibilidad junto a LPL no ha sido terminada. Actualmente se están haciendo mejoras de Blip 2.0/TinyRPL para un trabajo óptimo con LPL.

## VII. CONCLUSIÓN

El presente trabajo es una contribución en el área de la agricultura de precisión con la implementación de una plataforma completa basada en software libre para la monitorización de zonas de cultivo como puede ser un invernadero o campo agrícola.

Se ha resaltado la forma de obtener las variables poniendo énfasis en el contenido volumétrico de agua y del desempeño de la red de sensores inalámbricos.

Respecto a la WSN, se aprecia que hasta el momento el uso de TinyRPL está optimizado para el establecimiento de las rutas en los enlaces multi-salto, sin embargo al utilizar la opción de ahorro de energía (LPL) para darle un mayor tiempo de vida útil a las baterías (que puede ser superior a 1 año) empieza a mostrar un declive en sus comunicaciones, aún así es aceptable el PRR en enlaces de un solo salto, y dependiendo de la exactitud que se desee, también lo es a dos saltos (con un PRR mayor al 50%). Por tanto, empleando Blip2.0/TinyRPL y LPL se puede cubrir perfectamente un área de 125,000 m<sup>2</sup> en enlaces de un salto e ir aumentando esta cifra cuando próximamente se finalice su optimización total con LPL.

Por último, todo el software desarrollado se ha liberado a la comunidad [20] para darle una mayor difusión y continuación al proyecto.

## VIII. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado bajo el proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía RNM-6349.

## REFERENCIAS

- [1] Z. Li, N. Wang, A. Franzen, P. Taher, C. Godsey, H. Zhang, and X. Li, "Practical deployment of an in-field soil property wireless sensor network," *Computer Standards & Interfaces*, 2011.
- [2] M. Afanasyev, D. O'Rourke, B. Kusy, and W. Hu, "Heterogeneous traffic performance comparison for 6lowpan enabled low-power transceivers," in *Proceedings of the 6th Workshop on Hot Topics in Embedded Networked Sensors, New York, NY, USA*. Citeseer, 2010, p. 10.
- [3] T. Winter et al., "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks," Internet-Draft draft-ietf-roll-rpl-19, Internet Engineering Task Force, march 2011.
- [4] Zach Shelby and Carsten Bormann, *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*, chapter 1, p. 13, A John Wiley and Sons, 2009.
- [5] Advanticsys, "The cm5000 mote based on telosb platform," <http://www.advanticsys.com/wiki/index.php?title=CM5000-SMA>, 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [6] HR Bogen, JA Huisman, C. Oberdörster, and H. Vereecken, "Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications," *Journal of Hydrology*, vol. 344, no. 1-2, pp. 32-42, 2007.

- [7] Inc. Decagon Devices, "Ec-20, ec-10 and ec-5 user's manual," <http://www.decagon.com/assets/Manuals/EC-20-EC-10-EC-5-Soil-Moisture-Sensor-User-Manual.pdf>, 2010, [Online; accessed 11-May-2012].
- [8] Globalscale Technologies Inc., "Sheevaplug," <http://www.globalscaletechnologies.com/t-sheevaplugs.aspx>, 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [9] P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, et al., "Tinyos: An operating system for sensor networks," *Ambient intelligence*, vol. 35, 2005.
- [10] TinyOS, "Blip 2.0," [http://docs.tinyos.net/tinywiki/index.php/BLIP\\_2.0](http://docs.tinyos.net/tinywiki/index.php/BLIP_2.0), 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [11] J. Panchard, S. Rao, TV Prabhakar, H.S. Jamadagni, and J.P. Hubaux, "Common-sense net: Improved water management for resource-poor farmers via sensor networks," in *Information and Communication Technologies and Development, 2006. ICTD'06. International Conference on*. Ieee, 2006, pp. 22-33.
- [12] Markus Becker, "Udpechowithmeasurements application," <http://tinyos.cvs.sourceforge.net/viewvc/tinyos/tinyos-2.x-contrib/uob/apps/UDPEchoWithMeasurements>, 2009, [Online; accessed 11-May-2012].
- [13] TinyOS, "Low power listening," <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep105.html>, 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [14] TinyOS, "Tinyrpl," <http://docs.tinyos.net/tinywiki/index.php/TinyRPL>, 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [15] J. Ko, O. Gnawali, D. Culler, and A. Terzis, "Evaluating the performance of rpl and 6lowpan in tinyos," in *Proceedings Workshop on Extending the Internet to Low power and Lossy Networks (IP+SN), Chicago, USA*, 2011.
- [16] IEEE Computer Society, *Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, p. 263, IEEE, IEEE Std 802.15.4-2006 edition, 2006.
- [17] S. Han, S. Lee, S. Lee, and Y. Kim, "Coexistence performance evaluation of ieee 802.15. 4 under ieee 802.11 b interference in fading channels," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on*. IEEE, 2007, pp. 1-5.
- [18] D.G. Yoon, S.Y. Shin, W.H. Kwon, and H.S. Park, "Packet error rate analysis of ieee 802.11 b under ieee 802.15. 4 interference," in *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd*. IEEE, 2006, vol. 3, pp. 1186-1190.
- [19] Open Flash Chart Project, "Open flash chart," <http://teethgrinder.co.uk/open-flash-chart-2/>, 2012, [Online; accessed 11-May-2012].
- [20] Universidad de Almería, "6lowsoft20," [http://pareto.ual.es/6LoWSoft\\_20/](http://pareto.ual.es/6LoWSoft_20/), 2012, [Online; accessed 11-May-2012].