

Análisis del Desempeño del Protocolo de Enrutamiento DSR bajo Diferentes Modelos de Movilidad

Miguel Saumett León* / Harold Enrique Castro Barrera**

RESUMEN

Una MANET (Mobile Ad Hoc Network) está conformada por un conjunto de dispositivos móviles que se interconectan para enviar y recibir información sin necesidad de una infraestructura establecida. Esta característica genera problemas a nivel de enrutamiento que son objeto de investigación. Dentro los protocolos propuestos para solucionar éste problema encontramos DSR (Dynamic Source Routing), el cuál se desempeña de manera eficiente y óptima en escenarios donde la cantidad de nodos para un espacio reducido lo hace ser una buena elección, mientras que para áreas extensas donde la concentración de nodos es menor lo hace poco eficiente para enviar y recibir datos entre dos nodos que se estén comunicando.

Palabras clave: MANET, modelos de movilidad, DSR, enrutamiento, simulación

PERFORMANCE ANALYSIS OF DSR ROUTING PROTOCOL UNDER DIFFERENT MOBILITY MODELS

ABSTRACT

A MANET (Mobile Ad hoc Network) is made up by a set of mobile devices interconnected to send and receive information without an established infrastructure. This characteristic poses routing problems which are the research object. Regarding the different protocols proposed to solve this problem, the DSR (Dynamic Source Routing) evolves efficiently and optimally in scenarios where the amount of mobility nodes for a reduced space is a good election; whereas, for larger areas, where the concentration of nodes are smaller, it is less efficient to send and receive data between two nodes that are communicating.

Key words: MANET, Mobility Models, DSR, Routing, Simulation

* Ingeniero de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia.

** Ingeniero de Sistemas. Universidad de los Andes. MSc Institut National Polytechnique de Grenoble, INPG, Francia; PhD Institut National Polytechnique de Grenoble, INPG, Francia. Profesor Asociado Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Sistemas y Computación. Correo electrónico: hcastro@uniandes.edu.co

Fecha de envío: 2 de marzo de 2007

Fecha de aceptación: 23 de marzo de 2007

INTRODUCCIÓN

En este artículo MANET es una red sin infraestructura definida, de nodos móviles que se interconectan a través de dispositivos inalámbricos. Dichos nodos se interconectan entre ellos para intercambiar información a través de una red inalámbrica llamada Red *ad hoc*, en la cual pueden unirse o retirarse libremente los nodos participantes. Los nodos participantes desempeñan distintos roles según la funcionalidad necesaria, así en un momento determinado un nodo puede ser un emisor de un mensaje o sencillamente un elemento intermedio que retransmite un mensaje para que llegue al nodo destino.

Uno de los principales problemas que deben afrontar estas redes es el enrutamiento de mensajes a través de una infraestructura dinámica. En una red donde los nodos cambian continuamente de posición, la estrategia de enrutamiento para que un mensaje llegue desde un nodo origen hasta un nodo destino debe adaptarse a los continuos cambios en la disponibilidad de los enlaces que unen estos nodos. Estrategias venidas del mundo alambreado (i.e. estado de enlace –OSPF- y vector distancia –RIP- (Abolhasan *et al.*, 2004)) no son aplicables ya que éstas están basadas en la estabilidad de las rutas generadas. Las actualizaciones continuas de rutas retardarían la convergencia de los algoritmos consumirían de manera significativa el ancho de banda para transmisiones, incrementando la contención por el canal y podrían requerir la recarga continua de la unidad de potencia de los nodos participantes en una MANET.

Como respuesta a estos inconvenientes, en 1994 Johnson y Maltz plantean el protocolo DSR (*Dynamic Source Routing*). Este protocolo, con sus mejoras, se ha convertido en un estándar de facto y actualmente se encuentra como un borrador para aprobación por parte del *Internet Engineering Task Force* (IETF, 2004). DSR, al contrario de los protocolos OSPF o RIP, que operan proactivamente, funciona con una

estrategia reactiva, de tal forma que cuando un nodo necesita enviar un mensaje a un destino, solicita la ruta y ésta se construye de manera completamente dinámica antes de enviar los paquetes de datos sobre la red. Con esta estrategia se evitan los paquetes periódicos de enrutamiento entre los nodos.

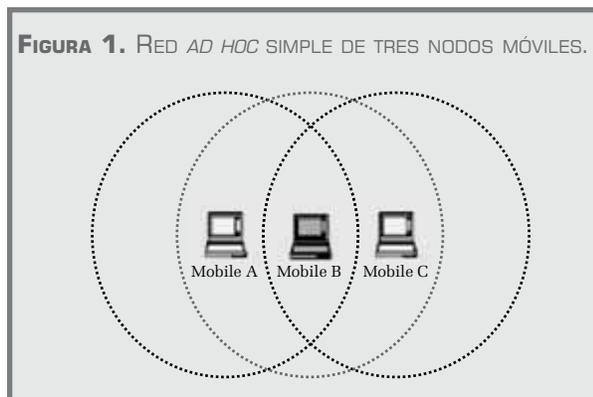
La mayoría de los trabajos que miden el desempeño del protocolo DSR utilizan un modelo de movilidad aleatorio (Johnson y Maltz, 1994; Johnson *et al.*, 2001; Du, 2002), y es un hecho, de acuerdo a los resultados obtenidos en tales trabajos, que DSR se desempeña de una forma adecuada en dichos escenarios. La principal motivación para realizar esta investigación consiste en verificar si esto mismo es cierto utilizando otros modelos de movilidad presentes en aplicaciones que se vislumbran como de gran potencial para las redes MANET. Abou (2005) presenta varios ejemplos donde las redes MANET están incursionando exitosamente en ámbitos comerciales, de manejo de crisis vehiculares, militares, metropolitanos, personales (PAN) y *Mesh*. Dado que el desplazamiento y la posición de los nodos son decisivos a la hora de medir el desempeño del protocolo, el objetivo es analizar cómo se comportaría DSR en estas aplicaciones potenciales. Por ejemplo, aplicaciones militares en las cuales cada entidad (soldado, avión, tanque) posee dispositivos inalámbricos a través de los cuales se puede interconectar para enviar mensajes de datos. Un ejemplo distinto es el que se podrá observar a medida que los fabricantes de dispositivos inalámbricos y móviles (computadores portátiles, celulares, PDAs, iPods, etc.) logren ofrecer estos equipos con conectividad inalámbrica y a bajo costo, ya que las redes *ad hoc* se harán entonces más populares, y cada usuario podrá establecer redes de datos temporales de corto o mediano alcance con dispositivos cercanos para intercambiar información.

A continuación se presenta una descripción del protocolo en su concepción básica y las mejoras introducidas al mismo. Después se muestran los modelos

de movilidad utilizados para las simulaciones y las posibles aplicaciones potenciales del protocolo DSR que fueron analizadas. Luego se presentan las simulaciones y los resultados obtenidos de las mismas. Para finalizar las conclusiones y propuestas para trabajos futuros.

DSR

El protocolo DSR de enrutamiento es presentado por Johnson y Maltz (1994) como una solución al problema de enrutamiento en MANETs. En DSR para que un nodo envíe un paquete a un destino dentro de la red debe construir una ruta completa hasta el destino y agregarla al encabezado del paquete. Así, cada nodo que recibe el paquete verifica si es el destino final para el paquete y, en caso contrario, simplemente reenvía el paquete al próximo nodo en la ruta. El protocolo se adapta rápidamente a cambios de enrutamiento cuando el nodo se mueve frecuentemente, requiriendo muy poca o ninguna sobrecarga durante los períodos en los cuales el movimiento del nodo es menos frecuente (Figura 1).



Cada nodo móvil mantiene una tabla de rutas llamada la tabla de rutas, o *route cache*, desde la cual el nodo intentará obtener una ruta al nodo destino al cual desea enviar información. En caso de que no haya una ruta actual a ese destino, se inicia un proceso de descubrimiento de ruta conocido como *route discovery*. Esta tabla de rutas es constantemente mo-

nitoreada para detectar rutas rotas o inválidas y corregirlas a través de un proceso conocido como *route maintenance*, o mantenimiento de la ruta.

Mientras un nodo busca una ruta, los paquetes que necesitan ser enviados pueden ser mantenidos en un buffer o pueden ser descartados, delegando la tarea de detección de pérdidas de paquetes y solicitudes de retransmisión a los protocolos de capas superiores.

DESCUBRIMIENTO DE RUTA

Como ya se mencionó, cuando un nodo origen S quiere enviar un mensaje para un destino D, S debe indicar en el encabezado del paquete la ruta completa que el paquete debe seguir para alcanzar D. Para tal fin, S en primer lugar busca en su tabla caché una ruta a D y si no la encuentra inicia un proceso conocido como descubrimiento de ruta.

Para indicar a sus vecinos la necesidad de encontrar una ruta, S envía un *broadcast* con un mensaje *Route Request* el cual contiene las identificaciones del nodo origen y destino y una identificación única de solicitud, la cual se utiliza para evitar contestar paquetes repetidos con solicitudes de rutas que ya han sido contestadas.

Cuando un nodo recibe un *Route Request*, verifica si es el nodo destino que se está buscando, caso en el cual retorna un mensaje *Route Reply* al nodo iniciador del *Route Request* (S). Para devolver este paquete *Route Reply*, el destino D debe devolver el paquete por la ruta inversa a la indicada en el paquete *Route Request* en el caso en que los enlaces entre los nodos sean simétricos, o si la red maneja enlaces asimétricos, el nodo D debe utilizar su caché o iniciar su propio proceso de descubrimiento de ruta hacia el nodo S. Para incrementar el desempeño del protocolo se puede hacer *piggyback* de la información de la ruta en el paquete *Route Request* de D.

Finalmente, para reducir la sobrecarga de red ocasionada por los paquetes *Route Discovery* cuando un nodo trata de alcanzar a un nodo que se hizo completamente inalcanzable, se utiliza un mecanismo de *back off* exponencial por medio del cual le limita el número de *Route Requests* enviados por un nodo en busca del mismo destino.

MANTENIMIENTO DE LA RUTA

Dada la movilidad de los nodos, las rutas pueden cambiar rápidamente y convertirse en no válidas. Durante una transmisión en DSR, cada nodo intermedio debe recibir un acuse de recibo ACK activo o pasivo que garantice que el mensaje ha sido recibido por el siguiente nodo. Si no se recibe confirmación de que el paquete ha sido recibido en el nodo siguiente de la ruta, tras un número máximo de intentos, el nodo que es responsable de la entrega del paquete en el siguiente nodo debe devolver un *Route Error* al nodo emisor del paquete indicando el enlace por el cual no ha podido ser encaminado el paquete.

Cuando el nodo emisor recibe el *Route Error* elimina de su caché la ruta que ocasionó el error y adicionalmente todas las rutas que contienen el nodo que falló.

OPTIMIZACIONES

Johnson *et al.* (2001) presentan las optimizaciones que pueden reducir el número de paquetes de sobrecarga por enrutamiento y que pueden mejorar la eficiencia promedio para las rutas usadas por los paquetes de datos.

1. Un nodo intermedio puede aprender de los *Route Request* o *Route Reply* que escuche.
2. Un nodo intermedio puede responder a mensajes *Route Request* usando la información de la caché.

3. Limitar por medio de un contador el número de nodos a los que se propaga un mensaje *Route Request*.
4. Recorte automático de la ruta cuando un nodo se ha movido y detecta que con su nueva posición se acorta la distancia entre dos nodos.
5. Salvar el paquete para que además de enviar la notificación *Route Error* se utilice información del nodo para intentar redirigir el paquete.
6. Propagación mejorada de mensajes *Route Error* por medio de un *piggy-backing* de estos mensajes en el próximo paquete *Route Request*.

APLICACIONES PROPUESTAS Y MODELOS DE MOVILIDAD

APLICACIONES SOBRE MANET

La necesidad de establecer algunas configuraciones de referencia del mundo real refleja algunas de las diferentes aplicaciones MANET que existen. Se han desarrollado una serie de aplicaciones que representan diferentes escenarios cada uno con ciertas características que se asocian a un modelo de movilidad.

El único límite para las posibles aplicaciones de redes inalámbricas *ad hoc* es la imaginación. No obstante, existen aplicaciones que son examinadas y clasificadas. A continuación se presentan las categorías de aplicaciones estudiadas por Abou (2005) y sus características de movilidad para luego identificar el patrón más adecuado a cada una de ellas.

APLICACIONES COMERCIALES Y DE NEGOCIO

En situaciones donde la movilidad es alta, como en la cobertura de un escenario, en la cual el medio y la audiencia siguen a uno o varios locutores. Los nodos móviles pueden viajar grandes áreas pero usualmen-

te lo hacen juntos. Por lo general hay más usuarios que servicios disponibles. Más aún, muchos usuarios pueden necesitar el mismo grupo de servicios simultáneamente. En este tipo de aplicaciones grupos de reporteros, cámaras y presentadores mantienen distancias y movimientos aleatorios con respecto a los otros, mientras siguen un evento o un locutor.

Se pueden dar situaciones de baja movilidad como presentaciones a los clientes de la oficina, reuniones en la sala de juntas y conferencias colaborativas donde los asistentes comparten recursos. En estas, los nodos móviles permanecen estáticos la mayor parte del tiempo. El movimiento no es frecuente y cuando ocurre, los nodos viajan a bajas velocidades en áreas pequeñas. El número de usuarios y servicios es casi igual.

PERSONAL AREA NETWORKING APPLICATION (PAN)

Con la desarrollo de diferentes dispositivos inalámbricos para la casa y oficina se han eliminando los cables lo que permite por ejemplo que equipos como PDA's puedan controlar la calefacción, teléfono, TV y sistemas de alarmas. Hay típicamente más servicios que usuarios y los nodos viajan a bajas velocidades en áreas pequeñas.

REDES RESIDENCIALES MESH

Este tipo de redes se establecen de forma cooperativa entre diferentes dispositivos de red para brindar acceso a servicios a diferentes usuarios dentro de un área residencial donde los dispositivos sirven de puente para enviar y recibir información. En esta los nodos móviles permanecen estáticos la mayor parte del tiempo.

APLICACIONES VEHICULARES

Vehicle-Roadside networking: vehículos comunicándose con otros para proveer un sistema activo de

seguridad, por ejemplo, información en tiempo real de congestión y enrutamiento del tráfico por medio de las estaciones montadas en la vía. Las redes usualmente son bastante distribuidas, con muchos servicios duplicados y los nodos se desplazan a altas velocidades en grandes áreas.

Vehicle-Passenger Networking: un pasajero que trabaja con la red desde un automóvil. Un "Carro oficina" que puede tener fax, teléfono y una impresora que un pasajero puede desear usar vía PDA o portátil. Como las redes son usualmente pequeñas, en términos de área espacial y el número de nodos, el movimiento es muy limitado.

APLICACIONES DE MANEJO DE CRISIS

Cuando se tienen objetivos casi estáticos como en operaciones de Incendio/Seguridad/Rescate en las cuales los escenarios son de pocos nodos y abarcan grandes áreas. Aquí los nodos están usualmente lejos unos de otros y el grupo de rescate usualmente se divide en partes iguales para encontrar el objetivo.

Aparece también en persecuciones donde vehículos policiales tratan de capturar a un criminal que ha escapado: los nodos están constantemente siguiendo a los otros a grandes velocidades. En el modelo de movilidad de persecución, usualmente los carros de policía involucrados en persecuciones a altas velocidades no se mueven aleatoriamente dentro del área de referencia porque su principal objetivo es atrapar al criminal.

APLICACIONES MILITARES

Existen dos tipos: movimiento organizado y movimiento continuo inesperado; un ejemplo del primer tipo es la comunicación entre soldados y la estación base durante una marcha militar. Aunque las redes son grandes, los nodos están bastante cerca uno de otro, usualmente organizados en columnas

formadas que viajan con velocidades similares y formadas. El número de usuarios y servicios está bien balanceado.

El movimiento continuo es el que se presenta durante la comunicación entre soldados, vehículos, helicópteros y estaciones base durante una situación de combate. Los nodos en este escenario están en un movimiento aleatorio constante impredecible con bastante velocidad y viajan grandes áreas espaciales. Muchos nodos constituyen la red por lo que hay más usuarios que servicios disponibles, usualmente varios usuarios requieren servicios simultáneamente.

APLICACIONES METROPOLITANAS

Se trata de proponer un escenario que represente la forma en que se desplazan los nodos a través de calles y carreras y como se establecen de acuerdo a su movimiento los enlaces para intercambiar información. En estas aplicaciones los nodos se mueven inesperadamente con velocidades y direcciones independientes de las direcciones y velocidades pasadas, generando paradas sorpresivas y marchas inesperadas.

La Tabla 1 resume las características de movilidad de las aplicaciones presentadas.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE MOVILIDAD DE LAS APLICACIONES PROPUESTAS

	Aplicación	Características
Negocios y comercial	Evento	Velocidad humana, largas pausas.
	Conferencia	Velocidad humana, pausas largas.
Redes de hogar	Personal Área Network Home	Velocidades muy bajas, pausas muy largas.
Redes Mesh	Residential Mesh Networks	Casi estáticas; velocidades muy bajas con pausas largas.
Aplicaciones a vehículos	Vehicle-Roadside	Velocidad de vehículo moderada, pausas cortas.
	Vehicle-Passenger	Casi estático, velocidades muy bajas con pausas moderadas.
Administración de crisis	Rescate	Velocidad humana y de vehículo baja, pausas moderadas.
	Persecución	Velocidades altas, no hay pausas.
Aplicaciones militares	Marcha	Velocidad humana, sin pausas.
	Combate	Alta velocidad, sin pausas.
Aplicaciones Metropolitanas	Maniatan Grid	Velocidades de vehículo variables, pausas moderadas.

MODELOS DE MOVILIDAD PARA APLICACIONES SOBRE MANET

Los modelos de movilidad intentan reflejar las situaciones descritas anteriormente. A continuación se presentan los modelos más frecuentemente utilizados en la literatura (Abou, 2005).

MODELO *RANDOM WALK*

Es un modelo de movilidad simple basado en direcciones y velocidades aleatorias. Un nodo móvil se mueve

de su actual ubicación a una nueva ubicación seleccionando aleatoriamente una dirección y velocidad para viajar. Es un modelo sin memoria, en donde no se tiene conocimiento de localizaciones pasadas ni recuerdo de los valores de velocidad. Si un nodo móvil alcanza los límites del área de simulación, entonces este rebota con un ángulo igual al ángulo de incidencia y el movimiento continúa en la nueva dirección. Cuando el parámetro que cambia, ya sea la dirección o la velocidad en un nodo, es pequeño, el patrón de movimiento resulta en un movimiento restringido a una pequeña porción de área dentro del área de simulación.

MODELO *RANDOM WAYPOINT*

El modelo de movilidad *Random Waypoint* incluye pausas entre cambios de dirección y/o velocidad. Un nodo móvil comienza en una localización en un determinado período de tiempo, es decir una pausa. Una vez que el tiempo expira, el nodo móvil escoge un destino aleatorio y una velocidad uniformemente distribuida. Luego el nodo móvil viaja hacia el nuevo destino con la velocidad seleccionada. Cuando llega el nodo móvil hace una pausa en un período específico de tiempo antes de empezar de nuevo el proceso

MODELO *RANDOM DIRECTION*

Este modelo fue creado para superar el defecto del modelo de movilidad *Random Waypoint*. Un nodo móvil que use el modelo de movilidad *Random Waypoint* generalmente usa nuevos destinos y la probabilidad de escoger un nuevo destino que este localizado en el centro del área de simulación, o que viaje a través de la mitad del área de simulación, es alta. Para solucionar este tipo de comportamiento y proveer un número relativamente constante de vecinos, se desarrollo el modelo de movilidad *Random Direction*.

En este modelo, los nodos móviles escogen una dirección aleatoria en lugar de un destino aleatorio. Después de escoger una dirección aleatoria, un nodo móvil viaja hacia el límite del área de simulación en esa dirección. Tan pronto alcanza el límite, el nodo se detiene por un cierto período de tiempo, escoge otra dirección angular (entre 0 y 180 grados) y continúa el proceso.

MODELO DE GRUPO CON PUNTO DE REFERENCIA

El modelo de movilidad con punto de referencia representa el movimiento aleatorio de un grupo de nodos móviles así como el movimiento aleatorio de cada nodo móvil dentro del grupo. Los movimientos

de grupo son basados en el camino que recorre un centro lógico del grupo. El centro lógico del grupo se calcula usando un vector de movimiento de grupo, GM. El movimiento del centro del grupo caracteriza completamente el movimiento de su grupo correspondiente incluyendo su dirección y velocidad. Los nodos móviles individuales se mueven de manera aleatoria alrededor de sus propios puntos de referencia predefinidos, cuyos movimientos dependen del movimiento del grupo. Tan pronto como los puntos individuales de referencia se mueven del tiempo t al tiempo $t+1$ sus ubicaciones se actualizan de acuerdo con un centro lógico.

El modelo *rpgm*, como se conoce este modelo, fue diseñado para ilustrar escenarios como rescates de avalanchas. Durante un rescate de avalancha el equipo de rescate consiste en humanos y caninos que trabajan de manera cooperativa. Los guías humanos tienden a mostrar un camino para que los caninos los sigan, ya que estos conocen la ubicación aproximada de las víctimas. Los perros crean sus propios caminos aleatorios alrededor del área general que es escogida por los humanos.

MODELO EN CIUDAD (*MANHATTAN GRID*)

En el modelo de movilidad de ciudad, el área de la simulación es una red de calles que representan una parte de una ciudad donde existe una red *ad hoc*. Las calles y los límites de velocidad están basados en el tipo de ciudad que está siendo simulada. Por ejemplo, las calles pueden formar una rejilla en el centro de la ciudad con una autopista cerca al borde de la simulación para representar una avenida que rodea la ciudad. Cada nodo móvil empieza la simulación en un punto definido en alguna calle.

Luego de la iniciación un nodo móvil escoge un lugar representado por un punto en una calle. El algoritmo que define el movimiento de la ubicación localiza una ruta correspondiente al camino más corto entre los

dos puntos y adicionalmente características como límite de velocidad y distancia mínima permitida entre dos nodos móviles. Cuando el nodo llega a su destino, el nodo móvil se detiene por un tiempo específico,

luego elige aleatoriamente otra ubicación dentro de la ciudad y comienza el proceso de nuevo.

La Tabla 2 resume las características de los modelos de movilidad presentados.

TABLA 2. MODELO DE MOVILIDAD Y PARÁMETROS PARA LAS APLICACIONES

Aplicación	Modelo de movilidad	Veloc.	Pausa
Evento	Nomadic (RPGM)	0.50	60
Conferencia	Random Waypoint	0.60	60
PAN Home	Random Waypoint	0.30	60
Mesh	Random Waypoint	0.30	250
Vehicle-Roadside	Random Waypoint	14.00	10
Vehicle-Passenger	Random Waypoint	0.60	30
Rescate	Random Direction	5.00	30
Persecución	Pursuit (RPGM)	20.00	0
Marcha	Column (RPGM)	1.00	0
Combate	Random Walk	20.00	0
Aplicación Metropolitana	Manhattan Grid	50.00	0.25

SIMULACIÓN

Las simulaciones fueron realizadas utilizando la herramienta de simulación de redes NS-2 versión 2.1b9a, instalada bajo la distribución de Linux Suse 9.

Para validar los resultados de las simulaciones de las aplicaciones propuestas, primero se recrearon las mismas condiciones en lo referente a parámetros y escenarios que usaron Johnson y Maltz (1994) y Johnson *et al.* (2001) en sus estudios, para verificar que nuestros resultados coincidían con los de ellos. En estas pruebas se tienen los siguientes parámetros de velocidad: 1m/s y 20m/s, tamaño de paquete: 64B y 1024B, flujos de transmisión: 10, 20 y 30, pausas: 0, 30, 60, 120, 300, 600 y 900 y el número de corridas de cada escenario: 10.

De cada combinación de parámetros se produce un escenario específico, además se aplicaron otras métricas sobre estos resultados para poder hacer una

comparación global entre las aplicaciones propuestas y el trabajo previo de Jhonson y Maltz que no incluían en sus publicaciones. Por este motivo se llevaron a cabo 840 simulaciones, resultantes de la combinación en la variación en los parámetros antes mencionados. Los resultados corresponden al promedio de las 10 simulaciones.

SUPUESTOS

Todas las simulaciones fueron realizadas bajo los siguientes supuestos:

- Las tarjetas de red de los todos nodos funcionan en modo promiscuo, esto con el fin de utilizar *ack* pasivos.
- Los canales de transmisión de datos son unidireccionales, esto es, un nodo fuente transmite datos a un destino, sin que éste le retorne confirmación u otro paquete de datos.

- Los canales de transmisión de paquetes de enrutamiento son bidireccionales, de tal forma que todos los nodos envían y reciben información de enrutamiento para actualizar su tabla de rutas.

PARÁMETROS USADOS

Todas las simulaciones fueron realizadas con los siguientes parámetros:

- Redes de 50 nodos móviles.
- Modelo de movilidad *Random Waypoint*.
- Área de simulación rectangular (1500 x 300m).
- Duración de cada simulación: 900 segundos.
- Fuentes de datos *Constant Bit Rate* (CBR).
- Fuentes de tráfico de 10, 20 y 30 nodos móviles.
- Tasa de cuatro paquetes/segundo.
- Velocidad 1 m/s y 20 m/s.
- 10 simulaciones por escenario.
- Tiempo de pausa de 30, 60, 120, 300, 600 y 900.
- Paquetes de 64 Bytes y 1024 Bytes.
- Las características físicas de radio se aproximan a una interfaz Lucent WaveLAN (Tuch, 1993).
 - o Tasa nominal de bits: 2Mbps
 - o Rango nominal de radio: 250m.
 - o Buffer de envío de 64 paquetes.
 - o TTL dentro del buffer: 30s.
 - o Máximo tamaño de la cola de interfaz: 50 paquetes.
 - o Tipo de servicio de cola: FIFO.

PARÁMETROS DE LAS APLICACIONES

En la Tabla 3 se resumen los escenarios propuestos y los parámetros utilizados en cada uno de ellos de acuerdo con Abou (2005).

TABLA 3. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LAS APLICACIONES

Aplicación	Modelo de movilidad	Veloc.	Pausa	Área	Nodos	Fuentes
Evento	Nomadic (RPGM)	0.50	60	600m X 600m	40	30
Conferencia	Random Waypoint	0.60	60	50m X 30m	40	20
PAN Home	Random Waypoint	0.30	60	300m X 300m	20	20
Mesh	Random Waypoint	0.30	250	3000m X 3000m	300	100
Vehicle- Roadside	Random Waypoint	14.00	10	1500m X 1500m	80	40
Vehicle-Passenger	Random Waypoint	0.60	30	10m X 3m	6	6
Rescate	Random Direction	5.00	30	1500m X 1500m	100	20
Persecución	Pursuit (RPGM)	20.00	0	1500m X 1500m	10	10
Marcha	Column (RPGM)	1.00	0	1500m X 1500m	50	50
Combate	Random Walk	20.00	0	3000m X 3000m	250	100
Aplicación Metropolitana	Manhattan Grid	50	0.25	1500m X 1500m	200	200

MÉTRICAS

Los cinco parámetros importantes a ser evaluados fueron:

- El porcentaje de paquetes entregados: es el porcentaje de paquetes generados por las fuentes CBR y que son efectivamente entregados en los destinos.
- Promedio de retardo, punta a punta, de paquetes de datos: esto incluye los posibles retardos causados por almacenamiento (*buffer*), durante el retardo de descubrimiento de ruta, la cola en la inter-

faz, el retardo de retransmisión en la capa MAC y por los tiempos de retransmisión y transferencia.

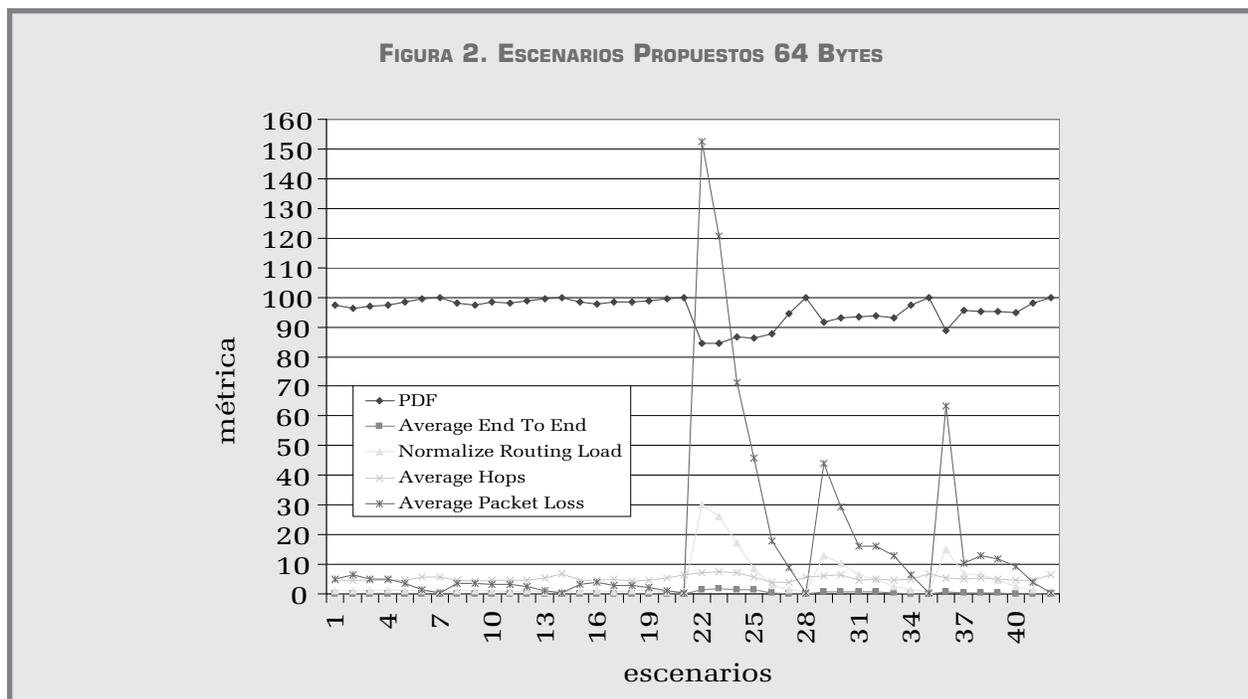
- Carga de enrutamiento normalizada: este es el número de paquetes de enrutamiento transmitidos por paquete entregado en el destino.
- Saltos promedio: es una medida de cuántos saltos necesitó el paquete antes de realmente alcanzar el destino. El número de saltos es calculado con base en los paquetes de datos y de enrutamiento.
- Pérdida de paquetes: razón de paquetes transmitidos que han sido descartados o perdidos en la red. Esta toma en cuenta los paquetes que son descargados después de varios intentos predeterminados de retransmisión y, por supuesto, los paquetes que se pierden por ciclos. Adicionalmente, esta métrica puede ser debida a muchos factores variables como la calidad del enlace, desbordamiento de *buffers* e información de enrutamiento desactualizada.

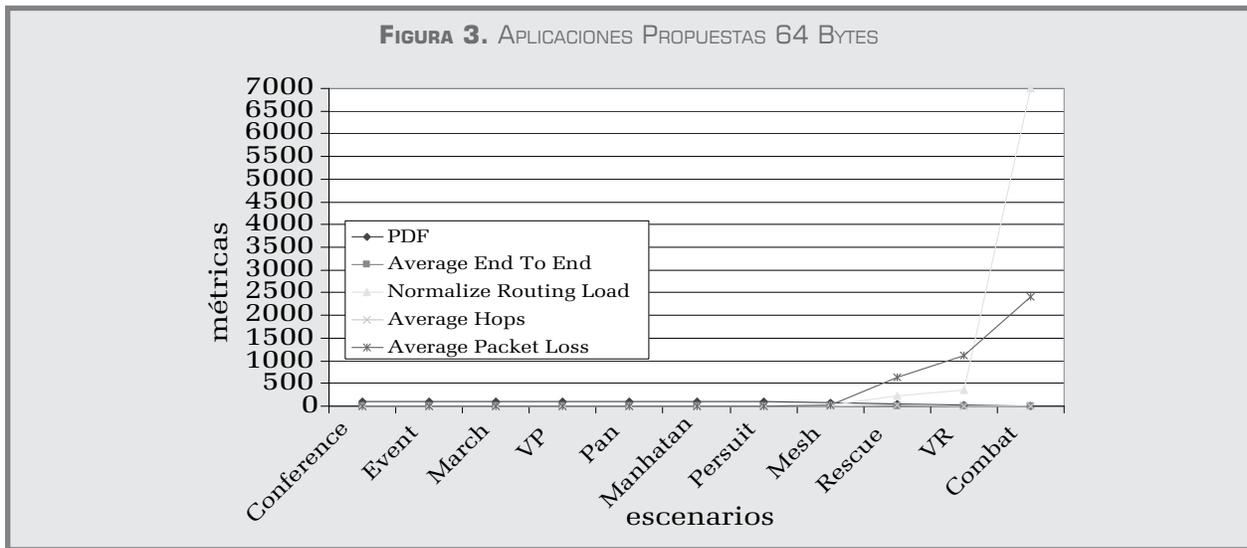
RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados que se consideraron más relevantes para demostrar el desempeño de DSR.

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA APLICACIONES

Los resultados presentados serán analizados de acuerdo a las métricas propuestas, para esto se comparan los resultados obtenidos de acuerdo a los trabajos previos realizados por Johnson y Maltz (1994) y Johnson *et al.* (2001) en donde se obtuvieron de acuerdo a los parámetros usados un total de 42 escenarios posibles, en los cuales se va a observar el comportamiento de cada una de las métricas para determinar con respecto a las aplicaciones propuestas cuáles se ajustan más al comportamiento del protocolo DSR. Para esto se hizo una división por tamaño del paquete, que en este caso es de 64 Bytes y 1024 Bytes.

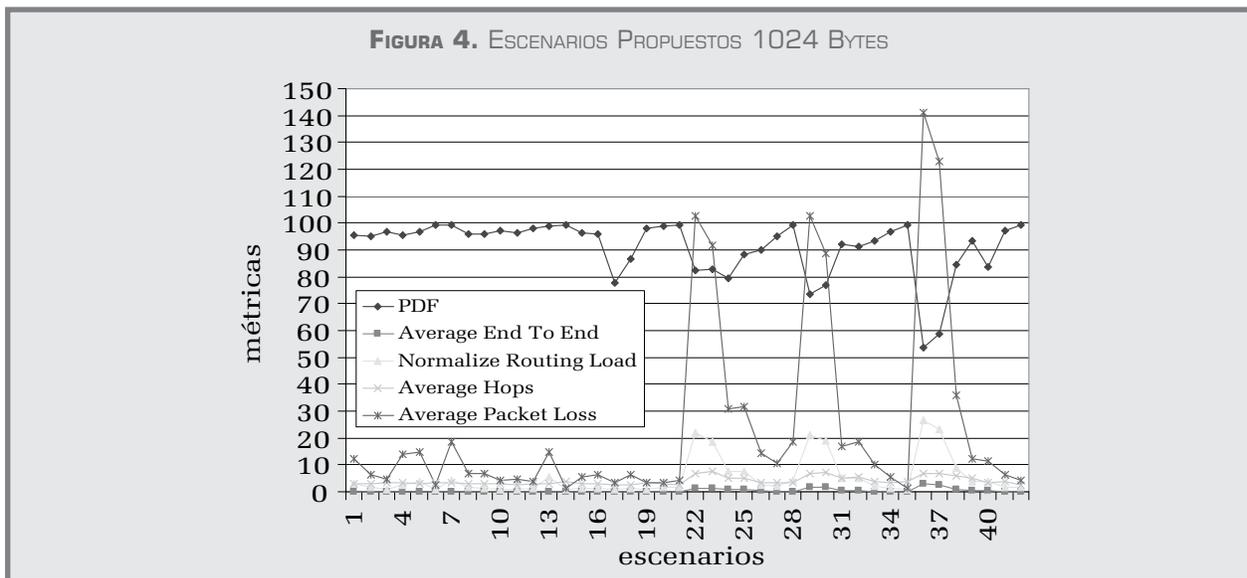


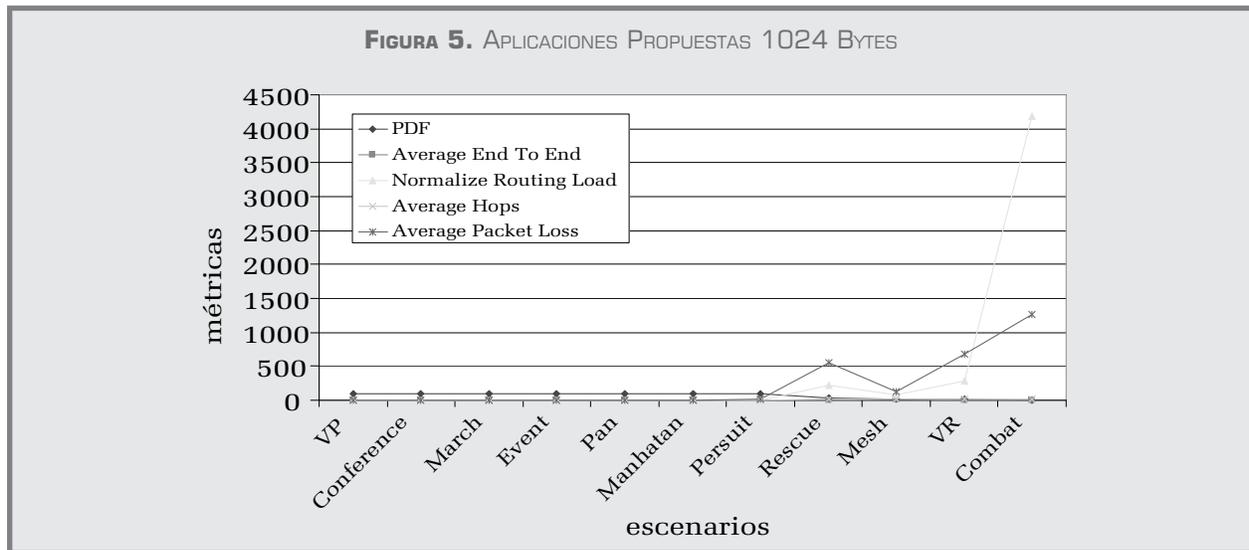


Comparando el comportamiento de cada una de la métricas de la Figura 2 con la Figura 3 se puede apreciar para la métrica de PDF que en las aplicaciones de Conferencia, Evento, Marcha, *Vehicle-Passenger*, PAN, Aplicación Metropolitana y Persecución presenta un comportamiento similar al que se plantea en los escenarios propuestos al igual que en las otras métricas que se usaron. No siendo así para aplicaciones como *Mesh* en la cual se nota un ligero desvío en el comportamiento con respecto al que se plantea en la Figura 2. Mientras que en las aplicaciones

de Rescate, *Vehicle-Roadside* y Combate se tiene un comportamiento totalmente fuera de lo que se plantea como un comportamiento del protocolo DSR.

Si se observan los parámetros de las aplicaciones cuyas métricas no están dentro del comportamiento propuesto para DSR, se tiene que la velocidad en estas aplicaciones está entre 14m/s y 20m/s aunque, si se observa la Figura 2 los escenarios propuestos a partir del 21 reflejan un comportamiento elevado y oscilante en lo que respecta a la carga de enrutamiento normalizada y pérdida de paquetes.





Observando el comportamiento de cada una de las métricas de la Figura 4 contra la Figura 5 se tiene que las aplicaciones que están dentro del comportamiento propuesto por DSR son: Vehicle-Passenger, Conferencia, Marcha, Evento, PAN, Aplicación Metropolitana y Persecución. Mientras que Rescate, Mesh, Vehicle- Roadside y Combate se encuentran fuera de este comportamiento.

Comparando los parámetros de las aplicaciones propuestas contra los escenarios propuestos se tiene que el número de nodos con respecto al número de fuentes esta por debajo del 50%, sumado al hecho que estas se plantean para que se desarrollen en áreas extensas.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron se puede hacer una primera aproximación a las posibles aplicaciones, que estando dentro de las métricas obtenidas anteriormente, pueden asegurar que el desempeño del protocolo de enrutamiento DSR es el más aconsejado.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que las aplicaciones donde mejor se comportó el protocolo de enrutamiento DSR son

aquellas en las cuales se favorece el establecimiento de rutas de datos cortas que tienen ciertas condiciones como un área de simulación reducida, una concentración de nodos alta dentro de esa área y en donde el movimiento de los nodos hace que estos no estén separados por grandes distancias entre sí, lo cual favorece que no se rompan las rutas por un lado y por el otro que al estar más cerca hace que la ruta que recorra un paquete a su destino sea más corta y con menos posibilidades de fallas.

El DSR, por su naturaleza de protocolo reactivo, hace que cada vez que transmita un paquete de datos deba armar la ruta al destino y colocarla en el encabezado de paquete, lo cual es bastante desventajoso en aplicaciones donde las condiciones hacen que se presente una sobrecarga de enrutamiento, como consecuencia de tener que armar rutas más largas que implican un encabezado de tamaño considerable, así como tablas de enrutamiento de mayor magnitud.

Con base en la comparación de las diferentes métricas para cada una de las aplicaciones propuestas se puede tener un primer acercamiento de las condiciones en las cuales es más óptimo el uso del protocolo DSR, pero no hay que caer en una clasificación estricta del protocolo ya que se deben hacer más

pruebas de éste, pero ofreciendo servicios que estén soportados por este protocolo como aplicaciones de tiempo real, las cuales son más susceptibles de pérdidas, ya que este tipo de transmisiones no son orientadas a conexión.

Hacer un trabajo intensivo y extensivo en simulación es algo que garantiza que los resultados obtenidos sean lo más fieles posibles a la realidad de la cual se quiere medir un factor en especial, pero esto exige que se tengan recursos ilimitados; por lo que las simulaciones se limitan a un número promedio y a partir de este se sacan resultados totales y se trata de interpretar o predecir lo que sucederá en la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

Abolhasan M., Wysocki, T. and Dutkiewicz, E. "A Review of Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks". *Elsevier Journal of Ad hoc Networks 2* (2004): 1 - 22.

Abou El Saoud M. MANET reference configurations and evaluation of service location protocol for MANET. MSc Thesis. Carleton Univ, 2005.

Du Shu. *Two Strategies to Improve the DSR Routing Performance*. COMP 590 Project Report. 2002.

Internet Engineering Task Force (IETF). *Internet - Draft for The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)*. Julio de 2004.

Johnson D., Maltz, D. y Broch, J. *DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks*, 2001.

Johnson D. y Maltz, D. "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks". *Mobile Computing*. Kluwer Academic Publishers, 1994.