

Protocolo de ruteo adaptable para redes inalámbricas de sensores

Mario R. Modesti⁽¹⁾, Darío O. Tamburi⁽²⁾, Dimas A. Benasulin⁽³⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Sensores e Instrumentación (LabSen), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

mmodesti@scdt.frc.utn.edu.ar

⁽²⁾Tesista de Maestría en Redes de datos, Universidad Nacional de La Plata

tamburi@arnet.com.ar

⁽³⁾Maestría en Ingeniería en Control Automático, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.

dimasbenasulin@gmail.com

Resumen: Dispositivos pequeños, compactos y económicos que reciben el nombre de nodos con capacidad de sensar, detectar y alertar sobre algún determinado fenómeno, generan y suministran datos que alimentan otros sistemas. La tecnología de redes de sensores inalámbricos – WSN - se está aplicando en muchos ambientes y con distintos propósitos. Estas redes están compuestas por nodos-sensores de bajo costo y bajo consumo que cooperan entre sí, los cuales se comunican inalámbricamente. Para que estas redes de sensores inalámbricos funcionen adecuadamente, se requieren arquitecturas sofisticadas auto organizadas y auto gestionadas y, de protocolos de comunicación eficientes, que permitan a los nodos recolectar, procesar y transmitir los datos sobre la red. Las WSN serán ampliamente usadas a corto plazo, y constituyen una nueva tecnología de red con cuestiones abiertas propicias para la investigación en donde los conocimientos y desarrollos de otras redes se adecúan poco. Nuestro trabajo está orientado a lograr un algoritmo de ruteo adaptable para este tipo de redes y de construir una plataforma basada en el estándar IEEE 802.15.4 que se constituya en un banco de prueba donde someter a evaluación los algoritmos propuestos. En esta primera etapa se presenta el diseño del handshake del algoritmo y de la plataforma.

Palabras Clave: redes de sensores inalámbricos, WSN, protocolos de comunicación eficientes, Protocolo de ruteo adaptable.

1 Introducción

El avance tecnológico permite la fabricación de dispositivos electrónicos de pequeño tamaño, compactos, de baja potencia y económicos, con capacidad de detectar, procesar datos y comunicarse con otro en forma inalámbrica.

Una red de sensores inalámbricos –WSN - es un conjunto de estos dispositivos que reciben el nombre de nodos y se comunican entre sí para formar un área a sensar.

Es posible obtener funciones específicas a través de la cooperación de estos nodos tales como: sensar, detectar, alertar.

Estas funciones hacen de las WSN muy útiles para aplicaciones de monitoreo, control, seguimiento, localización y para aplicaciones que requieran limitado poder, transferencia de datos confiable, comunicación de corto alcance, bajo costo, despliegue rápido y sin necesidad de supervisión humana.

Este tipo de redes ofrece beneficios únicos, una óptima toma de datos, exactitud a través del procesamiento de red, extiende la capacidad de supervisar y/o controlar variables y/o fenómenos desde una ubicación remota.

Los nodos que conforman la red son energizados por baterías por lo que su reemplazo no es una opción y esto constituye el principal limitante de este tipo de red.

El uso eficiente de la energía es una de las cuestiones claves más importante debido a que el mayor gasto de energía se ocasiona en la transmisión de datos.

El diseño de protocolos eficientes en energía que conlleve a prolongar la vida útil de la red adquiere características críticas. Una de las áreas de trabajo predominante es algoritmos eficientes en energía.

2 Propuesta

Los algoritmos de ruteo permiten fundamentalmente descubrir, mantener y seleccionar la mejor ruta o la óptima para transmitir datos de un nodo origen a un nodo destino.

Los algoritmos conocidos y utilizados en otros tipos de redes incluyendo las inalámbricas Ad Hoc – WN Ad Hoc – no se aplican porque no se ajustan a los requerimientos de las WSN, fundamentalmente en lo que respecta a energía, cómputo, comunicación.

Dada las características y complejidad de la WSN resulta difícil encontrar un algoritmo de enrutamiento que funcione bien para la mayoría de los casos.

Estamos ante una nueva y específica tecnología de red, se cree necesitar de un nuevo enfoque para abordar la problemática que tenga en cuenta que esta tecnología son redes Ad Hoc de área personal de baja tasa de transmisión de datos - LR-PAN - auto organizadas y auto gestionadas en donde el rol más importante de los nodos es su grado de participación y responsabilidad en la organización y gestión de la red toda, además del cómputo que ejecutan para lograrlo.

Lo que sugiere proveer a los nodos de cierto nivel de inteligencia.

Los nodos serán más o menos inteligentes en las decisiones si se los provee de los datos correctos y del tipo y calidad de cómputo que ejecuten.

Se cree y es lo que se propone demostrar y probar que el uso combinado de técnicas que contemplen aspectos tales como: topología de red cluster, direccionamiento distribuido y centrado en el de dato, un tamaño de paquete de dato energéticamente eficiente, además de procesamiento en red y un adecuado corrector de errores en el receptor aportaran a los nodos el nivel de inteligencia que se pretende.

El trabajo se inicia a partir de una base de conocimiento sólida como lo es el estándar IEEE 802.15.2 que se utiliza para este tipo de red.

Se propone desarrollar un algoritmo de ruteo que contemple las características antes mencionadas. También se propone construir con software de última generación un banco de pruebas que funcionen ajustado al estándar IEEE 802.15 y que permita evaluar las prestaciones de los noveles algoritmos propuestos.

También se someterán a evaluación de prestaciones a las noveles propuestas.

3 Desarrollo

El trabajo está orientado para WSN planas, multi salto y multi trayectoria.

Los protocolos de ruteo pueden ser estudiados y clasificados de distintas formas y las propuesta no son excluyente a una determinada categoría o clasificación.

Un estudio de las técnicas de ruteo se puede encontrar en [4, 9] y en [5] se describen los conceptos de WSN. Lo más próximo a este tipo de redes son las WN ad-hoc por lo que también son pertinentes los protocolos OLSR - Optimized Link State Routing -, AODV - ad-hoc on demand distance vector routing - y DSR - dynamic source routing - siendo los únicos que han obtenido el estatus de RFC - Request For Comments - por el IETF - Internet Engineering Task Force - para el encaminamiento en redes inalámbricas ad-hoc [5, 6, 7].

Del análisis de los trabajos publicados [1, 2, 3] se rescatan características que surgen como más adecuada para guiar este desarrollo por ser la WSN una red inalámbrica de área personal de baja tasa de datos - LR-PAN - interconectada es que se enfoca en el concepto de clustering por su similitud en ser una red particionada en pequeños cluster.

El desarrollo del algoritmo está planeado en tres etapas:

Primera etapa: descubrimiento de ruta.

Segunda etapa: mantenimiento de ruta.

Tercera etapa: gestión de ruta.

Al momento se ha cumplimentado con el diseño de la primera en lo que respecta a su parte teórica.

También se está trabajando en la construcción de la plataforma de desarrollo - banco de prueba - que una vez finalizada permitirá someter a prueba la primera parte del algoritmo y obtener datos con los cuales analizar y evaluar las prestaciones del mismo.

A continuación se describe el diseño del handshake del algoritmo propuesto.

3.1 Iniciación

Con el objetivo de detectar una PAN – red de área personal – existente, después de que el nodo se encienda; hace un sondeo de canales en busca de mensajes provenientes de otros nodos. Si obtiene algún mensaje trata de extraer la dirección del nodo que funciona como ruteador – R -. Si no obtiene ningún mensaje inicia el proceso de descubrir al vecino.

3.2 Descubriendo al vecino

Un nodo inicia este procedimiento enviando un mensaje Hello – H -por broadcast, el nodo que recibe este mensaje configura y registra los datos en su tabla de ruteo – TR – una tabla de similares características del algoritmo Bellman-Fort.

El nodo receptor de un H genera y transmite otro mensaje H para descubrir a sus vecinos, en este mensaje incluye la confirmación del o los “Hellos” recibidos anteriormente.

El nodo origen del H al recibir la confirmación va configurando la TR de su vecindario – fig. 1 -.

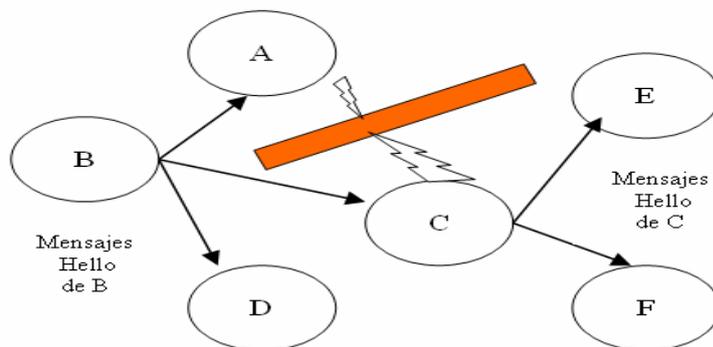


Figura 1. Transmisión de mensajes Hello

Durante el proceso de descubrir al vecino los nodos emiten solo un mensaje H.

3.3 Nodo borde

Del análisis que realiza el nodo sobre las confirmaciones que lo tienen como destino y de las confirmaciones escuchadas de los otros nodos puede deducir si se constituye en un nodo borde – NB - o no.

Por ejemplo el nodo C tendrá la siguiente TR – tabla 1 - :

Nodo	Salto	Descripción
B	1	esta entrada en la tabla se origina cuando el nodo C confirma el H de B
D	1	Estas entradas se origina por escuchar las confirmaciones de los nodos D a B. son entradas transitorias. Cuando C reciba la confirmación del H que envió a D estas entradas se ratifican y pasan a ser definitivas.
E	1	estas entradas son producto de la confirmación del H de C
F	1	

Tabla 1. Tabla de ruteo nodo C

El nodo C puede deducir que el nodo B no alcanza a E y F porque no ha escuchado la confirmación de estos nodos al H de B, concluyendo que es un NB para B y se lo informa por mensaje unicast.

3.4 Conectividad en el vecindario

De las confirmaciones que los nodos origen de H reciben, se configura la TR y esto constituye el espacio de operación de la PAN – POS – para ese nodo. El POS – fig.2 - y la TR – tabla 2 - del nodo B será la siguiente:

Nodo	Salto	Nodo Borde
A	1	
C	1	C
D	1	

Tabla 2. tabla de ruteo nodo B

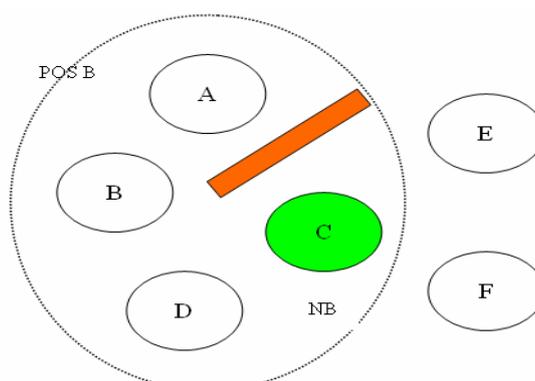


Figura 2. POS nodo B

Mientras que el POS – fig. 3 - y la TR – tabla 3 - de C será:

Nodo	Salto
B	1
D	1
E	1
F	1

Tabla 3. Tabla de ruteo nodo C

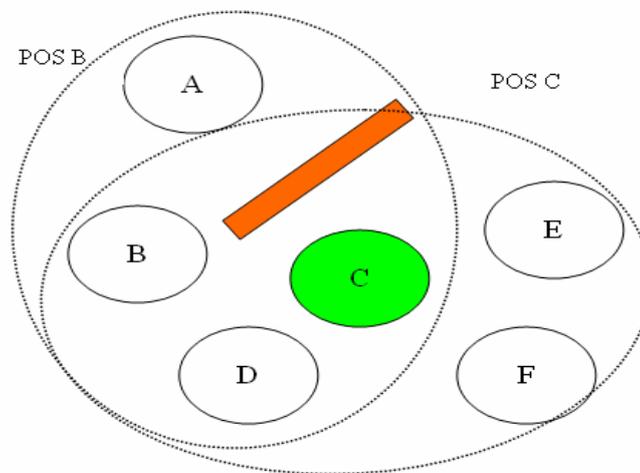


Figura 3. POS nodo C

Este proceso continúa hasta que todos los nodos en la WSN hayan descubierto a su vecino. Así se obtiene una red multi POS donde los nodos bordes actúan como ruteadores que conectan los POS.

Cuando un nodo borde recibe un paquete de dato examina la dirección de destino entonces la envía al siguiente nodo borde o al nodo destino dentro del POS.

3.5 Mantenimiento de rutas

El diseño para mantener o eliminar rutas dependerá de la calidad y/o fiabilidad de las mismas pudiéndose implementar los siguientes mecanismo, no excluyentes.

Mediante confirmaciones ACK - acknowledgment – que utiliza la capa MAC - control de acceso al medio -

Escuchando la participación de los otros nodos que conforman el POS.

Un nodo invalidará a un vecino cuando deje de recibir ACK y/o de escuchar su participación en el POS en un tiempo superior al producto de las constantes, paquetes perdidos e intervalo de transmisión.

Estas constantes pueden ser configuradas de acuerdo a las características particulares de la WSN

4 Plataforma de desarrollo

A continuación se describirá el diseño y la implementación de la herramienta de software que se está desarrollando utilizando como referencia las capas del modelo OSI y que constituye una máquina de estado finito que implementa el estándar 802.15.4, y que será nuestro banco de pruebas.

4.1 Capa física

Esta capa es la responsable de la transmisión y recepción de datos en un canal de radio. IEEE 802.15.4 ofrece tres bandas de frecuencia en las cuales operar – 2.4 Ghz, 415 Mhz y 868 Mhz – El estándar utiliza la técnica DSSS – Directo Secuence Spread Spectrum – para la transmitir la información por el medio.

La capa física provee una interfaz entre la capa MAC y el canal de radio físico vía el firmware RF y el hardware RF. Esta capa provee dos servicios:

El servicio de datos: que soporta el transporte MPDU entre entidades pares de capa MAC a través de PD-SAP y que comprende a tres primitivas.

El servicio de administración de la capa física – PLME -: a través del PLME-SAP.

En la fig. 4 se muestra esta descripción según el estándar IEEE 802.15.4.

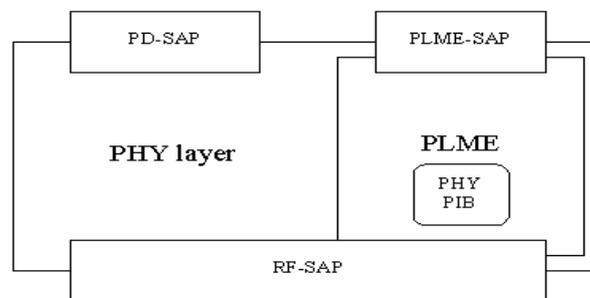


Figura 4. modelo de referencia de la capa física

4.2 Característica de la capa física que se implementa en la plataforma

Activación/desactivación del transceiver

Sondeo de canal – CCA –

Selección de frecuencia
Transmisión/recepción de datos

4.3 Concepto de primitiva

El servicio de una capa es la capacidad de ofrecer a usuarios de capas más altas servicios de capas más bajas – fig. 5-.

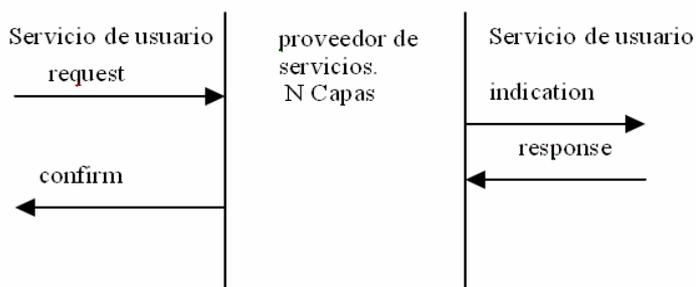


Figura 5. Servicio de primitivas según el estándar IEEE 802.15.4

4.4 Solicitud de servicio

Un servicio es especificado por la primitiva del servicio y los parámetros que la caracterizan. Un servicio puede tener una o más primitivas relacionadas que constituye la actividad que está vinculada a ese servicio. Cada primitiva puede tener ningún o más parámetros que contienen la información requerida para proveer el servicio.

Hay cuatro tipos de primitiva y pueden ser:

request: utilizada para solicitar un servicio.

Indication: utilizada para indicar un evento significativo. El evento puede estar relacionado a una solicitud de servicio remoto o a un evento interno.

Response: completa el procedimiento previamente invocado por la primitiva indication.

Confirm: lleva el resultado de una o más solicitudes de servicio

Las primitivas que se implementan en este nivel están relacionadas con la transmisión y recepción de datos, sondeo de canal que reporta la actividad en el medio, configuración y lectura de las variables que constituyen el PIB a nivel físico, y el cambio de estados del modo de operación del transceiver.

4.5 Formato de la trama a nivel físico según el estándar IEEE 802.15.4

La plataforma implementa esta trama

4 byte	1 byte	1 byte		Longitud variable
Preámbulo	SDF	7 bit	1 bit reservado	PSDU
Cabecera de sincronización		Cabecera física		PHY payload

5 Capa MAC

5.1 Sub capa MAC

La sub capa MAC del estándar 802.15.4 maneja todo el acceso al canal físico de radio y es responsable de las siguientes tareas:

- Acceso al canal
- Confirmaciones – Ack –
- Sondeo del canal
- Validación de trama

Esta capa provee una interfaz entre las capas superiores y la PHY - capa física -. La capa MAC proporciona dos servicios:

Servicios de datos: a través de MCPS-SAP

Servicio de administración: a través de MLME-SAP

Además existe una interfaz entre el MLME - Entidad de Administración de la Capa Mac - y el MCPS - Parte Común de la Sub capa Mac - que permite al MLME usar el servicio de datos de la capa MAC, en la fig. 6 se muestra este esquema según estándar.

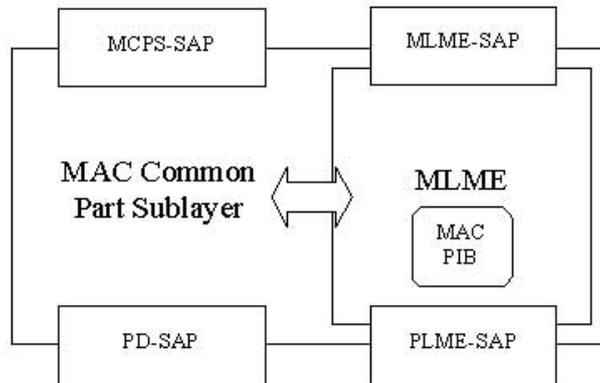


Figura 6. Esquema en bloque de la Capa MAC

5.2 Mecanismo de acceso al medio

El estándar define dos versiones del mecanismo CSMA/CA - acceso al medio sensible a la portadora con arbitrio de colisión -:

CSMA/CA ranurado: usado en modo de operación beacon

CSMA/CA no ranurado: usado en modo de operación no beacon.

En ambos casos, el dispositivo escucha el canal, si está ocupado el algoritmo hace un backoff por un periodo igual a 20 símbolos que deberá esperar antes de sondear el canal nuevamente. El sondeo del medio es utilizado para detectar la existencia de PAN antes que un dispositivo se de a conocer o para crear una nueva PAN.

La plataforma contempla e implementa el CSMA/CA no ranurado.

5.3 Modo de operación

El estándar soporta dos modos de operación: beacon y no beacon. La plataforma implementa el modo no beacon donde los dispositivos se comunican mediante el mecanismo CSMA/CA no ranurado. En este tipo de modo de operación no se utilizan superframes.

5.4 Tipos de dispositivos

El estándar define dos tipos de dispositivos:

Full Function Device –FFD -. Es un dispositivo que posee una funcionalidad completa con capacidad de operar como:

Coordinador PAN: es el principal coordinador de la PAN

Reduced Function Device –RFD-Dispositivo simple: es un dispositivo que puede actuar como ruteador o como dispositivo final
La plataforma modela dispositivos FFD-simple.

5.5 Direccionamiento del dispositivo

La norma permite dos tipos de direccionamiento:
Direcciones IEEE de 64 bit
Direcciones corta de 16 bit para reducir el tamaño del paquete.
Implementándose el direccionamiento corto.

5.6 Modo de direccionamiento

Red + identificador del dispositivo – topología en estrella -.
identificador de origen / identificador de destino – peer to peer o malla -.
PAN Origen/ PAN destino + identificador de dispositivo – cluster tree -.

5.7 Transmisión y Recepción de datos

Para la transmisión de datos los dispositivos implementa el mecanismo CSMA/CA no ranurado, En la recepción de datos cualquier dispositivo puede recibir transmisiones de otros dispositivos pero solo aceptará las tramas que estén dirigidas a él.

5.8 Tramas MAC

Existen y se implementan tres tipos de tramas MAC:
Data frame: usado para la transmisión de datos.
Acknowledgement frame: usado para confirmar la recepción exitosa de la trama.
MAC command frame: usado para controlar la entidad MAC
En la figura 10 se observa el formato general de la trama MAC y los tres tipos mencionados.

5.9 Primitivas implementadas

Las primitivas que implementa el modelo a este nivel están relacionadas con la transferencia de MSDU - Unidad de Dato del Servicio Mac - hacia y desde la capa

MAC, con la configuración y lectura de variables PIB - base de información de la PAN - de este nivel, con el reseteo de la capa MAC, con la búsqueda de canal.

6 Referencias

1. Kullik, W. Rabiner, H Balakrishman, Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks [1999]
2. C. Intanagonwiwat, R. Govidan, D. Estrin, Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks [2000]
3. W. B. Heinzelman, A Chandrakasan, H Balakrishman, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [January 2000]
4. Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey [2004]
5. Routing Protocol RFC 3626
6. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing RFC 3561
7. Dynamic Source Routing RFC 4728
8. I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey [2002]
9. Jordi U. Moltó, Rubén S. Trashorras. Algoritmo de enrutamiento en Wireless Sensor Networks [2006]

Bibliografía

Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Holger Karl, Andreas Willig, Jhon Wiley & Sons LTD, [2005].
Research Roadmap on Cooperating Objects. Pedr J Marrón, Stamatis Karnouskos, Daniel Minder and the CONET consortium [2009].