

Análisis del desempeño de una red Ad-Hoc inalámbrica móvil MANET, empleando el software NS 2.32 bajo el estándar IEEE 802.15

Johanna Gavidia, Román Lara y Gonzalo Olmedo

Resumen— En este artículo se realiza el análisis de una Red Ad-Hoc MANET Móvil bajo el estándar IEEE 802.15.4 utilizando Network Simulator 2.32 (NS) en función del *Throughput* y el Tiempo Medio parametrizados por el número de nodos para una frecuencia de 2,4 GHz y una tasa de transmisión de 250 kbps. En el canal es usado el modelo de propagación de dos rayos.

Palabras clave— IEEE 802.15.4, Ad-Hoc, *Throughput*, Delay.

I. INTRODUCCIÓN

UNA de las fases importantes en el desarrollo de proyectos de ingeniería es la simulación, ya que es una herramienta útil que permiten realizar pruebas antes de una implementación, facilitando su comprensión y detectando fallas de diseño.

El software utilizado para llevar a cabo las diferentes simulaciones realizadas en el presente trabajo es el NS 2.32, el mismo que ha sido diseñado para la investigación de redes tanto alámbricas, como inalámbricas, especializándose en el estudio de protocolos de transporte, aplicación, sesión, algoritmos de encaminamiento y control de congestión [1].

Durante los últimos años, se han realizado grandes esfuerzos en investigación en el campo de la redes móviles ad-hoc (MANET) [2], las mismas que son redes inalámbricas sin infraestructura, sin puntos de acceso, donde cada nodo hace el papel a la vez de nodo final y de ruteador, llamadas redes inalámbricas multi-salto (multi-hop).

El estándar 802.15 se especializa en el estudio de las redes inalámbricas área personal (WPAN) [3]. Dentro de este estándar existen cinco subdivisiones. En este trabajo analizamos el estándar 802.15.4 debido a las bondades que brinda para redes inalámbricas en ambientes caseros y en la industria preservando la vida útil de las baterías de los diferentes dispositivos por más tiempo, presentando un bajo consumo de energía, bajo poder y bajos costos. Al referirse a las aplicaciones de automatización residencial actualmente se cuenta con varios equipos a control remoto, desde televisores, teatros casa, DVD's, computadoras, impresoras, etc. El estándar *ZigBee* está

diseñado para satisfacer las especificaciones de estas aplicaciones sobre el estándar 802.15.4. Su función principal es proporcionar comunicaciones inalámbricas con bajas tasas de transmisión, bajo costo y bajo consumo de energía [4].

En este artículo se analizó el comportamiento de una red MANET mediante la implementación de nodos móviles empleando el estándar IEEE 802.15.4, en función del *Throughput* y del Tiempo Medio.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II está descrito el estándar IEEE 802.15.4. En la sección III describe los escenarios de simulación. Finalmente el análisis de resultados y las conclusiones son presentados en la sección IV y V, respectivamente.

II. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado en Diciembre del 2004, este se encarga de definir un protocolo de interconexión para dispositivos de comunicación de datos con baja tasa de datos, baja potencia y baja complejidad. El IEEE 802.15.4 se caracteriza principalmente por que define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) y de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN) [5].

Este estándar tiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor es el número de rutas alternas que existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino [6].

En la Fig. 1 se observa la arquitectura del estándar IEEE 802.15.4. La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. La capa de red (NWK) permite el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. La siguiente capa es la de soporte a la aplicación que es el responsable de que el nodo se mantenga filtrando paquetes a nivel de aplicación. En el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes [6]. El IEEE 802.15.4 trata las especificaciones de las dos capas inferiores, mientras que la Alianza *ZigBee* se encarga de la especificación de las capas superiores (Capa de Red y la Capa de Aplicación) de la pila del protocolo.

Johanna Gavidia, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: joa_gavidia@hotmail.com, ralara@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec

A. Capa Física

Esta capa se basa principalmente en métodos de secuencia directa de espectro extendido (DSSS), las dos capas PHY comparten la misma estructura básica de paquetes y la principal diferencia entre ellas es la banda de frecuencias, la PHY de 2,4 GHz se maneja en todo el mundo, permite un rango de transmisión de 250 kbps soporta 16 canales y opera en la banda medica, industrial y científica (ISM), ofrece costos de manufactura mas bajos, utiliza O-QPSK, tasa de símbolo de 62,5 (ksímbolos/s).

La PHY de 868/915 MHz, la de 868 MHz disponible para Europa, con una tasa de transmisión de 20 kbps soporta un solo canal y la de 915 MHz para EEUU soporta 10 canales, tiene una tasa de transmisión de 40 kbps, ofrece una solución a la congestión y las interferencias utiliza BPSK y CSMA-CA para múltiple acceso [7].

Capas Superiores de la 3 a la 7 del Modelo OSI	
IEEE 802.15.4 LLC	Otras LLC
IEEE 802.15.4 MAC	
IEEE 802.15.4 868/915 MHz PHY	IEEE 802.15.4 2400 MHz PHY

Fig. 1. Arquitectura del IEEE 802.15.4.

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado en diciembre del 2004, este se encarga de definir un protocolo de interconexión para dispositivos de comunicación de datos con baja tasa de datos, baja potencia y baja complejidad. El IEEE 802.15.4 se caracteriza principalmente por que define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) y de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN) [5].

B. Capa MAC

La capa MAC controla el acceso al canal de comunicación, el flujo a través de reconocimientos y retransmisiones. Se caracteriza por la asociación y la disociación, reconocimientos de entrega de trama, mecanismos de acceso al canal, validación de trama, garantía del manejo de las ranuras de tiempo, y manejo de guías.

El estándar ZigBee define dos tipos de dispositivos, FPD (*Full FunctionDevice*), y RFD (*ReducedFunctionDevice*). Una WPAN se forma cuando al menos dos dispositivos se comunican con un

dispositivo que actúa como FPD asumiendo el papel de un coordinador. Hay tres tipos de mecanismos de transferencia de datos entre los dispositivos de ZigBee: a partir de un coordinador a un dispositivo, de un dispositivo a un coordinador y entre los dispositivos, este tipo de comunicación es la que se utiliza en las simulaciones realizadas en el presente trabajo de investigación [8].

III. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

En la Tab.I se observa las características principales de cada escenario así como el número de nodos móviles de las ocho simulaciones realizadas, los datos que se describen en el número de enlaces son correspondientes a cada uno de los datos que se tiene en número de nodos móviles es decir, la simulación de 6 nodos posee 2 enlaces en los que se realiza transmisión y recepción de paquetes. Cabe recalcar que el tiempo de simulación es el mismo para todos los escenarios.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ESCENARIOS

Número de nodos móviles	[6 12 26 40 54 70 84 100]
Protocolo de Enrutamiento	AODV
Modelo de Propagación	TwoRayGround
Tasa de Transmisión	250 kbps
Frecuencia de Transmisión	2,4 GHz
Número de Enlaces	[2 5 13 14 27 30 41 45]
Distancia media antes del movimiento	10 m
Tipo de Tráfico	FTP
Tiempo de Simulación	300 segundos

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Throughput de la red vs. Número de Nodos

El *throughput* de la red, η , es la relación entre el número de bytes enviados y el tiempo total de simulación, y es obtenido usando la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{8Ne}{\tau} \left[\frac{bits}{s} \right], \quad (1)$$

donde η es el Ne el número de bytes enviados y τ el tiempo total de simulación.

B. Throughput real de la red vs. Número de Nodos

El *throughput* Real, η' , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\eta' = \frac{Ne(1-r)}{\tau}, \quad (2)$$

donde r es la relación entre el número de paquetes perdidos y el número de paquetes enviados.

En la Fig.2 se observa la gráfica resultante de la relación entre el *throughput* real y el número de nodos, donde se observa que *throughput* real se incrementa con el número de nodos ya que cada nodo que ingresa incrementa datos a ser transmitidos en la red.

C. *Throughput normalizado vs. Número de Nodos*

El *throughput* normalizado de la red es la relación entre el *throughput* real y el *throughput* de la red, y es dado por la siguiente expresión:

$$\frac{\eta'}{\eta} = 1 - r \tag{3}$$

La Fig. 3 muestra el *throughput* normalizado en función del número de nodos y el resultado muestra que la tasa real de transmisión considerando los paquetes perdidos, tiende a mantenerse alrededor del 89% de la tasa de transmisión.

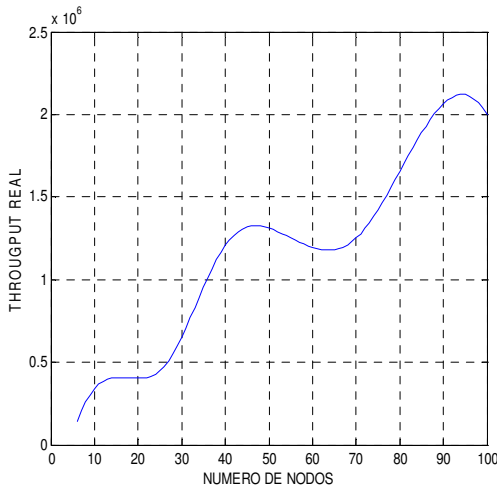


Fig. 2. Throughput Real vs. Número de nodos

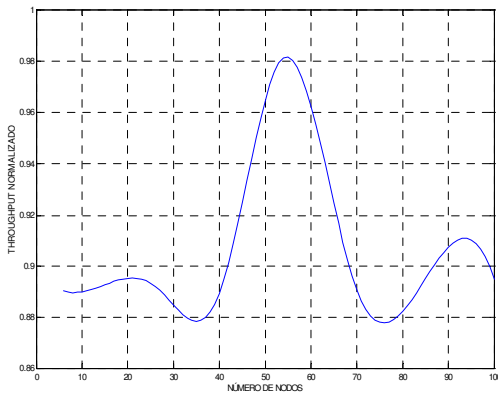


Fig. 3. Throughput Normalizado vs. Número de Nodos

D. *Throughput real vs. Número de Nodos que Transmiten*

Para obtener este parámetro se divide el *throughput* real de cada simulación para el número de nodos que se encuentran transmitiendo.

La Fig. 4 muestra que el *throughput* real presenta el mejor desempeño en la región que corresponde a 40 nodos, debido a que el sistema se estabiliza en esta región por el modelo de acceso utilizado CSMA (*CarrierSenseMultiple Access*). También se puede observar que a partir de 60 nodos la interferencia producida entre los nodos al trabajar con DSSS hace que disminuya fuertemente el *throughput*.

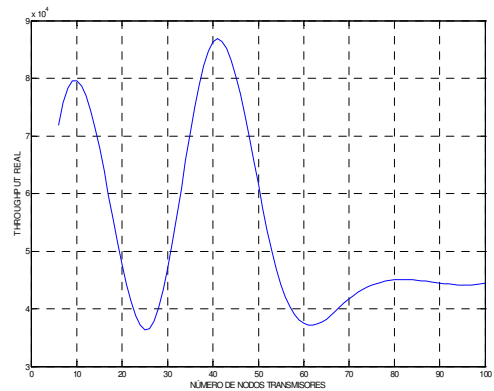


Fig. 3. Throughput real vs. Número de nodos que transmiten

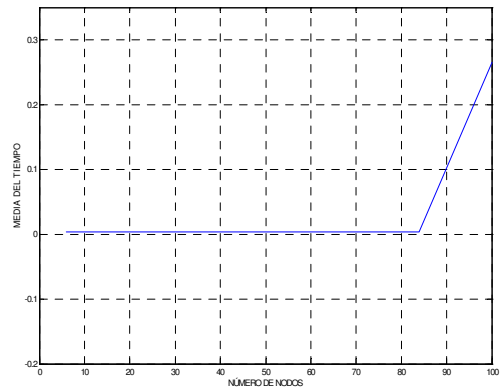


Fig. 4. Tiempo Medio vs. Número de Nodos

E. *Tiempo Medio vs. Número de Nodos*

Para cada escenario se calculó el valor medio de los retrasos de transmisión, considerando varios enlaces al mismo tiempo. La Fig. 5 muestra la relación entre el tiempo medio de transmisión y el número de nodos. Se puede observar que el sistema se comporta eficientemente hasta un máximo de 80 nodos, a partir de este punto la curva tiende a una subida extrema.

V. CONCLUSIONES

El estándar 802.15.4 representa actualmente la mejor solución para dispositivos que necesitan de bajo consumo de energía, como sensores y controladores. En el presente artículo fue analizado el estándar 802.15.4 en una red móvil, considerando una frecuencia de transmisión de 2,4 GHz y una tasa de transmisión de 250 kbps. Los resultados del *throughput* por número de nodos de transmisión mostraron que el sistema se desempeña eficientemente en un 90% con una media de 40 nodos transmitiendo a la vez, debido al sistema de acceso utilizado por el estándar. Adicionalmente, el tiempo medio de transmisión mostró que el sistema en movilidad se comporta eficientemente con un máximo de 80 nodos.

REFERENCIAS

- [1] The Network Simulator, ns-2, feb. 2009.
- [2] Mobile Ad-hoc Networks working group, <http://www.ietf.org/>, feb. 2009
- [3] Introducción a las WPAN's, <http://catarina.udlap.mx/>, marzo 2009.
- [4] Dr. José A. Gutierrez, "IEEE Std. 802.15.4 Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks", 25 de Febrero del 2009.
- [5] Estándar IEEE 802.15.4, www.catarina.udlap.mx/, feb.2009.
- [6] Valverde Rebaza Jorge Carlos, "El Estándar Inalámbrico ZigBee", Trujillo, Perú, 2007.
- [7] T.H. Woon and T.C. Wilson Wan, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Ad Hoc Wireless Sensor Networks: Simulation Approach, Taipei", Taiwan Octubre 8 del 2006,
- [8] Khaled Shuaib, Maryam Alnuaimi, Mohamed Boulmalf, Imad Jawhar, Farag Sallabi and Abderrahmane Lakas, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4: Experimental and Simulation Results", UAE University.