

Implementación de un algoritmo de encaminamiento para redes inalámbricas de sensores

Giandoménico E., Corti R., Belmonte J., Martínez R.

Departamento de Sistemas e Informática – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
e-mail: { giandome, rcorti, belmonte, romamar }@fceia.unr.edu.ar

Resumen— Los nodos de una red de sensores están restringidos en sus capacidades de procesamiento, comunicación y energía disponible, situación que tiene un fuerte impacto en el diseño de las plataformas hardware y software. Esta publicación presenta la primera etapa de la implementación de una red inalámbrica de 25 nodos basada en el algoritmo de encaminamiento Cluditem, especialmente desarrollado por el equipo de trabajo para aplicaciones de supervisión ambiental. Para ello se seleccionaron componentes y se construyeron los dispositivos, realizándose pruebas con un número reducido de nodos. Los resultados permitieron ajustar los parámetros del algoritmo y verificar su correcto funcionamiento en tiempo, definición del encaminamiento y construcción e intercambio de mensajes entre los nodos.

Palabras clave: redes de sensores; encaminamiento; plataformas de implementación

I. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI) se utilizan para medir variables del medio, con el objetivo de realizar supervisión y control de entornos y actividades de la más diversa índole. Están constituidas por nodos que se autoorganizan para adaptarse a topologías cambiantes y colaboran entre ellos para hacer llegar sus mediciones hasta una o varias estaciones base, también conocidas como nodos sink. La comunicación entre los dispositivos es inalámbrica, siendo la transmisión RF la más utilizada [1].

Las RISI se integran en aplicaciones industriales, médicas, de preservación del medio natural, asistencia en desastres o creación de ambientes inteligentes entre otras. En muchas de las aplicaciones mencionadas, la adquisición de las variables de interés debe realizarse en locaciones distantes u hostiles que hacen muy difícil el cableado y la atención periódica de los dispositivos de medición [2]. Por lo tanto, para garantizar un tiempo de vida acorde con las necesidades, los nodos deben contar con un importante grado de autonomía, ahorrando toda la energía posible. La disponibilidad de recursos en cada dispositivo respecto de almacenamiento, capacidad de procesamiento y comunicación está limitada, no solo por la energía disponible, sino también por las exigencias, presentes en muchas aplicaciones, de pequeño tamaño y bajo costo de los nodos. Estas características distintivas de las RISI tienen gran impacto en el diseño de los componentes software y

hardware de los dispositivos sensores, y han hecho necesarios desarrollos específicos para ellas [3][1].

El equipo de trabajo que presenta esta publicación, ha desarrollado Cluditem, un algoritmo de encaminamiento jerárquico distribuido con adquisición periódica de variables del medio, especialmente diseñado para aplicaciones de supervisión ambiental que se describe detalladamente en [5]. En dicha publicación se reportan además otros trabajos relacionados, destacando las diferencias con Cluditem y el aporte realizado con el desarrollo de este algoritmo. El funcionamiento de Cluditem fue ajustado y verificado en el ambiente de NS2 v2.31, un simulador de eventos discretos orientado al análisis de protocolos de comunicación, utilizado tanto para redes cableadas como inalámbricas [4]. Este simulador permitió implementar el protocolo completo, integrando Cluditem con las capas inferiores del estándar IEEE 802.15.4, a fin de realizar los ensayos en condiciones cercanas a la realidad. Las pruebas efectuadas para evaluar el desempeño de Cluditem abarcaron todas las etapas de funcionamiento del algoritmo, incluyendo la verificación del cumplimiento de la calidad de servicio (QoS) requerida y de la autonomía de trabajo especificada por las aplicaciones seleccionadas. Asimismo se analizó el impacto de la incorporación del esquema de sincronización de relojes sobre el consumo de la red, verificando que reducía el tiempo de vida en un porcentaje compatible con los requerimientos establecidos [6].

Las características de Cluditem y los requerimientos de las aplicaciones fueron la base para definir la arquitectura de un nodo sensor capaz de soportar el algoritmo desarrollado, verificándose la viabilidad de implementación de la misma mediante un prototipo reconfigurable, como se reporta en [7].

Esta publicación describe, siguiendo con el trabajo realizado por el equipo de investigación en el área de las RISI, la primera etapa de la implementación de una red Cluditem de 25 dispositivos, con el objetivo de ajustar y verificar, mediante pruebas de campo, el funcionamiento del algoritmo. Para ello se seleccionaron los módulos CC2530 de Texas Instruments como base para la plataforma a utilizar, considerando los desarrollos previos y las especificaciones definidas. Luego, se implementó el protocolo en 12 nodos sensores, con la finalidad de realizar pruebas de laboratorio orientadas al análisis del funcionamiento de Cluditem en la plataforma elegida y ajustar sus parámetros de trabajo.

El resto de la publicación se organiza de la siguiente forma, en el apartado II se describen las características de Cluditem, en III se justifica la selección de la plataforma utilizada y en IV se describe la construcción de los nodos. A continuación en la Sección V se detalla la implementación de Cluditem y se reportan los resultados obtenidos, y finalmente en VI, se presentan conclusiones y se trazan líneas de trabajo futuro.

II. CARACTERÍSTICAS DE CLUDITEM

Cluditem es un algoritmo de encaminamiento jerárquico para redes de sensores, desarrollado para aplicaciones de supervisión ambiental que requieren de la medición periódica de variables del medio. En estas aplicaciones el requerimiento más importante se refiere a la calidad de la información colectada, motivo por el cual la latencia no resulta prioritaria. En particular, para el desarrollo del algoritmo se definió la calidad de servicio de las aplicaciones como un porcentaje máximo admisible de pérdida de información, estableciendo como vida útil de la red el número de tandas de medición que puede realizar respetando la QoS definida. Para evaluar el desempeño del algoritmo en el ambiente NS2, se definieron métricas referidas a la definición de los clusters, cumplimiento de la calidad de servicio y consumo de energía de los nodos. Los resultados obtenidos y el análisis cuantitativo correspondiente se reporta detalladamente en [5].

Cluditem divide el área en que se despliega la red en una grilla virtual, repartiéndose la misma cantidad de dispositivos en cada celda de la misma. La información local que dispone cada nodo es su ID y la identificación de la celda en la que se lo ha colocado. El algoritmo está basado en clusters, por lo que coexisten dos tipos de nodos en la red, las cabeceras (CH) que coordinan un grupo de nodos cada una y los nodos miembro o nodos comunes (NC) [8]. En este sentido, define un encaminamiento en dos niveles, la comunicación intracluster que utilizan los NC para hacer llegar sus mediciones hasta su CH, y un árbol de cabeceras mediante el cual los CH envían la información sumaria del cluster que coordinan hasta la estación base. Se trata de un algoritmo distribuido por lo que cada nodo decide si se postulará para CH de un cluster o, si asume el rol de NC, elige incorporarse al cluster que le resulta más conveniente. Para ello, los nodos trabajan sólo con información local, referida a la celda a la que pertenecen, y los mensajes que reciben desde sus vecinos de un salto. Es importante destacar que la estructura de clusters que se define no coincide necesariamente con las celdas de la grilla. Cluditem, que corre en cada nodo, utiliza la información mencionada para la toma

de decisiones basada en criterios de conveniencia, que pueden sesgarse para respetar particularidades de las aplicaciones, en base a parámetros de funcionamiento del algoritmo [5].

Los nodos de la red son fijos y homogéneos en cuanto a su plataforma hardware y recursos disponibles, diferenciándose en su funcionalidad, ya que las CH son responsables de un mayor número de tareas. Además, un aspecto importante del algoritmo es que la red trabaja con dos radios de transmisión, uno reducido para las transmisiones de los NC, y otro de mayor alcance para la comunicación de las cabeceras que están más exigidas en cuanto a su consumo de energía. Por este motivo, Cluditem incorpora un mecanismo de rotación periódica de roles, con el fin de balancear el consumo de energía de los nodos y prolongar la vida útil del sistema. Por lo tanto, una red Cluditem reconfigura su estructura de encaminamiento cada X rondas de medición, que constituyen lo que denominamos una tanda de funcionamiento del sistema. El valor más conveniente para X se obtiene analíticamente como se detalla en [5].

El algoritmo divide su funcionamiento en tres etapas bien diferenciadas que se repiten en forma periódica durante todo el tiempo de vida de la red, como se muestra en la Fig. 1. La primera se ocupa del establecimiento del árbol de encaminamiento (T_{AE}), la segunda del envío de datos hacia la estación base (T_{DATOS}), y durante la tercera (T_{SLEEP}) todos los nodos de la red permanecen en estado de bajo consumo. Esta última etapa se relaciona con una característica importante de Cluditem que prevé el apagado de los dispositivos todo el tiempo posible, manteniendo la QoS establecida, en respuesta al requerimiento de autonomía de funcionamiento de las aplicaciones de interés. Es importante destacar que al ser Cluditem un algoritmo jerárquico distribuido, el apagado de los transceptores lo define cada nodo utilizando su propio reloj. Por lo tanto, se requiere sincronizar los relojes de los miembros de la red, con el fin de que el intercambio de mensajes sea efectivo. Las aplicaciones para las que se desarrolló Cluditem, admiten un desfasaje de relojes locales del orden de los milisegundos. Por lo tanto, el algoritmo implementa una técnica de sincronización liviana que introduce una carga de procesamiento acotado, permitiendo cumplir con el desfasaje admitido. Esta técnica incluye el envío de mensajes de sincronización por parte de la estación base al inicio de cada tanda de medición, que son retransmitidos por todos los dispositivos de la red, para sincronizar los relojes locales y poder cumplir con sus responsabilidades en forma efectiva. La técnica de sincronización de relojes adoptada para Cluditem se describe y evalúa en [6].

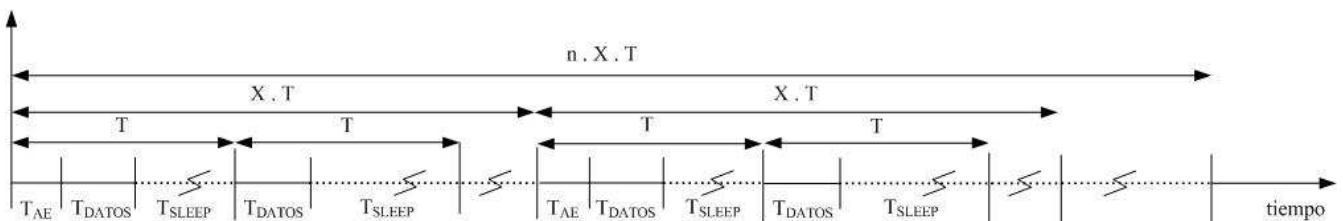


Fig. 1. Etapas de funcionamiento de Cluditem

La comunicación entre los nodos de una red basada en Cluditem es multisalto, y para las capas inferiores del protocolo de comunicaciones se adoptó el estándar IEEE 802.15.4, recomendado para este tipo de redes [9]. En este sentido, el algoritmo combina CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) sin slots en la capa de acceso al medio, con un esquema TDMA (Time Division Multiple Access) definido a nivel de encaminamiento, con el fin de reducir las colisiones intra e intercluster. Una descripción completa y detallada del funcionamiento de Cluditem puede encontrarse en [5].

III. SELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la red de sensores basada en Cluditem requirió de la selección de una plataforma adecuada, que cumpla con las características del algoritmo y las especificaciones de las aplicaciones. Así entonces se procedió a la elección de una plataforma sobre la base de los siguientes requerimientos:

- Minimización de componentes externos, para optimizar diseños y tamaños.
- Uso de tecnologías de ultra bajo consumo, indispensables para cumplir con la autonomía de funcionamiento que necesitan las aplicaciones.
- Buen presupuesto de enlace, del orden de 98 a 100 dbm.
- Definición por software del radio de transmisión a utilizar, ya que Cluditem necesita trabajar con dos potencias diferentes, una para NC y otra para CH.
- Disponibilidad de una implementación completa del protocolo subyacente físico y de enlace 802.14.5, sin costos de licenciamiento adicionales.
- Compilador disponible para una implementación de Cluditem totalmente basada en lenguaje C.
- Existencia de kits de evaluación o desarrollo.

De las posibilidades disponibles en el mercado la elección recayó en un "System on Chip" (SoC) de Texas Instruments, el CC2530, que integra en un solo módulo un microcontrolador y un transceptor, orientado específicamente a soluciones basadas en 802.15.4 [10]. Además de cumplir con los requerimientos indicados, Texas Instruments provee el software necesario, una estructura de capas que se detalla en la Fig. 2, con una interfaz de programación de aplicaciones (API) que facilitó una implementación efectiva de Cluditem.

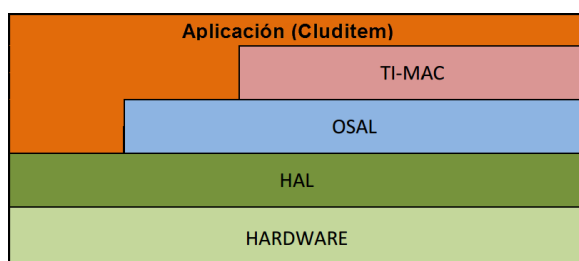


Fig. 2. Estructura en capas de la plataforma software utilizada

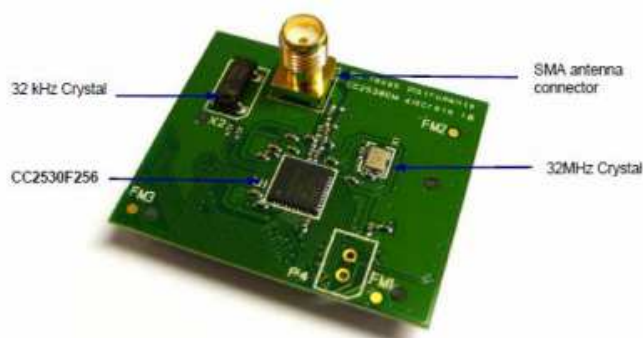


Fig. 3. Módulo de referencia de diseño CC2530EM

Las funciones integrantes de la API están divididas y responden a las siguientes capas:

- **TI_MAC:** brinda al usuario todas las funciones requeridas para manejar el envío y recepción de datos de forma inalámbrica, es decir, el manejo e implementación de la capa MAC del protocolo IEEE 802.15.4. Se relaciona con la aplicación mediante envíos de mensajes implementados en OSAL (Operating System Abstraction Layer).
- **OSAL:** permite acceder a las funciones del sistema operativo subyacente. En particular la creación de tareas y eventos y el manejo de temporizadores que resultaron particularmente útiles en la implementación de Cluditem.
- **HAL (Hardware Abstraction Layer):** permite el acceso a las UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), los dispositivos de entrada y salida de propósito general, el ADC (Analog to Digital Converter) y los temporizadores.

Sobre la base del módulo CC2530 se decidió avanzar en la implementación de una red completa constituida por 25 nodos, factible de ser utilizada en la práctica y que brinde una base para desarrollos futuros, permitiendo la realización de pruebas de campo de tiempo prolongado.

IV. CONSTRUCCIÓN DE LOS NODOS

Los nodos sensores se construyeron utilizando módulos de referencia de diseño CC2530EM, mostrados en la Fig. 3, provistos por Texas Instruments. Estos módulos contienen un CC2530F256 (variante del CC2530 seleccionado) montado junto a los cristales necesarios y relacionado con un conector de antena para 50 ohms. De esta forma se facilitó la implementación de los dispositivos, ahorrando tiempo de desarrollo.

El diseño e implementación de la placa base del nodo sensor a partir del CC2530EM, así como la fabricación de los 25 nodos necesarios, fue realizado en el marco del proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica titulado "Red inalámbrica de sensores de temperatura en lagunas de estabilización" cuyo desarrollo fue coordinado con el trabajo de investigación del Grupo [11].

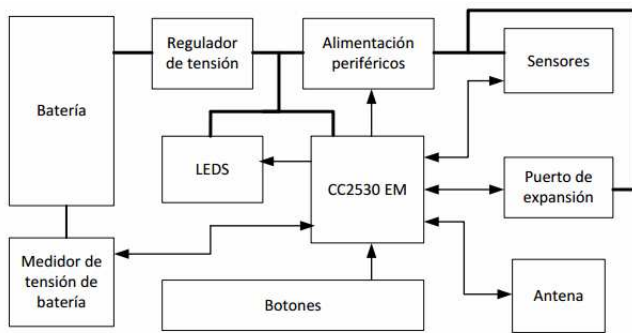


Fig. 4. Arquitectura del nodo sensor.

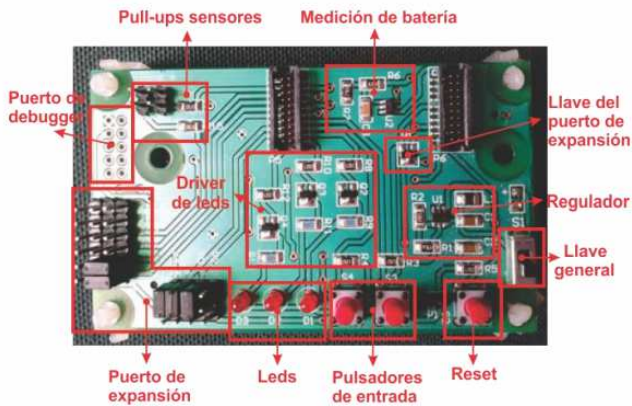


Fig. 5. Imagen de un nodo sensor terminado.

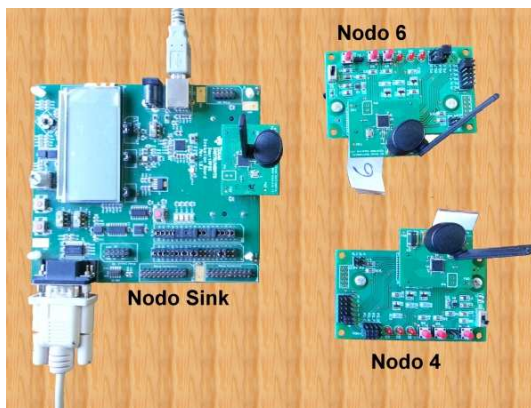


Fig. 6. Imagen del nodo sink y dos nodos sensores.

El desarrollo final, esquematizado en la Fig. 4 contó con leds y pulsadores de diagnóstico, capacidades de medición de estado de baterías del nodo, alimentación controlada de los sensores y acceso a todos los pines del microcontrolador para la conexión de los sensores que fueren necesarios. Finalmente, en la Fig. 5 se presenta la imagen de un nodo terminado.

V. IMPLEMENTACIÓN DE CLUDITEM Y RESULTADOS OBTENIDOS

Las pruebas de laboratorio se realizaron a partir de 12 de los nodos fabricados, que se distribuyeron en 3 celdas de 4 nodos cada una. Además, un CC2530 fue configurado con el

funcionamiento de nodo sink y montado en la placa de evaluación provista por Texas Instruments. Esto le permite disponer de una conexión RS232 con una PC, a la que envía los mensajes que recibe de las cabeceras y que resumen la información colectada por los nodos miembros de los clusters que coordinan. En la Fig. 6 puede verse el nodo sink, montado en la placa de evaluación, y dos de los dispositivos de la red.

A. Escenario definido para las pruebas

Al inicio de cada prueba se definió la cantidad de celdas y el número de nodos que se ubica en cada una, además se estableció la cantidad de postulantes a CH por celda y el número de rondas de medición que se realizan con la misma estructura de encaminamiento, luego de lo cual se reconfigura la red. Esta información la transmite el nodo sink, con potencia de CH, cuando inicia el funcionamiento del sistema mediante un mensaje de parámetros. Cada nodo que lo recibe lo retransmite una única vez para que alcance a todos los miembros de la red. A continuación el nodo sink envía, con la misma potencia de transmisión, el primer mensaje de sincronismo que da origen a una ronda de medición. De esta forma arranca el funcionamiento del sistema, con rondas sucesivas de medición y reconfiguración durante las cuales los nodos intercambian información de control y mensajes con mediciones del ambiente. Es importante destacar que la sincronización de relojes locales se realiza al inicio de cada ronda, lo que permite cumplir con la especificación de desfasaje máximo establecida.

Las aplicaciones de interés, requieren coleccionar información del ambiente en intervalos de 10 a 15 minutos, motivo por el cual los dispositivos permanecen la mayor parte del tiempo en estado de bajo consumo. El nodo sink aprovecha estos intervalos de inactividad en la red para transmitir hacia la PC las mediciones correspondientes a la ronda que ha finalizado. En una futura aplicación en campo, esta información servirá para analizar la evolución de las variables del ambiente, elaborar modelos y/o llevar adelante acciones correctivas.

B. Herramientas de análisis y resultados obtenidos.

Se utilizaron dos herramientas, que corren en la PC que recibe los datos del nodo sink, para analizar el funcionamiento de la red implementada. La primera consiste en una aplicación Java desarrollada por el equipo de trabajo que muestra en el monitor un resumen de los mensajes recibidos por el sink, con indicación de aquellos nodos que no se han reportado. Además, graba en una base de datos la información recibida para realizar estudios posteriores. Para ejemplificar, en la Fig. 7 se presenta parte de una pantalla de la aplicación con el resumen de dos rondas de medición. En la misma, entre otros datos, se puede apreciar que las mediciones de los nodos 3 y 4 de la primera ronda no han llegado a la estación base, en cambio en la siguiente ronda no se ha perdido ningún mensaje.

La segunda herramienta utilizada, provista por Texas Instruments, permite visualizar en el monitor la estructura completa de todos los mensajes recibidos por el sink. La Fig 8 presenta, en primer lugar, la estructura de un mensaje de parámetros (D2), emitido por el sink que posee el identificador 254, y que luego es retransmitido por los nodos 11 y 2.

Form1

NOMBRE DE LA CORRIDA: GRISI_01

MENSAJES ENVIADOS POR LOS NODOS CABECERAS PARA LA RONDA INDICADA

NumMas	NumFlorida	NumEmisor	Dato1	Dato2	Dato3	Dato4	Dato5	Dato6	Dato7	Dato8	Dato9	Dato10	Dato11	Dato12	Dato13
1	0	1	1												
2	0	2	2												
3	0	5	7	8	5										
4	0	6	6												
5	0	9	11	12	9										
6	0	10	10												
Header	Header	Header	3	4											
1	1	1	3	4	2	1									
2	1	5	7	8	5										
3	1	6	6												
4	1	9	11	12	9										
5	1	10	10												
Header	Header	Header													

Fig. 7. Resultado de la aplicación Java

Texas Instruments SmartRF Packet Sniffer IEEE 802.15.4 MAC and ZigBee 2006

File Settings Help

ZigBee 2006

P.nbr.	Time (ms)	Length	Type	Sec	Pnd	Ack	req	PAN	comp	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	MAC payload	LQI	FCS
RX	+0	17	DATA	0	0	0	0	1		0x21	0x11CC	0xFFFF	0x00FE	D2 FE 03 04 03 02	255	OK
RX	+2	17	DATA	0	0	0	0	1		0x2E	0x11CC	0xFFFF	0x000B	D2 FE 03 04 03 02	255	OK
RX	+3	17	DATA	0	0	0	0	1		0x0A	0x11CC	0xFFFF	0x0002	D2 FE 03 04 03 02	255	OK
RX	+991	15	DATA	0	0	0	0	1		0x22	0x11CC	0xFFFF	0x00FE	C8 FE 00 00 00	255	OK
RX	+3	15	DATA	0	0	0	0	1		0xCF	0x11CC	0xFFFF	0x0005	C8 05 00 00 01	255	OK
RX	+1	15	DATA	0	0	0	0	1		0x0B	0x11CC	0xFFFF	0x0002	C8 02 00 00 01	255	OK

Fig. 8. Resultado de la aplicación de Texas Instruments (Pantalla 1)

RX	+34	20	DATA	0	0	0	0	1		0xD1	0x11CC	0xFFFF	0x0005	CB 05 00 00 05 02 FF FF	252	OK
RX	+1	20	DATA	0	0	0	0	1		0xD0	0x11CC	0xFFFF	0x0009	CB 09 00 00 09 03 FF FF	255	OK
RX	+1	20	DATA	0	0	0	0	1		0x31	0x11CC	0xFFFF	0x000B	CB 0B 00 01 05 02 05 02	255	OK
RX	+1	15	DATA	0	0	0	0	1		0x24	0x11CC	0xFFFF	0x00FE	CA FE 00 00 00	255	OK
RX	+2	15	DATA	0	0	0	0	1		0x0E	0x11CC	0xFFFF	0x0009	CA 09 00 00 01	255	OK
RX	+1	15	DATA	0	0	0	0	1		0xD2	0x11CC	0xFFFF	0x0005	CA 05 00 00 01	255	OK

Fig. 9. Resultado de la aplicación de Texas Instruments (Pantalla 2)

RX	+60	19	DATA	0	0	0	0	1		0x69	0x11CC	0x0005	0x0007	CC 07 00 01 02 05 02 07	248	OK
RX	+37	19	DATA	0	0	0	0	1		0xE9	0x11CC	0x0005	0x0008	CC 08 00 01 02 05 02 08	252	OK
RX	+93	20	DATA	0	0	0	0	1		0xD3	0x11CC	0x00FE	0x0005	CD 05 00 FE 03 07 08 05	255	OK

Fig. 10. Resultado de la aplicación de Texas Instruments (Pantalla 3)

En la Fig. 8 también se muestra un mensaje de sincronismo (C8), emitido por la estación base y reenviado por los nodos 5 y 2. La Fig. 9 presenta la estructura de mensajes de armado del árbol de encaminamiento, de postulación (CB) y de armado del árbol de cabeceras (CA). Finalmente, la Fig. 10 presenta la estructura de dos mensajes de datos (CC) de los nodos 7 y 8 enviados a su CH (nodo 5) y un mensaje de dicho CH (CD) dirigido al sink, que resume la información del cluster que coordina

En base a la información provista por las dos aplicaciones antes mencionadas, se depuró y ajustó el funcionamiento de Cluditem, teniendo especialmente en cuenta los siguientes aspectos:

a) Estructura de encaminamiento definida en los dos niveles jerárquicos, clusters y árbol de cabeceras, incluyendo cantidad de nodos desconectados en cada reconfiguración.

b) Definición de los distintos mensajes intercambiados respecto de la información incorporada por cada nodo y el momento de envío. Se evaluaron mensajes de sincronización en cada ronda, definición de encaminamiento en una ronda de reconfiguración y envío de mensajes de datos por parte de los NC hasta su CH y desde los CH por el árbol de cabeceras hasta la estación base.

c) Funcionamiento temporal del algoritmo, ya que las tres etapas de trabajo de Cluditem están perfectamente definidas, con tareas específicas para el rol que asumen los nodos en cada ronda.

Las pruebas realizadas incluyeron un número reducido de dispositivos y también valores de X, rondas hasta rotación, acotados. Por lo tanto, el análisis se centró en aspectos ligados al funcionamiento de Cluditem, dejando la evaluación del cumplimiento de la QoS y del consumo de los dispositivos para una etapa de trabajo posterior.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha descrito la primera etapa de la implementación de una red inalámbrica de sensores constituida por 25 dispositivos capaces de soportar el algoritmo de encaminamiento Cluditem, especialmente desarrollado por el equipo de trabajo para aplicaciones de supervisión ambiental. Para ello se seleccionaron componentes, en base a las características del algoritmo y los requerimientos de las aplicaciones, y se construyeron los nodos sensores necesarios. Se realizaron pruebas de laboratorio en base a una red reducida constituida por 12 nodos distribuidos en 3 clusters de 4 miembros cada uno. Los ensayos permitieron ajustar los parámetros de funcionamiento del algoritmo. Además, los

resultados obtenidos se analizaron con dos aplicaciones mediante las cuales se pudo verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos en tiempo y la adecuada definición de la estructura de encaminamiento en sus dos niveles. Asimismo se comprobó que los mensajes definidos por los nodos en las distintas etapas de funcionamiento contaban con los campos oportunamente establecidos y que su circulación en la red respetaba el encaminamiento previsto. Por lo tanto se concluyó que la plataforma elegida, tanto en sus componentes hardware como en las aplicaciones software, resultó adecuada para la implementación de la red.

El equipo de trabajo prevé implementar en un futuro la red de 25 dispositivos, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de la QoS requerida por las aplicaciones en laboratorio y campo. Además, se desarrollarán ensayos orientados a la verificación de las estimaciones basadas en datos de simulación, respecto del consumo de los dispositivos al desplegar la red en campo.

REFERENCIAS

- [1] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking* (Elsevier), vol. 52 pp. 2292-2330, August, 2008.
- [2] C. F. García-Hernández et al., "Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey", *International Journal of Computer Science and Network Security IJCSNS*, vol. 7 (3) pp.264-273, March, 2007.
- [3] C. Burattini et al. (2009, August). An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution, *Sensors* [Online]. 9 (9). Disponible: <http://www.mdpi.com>.
- [4] The Network Simulator ns-2. Disponible: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [5] R. Corti. (2012, Marzo). Clustering dinámico para tiempo de encendido mínimo en redes de sensores inalámbricas CLUDITEM (1a ed.) [Online] Disponible: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4209>
- [6] E. Giandomenico et al., "Consumo de energía en un algoritmo de sincronización," en *Memorias del II Simposio Científico y Tecnológico en Computación*, Caracas, 2012, pp. 83 – 88.
- [7] R. Corti et al., "Arquitectura de un nodo sensor para aplicaciones de supervisión ambiental. Implementación de un prototipo reconfigurable," en *Libro de Memorias del II Congreso de Microelectrónica Aplicada (UEA 2011)*, La Plata, 2011, pp. 109 – 114.
- [8] A. Abbasi, M. Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," *Computer Communications* (Elsevier), vol. 30 pp. 2826-2941, June, 2007.
- [9] IEEE Std 802.15.4™-, IEEE Computer Society. 2006.
- [10] Texas Instruments, "A True System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications". Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>
- [11] C. Rochinotti, I. Pianetti, (2013) "Red inalámbrica de sensores de temperatura en lagunas de estabilización," FCEIA / UNR , Rosario, Proyecto Final, Disponible: <http://pi.eie.fceia.unr.edu.ar/?p=473>