

## **RENDIMIENTO DE VANETS EN ESCENARIOS DE USO REALISTAS**

### **Iván Lequerica Roca**

Físico e Ingeniero Electrónico. Ingeniero I+D. Telefónica Investigación y Desarrollo

### **Ismael Cortazar Múgica**

Ingeniero de Telecomunicación. Asesor. Telefónica Investigación y Desarrollo

**RESUMEN:** En la presente ponencia se pretende dar una idea del rendimiento de una red VANET (Vehicular Ad Hoc Network) en diferentes escenarios de uso realistas, concretamente en autopistas y vías urbanas.

Se hará una breve descripción del estado del arte actual recogiendo aspectos como la tecnología 802.11p y los protocolos de encaminamiento más utilizados en estas redes.

Para obtener los mejores resultados posibles se han conseguido patrones de movilidad de vehículos realistas con el simulador de tráfico vial SUMO y se han establecido comunicaciones del tipo V2V y V2I, tanto en TCP como en UDP. Por último se muestra una comparativa de rendimiento entre redes VANET puras y aquellas que se apoyan en redes móviles clásicas extrayendo unas conclusiones y recomendaciones.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Uno de los aspectos más importantes dentro de los Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS, en sus siglas en inglés) son las llamadas redes vehiculares. Estas redes vehiculares, conocidas también como VANETs, presentan una serie de retos tecnológicos muy importantes debido al hecho de no tener infraestructura de red. Las funciones de autenticación, configuración, descubrimiento de servicios y provisión que tradicionalmente las llevan a cabo las operadoras, se tienen que llevar de forma distribuida entre los diferentes nodos de la red (los vehículos y sus equipos embarcados).

Las VANETs sirven de soporte para multitud de servicios en carretera. Estos servicios se clasifican en los siguientes grupos:

- Safety
- Ayuda a la conducción
- Gestión del tráfico
- Infotainment
- Confort

- Orientados a la administración
- Gestión de flotas
- Seamless Traveller Support

En el capítulo 2 veremos las características principales de las VANETs, entendiendo porque estas características plantean unos retos de investigación a día de hoy

En el capítulo 3 se muestra con detalle la tecnología inalámbrica diseñada específicamente para este objetivo: IEEE 802.11p.

En el capítulo 4 se explican los mecanismos de encaminamiento, protocolos a nivel de red y búsquedas de gateways, utilizados en VANETs y su clasificación atendiendo al alcance, el tipo de algoritmo y esquema de descubrimiento de rutas.

En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos por simulación con comparativas de rendimiento de los diferentes protocolos en escenarios realistas de comunicaciones en autopistas y circuitos urbanos. Se detalla el esquema de simulación seguido y se muestran gráficas de rendimiento de diferentes protocolos unicast (V2V) y geocast (I2V) con servicios TCP y UDP.

Por último se presentan unas conclusiones y recomendaciones, exponiendo las líneas de trabajo futuras de los autores.

## **2 VANETS**

### **2.1 Características**

Veamos a continuación el conjunto de características principales de estas redes:

- Autonomía. Cada Terminal es un nodo autónomo con capacidad de procesado de la información y de encaminamiento de información proveniente de otros nodos de la misma red. Gracias a esto el funcionamiento de la red no depende de ninguna infraestructura previa siendo así más tolerante a fallos del sistema.
- Control distribuido de la red. Debido a la ausencia de infraestructura para el control de la red, este se realiza de forma distribuida en cada nodo.
- Encaminamiento. Es necesario que cada nodo por separado y todos en su conjunto sean capaces de proporcionar un mecanismo dinámico de encaminamiento. Este encaminamiento multihop se basa en las capacidades de cada nodo. Los protocolos de encaminamiento clásicos no sirven en este contexto ya que no están preparados para estas variaciones de topología, puede que no converjan. Actualmente se están

desarrollando multitud de algoritmos de encaminamiento para solucionar el problema. Más adelante detallaremos los más importantes en otra sección.

- Topología de red variable. En una VANET los nodos pueden moverse de forma arbitraria, aunque generalmente lo hagan siguiendo ciertos patrones de movimiento, por ejemplo siguiendo las trayectorias de una autopista. Debido a esto, la red se puede subdividir en varias y producir importantes pérdidas de paquetes. Son necesarios mecanismos que detecten estas circunstancias y minimicen sus efectos.
- Capacidad variable de los enlaces. Esta característica se produce en todas las comunicaciones inalámbricas, es intrínseca al medio de transmisión pero sus efectos se agravan más en las MANETs. Esto se debe a que cada nodo actúa como router y la información atraviesa múltiples enlaces inalámbricos.

### **3 IEEE 802.11p**

También conocida como Wireless Access for the Vehicular Environment (WAVE) [10]. Dado que esta tecnología, en proceso de estandarización, será la encargada en un futuro de soportar las comunicaciones entre vehículos se verá más en detalle.

WAVE es una evolución del estándar IEEE802.11a con modificaciones a nivel físico y MAC para mejorar su comportamiento en el entorno vehicular. Al igual que IEEE802.11a, WAVE utiliza OFDM, pero con tasas de transmisión de 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, y 27 Mbps en canales de 10 MHz. Utiliza 52 sub-portadoras moduladas utilizando BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM así como codificaciones de ratios 1/2, 2/3, o 3/4.

En cuanto a la canalización, la norma define 7 canales no solapados de 10MHz en la banda de los 5.9GHz: 6 canales de servicio (SCH) y uno de control (CCH). El CCH es utilizado como canal de referencia para realizar una primera detección de los vehículos cercanos como paso previo al establecimiento de las comunicaciones. Al mismo tiempo, dicho canal es utilizado para anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de contenidos, etc.). Teniendo en cuenta que el canal CCH es el canal de referencia, WAVE lo emplea para la transmisión en modo broadcast de mensajes de seguridad vial. Por la importancia de los mensajes que se transmiten y la necesidad de garantizar su correcta recepción, el canal CCH transmite con una tasa de datos de 6Mbps, correspondiente a una modulación QPSK con un ratio de codificación de 1/2.

En la capa MAC, WAVE también utiliza el método de acceso de IEEE802.11, basado en CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Para mitigar el

problema del hidden terminal, WAVE mantiene el intercambio de mensajes RTS/CTS (Request-To-Send/Clear-To-Send), aunque se encuentra deshabilitado en el canal CCH por transmitir siempre en modo broadcast. Como consecuencia, todos los nodos que utilizan el canal de control están sujetos a dicho problema, incrementando el riesgo de pérdidas de paquetes y de congestión de canal.

#### 4 ENCAMINAMIENTO

Las redes VANET son un subconjunto de las llamadas MANET (Mobile Ad Hoc Networks) [1], de las que el IETF está impulsando un grupo de trabajo para su estandarización.

Este es uno de los campos dónde se está trabajando más intensamente, en la actualidad existen más de 80 protocolos de encaminamiento. La explicación a este gran número es que todavía están en fase de investigación y dentro del IETF solo tres protocolos han llegado al nivel de RFC (Request for Comment), estos protocolos son:

- “Ad hoc On Demand Distance Vector” (AODV) [2]
- “Optimized Link State Routing Protocol” (OLSR) [3]
- “Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding” (TBRPF)

Existen varias formas de clasificar los protocolos de encaminamiento de este tipo de redes, veamos un esquema de todas ellas para posteriormente entrar en detalle:

- Atendiendo al alcance de las mismas; unicast, broadcast y multicast
- Atendiendo al esquema de descubrimiento de rutas; proactivos, reactivos e híbridos
- Atendiendo al tipo de algoritmo en que se basan; vector de distancias, estado de enlace, con ayuda de información geográfica, basados en zonas, etc.

Los protocolos unicast son aquellos que transmiten información de un único emisor a un único receptor, en contraposición a los multicast en los que la información se envía a un grupo de nodos, previamente creado. Hay dos casos particulares como son el broadcast en el que se envía la información a todos los nodos de una red y el anycast dónde el destinatario es único, pero uno cualquiera no especificado.

Un caso especial del multicast de gran utilidad en las VANET el geocast, consiste en enviar información desde un emisor a un grupo de receptores situados en cierta área geográfica. En este caso no es necesario unirse a un grupo previamente, solo por su posición geográfica un nodo recibirá o no los paquetes enviados.

Las MANETs a la hora de descubrir las rutas hacia los destinos utilizan dos esquemas diferentes. Los algoritmos proactivos son aquellos que periódicamente actualizan las rutas en la red, en todo momento tienen conocimiento de la topología de la red intentando tener optimizadas las rutas para el momento en que sea necesario enviar información. En

oposición a estos se encuentran los protocolos reactivos, los cuales solamente buscan la ruta hacia un destino en el momento en el que necesitan enviar información. Los protocolos híbridos combinan los dos esquemas utilizando, por ejemplo, proactividad en las cercanías del nodo pero buscando las rutas a nodos alejados en el momento que son necesarias. El mejor mecanismo depende de cada escenario y patrón de movimiento concretos pero, en cualquier caso, hay que llegar a un compromiso entre la frescura de las rutas, el overhead o sobrecarga en el envío de información en el descubrimiento/mantenimiento de las rutas y la latencia en el descubrimiento. La latencia será menor en los proactivos ya que las rutas están actualizadas en todo momento mientras que el overhead es menor en los reactivos ya que solo hay señalización cuando es necesario buscar las rutas.

Atendiendo al tipo de algoritmo de encaminamiento podemos encontrar varios grupos. Los basados en vector de distancias trabajan de forma que los nodos de la red intercambian periódicamente sus vectores de distancia con sus vecinos (nodos adyacentes, conectados directamente a ellos por un enlace) de tal manera que un nodo recibe de sus vecinos sus respectivos vectores de distancia. Con esa información, y sabiendo la distancia estimada a cada uno de sus vecinos, un nodo puede decidir por cuál de sus vecinos se consigue el mejor camino para llegar a un destino.

En los algoritmos basados en el estado de los enlaces, los nodos monitorizan el estado de los enlaces con sus vecinos y difunden esta información. Cada nodo conoce el estado de todos los enlaces y puede calcular todas las rutas utilizando el algoritmo pero, sin embargo, los nodos solo envían el paquete al siguiente nodo de la ruta, con la dirección de destino de los paquetes y este último será el encargado de calcular a que nodo retransmitirlo.

En los algoritmos que utilizan información geográfica, se hacen cálculos de dónde se estima que pueda estar el o los nodos destinos y se encamina la información en esa dirección. Otros algoritmos dividen la red en subzonas y dependiendo de en que zona se encuentre un nodo hace una cosa u otra con la información recibida; descarta el paquete, lo reenvía a uno de sus vecinos, hace broadcast, etc.

Los protocolos estudiados en el presente artículo son:

- DSR. Dynamic Source Routing Protocol [4]. Unicast reactivo
- AODV. Ad hoc On Demand Distance Vector [2]. Unicast reactivo
- DSDV. Destination-Sequenced Distance- Vector Protocol [5]. Unicast proactivo
- OLSR. Optimized Link State Routing Protocol [3]. Unicast proactivo
- FSR. Fisheye State Routing Protocol [6]. Unicast proactivo
- LBM. Location-based multicast [7]. Geocast
- GAMER Geocast Adaptive Mesh Environment for Routing [8]. Geocast
- GEOGRID [9]. Geocast

## 5 SIMULACIONES

En este capítulo se muestran comparativas de rendimiento obtenidas mediante simulación de los más importantes protocolos unicast aplicados en escenarios realistas de comunicaciones entre vehículos.

### 5.1 Plataforma de simulación

La base de la plataforma es el simulador ns-2 (Network Simulator) [11] dada la amplia aceptación internacional y ya que muchos de los grupos de trabajo que desarrollan protocolos para redes MANETs ofrecen las extensiones para este simulador de forma gratuita y desinteresada.

El código de los diferentes protocolos está desarrollado y cedido por el proyecto Monarch de la universidad de Carnegie Mellon, excepto OLSR desarrollados por la Universidad de Murcia [12], FSR por Sourceforge [13] y los protocolos Geocast (GAMER, LBM y GeoGrid) por el grupo de trabajo Toilers de la Escuela de Minas de Colorado [14].

Para crear los patrones de movimiento se han utilizado dos programas, también de código abierto, para obtener trazas de movilidad acordes con los movimientos de los vehículos que posteriormente usará el simulador ns-2: MOVE y SUMO.

La herramienta MOVE (MObility model generator for VEhicular networks) [15] nos permite crear mapas de carreteras urbanas o interurbanas (incluso importar mapas reales), flujos de tráfico controlados, horarios de recorridos, etc.

Además de la creación de mapas esta herramienta aporta un interfaz gráfico de alto nivel que permite seguir la creación de los estudios de simulación de forma sencilla manejando por debajo programas como el simulador de red (ns-2) y el simulador de vehículos (SUMO).

SUMO (Simulation of Urban Mobility) [16] es un paquete de simulación de tráfico vial de código abierto. Esta herramienta permite simular tráfico rodado con gran precisión, permitiendo desplegar la mayoría de los elementos que componen una vía, como semáforos, stops, carreteras de varios carriles, rotondas y así comprobar el comportamiento de los vehículos para su posterior optimización.

Es la herramienta encargada de generar el patrón de movimiento de los vehículos en las diferentes topologías para poder ser usado por el simulador.

Tras la creación de las carreteras y los flujos de tráfico se definen las conexiones entre vehículos y se simula. Como resultado de esta simulación se obtienen unas trazas en un formato concreto. Para el análisis de estas trazas y la obtención de indicadores para las

comparativas se ha utilizado un “parser” desarrollado en JAVA a tal efecto y el programa de código abierto Tracegraph. Veamos este proceso en su conjunto en la figura 1.

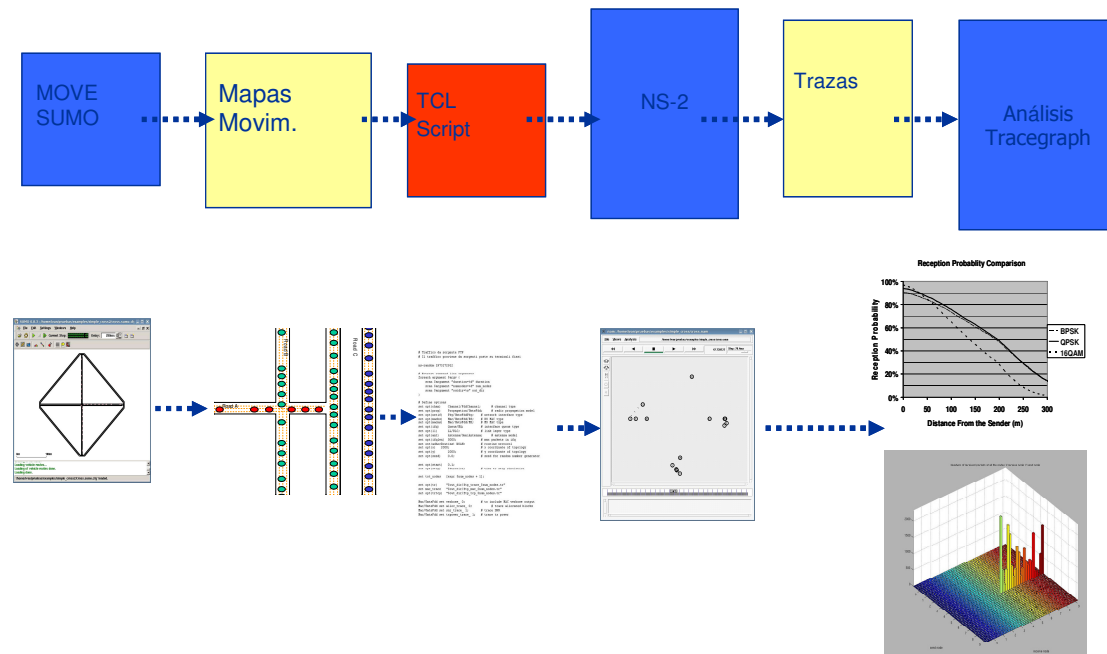


Figura 1. Esquema de las simulaciones

## 5.2 Escenarios

Las características de los entornos donde se llevarán a cabo los estudios son las siguientes:

Circuito urbano:

- De forma rectangular, con dimensiones típicas de vías urbanas; 900 x 500 metros.
- Un sentido de circulación con dos carriles
- Velocidades absolutas de los vehículos entre 50 y 80Km/h.
- Velocidades relativas entre 0 y 40 Km/h
- Curvas cerradas (90 grados)
- Para este circuito se crean tres densidades de tráfico; alta, media y baja correspondientes a los siguientes períodos de entrada de vehículos en el circuito: 10, 15 y 20.

Las características de los flujos de tráfico se muestran en la siguiente tabla, las unidades están en el sistema métrico internacional.

Tabla 1. Flujos de tráfico en circuito urbano

Carril	Aceleración	Deceleración	Velocidad Máxima
Interior	2	3	25
Exterior	1	2	15

Autopista:

- Tres kilómetros de recorrido
- Dos sentidos de circulación próximos entre sí, con dos carriles por sentido
- Velocidades absolutas entre 100 y 120Km/h.
- Velocidades relativas de los vehículos entre 0 y 40 Km/h, salvo en sentidos contrarios que llegan hasta los 240 Km/h
- Tramos muy uniformes, sin fuertes pendientes y con radios de curvatura muy elevados. Se ha aproximado a una línea recta.
- Para la autopista se crean tres densidades de tráfico; alta, media y baja correspondientes a los siguientes períodos de creación respectivamente: 5, 10 y 15. Se observa que los periodos de creación de vehículos son menores que en el circuito urbano, esto es necesario porque si el periodo es muy alto los vehículos que circulan por el carril rápido no se comunican entre sí

Las características de los flujos de tráfico se muestran en la siguiente tabla, las unidades están en el sistema métrico internacional.

Tabla 2. Flujos de tráfico en autopista

Carril	Aceleración	Deceleración	Velocidad Máxima
Interior	2	3	35
Exterior	1	2	25

El rango de transmisión por defecto son 250m mientras que la detección de portadora y el rango de la interferencia son 550m.

### 5.3 Comunicaciones Unicast V2V

En este estudio se simulan diferentes protocolos Ad-hoc unicast que comunican dos nodos elegidos cuidadosamente en las diferentes topologías. Los protocolos elegidos para la comparativa son: AODV, DSDV, DSR, FSR y OLSR.

Para cada topología se eligen dos nodos que recorran el circuito a diferentes velocidades (para ello se visualiza la traza con el animador nam) y se crea una conexión entre ellos, primero UDP y luego TCP.

Se ha elegido cbr como aplicación UDP, ya que parece lógico aproximar el tráfico generado a una velocidad constante en el tiempo. Para elegir la aplicación TCP, aunque no parece un punto crítico de la simulación, se ha pensado en FTP.

Se podrían hacer más estudios comparativos, por ejemplo, variando la velocidad de los vehículos o introduciendo mayor número de conexiones en la MANET sucesivamente pero consideramos que estos escenarios son suficientemente representativos para nuestro caso de estudio.

Es importante estudiar con detenimiento el escenario a simular antes de llevar a cabo el trabajo. Al simular conexiones entre dos nodos hay que asegurarse que esos nodos tienen las mismas posiciones relativas en los escenarios con diferentes flujos de tráfico y diferentes protocolos. Si en cada escenario escogiésemos dos nodos al azar el resultado también sería aleatorio ya que puede que en uno los vehículos estén tan alejados que no se vean ni siquiera a través de la MANET y en otro estén durante todo el tiempo tan cerca que la conexión sea directa llegando al 100% de éxito en paquetes transmitidos.

Para esto se han realizado unas pruebas previas de los diferentes escenarios y sus flujos de tráfico y gracias al animador gráfico nam podemos ver los esquemas de movilidad. Se observa que los nodos 0 y 1 son los primeros en aparecer por cada carril y que al mantener el mismo esquema de velocidades en todos los escenarios solo varía el número de vehículos que hay entre ellos.

Como parámetros indicadores se han elegido:

- Porcentaje de éxito de paquetes. Indica en que grado es capaz la red de hacer llegar los paquetes a su destino final
- Retardo medio. Muestra el promedio de los tiempos que tardan los diferentes paquetes en cubrir la conexión extremo a extremo.
- Overhead. Es un indicador de la carga que los diferentes protocolos aportan a la red con sus procesos de búsqueda y mantenimientos de rutas.
- Throughput. Solo aplicable en TCP, este indicador muestra que protocolos son capaces de enviar mayor cantidad de información.

### 5.3.1 Rendimiento de VANETs en circuito urbano

En este estudio se comparan los protocolos unicast Ad-hoc con diferentes perfiles de tráfico en el circuito urbano, para ello se establecen dos escenarios, una conexión FTP sobre TCP y otra CBR sobre UDP modificándose las densidades de tráfico.

Ambas conexiones (tanto TCP como UDP) se producen desde el instante 20 hasta el 100 entre el nodo 0 y el nodo 2.

Fig 2. Comparativa de protocolos Unicast en servicios TCP

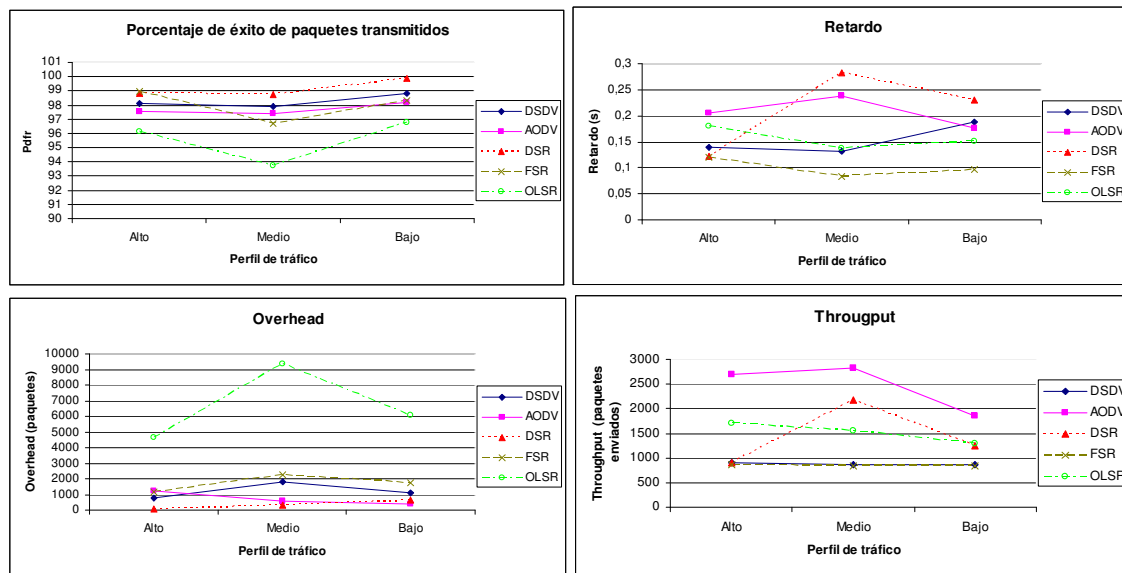
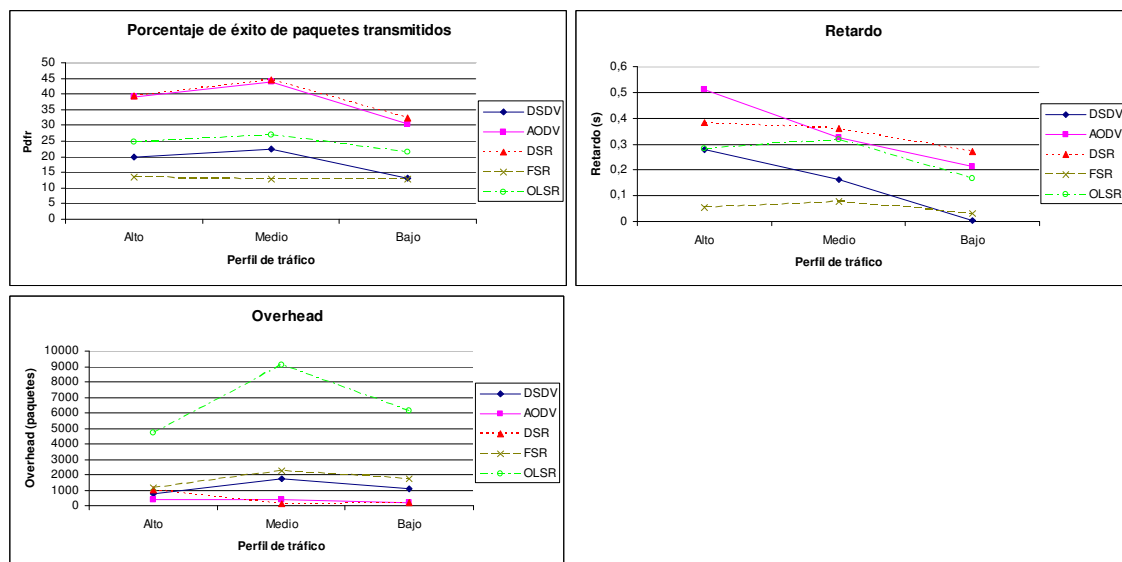


Fig 3. Comparativa de protocolos Unicast en servicios UDP



### 5.3.2 Rendimiento de VANETs en autopistas

Este estudio es equivalente al del circuito urbano pero con el escenario típico de autopista. Ambas conexiones (tanto TCP como UDP) se producen desde el instante 10 hasta el 90 entre el nodo 0 y el nodo 2.

Fig 4. Comparativa de protocolos Unicast en servicios TCP

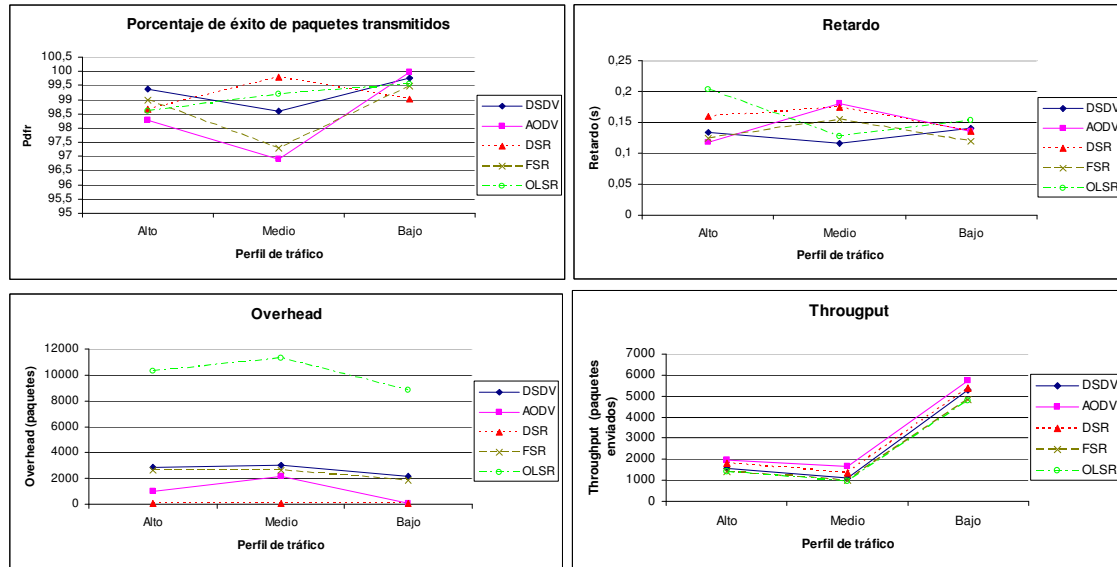
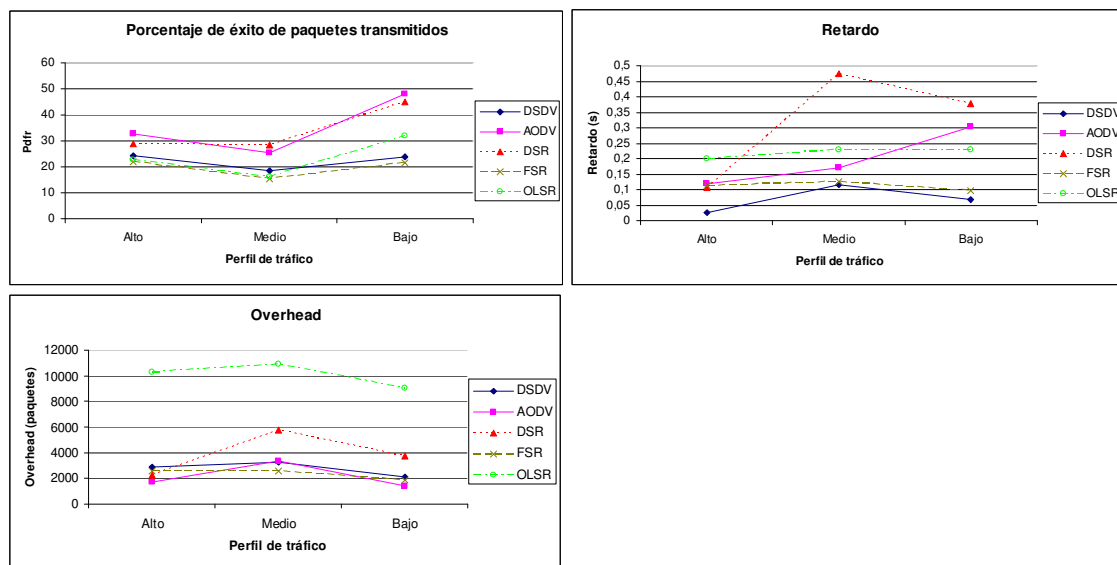


Fig 5. Comparativa de protocolos Unicast en servicios UDP



### 5.3.3 Conclusiones generales de las comunicaciones V2V

La principal conclusión de este capítulo, es que en estos entornos de topología muy variable, los protocolos reactivos AODV y DSR (que buscan la ruta al destino en el momento en el que la necesitan) tienen mayores prestaciones que los proactivos (que pretenden conocer la topología de la red en todo momento, aunque no se necesite enviar datos). Dado que AODV presenta en la mayoría de las topologías, las mejores tasas de transferencia, bajos retardos y no genera gran cantidad de paquetes de control para la creación y mantenimiento de rutas (overhead) se concluye que es el más eficiente para estas comunicaciones en general. A continuación se presenta un análisis más detallado de la comparativa de los indicadores en las diferentes topologías:

En todos los estudios se observa que hay un perfil de tráfico óptimo por encima del cual, un aumento de nodos implica peor comportamiento por saturación de la MANET y por debajo disminuye el número de rutas para llegar al destino en ciertos instantes de tiempo.

Los protocolos reactivos son los que mejor throughput presentan para comunicaciones TCP y los que mejor porcentaje de éxito obtienen al enviar datos UDP, tanto para circuitos urbanos como para autopistas. Se observa que en los mejores casos (densidad de tráfico baja en autopistas) AODV alcanza un porcentaje de éxito cercano al 50% en UDP y un throughput de 6000 paquetes en TCP. Estos valores en los 80 segundos de simulación equivalen a tasas medias de 30kbps para UDP y 70kbps para TCP.

Se ha comprobado como los retardos, en muchas ocasiones, son inversamente proporcionales a la cantidad de información transmitida ya que el conseguir mandar información por rutas largas que solo ciertos protocolos consiguen implica subir el promedio del retardo para esos estudios. Aún así, los retardos de AODV, en casi todas las topologías se mantienen entre 100 y 200 ms.

De las comparativas de overhead se extrae que los protocolos proactivos presentan una mayor carga a la red siendo casi constante al modificar los perfiles de tráfico mientras que los reactivos introducen menos carga y son más sensibles a la densidad de nodos. Esta sensibilidad hace que el porcentaje de paquetes de control vaya del 2 % en los mejores casos hasta el 30% en los peores. Cabe destacar el buen comportamiento en este sentido de DSR en comunicaciones TCP.

En el escenario de la autopista se comprueba gracias a los resultados gráficos del programa tracegraph que para la mayoría de los protocolos la velocidad de los vehículos que circulan en sentido contrario es demasiado alta para que intervengan en el encaminamiento de paquetes de una conexión en un sentido. Como excepción cabe citar al protocolo AODV que aunque en pequeña medida, es capaz de encaminar parte del tráfico de una conexión a través de vehículos del sentido contrario.

## 5.4 Comunicaciones Geocast I2V

En este escenario se realiza un estudio de tres protocolos geocast en los dos tipos de vías anteriormente descritas; autopista y circuito urbano. La finalidad de los protocolos geocast es enviar información desde un nodo a todos aquellos que se encuentren en una determinada área geográfica conocida como zona geocast. Para esto todos los nodos deben conocer su localización en todo momento, utilizando por ejemplo el GPS (Global Positioning System) o el futuro Galileo.

Los protocolos geocast se pueden dividir en tres grupos atendiendo a su funcionamiento:

- ~ Basados en flooding
- ~ Basados en routing
- ~ Basados en cluster

Los protocolos basados en flooding, utilizan este sistema (también conocido como inundación) o una variante del mismo para hacer llegar paquetes desde el nodo origen hasta la zona geocast. En esta categoría se encuentran los protocolos LBM (Location Based Multicast) y los basados en el diagrama Voronoi.

Los basados en routing crean varios caminos desde el origen hasta la zona geocast. Aquí se encuentran MGRP (Mesh-based Geocast Routing Protocol), GAMER (Geocast Adaptive Mesh Environment for Routing) y Geotora.

Por último, los basados en cluster dividen la MANET de forma geográfica en celdas de igual tamaño y eligen un nodo en cada una de ellas que será el encargado de encaminar la información. Dentro de esta categoría encontramos GeoGrid, OFSGP (Obstacle-Free Single-destination Geocasting Protocol), OFMGP (Obstacle-Free Multi-destination Geocasting Protocol)

Dentro de cada grupo se ha elegido LBM por ser el protocolo basado en flooding más referenciado, Geogrid por ser el único que no tiene en cuenta obstáculos y Gamer debido a estar desarrollado por el grupo Toilers, permitiendo la descarga del código de forma libre.

Las extensiones de estos protocolos para ns-2 han sido desarrolladas y ofrecidas abiertamente por el grupo de trabajo Toilers de la Escuela de Minas de Colorado [14]. Veamos algo más en detalle las características de cada uno de ellos así como su implementación para ns-2

### 5.4.1 Entorno de simulación

En todos los escenarios de simulación de este capítulo se ha utilizado un rango de transmisión de 250m y el ancho de banda de enlace de cada nodo es de 2 Mbps. Existe un único nodo origen de datos que envía paquetes CBR geocast de 64 bytes. Se distribuye temporalmente el envío de datos de forma aleatoria para evitar colisiones.

Dadas las particularidades de estos protocolos, se compararán los rendimientos atendiendo a dos indicadores:

- One Success Delivery Ratio (OSDR)
- Packet Overhead per One Success (Overhead).

Si el nodo origen envía datos y al menos uno de los nodos de la zona geocast los recibe se produce un éxito (One Success). Los resultados para All Success, en los que todos los nodos de la zona geocast reciben el paquete son muy similares a los de One Success) El overhead es la suma de todos los paquetes transmitidos (datos y control) por todos los nodos en la simulación y divididos por los éxitos (One Success).

Aunque también se recogen datos del retardo por éxito (Retardo) y del número de saltos por éxito (Hops). No se muestran en la comparativa gráfica ya que pensamos que no representan fielmente los datos medios reales sino un promedio de saltos y retardo de todos los paquetes transmitidos (datos y control).

#### 5.4.2 Rendimiento de comunicaciones I2V en circuito urbano

En este estudio se pretende comparar los protocolos con diferentes perfiles de tráfico en el circuito urbano, para ello se fija la tasa de envío de paquetes desde el nodo origen a un valor intermedio; 40 y se modificaran las densidades de tráfico. Los modelos de movilidad coinciden con los descritos en la comparativa de protocolos unicast salvo que ahora se añade un nodo origen de datos fijo en la posición (450,0) y otro nodo fijo dentro de la zona geocast (919,519) para asegurarse de que siempre exista un nodo en dicha zona.

Al igual que en el estudio de congestión, la zona de geocast es el rectángulo definido por las siguientes puntos: (820, 470) y (920, 520). Ver Figura 6

Fig 6. Escenario de simulación para el circuito urbano

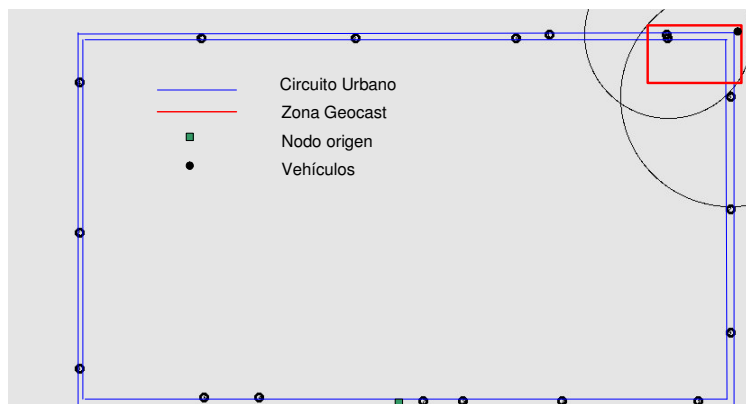
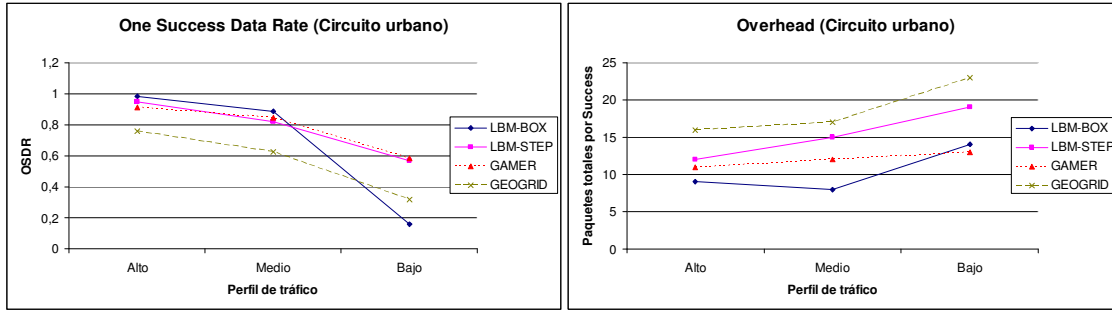


Fig 7. Comparativa de protocolos Geocast en circuito urbano



5.4.3 Rendimiento de comunicaciones I2V en circuito urbano

En este estudio se pretende comparar los protocolos con diferentes perfiles de tráfico en autopistas, para ello se fija la tasa de envío de paquetes desde el nodo origen a un valor intermedio; 40 y se modificaran las densidades de tráfico. Los modelos de movilidad coinciden con los descritos en la comparativa de protocolos unicast salvo que ahora se añade un nodo origen de datos fijo en la posición (1000, 0) y otro nodo fijo dentro de la zona geocast (2000, 1) para asegurarse de que siempre exista un nodo en dicha zona. La zona de geocast es el rectángulo definido por las puntos: (1750, 0) y (2250, 30).

Fig 8. Comparativa Escenario de simulación para la autopista

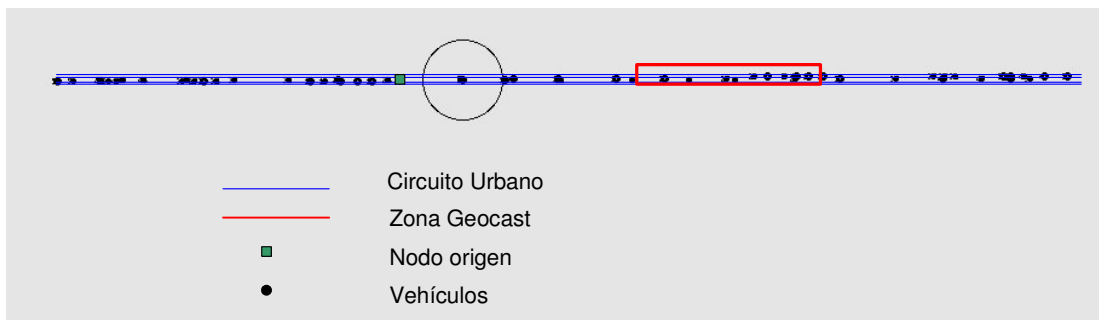
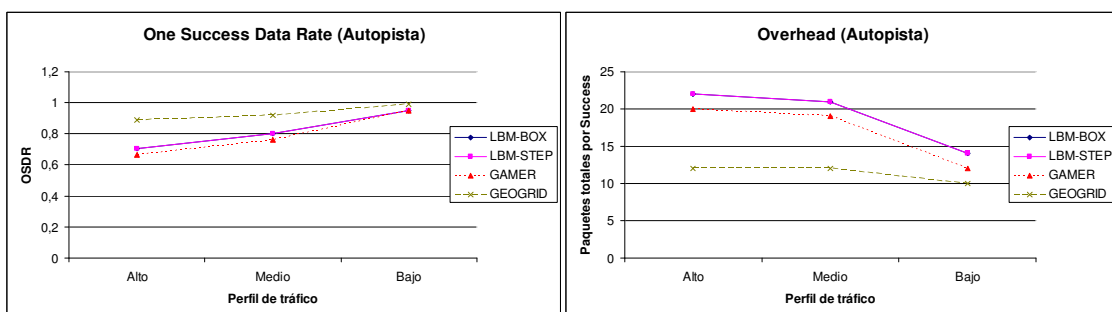


Fig 9. Comparativa de protocolos Geocast en autopista



#### 5.4.4 Conclusiones generales de las comunicaciones I2V

Es conveniente recordar en este punto, que se están mostrando comparativas de los protocolos geocast para los escenarios propuestos y no para esquemas de movilidad tradicionales como randway, randwalk... Esto hace que, aunque en algunos casos las conclusiones coincidan, en otros diferirán de los resultados obtenidos por otros grupos de trabajo que han realizado trabajos parecidos con diferentes modelos de movilidad, en especial en [17].

Del conjunto de los diferentes estudios realizados se desprende que para cada escenario existe una densidad de tráfico de nodos óptima y tanto si aumenta como si disminuye el número de nodos las prestaciones de todos los protocolos disminuyen. Para el circuito urbano la densidad óptima es la definida como alta, es decir la generación de vehículos cada 10 segundos. En cambio, para la autopista los mejores resultados aparecen con la densidad baja que corresponde a un período de 15 segundos.

De los diferentes pares de gráficas se desprende que, por lo general, el rendimiento de un protocolo, es decir el porcentaje de éxito y su overhead relativo están relacionados inversamente. Un protocolo con un gran porcentaje de éxito tendrá menor overhead que otro con menor porcentaje.

Para el escenario del circuito urbano, tanto con diferentes tasas de transferencia como con distintos perfiles de tráfico el protocolo ganador es claramente LBM en su esquema box; este protocolo debido a la zona de forwarding adaptativa para cada nodo intermedio presenta el menor overhead y el mayor porcentaje de éxitos.

Los resultados difieren para el escenario de la autopista, aquí el claro vencedor en la comparativa es Geogrid, que gracias a su mecanismo de partición del área se muestra mucho más robusto a las severas condiciones de movilidad de este escenario.

## 6 Conclusiones y trabajos futuros

La principal conclusión es que los protocolos existentes hoy en día, dan un rendimiento aceptable en los escenarios propuestos. Aún así se espera que el gran esfuerzo investigador que están llevando a cabo diferentes entidades (empresas, universidades y centros tecnológicos) traiga consigo una mejora importante en el rendimiento de este tipo de redes.

Estos estudios, a pesar de dar una buena aproximación del funcionamiento de las redes VANET en escenarios realistas, tanto en vías urbanas como interurbanas, distan mucho de ser el rendimiento real de este tipo de redes.



## REFERENCIAS

- [1] Internet Engineering Task Force: MANET Working Group, "Mobile Ad-hoc Networks". <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. RFC 3561, Julio 2003.
- [3] T. Clausen and P. Jacquet. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). RFC 3626, Octubre 2003.
- [4] David B. Johnson, David A. Maltz, and Yih-Chun Hu. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). Internet Draft "draft-ietf-manet-dsr-10". Julio 2004
- [5] Charles Perkins and Pravin Bhagwat. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance- Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. In ACM SIGCOMM'94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications
- [6] Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks. Julio 2002.draft-ietf-manet-fsr-03.txt
- [7] Y. Ko and N.H. Vaidya. Geocasting in mobile ad hoc networks: Location-based multicast algorithms. In Proceedings of WMCSA,1999.
- [8] T. Camp and Y. Liu. An adaptive mesh-based protocol for geocast routing. Journal of Parallel and Distributed Computing: Special Issue on Routing in Mobile and Wireless Ad Hoc Networks, 2003.
- [9] W.-H. Liao, Y.-C. Tseng, K.-L. Lo, and J.-P. Sheu. GeoGRID: A geocasting protocol for mobile ad hoc networks based on GRID. Journal of Internet Technology, 2000.
- [10] IEEE P802.11 - TASK GROUP P. [http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgp\\_update.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgp_update.htm)
- [11] Network Simulator. ns-2. <http://nslam.isi.edu/nslam/>
- [12] Grupo ANTS del departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones. Universidad de Murcia
- [13] FSR Implementation <http://fsr-routing.sourceforge.net/>
- [14] Grupo de trabajo Toilers de la Colorado School of Mines. <http://toilers.mines.edu>
- [15] MOVE. School of Computer Science and Engineering. New South Wales. Australia <http://www.cse.unsw.edu.au/~kfan/move>
- [16] SUMO. <http://sumo.sourceforge.net>
- [17] Performance comparison of Geocast Routing Protocols for a MANET. Peiling Yao, Ed Krohne, and Tracy Camp. Dept. of Math. and Computer Sciences, Colorado School of Mines. Golden, CO, 80401. pyao, ekrohne and tcamp@mines.edu