

Desarrollo e implementación de un algoritmo tolerante a fallas para una red ZigBee

Stephany Bucio Herrera

UAM-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco núm.186, México D.F., Teléfono: 58040000 ext. 1308
stephbu.h89@gmail.com

Alberto Carlos Cañada Gómez

UAM-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco núm.186, México D.F., Teléfono: 58040000 ext. 1308
alberto_ccg@hotmail.com

David Rodríguez Uribe

UAM-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco núm.186, México D.F., Teléfono: 58040000 ext. 1308
dabitt@me.com

Ricardo Marcelín Jiménez

UAM-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco núm.186, México D.F., Teléfono: 58040000 ext. 1303
calu@xanum.uam.mx

Mauricio López Villaseñor

UAM-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco núm.186, México D.F., Teléfono: 58040000 ext. 1308
ixoic@xanum.uam.mx

Resumen

Una red de sensores inalámbrica consiste en un conjunto de dispositivos autónomos con la capacidad de comunicación por radiofrecuencia, pensados para monitorizar una serie de condiciones físicas o ambientales. En este trabajo se desarrolló e implementó un algoritmo tolerante a fallas para una red basada en el protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4 [1]) de sensores compuesta de seis nodos: un coordinador (C), dos encaminadores (R) y tres dispositivos terminales (ED). Esta red posee la restricción de

que los nodos R deben recopilar los valores monitorizados por todos sus hijos y hasta entonces enviarlos a su destino final. Si un nodo R falla, sus hijos deben reconocer como padre a otro R, al que le enviarán sus valores. Cada uno de los nodos R y ED es controlado por un respectivo microcontrolador PIC. En las tramas se incluyen etiquetas para identificar quién es el dispositivo que transmitió la trama o el tipo de procedimiento a realizar. En los resultados presentados se comprueba el funcionamiento del algoritmo desarrollado, mediante la verificación de las tramas transmitidas o recibidas por los nodos de la red. Además, se presenta un criterio para implementar una red inalámbrica tolerante a fallas, que permite cualquier distribución de los nodos.

Palabra(s) Clave(s): monitorización, red de sensores, redes ZigBee.

1. Introducción

Las tecnologías de redes inalámbricas han tenido un rápido desarrollo en los últimos años. Éstas son una tecnología emergente muy prometedora para una amplia variedad de aplicaciones debido a su fácil instalación y mantenimiento. En la actualidad un sinnúmero de aplicaciones se han planteado alrededor de las redes inalámbricas basadas en la tecnología ZigBee. Algunas de las aplicaciones para este tipo de redes se presentan en las áreas de: domótica [2], como control de temperatura ambiental, seguridad, control de iluminación, etc.; inmótica, en el cual se encuentran control de procesos [3], de ambiente o energía y salud, como la Telebiomedicina [4] y Telecuidado es la monitorización de condiciones ambientales.

Con la finalidad de contar con dispositivos capaces de tomar muestras de temperatura en un área específica, se desarrolló una red de sensores inalámbrica. Éstas tienen ventajas sobre las redes guiadas ya que pueden cubrir grandes áreas de terreno sin la necesidad de una infraestructura física, y el alcance depende del tipo de antena utilizada (la usada corresponde a un alcance aproximado de 100 m a línea de vista). Esta red está formada por nodos que muestrean temperaturas y que la envían a una

computadora personal (a través del nodo Coordinador), de manera que puedan ser visualizadas por un usuario.

Para construir al nodo R o ED se implementó una tarjeta PCB que puede contener un microcontrolador PIC (PIC16F877), un sensor de temperatura (DS1621), un módulo de radio frecuencia (XBee) y opcionalmente se puede incluir una memoria externa EEPROM. Esta tarjeta PCB también cuenta con terminales para conectar diferentes sensores o inclusive un dispositivo GPS, que utilicen la comunicación I2C. En estos dispositivos, la función del microcontrolador consiste en coordinar las funciones de monitorización, así como la obtención de temperatura muestreada por un sensor de propósito particular.

La red consta de seis nodos: tres de ellos con un módulo XBee configurados como dispositivos finales (End Device) llamados nodos de tipo ED, dos de ellos con sus respectivos módulos XBee configurados como dispositivos de encaminamiento (Router), llamados nodos de tipo R. Finalmente, el último módulo XBee fue configurado como nodo de tipo C (Coordinador) [5].

El nodo ED captura y envía muestras de temperatura a su nodo padre (previamente identificado). Esto implica, que antes de obtener muestras de temperatura, identifica la dirección de 64 bits del nodo tipo R al que reporta sus lecturas, dirección asignada de fábrica en cada módulo. En caso de que el nodo padre deje de operar, el dispositivo final busca otro nodo padre, dentro de su radio de alcance. Por otro lado, para que el nodo padre pueda identificar que se está llevando a cabo una solicitud de búsqueda de su dirección de 64 bits, el nodo ED incluye en el campo del mensaje de la trama una etiqueta adhoc. El muestreo de temperatura se realiza cada 2 segundos hasta obtener 10 lecturas, posteriormente, el nodo ED determina los valores extremos de este conjunto y los reporta a su padre. En el campo de mensaje de la trama transmitida, se incluyen dos palabras clave, una usada para indicar que se manda un paquete de temperaturas (con su máximo y su mínimo) y la otra que identifica al nodo que envía la trama.

Por su parte el nodo R da servicio a una solicitud de identificación de su dirección por parte de un nodo hijo, es decir, un nodo de tipo ED y recopila las muestras de temperatura de todos sus hijos y las propias. Una vez que el nodo R adquiere un total de ocho paquetes (de máximos y mínimos), construye una trama con estos paquetes y los envía al coordinador.

El nodo coordinador, que no es manejado por un microcontrolador, recibe las tramas de temperatura de los nodos ruteadores o dispositivo de enrutamiento y las transmite a una computadora personal. Todos los campos recibidos de la trama (que incluyen los campos asociados a las temperaturas) se visualizan en la pantalla de la computadora personal, para su análisis por parte de un usuario.

2. Desarrollo

La arquitectura de la red inalámbrica implementada se muestra en la Fig. 1. En ésta un nodo ruteador tiene asociado un nodo hijo ED (End Device) y el otro dos nodos hijos ED. Cada ruteador envía las tramas directamente al coordinador, independientemente de su ubicación en la arquitectura de la red. Cada nodo ED y R tiene un microcontrolador que lleva el control de la información que se encamina hacia el nodo tipo C y también se encarga de sincronizar las lecturas de los sensores acoplados con los nodos.

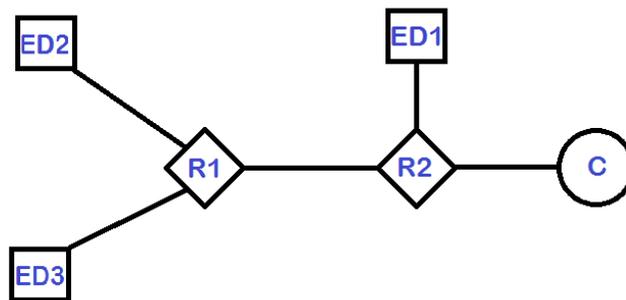


Fig. 1. Distribución de los nodos en la red inalámbrica implementada.

Las funciones del microcontrolador del nodo ED son (ver Fig. 2):

- (a) Obtiene la cadena de identificador del nodo (4 caracteres), almacenado en el XBee, y usada como identificador en el envío de tramas de temperatura. Para obtener esta cadena, el microcontrolador manda al módulo XBee una trama tipo comando AT (08h) con parámetros 'NI' (Node Id) [6]. Luego recibe la respuesta del XBee en una trama tipo Respuesta al Comando AT (88h), de la que extrae la información buscada.
- (b) Obtiene la dirección de 64 bits de su padre, al que enviará las muestras de temperatura. Para ello primero recupera la dirección de 16 bits de su padre (asignada por el nodo C al crearse la red), que usa para la búsqueda de la dirección de 64 bits del padre. Para obtener la dirección de 16 bits del padre, el microcontrolador envía al módulo XBee una trama tipo comando AT con parámetros 'MP' (16-bit Parent Network Address), para luego recibir la respuesta del XBee en una trama tipo Respuesta al Comando AT. Una vez obtenida la dirección de 16 bits, el microcontrolador manda al módulo XBee una trama tipo Solicitud de Transmisión ZigBee (10h), con la palabra de identificación "IDP" (Identificación de la Dirección del Padre), que se incluye en los campos del mensaje. En este caso recibe dos tramas del módulo XBee: la trama tipo Estado de Transmisión (8Bh), en donde verifica que el nodo padre recibió la trama, y luego la trama tipo Recepción de Paquete (90h), en ésta espera en el campo del mensaje la palabra de identificación "STP", para luego extraer la dirección de 64 bits buscada. Si el nodo padre no recibió la trama, debido posiblemente a que el padre dejó de operar (verificado con la trama tipo Estado de Transmisión), o si la segunda trama recibida no contiene la palabra clave del identificador "STP", entonces el microcontrolador envía al módulo XBee una trama tipo comando AT con parámetros 'DA' (*Force Disassociation*) para forzar a que el módulo XBee se asocie a otro nodo ruteador. Espera la respuesta, que incluye en los campos del

mensaje el identificador “STP” (Soy Tu Padre), de esta trama extrae la dirección de 64 bits buscada.

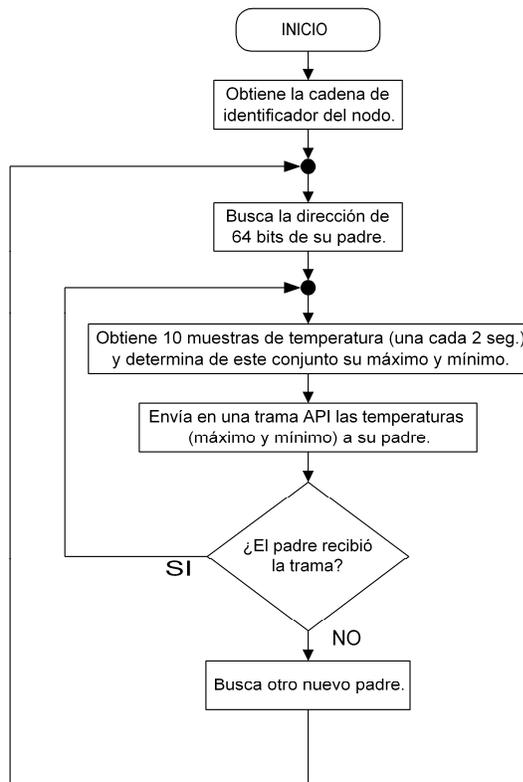


Fig. 2. Funciones principales de un nodo ED.

- (c) Si la dirección de 64 bits obtenida corresponde al coordinador, entonces se deslinda del coordinador. Para ello el microcontrolador envía al módulo XBee una trama tipo comando AT con parámetros ‘DA’, para deslindarse del nodo padre actual, y regresa al paso (b). En caso contrario continúa con el paso (d).
- (d) Obtiene cada 2 seg. una muestra de temperatura hasta acumular 10 de ellas. De este conjunto determina el valor de temperatura máxima y mínima. Luego envía estos valores a su nodo padre. Para ello el microcontrolador envía al módulo XBee una trama tipo Solicitud de Transmisión ZigBee con la dirección de su padre, en donde incluye en el campo del mensaje dos palabras de identificación (además de

los valores de temperatura): “TMT” (Tramas de Muestras de Temperatura), para indicar que se trata de una trama que lleva valores de temperatura, y la cadena de identificador del nodo (de 4 caracteres), que permite que el usuario pueda identificar de qué nodo provienen los valores de temperatura.

- (e) Una vez enviada la trama de temperaturas, se mantiene a la espera de recibir dos tramas del módulo XBee: la trama tipo Estado de Transmisión, en donde verifica que el nodo padre recibió la trama, y la trama de tipo Recepción de Paquete, en donde espera en el campo del mensaje la palabra de identificación “TOK” (Trama OK), que es un ACK de que su nodo padre almacenó correctamente las muestras de temperatura recibidas. Si el nodo padre no recibió la trama, debido posiblemente a que éste dejó de operar (verificado con la trama tipo Estado de Transmisión), o si la segunda trama recibida no contiene la palabra clave del identificador “TOK”, entonces el microcontrolador envía al módulo XBee una trama tipo comando AT con parámetros ‘DA’ para forzar a que el módulo XBee se asocie a otro nodo ruteador, y regresa al paso (b). En caso contrario regresa al paso (d), proceso de captura de temperaturas y envío, que repite de manera cíclica.

Las funciones del microcontrolador del nodo R son (ver Fig. 3):

- (a) Obtiene la cadena de identificador del nodo (4 caracteres). Proceso igual al del nodo ED, vea el inciso (a) de las funciones del nodo ED.
- (b) Se mantiene en espera de una trama para realizar cualquiera de los dos procesos siguientes: Dar servicio a la solicitud de búsqueda de la dirección de 64 bits del padre por parte de un nodo hijo o recibir las muestras de temperatura enviadas por uno de sus nodos hijo. Para discriminar el tipo de acción a realizar, verifica la palabra de identificación incluida en el campo del mensaje de la trama: en este caso “IDP” o “TMT”. Además por cada 2 seg. de espera obtiene una muestra de temperatura de su sensor. Es posible que el nodo no tenga asociado un nodo hijo, en tal caso sólo obtiene sus propias muestras de temperatura cada 2 seg.

(c) Si el campo del mensaje de la trama recibida coincide con la palabra de identificación “IDP” entonces da servicio a la solicitud de búsqueda de la dirección de 64 bits del padre por parte de un nodo hijo. Para ello recupera de la trama recibida la dirección de 64 bits de su hijo, que usa como dirección destino para la trama que envía al módulo XBee de tipo Solicitud de Transmisión ZigBee, con la palabra de identificación “STP” en el campo del mensaje de la trama y regresa al paso (b).

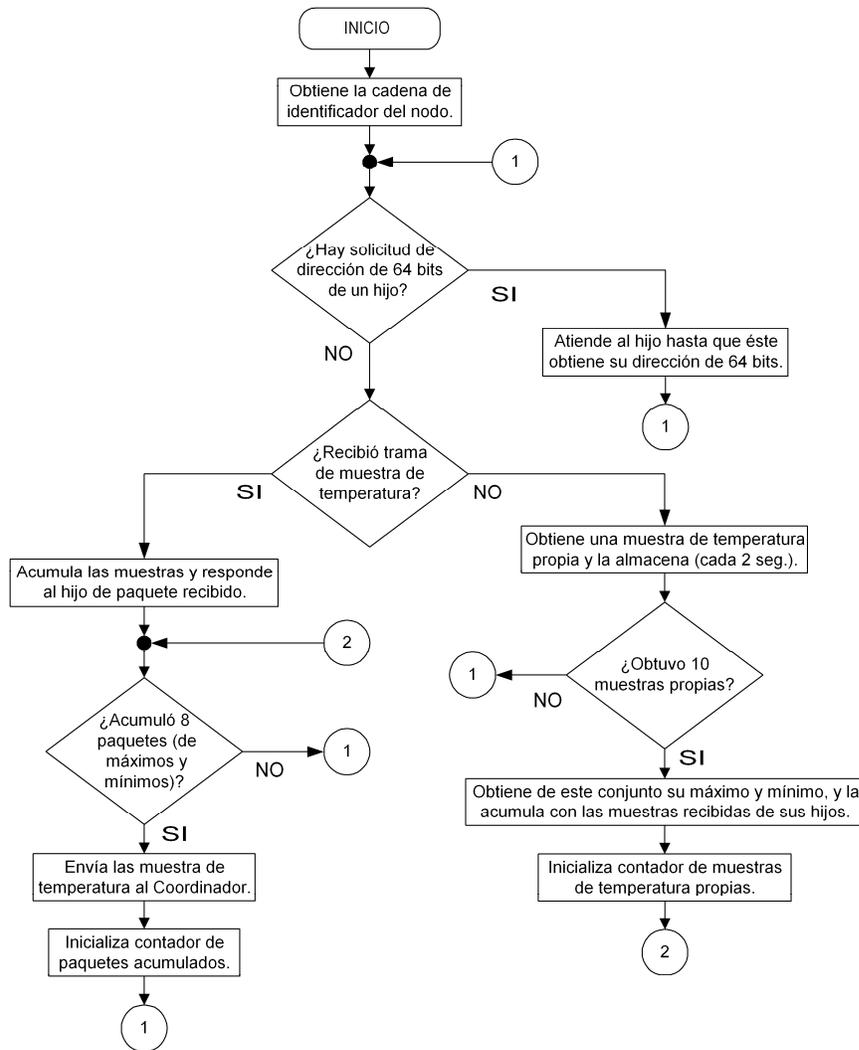


Fig. 3. Funciones principales de un nodo R.

- (d) Si el campo del mensaje de la trama recibida coincide con la palabra de identificación "TMT" extrae de ésta las muestras de temperatura y las integra a los campos de la trama que enviará al Coordinador; también envía a su nodo hijo un ACK para indicarle que se almacenaron correctamente todas las muestras de temperatura recibidas. Para ello envía al módulo XBee una trama tipo Solicitud de Transmisión ZigBee con la palabra clave "TOK", utilizando como dirección destino la del nodo hijo, y continúa con el paso (e).
- (e) Si tiene acumulado un total de ocho paquetes de muestras, incluyendo las propias (vea el paso (f)), envía una trama al módulo XBee de tipo Solicitud de Transmisión ZigBee con la dirección del módulo XBee del Coordinador. En esta trama incluye la palabra de identificación "MTR" (Muestras de Temperatura enviadas por el Ruteador), además de la cadena del identificador de cada nodo hijo que envió sus muestras de temperatura y las correspondientes muestras de temperatura. Regresa al paso (b).
- (f) Si ha transcurrido un intervalo de tiempo de 2 seg. obtiene una muestra de temperatura. Si ésta corresponde a la décima capturada, determina el valor máximo y mínimo de este conjunto, que luego integra a los campos de la trama que enviará al Coordinador, y regresa al paso (e). En caso contrario regresa al paso (b).

El nodo Coordinador no se encuentra manejado por un microcontrolador, por lo que todas las tramas recibidas las transmite a una computadora personal para su visualización por parte del usuario.

3. Resultados

Los resultados en esencia corresponden a la comprobación del algoritmo planteado, mediante la verificación de las tramas que son transmitidas o recibidas por los nodos de la red y que permiten llevar a cabo los procesos de señalización y transferencia de

valores de temperatura. Es decir, los resultados a interpretar son literalmente las tramas que son enviadas o recibidas por el módulo XBee de cada nodo.

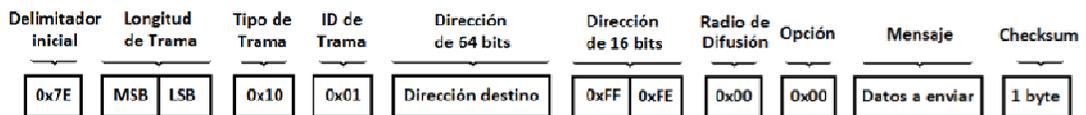
En la aplicación sólo el nodo Coordinador requiere de una conexión con una computadora personal. Sin embargo, con el fin de verificar los procesos de señalización y de transferencia de datos en todos los nodos, se permitió que cada uno tuviera una conexión con una computadora personal. En cada caso sólo es posible observar las tramas transmitidas o las recibidas en una sola ventana de captura de tramas visualizada en una computadora personal; por lo que en este documento se muestra una ventana con las tramas transmitidas y otra con las tramas recibidas por un nodo.

Para llevar a cabo la interpretación adecuada de los resultados, presentamos los diferentes tipos de tramas que aparecen en los procesos de transmisión y recepción, en éstas se identifican los diferentes campos de cada tipo de trama, como se muestra a continuación.

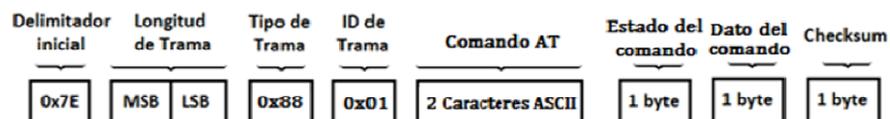
- Estructura de la trama tipo Comando AT (08h):



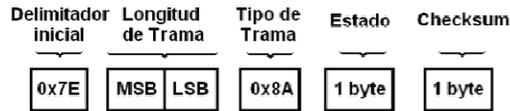
- Estructura de la trama tipo Solicitud de Transmisión ZigBee (10h):



- Estructura de la trama tipo Respuesta al Comando AT (88h):



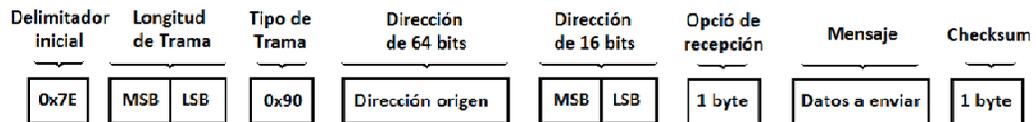
- Estructura de la trama tipo Estado del Módulo (8Ah):



- Estructura de la trama tipo Estado de la Transmisión ZigBee (8Bh):

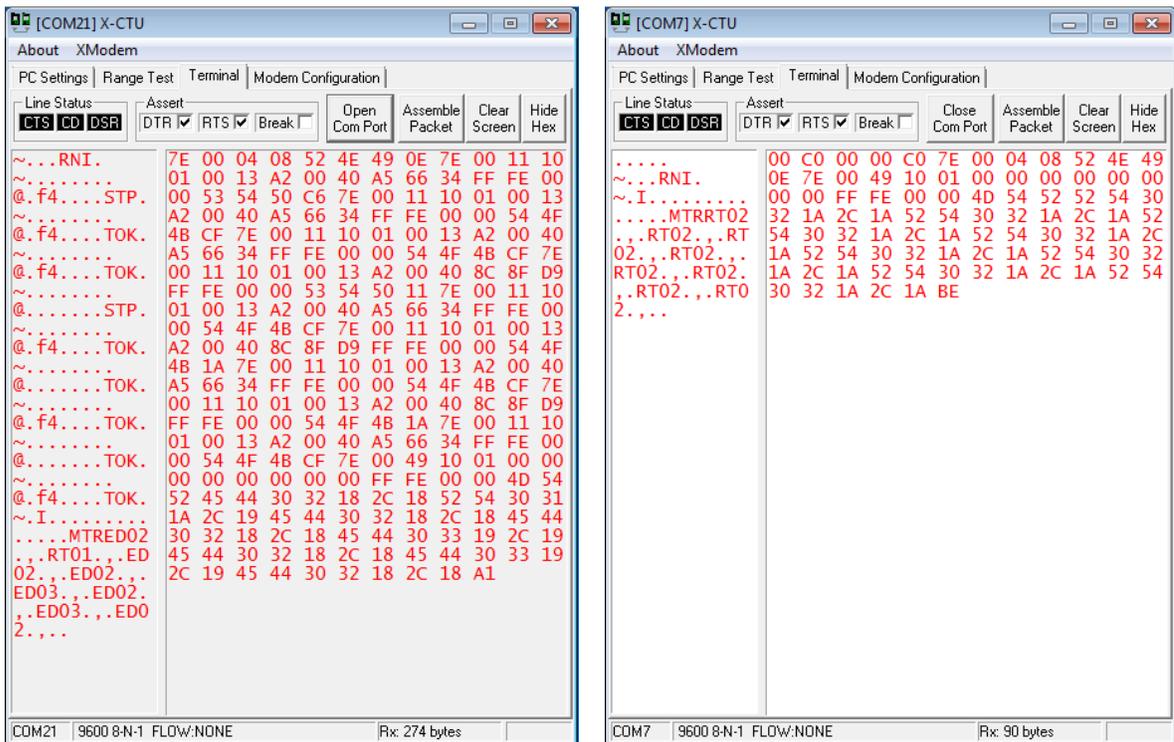


- Estructura de la trama tipo Recepción de Paquete (90h):



Se inicia con las tramas recibidas y transmitidas por el módulo XBee de uno de los nodos ED, ver Fig. 4. En la Fig. 4(a) se observan las tramas enviadas por el microcontrolador al XBee: la obtención de su identificador del nodo (comando AT 'NI') y de la dirección de 16 bits del padre (comando AT 'MP'). También la trama con el mensaje 'IDP' como solicitud de Transmisión ZigBee para obtener la dirección de 64 bits del padre y finalmente el envío de las temperaturas, que incluye las palabras claves 'TMT' y 'ED01' (para el caso particular del ED identificado como uno). En la Fig. 4b) se observan las tramas enviadas por el XBee al microcontrolador, tal como la respuesta al comando AT 'NI', que incluye la cadena de identificación del nodo, la respuesta al comando AT 'MP', que incluye la dirección de 16 bits del nodo padre, la respuesta a la solicitud de búsqueda de la dirección de 64 bits del padre ('STP'), y finalmente la confirmación de recepción de las temperaturas por parte del padre ('TOK').

XBee: la obtención de su identificador del nodo, responde a la solicitud de búsqueda de la dirección de 64 bits ('STP'), envía el ACK ('TOK') al hijo de que se recibieron las muestras de temperatura correctamente y finalmente envía las muestras recopiladas al Coordinador. En la Fig. 5(b) se observan las tramas enviadas por el XBee al microcontrolador, tal como la respuesta a la solicitud del identificador del nodo, recibe la solicitud de búsqueda de la dirección de 64 bits del padre ('IDP'), recibe las muestras de temperatura de sus hijos ('TMT').



(a)

(b)

Fig. 6. Comparación de nodos R con y sin hijos.

En la Fig. 6 se comparan nodos R, uno sin hijo (RT02), ver Fig. 6(b) que envía tramas de temperatura propias, y otro (RT01) con dos hijos (ED02 y ED03), ver Fig. 6(a).

En la Fig. 7 se observan las tramas recibidas por el nodo Coordinador y que son enviadas a la computadora personal.

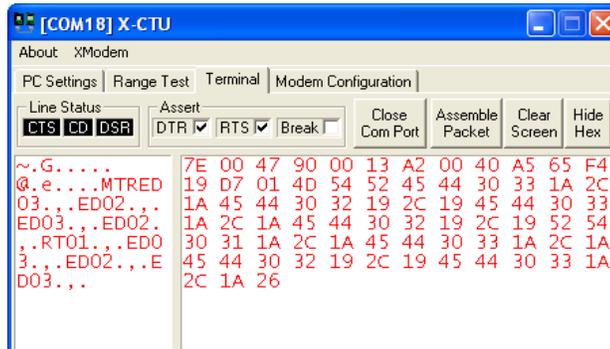


Fig. 7. Función del Coordinador.

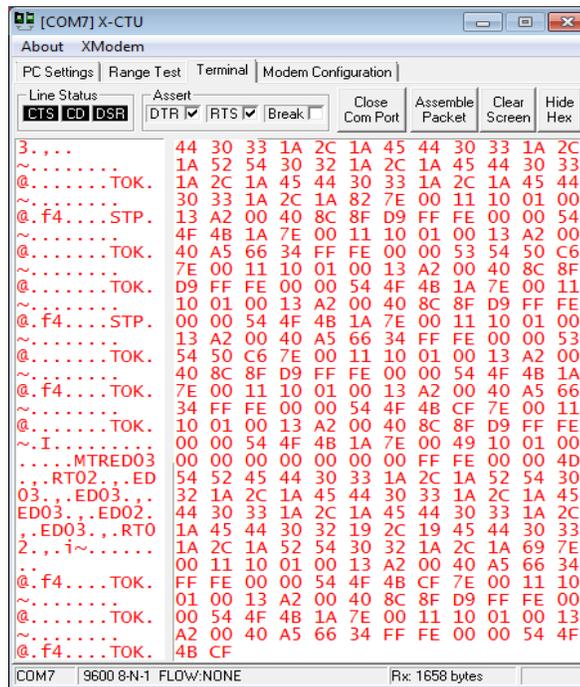


Fig. 8. Función de RT03 como padre.

Con la finalidad de mostrar la adaptabilidad de la red se modificó la arquitectura original (ver Fig. 1), manteniendo dos nodos R y dos ED, en este caso se le quitó al nodo R2 su

único hijo. A partir de esta nueva red se sacó de operación al nodo R1, quedando sin padre los nodos ED2 y ED3. En la Fig. 8 se observan las tramas que verifica la adaptabilidad de la red, en donde el nodo ED2 y ED3 se adhieren a su nuevo padre, en este caso a R2 (ver Fig. 9).

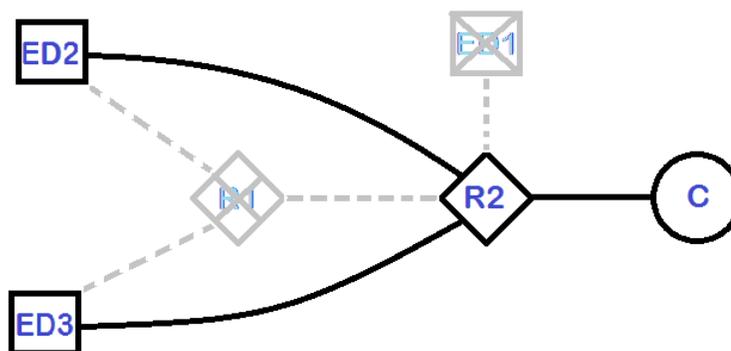


Fig. 9. Ejemplo de adaptabilidad de la red.

4. Discusión

La arquitectura de la red implementada puede armarse como tipo mesh debido a que los nodos ED no cuentan con una dirección del padre preestablecida, ya que el algoritmo obtiene la dirección del padre en tiempo real. La lógica del algoritmo permite incorporar a la red nuevos ED y R en cualquier momento. Esto hace que se pueda aumentar el área de trabajo a monitorización sin la necesidad de modificar el algoritmo; es decir se tiene una red adaptativa a medida que cambia cuando un ruteador deje de operar. Además, la restricción establecida en los ED y R hace que el tráfico de la red disminuya de manera considerable, debido a que los nodo R funcionan como concentradores de información proveniente de sus nodos hijos, esto antes de transmitirla a su destino (en este caso al Coordinador).

Se diseñó e implementó una tarjeta (PCB) para la aplicación, y en cada una de éstas es posible adherir otros sensores que aumenten la prestación de la red (por ejemplo un sensor de humedad).

La interacción entre los diferentes tipos de nodo (ED, R y C) se realiza mediante tramas tipo API. Esta interacción permite una mayor flexibilidad al establecer la dirección del destinatario. Además el algoritmo implementado realiza un proceso de discriminación entre los diferentes tipos de trama recibidos y enviados, controlando los permisos para almacenar en la memoria de datos del microcontrolador mediante banderas que establecen los correspondientes permisos.

En las diferentes tramas de tipo Solicitud de Transmisión ZigBee fue conveniente incluir etiquetas de identificación (dentro de los campos del mensaje) de manera que se pueda distinguir el proceso que se esté llevando a cabo. Tales como la obtención de 64 bits de la dirección del padre, el envío de las temperaturas del nodo tipo ED al nodo tipo R, o del nodo tipo R al nodo tipo C.

La red puede ser utilizada para el estudio de eventos críticos. Un ejemplo es la detección temprana de incendios forestales, donde se desea proteger una zona determinada, obteniendo los valores de temperatura de manera precisa y constante. De manera que estime el riesgo de incendio en cada uno de los puntos de interés, así como la detección de un foco incendiario [7, 8, 9].

La selección del protocolo 802.15.4 fue por la conveniencia, a largo plazo, para transferir los datos recopilados sobre plataformas de redes Web hacia un dispositivo de concentración masiva [10].

Además en este tipo de dispositivos se aprovecha la accesibilidad de enlace de acceso al medio (MAC).

5. Conclusiones

En este documento se presentó un criterio para implementar una red inalámbrica tolerante a fallas, basada en un mecanismo de enrutamiento adaptativo (EAR), diseñado especialmente para escenarios de emergencia. La arquitectura de la red

puede permitir cualquier distribución de los nodos, debido a que los nodos ED de la red no son establecidos a priori con una dirección del nodo padre, al que le debe enviar muestras de temperatura.

Si bien se restringe el tráfico de datos de la red entre un nodo R y un nodo hijo ED de manera unicast, la transferencia de información entre éstos pudiera ser excesiva y con muchos candados para asegurar la transferencia de datos entre ellos [11]. A pesar de ello, creemos que éstos son los primeros pasos para que en un futuro próximo se optimice la ocupación del espectro electromagnético. La cualidad de este trabajo se basa en la forma en que se permite la transferencia de información hacia su destino final, que consiste en retener o recopilar, por parte de un nodo Ruteador, los valores monitorizados por todos sus nodos hijos, antes de enviarlos a su destino final.

Sin duda todavía hay mucho por trabajar en la eficiencia de la red, tanto en la búsqueda de la dirección de un nodo padre (por parte de un nodo hijo), como en el número de transferencias de tramas tipo ACK, en que el nodo destino indica al nodo fuente la integridad de los datos recibidos. Otro aspecto en el que se podría trabajar es el de añadir nuevos sensores y un mayor número de nodos con el fin de desarrollar redes más complejas. Así como el permitir a los nodos ED pasar a un estado de dormido para el ahorro de energía.

Es importante comentar que se usaron los módulos XBee por su capacidad de adaptarse fácilmente a distintas interfaces a través de Gateways, de manera que se tiene la posibilidad de implementar redes con distintas tecnologías e integrarse en diferentes ambientes como el control de procesos industriales, control de tráfico vehicular, monitoreo de signos vitales en medicina, atención y prevención de desastres entre muchas otras [12, 13].

Como comentario final, el desarrollo de este trabajo no sólo se limitó a las pruebas de funcionalidad de la red con los seis nodos en operación, también se implementaron y

desarrollaron tarjetas PCB adhoc para la aplicación. De manera que este trabajo difiere de otros que utilizan módulos kits comerciales [14, 15].

6. Referencias

- [1] IEEE 802.15.4. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CD0QFjAE&url=http%3A%2F%2Fcatarina.udlap.mx%2Fu_dl_a%2Ftales%2Fdocumentos%2Flem%2Farchundia_p_fm%2Fcapitulo4.pdf&ei=HdRcVeHSDMKdyAT-_oHYDQ&usg=AFQjCNGxJTUlyNoyGgh7UuO2j8ss69FghA&sig2=2KnP8G83dRcL3bm7GSpk9A.
- [2] J. Camargo, L. García, E. Gaona, "Human Voice Recognition Applied to Domotics". *INGENIUM*, Revista de la Facultad de Ingeniería. Vol. 13. No.26. julio-diciembre de 2012. 97-106 pp.
- [3] J. Pérez, E. Urdaneta, A. Custodio, "Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos". *Universidad, Ciencia y Tecnología*. Vol.18. No.70. Marzo 2014. 12-22 pp.
- [4] D. M. Ballesteros, H. E. Melo, A. J Maya, "Sistema de transmisión inalámbrica de señales ECG y de temperatura para ambientes hospitalarios (SINHO)". *Revista Ingeniería Biomédica*. Vol. 4. No. 7. Enero-Junio 2010. 55-63 pp.
- [5] Redes Zigbee. <http://www.javierlongares.com/arte-en-8-bits/introduccion-a-zigbee-y-las-redes-de-sensores-inalambricas/>. Abril de 2015.
- [6] XBee ZB User Manual. XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules.
- [7] Redes zigbee para la detección de incendios. http://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21330/1/MATCH%2714_01_Erazo%20%26%20Hervas.pdf Abril de 2015.

- [8] Red de sensores para la detección de incendio temprana. http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/02/docs/Areas/Convocatorias/PremiosProyectos/2006/RES_UMEN_RED_SENSORIAL.pdf. Abril de 2015.
- [9] Redes ZigBee tolerantes a fallas. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfciv146a/doc/bmfciv146a.pdf>.
- [10] Redes de sensores inalámbricos utilizando ZigBee. http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/%28A%29_Redde_de_Sensores_Inalambricos_Utilizando_ZIGBEE802154_a05yzX_.pdf. Abril de 2015.
- [11] Redes tolerancia a fallas. <http://infotelecommil.webcindario.com/librostelecom/ALGO%20DE%20REDES.pdf>
- [12] A. J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, J. Garcia-Haro, "Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops". *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 75. No. 2. February 2011. 288–303 pp.
- [13] D. Bansala, M. Khanb, A.K.Salhanc, "Real time acquisition and PC to PC wireless transmission of human carotid pulse waveform". *Computers in Biology and Medicine*. Vol. 39. No. 10. October 2009. 915-920 pp.
- [14] Redes inalámbricas de temperatura. http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1. Abril de 2015.
- [15] Red inalámbrica de sensores de temperatura. <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13168/1/Red%20Inalambrica%20de%20Sensores%20Ambientales%20Mediante%20el%20Uso%20de%20la%20Tecnologia%20ZIGBEE.pdf>. Abril de 2015.

7. Autores

Ing. Stephany Bucio Herrera es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Ing. Alberto Carlos Cañada Gómez es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Ing. David Rodríguez Uribe es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Ing. Mauricio López Villaseñor es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Dr. Ricardo Marcelín Jiménez obtuvo su título de Doctorado por la Universidad Nacional Autónoma de México, IIMAS.