

QoS and Multipath Routing in Vehicular Network

Provisión de QoS en Redes Vehiculares y de Transporte Inteligente con un Protocolo de Ruteo Multipath

Christian Lazo Ramírez
Instituto de Informática
Universidad Austral de Chile
Campus Miraflores
clazo@inf.uach.cl

Sandra Céspedes Umaña
Dpto. Tec. de la Información
Universidad ICESI
Calle 18 N°122, Pance
scspedes@icesi.edu.co

Manuel Fernández Veiga
ETSI Telecomunicación
Universidad de Vigo
Lagoas-Marcosende S/N
mveiga@det.uvigo.es

Resumen

Las redes Vehiculares Ad-Hoc o redes VANET, consisten en la asociación espontánea de un conjunto de vehículos equipados con tecnología de comunicación inalámbrica, que circulan y cambian dinámicamente su posición e intercambian datos entre sí. Estas redes fueron pensadas como segmentos autónomos y de direccionamiento plano, sin embargo, su estudio ha mostrado los beneficios de interconectarlas a segmentos de redes de infraestructura e Internet. El presente artículo revisa, mediante el uso de una herramienta de simulación, las mejoras globales de las métricas de calidad de servicio de la red, logradas mediante el uso de un protocolo de ruteo multi caminos. El modelo consta de un segmento de red fija (Internet), dos gateway reactivos y dos segmentos jerárquicos de redes VANET IPv6, las cuales están compuestas por nodos con alto grado de movilidad, tales como los vehículos en un entorno urbano.

Abstract

The Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANET) consist of a spontaneous association of a group of vehicles with wireless connection, they move and dynamically change their positions, exchanging data between each other. These networks were thinking as autonomous network segments with flat addressing schemes, however, its study has shown the benefits obtained by interconnecting them to fixed network segments and Internet. This article will revise by means of using a simulation tool, the global improvements in QoS network metrics, achieved through the use of a multipath routing protocol. The model has a fixed network segment (Internet), two reactive gateways and two IPv6 VANET hierarchical network segments, whose nodes show a high degree of mobility, such as vehicles in an urban environment.

Keywords: VANET, QoS, Multipath, IPv6.

1. Introducción

Las redes Vehiculares Ad-Hoc o redes VANET [1],[2],[3],[4], brindan la tecnología para el futuro desarrollo de sistemas de transporte inteligente y comunicaciones vehiculares. Estas redes se construyen mediante la asociación espontánea y no coordinada de un conjunto de vehículos que cambian dinámicamente su posición y que intercambian datos entre sí mediante enlaces inalámbricos. Esta asociación se lleva a cabo sin la participación o ayuda de ninguna infraestructura de red externa fija.

Los protocolos de ruteo utilizados en redes VANET tienen como característica principal el poder mantener, de forma efectiva y fiable, la comunicación entre un par de nodos (origen-destino), aún cuando la posición y velocidad descrita por ellos cambie rápidamente. Así, cuando estos nodos no se encuentran directamente conectados entre sí, la comunicación se realiza reenviando los paquetes a través de los vehículos intermedios o a través de los gateways conectados a la red de infraestructura.

En la actualidad se investiga el comportamiento de muchos de estos protocolos de ruteo, los cuales en su mayoría se basan en mejoras realizadas a los protocolos con un único camino que se encuentran estandarizados por la IETF (Internet Engineering Task Force), tales como OLSR [5], AODV [6], DSR [7].

Los protocolos de ruteo utilizados en redes VANET entregan los mecanismos necesarios para intercambiar paquetes de datos dentro del alcance de la red, permitiendo de esta manera comunicaciones de vehículo a vehículo (V-V). Por otro lado, para el envío de paquetes hacia redes externas o de Infraestructura, tales como una red fija o Internet, es necesaria la participación de algún componente de la red que actúe como gateway y que provea los mecanismos para la conexión desde el vehículo hacia la infraestructura (V-I). Para brindar esta conectividad, el dispositivo que actúa como gateway debe

contar con una conexión inalámbrica hacia la red VANET y otra conexión hacia el segmento de red fija [8].

El esquema de funcionamiento utilizado por el gateway para la interconexión de los dos segmentos de redes puede ser en modo activo, reactivo o híbrido, dependiendo del protocolo de red utilizado. Sin embargo, el impacto en el rendimiento de cada una de estas opciones de interconexión no está claro [9], [10] ya que éste se ve afectado por diversos factores externos, tales como: el grado de movilidad de los vehículos, la distancia en términos de saltos entre el gateway y el vehículo comprometido en la comunicación, el protocolo de ruteo utilizado dentro de la red VANET, el grado de particiones de la misma, entre otros factores.

El presente artículo revisa mediante el uso de una herramienta de simulación, las mejoras globales de las métricas de calidad de servicio (QoS) introducidas en una red vehicular de nueva generación, por medio de un protocolo de ruteo por múltiples caminos (RMC) con nodos disjuntos. La carga de tráfico en la red se lleva a cabo mediante transmisiones de datos entre vehículos de ambas redes VANET en forma de conexiones V-V y entre todos los vehículos y la red de infraestructura, en un esquema V-I.

El resto de este trabajo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se discute acerca de las estrategias utilizadas por los gateways para interconectar la red VANET a Internet, en la sección 3 se revisan los modelos de movilidad utilizados en este tipo de redes, la sección 4 describe el protocolo de ruteo por múltiples caminos utilizado, en la sección 5 se explica el modelo de red implementado para las pruebas, luego se discuten los resultados en la sección 6, para finalmente, en la sección 7 entregar las conclusiones.

2. Estrategias de conexión

Si bien las redes VANET fueron, en un principio, concebidas como solución para redes vehiculares aisladas, se vio que al interconectarlas a redes fijas (Internet) crecía su potencial de desarrollo y aumentaba considerablemente el número de aplicaciones posibles. A las redes Ad Hoc que se conectan a redes fijas se les conoce también como redes híbridas [7],[10]. En este esquema de red, uno o más nodos de la VANET participan mediante algunas de sus interfaces conectadas a un segmento de una red fija. Así, este nodo denominado gateway, es el que provee el camino hacia Internet.

Para que un nodo de la red VANET pueda enviar o recibir tráfico desde Internet se le debe informar quién es el o los gateway que están disponibles para hacer el reenvío de los paquetes. Para llevar a cabo este proceso existen tres esquemas propuestos [9]: proactivo, reactivo o híbrido.

2.1 Gateway proactivo

En este caso el gateway inunda periódicamente la red con mensajes, indicando que existe y que está disponible, con lo cual los vehículos conocen permanentemente cuál es el gateway que pueden utilizar para el reenvío de información hacia Internet. Bajo este esquema se logra una baja latencia pero se tiene un costo elevado de ancho de banda dentro de la VANET.

2.2 Gateway reactivo

En este esquema el gateway juega un rol más pasivo: cuando un nodo intenta enviar un paquete a Internet es cuando se realiza el proceso de solicitud y envío de la información del gateway disponible en la red.

2.3 Método híbrido

Un tercer enfoque es el híbrido. En este caso cada gateway sólo informa de su presencia en forma proactiva a los vehículos que están dentro de su radio de cobertura (1 hop). Los vehículos más lejanos se configuran utilizando el mecanismo reactivo descrito anteriormente. Independiente del esquema utilizado, todo el tráfico que pasa a través del gateway es encapsulado por medio de túneles para permitir su reenvío a través de la red de infraestructura.

3. Modelos de movilidad

Cuando hablamos de movilidad debemos considerar que la forma, velocidad y trayectoria del movimiento descritas por los vehículos, influyen directamente en el grado de particiones y nivel de conectividad que logra la red. Algunas de las medidas de estas variables son:

- Partición de la red. Indica el número de segmentos de red que existe para un grupo de vehículos en un determinado tiempo.
- Dependencia espacial. Es la medida de cómo dos vehículos son dependientes en el movimiento; si dos vehículos tienen una velocidad similar y la misma dirección entonces tienen una alta dependencia espacial.
- Dependencia temporal. Es la medida de dependencia entre dos vehículos cuando se evalúa su velocidad instantánea en magnitud y dirección.

Considerando las características de las redes VANET, se puede indicar que sirven para dar solución de conectividad en diferentes escenarios y situaciones, por lo tanto, cada uno de estos escenarios debe ser representado con el modelo que más se acerque a su realidad al

momento de ser evaluado mediante simulación. Entre los principales modelos de movilidad utilizados por la comunidad de investigación en redes vehiculares de nueva generación podemos mencionar [12]:

3.1 Rpgm

Este modelo de movilidad de grupos es usado principalmente para simular la comunicación en campos de batalla, donde un líder del grupo se mueve a una velocidad $[V_{\text{líder}}]$ y el resto del equipo se desplaza junto a él a una velocidad y dirección similares. La dirección y velocidad del resto del equipo se ajusta periódicamente a las variaciones que ejecuta el líder del grupo. Este modelo se caracteriza por tener una gran dependencia espacial y se ajusta al comportamiento descrito por una caravana de vehículos en una carretera.

3.2 Freeway/highway

Los modelos de Freeway/Highway sirven para evaluar el comportamiento de las redes VANET en entornos de redes vehiculares dentro de autopistas o carreteras. Aquí se definen tres niveles de velocidad (lento, medio y rápido) que representan los carriles de desplazamiento de los vehículos dentro de la autopista. Los vehículos pueden cambiar de carril de desplazamiento, y por ende, su velocidad. El cambio debe hacerse de forma gradual, es decir, para pasar de la velocidad lenta a rápida necesariamente se debe pasar primero por la velocidad media.

3.3 Manhattan grid

El modelo de movilidad de Manhattan Grid es utilizado para evaluar el comportamiento de las redes VANET en centros urbanos. Este modelo permite representar de manera fiel el comportamiento de vehículos desplazándose por las calles al interior de una ciudad. Para ello, el modelo define una grilla en donde filas y columnas representan las calles, y las intersecciones representan las esquinas (Figura 1). En este modelo los vehículos pueden desplazarse de forma aleatoria a una velocidad media $[V_{\text{med}}]$. Al llegar a una intersección y bajo cierta probabilidad aleatoria, los vehículos pueden decidir detenerse y girar en algún sentido (izquierda o derecha) o continuar por la misma calle.

Este modelo impone claras restricciones geográficas para el desplazamiento de los vehículos, aumentando de esta manera la probabilidad de particiones dentro de la red. Por otro lado, tiene la ventaja de permitir realizar simulaciones con un buen grado de similitud al escenario que encontramos en entornos urbanos. Además, por el tipo de desplazamiento que describen los vehículos, el modelo brinda un alto grado de dependencia espacial y temporal.

4. Ruteo en una red VANET

En los últimos años han sido muchas las propuestas de protocolos de ruteo para redes Ad-Hoc que se han desarrollado y presentado para su estandarización [2], [3], [4], [5], [6]. Además, han sido muchas las comparaciones realizadas entre ellos [13], [14], [15]. Sin embargo, el consenso es que los protocolos reactivos son los que mejor desempeño muestran, y por ende, los que mejor aceptación han tenido dentro de la IETF, específicamente para el caso del protocolo “*Ad Hoc on Demand Distance Vector*” AODV[4]. Este protocolo ha sido expandido con el fin de brindar múltiples caminos (Routing Multipath) dentro de la VANET [16], y se le han adicionado extensiones destinadas a brindar conectividad a Internet al dominio de una red VANET [8]. En este trabajo se evalúa el protocolo de ruteo Ad hoc On demand Distance Vector Multipath (AODVM), el cual provee ruteo multicamino y soporte para redes híbridas mediante el uso de gateways.

4.1 Ad-Hoc On Demand Distance Vector Multipath Routing

La propuesta del protocolo de ruteo Ad hoc On demand Distance Vector Multipath (AODVM) se centra en una extensión del protocolo reactivo o bajo demanda (AODV). Este protocolo trabaja con enrutamiento por vector-distancia, evitando los problemas de cuenta a infinito y la formación de bucles. Adicionalmente, y a diferencia de AODV, no descarta los paquetes RREQ duplicados, lo cual permite encontrar múltiples caminos con nodos disjuntos. Para el control de sus rutas, el protocolo define el uso de números de secuencia para cada uno de los destinos.

El proceso de descubrir una ruta en AODVM es inicializado cuando un nodo origen solicita una ruta hacia un nodo destino, si el nodo origen no encuentra el camino en su tabla de rutas, aumenta su número de secuencia e inunda la red con un mensaje de

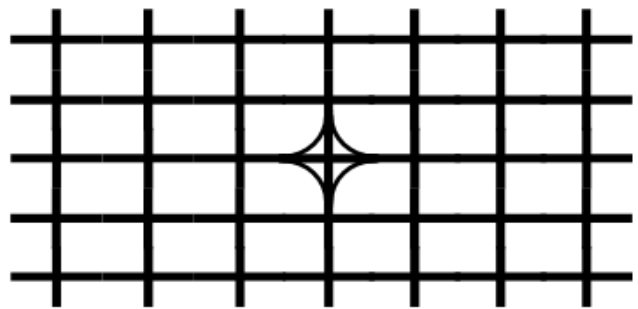


Figura 1. Estructura del modelo de calles en la red simulada.

ROUTE REQUEST (RREQ); el nodo vecino que recibe el mensaje de RREQ guarda la dirección del nodo desde donde se originó el mensaje, la dirección del nodo destino del mensaje y la dirección del nodo vecino desde donde recibió el mensaje RREQ, además, crea o actualiza las rutas inversas hacia el nodo que originó el mensaje RREQ con nuevos números de secuencia.

A continuación, cuando el nodo destino recibe el primer RREQ desde algún nodo vecino, actualiza el número de secuencia y genera un *ROUTE REPLY* (RREP) que contiene además el nuevo campo *LAST HOP ID* (LHID) con la información del nodo desde donde recibió el RREQ. Este paquete RREP es enviado hasta el nodo origen por el camino atravesado por el RREQ y el proceso se repite por cada uno de los paquetes RREQ que llegan desde un vecino distinto, así, cada RREP generado se diferencia del resto por el campo LHID.

Con el fin de generar caminos con nodos disjuntos, los nodos vecinos sólo pueden participar de una ruta entre un par origen-destino, por lo cual, buscan en su tabla de ruta el camino más corto que satisfaga la condición de conectividad y borran todas las rutas adicionales hasta el nodo destino.

El nodo origen del mensaje debe confirmar la generación de las rutas producidas por la llegada de los paquetes RREP. Para ello, genera un paquete de *ROUTE CONFIRMATION MESSAGE* (RRCM) que es agregado al primer paquete de datos que utiliza dicha ruta, y de esta manera el origen confirma a cada uno de los nodos que esa ruta es válida.

Para mantener el enlace entre los nodos origen-destino, los nodos que tienen rutas activas hacen envíos periódicos de mensajes RREP modificados con un *Time to Live* igual a uno (TTL=1) o mensajes HELLO. Estos mensajes sólo son recibidos por los nodos vecinos directos y tienen la finalidad de refrescar la tabla de ruta. Si luego de algún tiempo no se reciben mensajes HELLO desde un nodo vecino, se asume que este dispositivo ya no está disponible y por lo tanto, se desecha la ruta y se borra de la tabla.

5. Modelo de red

El experimento evalúa mediante simulación el comportamiento del protocolo de ruteo por múltiples caminos, y su impacto en las métricas de QoS durante las transmisiones de datos entre conexiones vehiculares (V-V) y entre los segmentos de red fija y la red VANET a través de los gateways (V-I). Esta simulación se ha llevado a cabo mediante el simulador de redes Network Simulation (NS-2) [17].

En esta sección se describirán los diferentes parámetros del escenario utilizado en la simulación:

5.1 Escenario de simulación

El escenario estudiado está compuesto por 4 nodos en un segmento de red fija en Internet. En la VANET el número de vehículos se hizo variar desde 18 hasta 68 dividiéndolos en dos segmentos de red y todos ellos utilizando el protocolo de ruteo AODVM [8]. Ambos dominios (VANET e Infraestructura) se interconectaron por medio de dos gateways tal como se aprecia en la Figura 2. La topología de la red VANET está distribuida sobre un área rectangular de 1200m x 600m, divididos en 7 x 5 calles tal como se aprecia en la Figura 1. Los gateways funcionan en modo reactivo y están fijos en las coordenadas 310,330 y 910,250. Los vehículos se mueven con una velocidad media de 18 Km/h de forma aleatoria, utilizando para ello el modelo de movilidad "Manhattan Grid". Los dispositivos: vehículos y gateways, disponen de antenas omni-direccionales que brindan un radio de cobertura de 250m. El acceso al medio se controla mediante la capa MAC 802.11. Los nodos de la red de infraestructura y los gateways están interconectados entre sí por medio de enlaces bidireccionales a 100Mb/s con 2ms de retardo. La información detallada de los distintos parámetros de la red se encuentra en Tabla 1.

5.2 Tráfico sobre la red

La carga de tráfico sobre la red se realizó de acuerdo a dos modelos de flujos de datos que cruzan las redes VANET y los gateways. En el primer modelo, el tráfico de la red corresponde a paquetes *Const Bit Rate* (CBR) de 256Kb y se realiza entre los vehículos del entorno de la red VANET, lo que corresponde al modelo V-V.

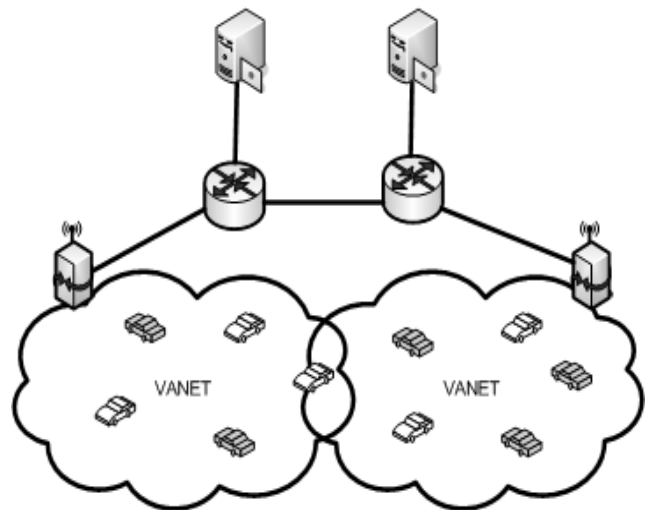


Figura 2. Diagrama de la red.

En el segundo caso, los flujos de datos son del tipo CBR de 512Kb. Este tráfico lo envían todos los vehículos que componen el entorno VANET (variando de 18 a 68 según el caso) hasta un servidor Central en la red de infraestructura, lo cual corresponde a un entorno V-I. La Tabla 2 entrega información detallada del tráfico de la red, así como de los nodos involucrados en la transmisión.

Para la realización de la serie de simulaciones, los vehículos involucrados en el envío y recepción de los flujos de datos, el tamaño de los paquetes y el tiempo de inicio y detención del envío de los datos se mantienen constantes.

5.3 Métricas utilizadas

Para comparar el comportamiento de las transmisiones de datos entre ambas redes se utilizaron las siguientes métricas:

End to End Delay (Delay)

El retardo de extremo a extremo está definido como la media de la diferencia de tiempo transcurrida entre el instante en que se generan los paquetes y el momento en que éstos llegan a su destino.

Packet Delivery Fraction (PDF)

Corresponde al valor porcentual de paquetes exitosamente recibidos por los nodos destino. Se calcula dividiendo el número de paquetes recibidos entre el número de paquetes generados.

Normalized Routing Overhead (NRO)

Mide la sobrecarga introducida por el protocolo de ruteo de la red VANET y se calcula como el número de paquetes de control empleado por cada paquete de datos recibido exitosamente.

Las primeras dos métricas tienen relación directa con las medidas de calidad de servicio (QoS) de "Best-Effort" de la red, y la última con la sobrecarga introducida por el protocolo de enrutamiento dentro de la VANET.

TABLA 1
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL
MODELO

Parámetro	Valor
Número de vehículos	18, 24, 30, 36, 42, 48, 58, 68
Posición de gateways	310, 330 y 910, 250
Número de gateway	2
Tiempo simulación	300 seg.
Número de calles	7 x 5
Modelo de movilidad	Manhattan Grid
Velocidad promedio	5.0 m/s
Probabilidad de giro	0.5
Velocidad mínima	0.5 m/s

TABLA 2
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL
TRÁFICO

Nodos		Paquete datos		Inicio transmisión
Origen	Destino	Tamaño	Envío	
Todos	Server 1	512k b.	2.5 seg	0<t<1 seg.
Vehículo 6	Vehículo 14	256 kb.	0.2 seg	2>t>1 seg.
Vehículo 15	Vehículo 23	256 kb.	0.2 eg.	2>t>1 seg.
Vehículo 10	Vehículo 19	256 kb.	0.2 seg	2>t>1 seg.
Vehículo 20	Vehículo 11	256 kb.	0.2 seg	2>t>1 seg.

6. Resultados de la simulación

Para evaluar el rendimiento del protocolo de ruteo multipath sobre redes vehiculares en diferentes condiciones, se procedió a variar el número de nodos totales sobre el entorno VANET, así, este parámetro fluctuó desde los 18 hasta los 68 vehículos. Además, para comparar cada una de las condiciones de población, se evaluó el rendimiento de la red con distintas configuraciones y grados de multipath. Las condiciones evaluadas fueron las siguientes:

- Sin multipath
- Solo Gateways multipath
- Solo nodos multipath
- Todo Multipath

El tráfico durante todos los escenarios de simulación se mantuvo constante entre las comunicaciones V-V, en cambio, en las conexiones V-I cada nuevo nodo agregado a la red aportaba un nuevo flujo de datos hasta el servidor central, por lo que a mayor número de nodos mayor era la carga en los gateways.

Las mediciones sobre las métricas se realizaron contemplando los flujos totales en la red, por lo que los resultados indican el estado global de la calidad de servicio sobre la red evaluada.

La evaluación global de los datos indica que en la medida que el número de vehículos sobre las redes aumenta, las distintas configuraciones del grado de múltiples caminos sobre la red se pueden agrupar en dos grupos bien definidos. Por un lado está la configuración sin múltiples caminos y solo gateways múltiples caminos formando el primer grupo, lo que indica una configuración con bajo o nulo número de nodos múltiples caminos en la red. Por otro lado tenemos la red con un alto grado de nodos múltiples caminos en las configuraciones de solo nodos multipath y todo multipath, que forman el segundo grupo.

6.1 Delay

Tal como se aprecia en la Figura 3, el comportamiento del retardo de los datos con menos de 25 vehículos en la red es menor para las opciones de bajo grado de uso de

múltiples caminos, sin embargo, en la medida que el número de vehículos aumenta, el uso del protocolo de red múltiples caminos es mejor. Además, se concluye que el uso de multipath en el gateway no es un factor preponderante, puesto que con tener sólo los nodos de la red con RMC ya se logran en algunas casos menores valores de retardo de los paquetes sobre la red, lo cual ayuda a mejorar una de las métricas de calidad de servicio sobre la red.

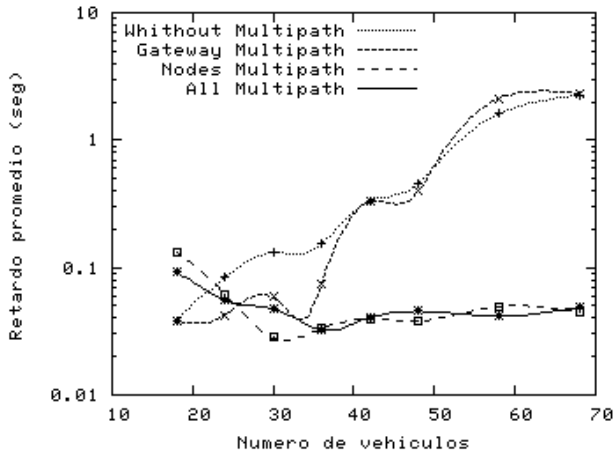


Figura 3. Retardo extremo a extremo.

6.2 PDF

En general el PDF es variable para redes con menos de 50 vehículos, no siendo claro que el uso de RMC mejore ese porcentaje. Sin embargo, tal como se aprecia en la figura 4, con mas de 50 vehículos en adelante, el uso de RMC es claramente superior.

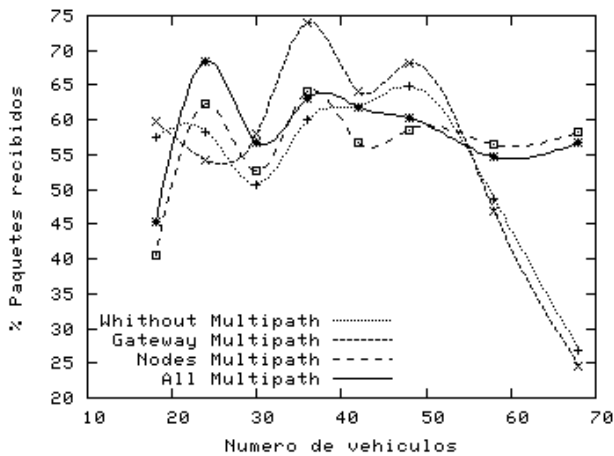


Figura 4. Porcentaje de paquetes exitosamente recibidos.

Al igual que en la medida del retardo, en este caso la configuración de sólo nodos con RMC tiene mejores resultados, por lo que bajo estas condiciones podemos indicar que no es necesario contar con gateways con soporte múltiples caminos.

6.3 NRO

La sobrecarga de la red producida por el mayor número de paquetes de control del protocolo de ruteo crece a un ritmo constante, según crece el número de nodos sobre la red en ambas configuraciones, tanto para bajo como para alto grado de múltiples caminos. Sin embargo, desde los 55 nodos en adelante, el uso en bajo grado de RMC del primer grupo, produce una fuerte crecida del NRO, debido principalmente a las pocas rutas encontradas y a los nuevos procesos de búsqueda producto de la movilidad de los nodos (figura 5). Este comportamiento no se presenta en las configuraciones con alto grado de RMC, pues éstas al poseer un mayor número de rutas disponibles, tienen una mejor tolerancia a la pérdida de enlaces y por lo tanto necesitan un menor grado de paquetes de control.

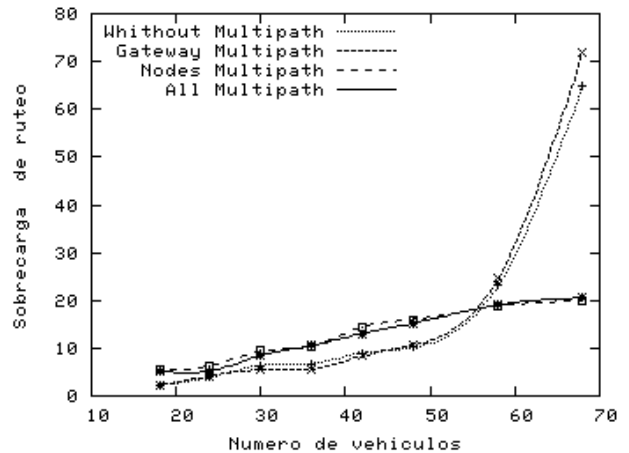


Figura 5. Sobrecarga de la red.

7. Conclusiones

En el presente trabajo se muestra que el uso de protocolos de ruteo múltiples caminos en redes vehiculares de nueva generación, permite mejorar las métricas globales de calidad de servicio en conexiones extremo a extremo, sean éstas de vehículo a vehículo o de vehículo a infraestructura. Además se muestra que a mayor número de vehículos en la VANET, los niveles de QoS se mantienen en niveles estables y en el caso de producirse congestión vehicular o atascos, el uso del protocolo de RMC ayuda a evitar que este fenómeno se replique en la red de datos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el "Ministerio de Educación y Ciencia" de España a través del proyecto TSI2006-12507-C03-02 del "Plan Nacional de I+D+I".

Bibliografía

- [1] V. Naumov, R. Baumann, T. Gross, "An evaluation of Inter-Vehicle AdHoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces", In Proc. ACM MobiHoc'06 Conf., May. 06
- [2] H. Wu, M. Palecar, R. Fujimoto, J. Lee, J. Ko, R. Guensler, M. Hunter, "Vehicular Networks in Urban Transportation System", in Proc Digital Government Research 2005, ACM Conf., may. 2005.
- [3] S. Corson, J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", IETF RFC 2501, Enero 1999.
- [4] I. Chakeres, C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing", IETF Internet-Draft, trabajo en progreso, Marzo 2006.
- [5] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", IETF RFC 3626, Octubre 2003.
- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, Julio 2003.
- [7] D. Johnson, D. Maltz, Y. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", IETF Internet-Draft, trabajo en progreso, Julio 2004.
- [8] R. Wakikawa, J. Malinen, C. Perkins, A. Nilsson, A. Tuominen, "Global Connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks", IETF Internet-Draft, trabajo en progreso, Marzo 2006.
- [9] A. Hamidian, U. Körner, A. Nilsson, "Performance of Internet Access Solutions in Mobile Ad Hoc Networks" EuroNGI Workshop 2004: 189-209
- [10] P. Ruiz, A. Gomez-Skarmeta, "Enhanced Internet Connectivity for Hybrid Ad hoc Networks Through Adaptive Gateway Discovery," *lcn*, pp. 370-377, 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04), 2004.
- [11] C. Jelger, T. Noel, A. Frey, "Gateway and address autoconfiguration for IPv6 adhoc networks" IETF Internet-Draft, trabajo en progreso, Octubre 2003.
- [12] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies. A survey of mobility models for ad hoc network re- search. Wireless Communications F4 Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, 2(5):483-502, 2002..
- [13] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y.C. Hu and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. ACM/IEEE MOBICOM Conf.*, pp. 85-97, Oct. 1998
- [14] S.J. Lee, C.K. Toh, and M. Gerla, "Performance Evaluation of Table-Driven and On-Demand Ad Hoc Routing Protocols," *Proc. IEEE Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Comm.*, pp. 297-301, Sept. 1999.
- [15] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek and M. Degermark, "Scenario-Based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks," *Proc. ACM/IEEE MOBICOM Conf.*, p. 195-206, 1999.
- [16] M. K. Marina and S. R. Das, "Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector Routing", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review (MC2R) Special Feature on the First AODV Next Generation Workshop*, July 2002.
- [17] The VINT Project, "The Network Simulator-ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.