

## RED SIPIA-LP

### Estudio de mecanismos de bajo consumo energético aplicados a Red de Sensores Inalámbricos en el ámbito de Agricultura de Precisión.

Ana Diedrichs, Carlos Taffernaberry, Gustavo Mercado, Guillermo Grunwaldt, Matias Pecchia, Germán Tabacchi, Matías Gonzalez, Nicolás Altamiranda.

GridTICs – Grupo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
Departamento de Electrónica / Facultad Reg. Mendoza / UTN Rodríguez 273, Capital – Mendoza,  
{ana.diedrichs, gustavo.mercado, carlos.taffernaberry}@gridtics.frm.utn.edu.ar

#### Resumen

El proyecto SIPIA-LP tiene como objetivo la optimización del uso energético de una red inalámbrica de sensores (WSN), desarrollada en el contexto de un Proyecto de Investigación y Desarrollo anterior, e instalada en una finca para el monitoreo de parámetros ambientales para el estudio de heladas agronómicas. La WSN está basada en la norma IEEE 802.15.4, que establece el comportamiento a nivel de capa física y de enlace, utilizando la banda libre de 2.4 Ghz. Para la interoperabilidad de estas redes y nodos entre sí, es fundamental la evaluación y estudio de distintos protocolos de comunicación de la Internet de las Cosas, como 6LoWPAN, que permitiría que cada nodo contara con una dirección IPV6. Se está trabajando en el laboratorio en la construcción de una cama de pruebas de sensores inalámbricos en el laboratorio, para comprobar el funcionamiento de los protocolos, métricas de conectividad, y estabilidad del sistema operativo de los nodos (Contiki OS).

**Palabras Clave:** WSN, 6LoWPAN, 802.15.4, Internet de las Cosas, Agricultura de Precisión, Bajo Consumo

#### Contexto

El presente trabajo está inserto en el proyecto de investigación acreditado por la Universidad Tecnológica Nacional código UTI3646TC denominado RED SIPIA-LP: estudio de mecanismos de bajo consumo para aplicar a una red de sensores inalámbricos en el ámbito de la agricultura de precisión.

#### Introducción

La agricultura de precisión consiste en el uso de sistemas de información basados en diversas tecnologías aplicadas al ámbito de la producción agraria y una de las áreas donde puede implantarse con mayor rapidez las tecnologías de sensado

inalámbricas. Por ejemplo, las redes de sensores favorecen una reducción en el consumo de agua y pesticidas, contribuyendo a la preservación del entorno. Adicionalmente, pueden alertar sobre la llegada de heladas, así como ayudar en el trabajo de las cosechadoras. Por medio de sensores estratégicamente situados, se pueden monitorizar parámetros tales como la temperatura o la humedad de las hojas, con el fin de detectar rápidamente situaciones adversas y desencadenar los tratamientos apropiados. Ya existen varios emprendimientos comerciales que venden estas soluciones y algunas incluyen soluciones de sensado inalámbrico, como: Verdtech S.A. [1], Adcon Telemetry [2], Crossbow's technology [3], D2ARS (“Diseño y Desarrollo de Aplicaciones de Redes de Sensores” [4]), Libelium [5].

#### Redes de Sensores

Un conjunto de motes comunicados entre sí es lo que conocemos como una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network o WSN) [6]. Los motes, nodos de la WSN, constan de una unidad de procesamiento con un poder de cómputo mínimo, memoria, una unidad de comunicación inalámbrica, baterías y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, aceleración, humedad, etc. Son dispositivos sensores multifuncionales y multipropósito de bajo costo que operan con poca energía, de un tamaño pequeño, y de una capacidad de comunicación inalámbrica a corta distancia. Los nodos sensores pueden variar según el fabricante en capacidades de cómputo, memoria, interfaces de comunicación, etc.

La distribución de los mismos puede ser aleatoria o planeada, lo cual permite su uso en prácticamente en cualquier ambiente físico. Esta característica es provista por un conjunto de protocolos y algoritmos específicos para WSN. Otro de los beneficios que caracteriza a una red de sensores es que sus nodos pueden trabajar de modo

cooperativo, aumentando sus posibilidades de aplicación, por ejemplo, procesando los datos capturados antes de comunicarlos al usuario final o concentrador, o utilizando funciones de auto-configuración para ser más tolerantes a las fallas.

Las redes inalámbricas de sensores proveen la flexibilidad necesaria para disminuir tiempos de instalación, recolección de datos y mantenimiento, si se les compara con recolectores de datos (data loggers) o sistemas SCADA tradicionales; además permiten muestrear las variables de interés con mayores resoluciones espaciales y temporales a lo alcanzable con métodos tradicionales.

### **El estándar IEEE 802.15.4:**

El estándar IEEE 802.15.4 [7] define las características de la capa física y de la capa de control de acceso al medio (MAC) para redes inalámbricas de área personales (WPAN, Wireless Personal Area Networks) de baja tasa de transmisión. Las ventajas de utilizar el estándar IEEE 802.15.4 es que permite la utilización de dispositivos de fácil instalación que proveen transmisiones confiables a distancias cortas a un precio muy bajo, proporcionando un tiempo de vida razonable al utilizar fuentes de energía limitada (e.j. baterías alcalinas) y al mismo tiempo una pila de protocolos simple. Las características generales, presentadas, del estándar de comunicación IEEE 802.15.4, son: tasas de transferencias de 250Kb/S, 40Kb/S y 20Kb/S, manejo de redes en estrella y malla (peer-to-peer), direccionamiento corto con 16 bits y extendido con 64 bits, garantía del manejo de las ranuras de tiempo (GTS, guaranteed time slot), detección de los niveles de energía recibidos (ED, energy detection), indicadores de calidad en el enlace así como de conmutación de canales para recibir paquetes(LQI, link quality indication), acceso al canal por CSMA/CA (CCA, clear channel assessment).

### **Low-power and Lossy Networks (LLNs)**

Las redes de bajo consumo y tolerantes a pérdidas (Low-power and Lossy Networks (LLNs) ) pueden conectarse a un gran número de nodos, cuyos recursos (cómputo, energía) son limitados para formar una red inalámbrica ad-hoc. Los grupos de trabajo de la IETF como 6LoWPAN, ROLL [17] y CORE, han definido los protocolos para varias capas del stack de protocolos, incluyendo una adaptación de IPV6, un protocolo de ruteo y un protocolo de transferencia de datos web, que han sido basados en radios de bajo consumo IEEE 802.15.4. El modo *Timeslotted Channel Hopping* (TSCH) fue introducido en 2012 como un agregado a la MAC del estándar IEEE 802.15.4.

TSCH es un estándar emergente para la industria y el control de redes LLNs, inspirado en los ya existentes WirelessHART e ISA100.11a. Los nodos de una red IEEE802.15.4e [8] se pueden comunicar utilizando multiplexación por división de tiempo (TDMA). Una ranura de tiempo en un cronograma provee una unidad de ancho de banda que es reservada para la comunicación entre dos nodos vecinos. La reserva de la ranura de tiempo puede ser programada para que la comunicación sea predecible. Esto permite evitar que los nodos gasten energía en dejar sus trancptores en modo recepción a la espera de un paquete, extendiendo el tiempo de vida de las baterías de los dispositivos. Además la funcionalidad de salto de canales permite mayor confiabilidad ante la interferencia en un canal. 6TSCH [18] es una iniciativa del IETF cuyo objetivo es utilizar IPv6 sobre el modo de funcionamiento TSCH del estándar IEEE 802.15.4e, ya que IEEE 802.15.4e no define ningún método para construir y mantener el cronograma o sincronización entre nodos. Esta capa recibe el nombre de 6top [19] y ofrece interfaces de gestión y datos para capas superiores. Finalmente para la capa de aplicación podemos desarrollar protocolos propietarios, o basarnos en estándares abiertos, para lograr tener compatibilidad con otras aplicaciones, como REST (REpresentational State Transfer) [20] o COAP Constrained Application Protocol (CoAP) [21].

### **Especificación de IPv6:**

La Internet de las Cosas debería poder acceder a entre 50 a 100.000 millones de objetos e incluso seguir sus movimiento o las variaciones de los parámetros sensados. Ésto es algo que no se puede hacer en la actualidad utilizando IPv4, el protocolo de ruteo de Internet, pues cada dispositivo necesita identificarse con una única numeración IP y como es de dominio público el direccionamiento Ipv4 [9] está agotado para asignar nuevas numeraciones. La IETF desde hace algunos años trabaja en un nuevo protocolo de Internet (protocolo IPv6), que permitió superar esta limitación [10]. Entre las mejoras que aporta respecto a IPv4, podemos enumerar las siguientes:

- Capacidad de direccionamiento expandida a 128 bits
- Calidad de servicio (Qos): IPv6 puede diferenciar los paquetes de datos como pertenecientes a un flujo particular, y así otorgar un ancho de banda en función de cada necesidad.
- Autoconfigurable (Neighbour Discovery): en IPv6 los nodos no necesitan ser configurados manualmente.

- End to end: IPv6 no usa NAT ya que tiene direcciones globales para todos los nodos.
- Simplificación del formato del encabezamiento:

### **Especificación 6LoWPAN**

Contemplando las tendencias de la Internet de las Cosas y las redes de sensores inalámbricos de área personal de baja potencia, otro grupo de trabajo de la IETF desarrolló 6LoWPAN [11] que brinda soporte para redes de Sensores al protocolo IPv6.

La interacción de los nodos de sensores con IPv6 implica que cada red de sensores pueda fácilmente interactuar con cualquier otro nodo de cualquier red IPv6, incluyendo Internet. Lo que significa que cada sensor pueda ser accedido desde cualquier parte del mundo. El protocolo 6LoWPAN fue desarrollado para hacer posible el "Internet Embebido" simplificando las funcionalidades de protocolo de Internet IPv6, definiendo un encabezado muy compacto y tomando en cuenta la naturaleza de las redes inalámbricas.

El estándar define el formato de la trama de transmisión de paquetes IPv6, así como la configuración del direccionamiento IPv6 de link local y las direcciones globales configuradas automáticamente. Se define una capa de adaptación, debido a que IPv6 requiere el manejo de paquetes con tamaños mucho más grandes que el tamaño del tramas máximo de IEEE 802.15.4 (127 bytes). También se definen mecanismos para la compresión de encabezado IP, necesarios para hacer eficiente el uso de IPv6 sobre redes IEEE 802.15.4, y las disposiciones necesarias para la entrega de paquetes en redes de mallas [12].

## **Objetivos y Resultados**

### **Objetivo Principal**

Diseñar, simular, implementar y validar el comportamiento de una red de sensores inalámbricos de bajo consumo, a campo, y con conexión a IoT, en testbed, para la adquisición de parámetros ambientales agrícolas.

### **Objetivos secundarios**

- Releva las exigencias de consumo de energía para el escenario de despliegue de la WSN en aplicaciones agrícolas.
- Desarrollar de una WSN eficiente energéticamente.
- Estudiar, simular y evaluar los protocolos de comunicación de internet de las cosas.
- Documentar y difundir los resultados.

### **Avances y resultados preliminares**

Se desarrolló un prototipo de red basado en la norma IEEE 802.15.4 [7] para las capas física y enlace. Se diseñó e implementó un sistema de gestión que permite prever y determinar el tiempo de agotamiento de baterías, para un mote en particular. Para ello se usan como parámetros el hardware instalado, tipo de baterías y tipo de mote y el protocolo de administración de la energía utilizado.

Se trabajó en un sencillo algoritmo de enrutamiento [16] de datos específico para dicho prototipo, buscando maximizar el rendimiento energético del sistema, reduciendo el overhead. El método antedicho, permite minimizar el procesamiento necesario por parte del mote y reducir el consumo por la transmisión de paquetes pequeños.

Se implementó y ensayó un protocolo de propagación de sincronismo, determinando la mejor relación entre el bajo consumo y el menor error admisible. Se optó por un esquema centralizado, en el cual se resincroniza la red de manera pasiva, habiendo determinado de manera experimental la cantidad mínima de tiempo necesaria entre sincronizaciones sucesivas.

Se implementó un software de gestión en línea. Para el que se estudiaron casos de aplicación y se realizó un relevamiento de requerimientos para el desarrollo de la interfaz humana y de carácter funcional.

Se estudia y se realizaron las primeras pruebas simuladas de 6lowPAN para nodos IEEE802.15.4, utilizando S.O Contiki [13,15] y su simulador Cooja [15,14].

## **Formación de Recursos Humanos**

Desde la creación del GridTICs, uno de los objetivos a realizar fue la capacitación de los recursos humanos tanto del grupo como externos. Esta actividad de formación se viene cumpliendo desde el comienzo, junto a la divulgación de las tecnologías de redes de sensores. En el punto 11, "Estado de avance" de esta misma presentación, se puede apreciar las actividades realizadas por el proyecto anterior para la formación de recursos humanos.

La meta como investigadores es fortalecer la capacidad para realizar investigación científica, generar conocimientos y facilitar la transferencia de tecnología que permita el desarrollo humano.

El camino para lograr este objetivo lleva a aumentar el número de científicos dedicados a la investigación en el país, incrementar la productividad científica e integrar a la comunidad

científica con el sector productivo y con el sector social. Por tanto es importante el desarrollo de infraestructura y el capital humano de ciencia y tecnología.

Este proyecto de investigación posibilita la colaboración inter-institucional y la ejecución de proyectos conjunto entre grupos I+D de diferentes disciplinas entre las cuales podemos mencionar:

- Agricultura de precisión, Software embebido, Calidad de software, Redes de datos, sensado, mediciones de parámetros.

Para lograr estos objetivos se desarrollarán:

- Dictado de Cursos, Seminarios y Conferencia para público especializado de la región.

- Promoción, coordinación y asistencia técnica de tesis de grado para alumnos de Ingeniería de Sistemas de Información e Ingeniería Electrónica de la FRMza

- Promoción, coordinación y asistencia técnica a pasantes alumnos, cursantes de carreras de grado y de pre-grado (Academia Cisco, tecnicaturas, etc) en el ámbito de la UTN FRMza

- Promoción, coordinación, dirección y asistencia técnica a Tesis doctorales, postgrado y/o maestría.

- Presentación de Trabajos en Congresos y Reuniones Técnicas/Científicas.

- Publicación de Trabajos en revistas con/sin referato.

## Referencias

[1] Verdtech S.A., website:  
<http://www.verdtech.es/>

[2] Adcon Telemetry, website  
<http://www.adcon.com/index.php?lang=en>

[3] Crossbow's technology, <http://www.moog-crossbow.com/>

[4] Universidad de Colima y Universidad de Valencia. <http://www.d2ars.org>

[5] Libelium, website <http://www.libelium.com/>

[6] "Wireless Sensor Networks" Ian Akyildiz, Mehmet Can Vuran - Wiley - 2010.

[7] IEEE Std 802.15.4-2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," IEEE Standard, 2003

[8] 802.15.4e-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate

Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4e-2012.pdf>

[9] Informe LACNIC, "Distribuciones/Asignaciones IPv4, espacio disponible y pronósticos (Informe Abril 2012)", <http://www.lacnic.net/sp/registro/espacio-disponible-ipv4.html>

[10] Robert L. Fink "IPv6—What and Where It Is", The Internet Protocol Journal, Volume 2, Number 1, March 1999

[11] N. Kushalnagar, G. Montenegro, and C. Shumacher, "IPv6 over lowpower wireless personal Area networks (6lowpans)," RFC 4919, Aug. 2004.

[12] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 packets over ieee802.15.4 networks," RFC 4944, Sep. 2007.

[13] Adam Dunkels, Bjorn Gronvall, and Thiemo Voigt. Contiki-a lightweight and exible operating system for tiny networked sensors. In Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on , pages 455-462. IEEE, 2004

[14] Osterlind, Fredrik, et al. "Cross-level sensor network simulation with cooja." *Local computer networks, proceedings 2006 31st IEEE conference on*. IEEE, 2006.

[15] Contiki Os & cooja simulator website:  
<http://www.contiki-os.org/>

[16] Diedrichs, Ana Laura, Germán Tabacchi, Guillermo Grunwaldt, Matías Pecchia, Gustavo Mercado, and Francisco Gonzalez Antivilo. "Low-power wireless sensor network for frost monitoring in agriculture research." In *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2014 IEEE*, pp. 525-530. IEEE, 2014.

[17] RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks -  
<http://tools.ietf.org/html/rfc6550>

[18] 6tsch architecture  
<http://tools.ietf.org/html/draft-thubert-6tsch-architecture-02>

[19] 6top <http://tools.ietf.org/html/draft-wang-6tsch-6top-00>

[20] Richarson, Leonard ; Amundsen, Mike "RESTful Web APIs" - O'Reilly - 2013

[21] Constrained Application Protocol (CoAP)  
<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-coap/>