

Evaluación de desempeño de VoIP en redes MANET

Performance evaluation of VoIP in MANET

Patricia Sing-Borrajó

Ingeniera de Telecomunicaciones y Electrónica
Profesora Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Santa Clara, Cuba
psing@uclv.edu.cu

Resumen— Las redes MANET constituyen una opción atractiva para soluciones de VoIP en escenarios que se caracterizan por la movilidad de los nodos y donde no exista una infraestructura previamente creada. Sin embargo, el soporte de servicios de voz enfrenta desafíos más rigurosos en redes MANET que los que aparecen en otras redes. La dinámica con que cambia la topología causa que algunos parámetros importantes para medir la calidad como el retardo, la pérdida de paquetes y la variación del retardo se vean muy afectados. En este trabajo se mide mediante simulación el impacto que tienen las métricas: número de saltos, carga de tráfico, densidad de los nodos y número de interrupciones de ruta en el desempeño de aplicaciones de VoIP en redes MANET. Con los resultados obtenidos se ha podido comprobar que las métricas estudiadas tienen un comportamiento más inestable en MANET que en otras redes también candidatas a soportar servicios móviles, sin embargo, existe mucha expectativa con la posibilidad de utilizar estas tecnologías (VoIP y MANET) para ofrecer telefonía móvil de bajo costo gracias a la facilidad de despliegue y a la sencillez de su infraestructura.

Palabras Claves— MANET, ns3, protocolos de enrutamiento, VoIP.

Abstract— MANET networks are an attractive option for VoIP solutions in scenarios that are characterized by the mobility of nodes and where there is not a previously established infrastructure. However, the voice support faces more rigorous challenges in MANET networks than those of others networks. The dynamic with which topology changes affects important parameters to measure quality such as delay, packet loss and delay variation. In this work we measured the impact of metrics such as hop count, traffic load, node density and number of route breaks have over the performance of VoIP applications in MANET through simulation. Such simulations have allowed the comparison of the behavior of three important routing protocols. From the results reached, it has been shown that the studied metrics have a more unstable behavior in MANET than in other networks that are also candidates to carry mobile services. However, there is a lot of expectation with the possibility of using these technologies (VoIP and MANET) to provide low-cost mobile telephony due to the ease of deployment and simplicity of its infrastructure.

Keywords— MANET, ns3, routing protocols, VoIP.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes *Ad hoc* están formadas por una asociación de nodos que se comunican a través de enlaces inalámbricos; estas redes [1]-[3] surgen bajo el concepto de autonomía e independencia, al no demandar el uso de infraestructura preexistente. Dentro de las redes *Ad hoc* existen varios tipos: las redes de sensores, las redes *mesh*, las redes vehiculares (*VANET*, *Vehicular Ad Hoc Network*) y las redes móviles *Ad hoc* (*MANET*, *Mobile Ad Hoc Network*).

Las *MANETS* son una colección de nodos inalámbricos que forman redes temporales sin requerir infraestructura o administración centralizada. Los nodos se incorporan o abandonan la red constantemente. Por lo tanto, la topología de la red es muy cambiante y aleatoria. Todos los nodos pueden actuar como transmisores, receptores y *routers*, esto es necesario, ya que las rutas para llegar a un destino pueden tener varios saltos.

Una característica fundamental de *MANET* son los protocolos de enrutamiento, los cuales hacen que estas redes sean una alternativa interesante para su investigación y desarrollo; unido al hecho de que los servicios de telefonía IP representan actualmente una solución atractiva para las empresas; no solo porque generan ahorro, sino también disponibilidad y seguridad. Los últimos años se han caracterizado por un rápido crecimiento del mercado de voz sobre IP (*Voiceover IP*, *VoIP*), gracias al bajo costo de esta tecnología basada en paquetes y la fiabilidad de las redes IP actuales.

Se cree según [2] que ocurra un suceso similar en las Redes Móviles *Ad hoc* (*Mobile Ad hoc Network*, *MANET*), las cuales ofrecen una plataforma adecuada para el desarrollo de aplicaciones de

voz. De igual forma, VoIP sobre redes MANET enfrenta varios inconvenientes no encontrados en las redes de paquetes convencionales; el aspecto de calidad en las MANET es mucho más crítico, ya que es difícil garantizar niveles o límites de retardo entre redes, variación del retardo o probabilidad de pérdida de paquetes, entre otros, cuando se opera en un entorno altamente dinámico.

En los últimos años aparecen varios trabajos que abordan el análisis de los problemas de calidad en la transmisión de tráfico en tiempo real a través de redes MANET. El estudio realizado en [2] plantea la evaluación de la calidad mediante el uso de tres protocolos de ruteo y tráfico VoIP; eligen el simulador *OpnetModeler* que es software propietario, por lo que se hace difícil la reproducibilidad del experimento. De igual manera, Shin y Schulzrinne [4] han medido la capacidad para tráfico VoIP en una IEEE 802.11 mediante un *testbed* y han determinado la capacidad teórica para una WLAN soportando llamadas VoIP.

En [5], los autores han analizado el rendimiento de los sistemas de VoIP en una red *Ad hoc* con nodos estacionarios cuando se utilizan dos protocolos de ruteo: AODV y OLSR. En otros [1], [3], [6] los autores han examinado el rendimiento de los sistemas de voz, midiendo parámetros importantes que afectan la QoS como retardo, variación del retardo, ancho de banda, pérdida de paquetes y frecuencia de interrupción del servicio. Estos trabajos han puesto de manifiesto que todavía es necesario mejorar los algoritmos de enrutamiento disponibles para apoyar los servicios de telefonía sobre redes móviles *Ad hoc* con una calidad satisfactoria, y que los *codec* de audio empleados afectan el desempeño de tales protocolos de ruteo. Hay que tener en cuenta que las investigaciones realizadas son muy diversas y que las conclusiones a las que llegan están condicionadas a particularidades específicas de la arquitectura de red en la que se llevan a cabo los experimentos, las cuales podrían cambiar en otras condiciones.

El hecho de poder ofrecer ciertos niveles de calidad de servicio en redes MANET sigue siendo un tema abierto para la comunidad investigadora, y supone un reto muy interesante dado las dificultades que conlleva. Aún se necesita mucho esfuerzo con el fin de hacer esta tecnología viable para aplicaciones multimedia con requerimientos de QoS; en términos de pérdidas de paquetes, retardo y

variación del retardo [6]. Atendiendo a que muchos de los trabajos previos y de las publicaciones registradas con respecto a la evaluación de desempeño de las aplicaciones de voz usan experimentos y mecanismos con formas de evaluación diversa, se hace difícil establecer un nivel de comparación equivalente. Este trabajo pretende contribuir con mecanismos de evaluación de la calidad lo cual tiene un impacto directo en el uso que se les puede dar para medir y probar diversos factores que influyen en el desempeño de las aplicaciones de voz en condiciones uniformes.

El artículo se presentará de la siguiente manera: en la sección 2 se describen los experimentos, las métricas que van a utilizarse en los mismos y los protocolos de enrutamiento. La sección 3 presenta los resultados y discusión de los experimentos. Posteriormente en la sección 4, se arriban a las conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muchos estudios realizados en publicaciones de fuentes arbitradas [1], [3], [6]-[8] coinciden en que las métricas más importantes con el fin de evaluar el desempeño real de una red *Ad hoc* en un contexto VoIP son: el retardo, el *jitter* y la pérdida de paquetes. Otras métricas que pueden considerarse significativas son: la cantidad de interrupciones, la cual representa el número de cortes que el usuario experimenta en la llamada telefónica, y la duración de la interrupción, que se aprecia desde el momento en que el protocolo de ruteo avisa que la ruta se ha perdido hasta la disponibilidad de una nueva ruta válida. Esto representa la magnitud del corte que el usuario experimenta en su llamada telefónica [3].

Una característica fundamental de MANET son los protocolos de enrutamiento, ya que estos se tienen que adaptar rápidamente a los cambios constantes de la topología de la red con el fin de mantener una ruta para la comunicación entre los nodos. Existe una gran cantidad de protocolos de ruteo para las redes *Ad hoc*, los cuales pueden ser más o menos adecuados en cada escenario en concreto. Estos protocolos se pueden dividir en tres grandes grupos [9]-[11], en función del método que utilizan para determinar las rutas: reactivos, proactivos e híbridos.

Los protocolos de ruteo reactivo o bajo demanda son aquellos en los cuales se hallan las rutas

entre un nodo origen y un nodo destino bajo demanda de la fuente. Es decir, que sólo cuando sea necesario iniciar una transmisión se buscará una ruta para realizarla. Una vez establecida la ruta, los nodos que participen en la transmisión se encargarán de su mantenimiento. Las ventajas de este tipo de protocolos es que no necesitan demasiada señalización; lo cual reduce el *overhead* y optimiza el uso de las baterías, al contrario de lo que sucede con los protocolos proactivos. Sin embargo, el tiempo de establecimiento de las rutas es mayor, ya que cuando se necesita la ruta, se inicia el mecanismo de descubrimiento de ruta, y hasta que éste no termina, no se puede iniciar la transmisión. Un ejemplo de protocolo reactivo es AODV.

Los protocolos de encaminamiento proactivos intentan mantener tablas de las rutas actualizadas constantemente. Eso significa que cada nodo debe mantener actualizada una tabla con todas las rutas hacia los otros nodos. La información que contienen las tablas debe actualizarse periódicamente y ante cualquier cambio de la topología de red. Esta actualización constante provoca que estos protocolos generen una gran cantidad de paquetes de señalización (*overhead*); lo cual afecta a la utilización del ancho de banda, el *throughput* y el consumo de energía. La ventaja principal que aportan estos protocolos es que el establecimiento de una nueva ruta para iniciar una transmisión precisa de un tiempo muy pequeño al tener todos los nodos las tablas de rutas actualizadas. Ejemplo de este tipo de protocolo son: DSDV y OLSR.

Con la simulación se aspira a adquirir trazas de varios escenarios de redes móviles *Ad hoc*, simulándose dichos escenarios con parámetros diferentes. Con estas trazas se pretende evaluar los parámetros fundamentales que influyen en el desempeño de las aplicaciones de voz. Para todos los experimentos se tuvo en cuenta que:

- Las aplicaciones de voz son sensibles a la pérdida de paquetes tolerándose hasta un 5 % de pérdidas aunque el 3 % ya afecta la calidad del flujoVoIP [12].
- El retardo promedio para un flujo VoIP debe ser menor que 150 ms para tener una percepción aceptable de la calidad [12].

También se tuvo en cuenta que existe un gran número de simuladores de red disponibles. En

esta investigación se eligió el ns3, ya que es software libre y gratuito. Recoge la experiencia de ns2. Está desarrollado en C++; cuenta con gran cantidad de documentación en forma de tutoriales, detalles de la API y artículos. Tiene un diseño óptimo, potente y flexible. Por lo que es la opción más factible para trabajar en la investigación pensando en su desarrollo a mediano y largo plazos.

Para la realización de los experimentos se requería una aplicación que imitara tráfico de voz. Desafortunadamente este módulo aún no se encuentra implementado en ns3; por lo que se procedió a modificar las aplicaciones existentes Udp Server y UdpClient para cumplir con los requisitos que se deseaba evaluar. Se modificó el tamaño del paquete a 172 bytes, 12 bytes de cabecera RTP y 160 bytes que corresponden al códec G.711, especificando un intervalo de tiempo entre paquetes de 20 ms. Se transmiten 9000 ó 15 000 paquetes lo que equivale a 3 ó 5 minutos de conversación respectivamente.

2.1. Experimento 1

Este experimento consiste en enviar tráfico VoIP desde un nodo cliente a un nodo servidor e ir incrementando la cantidad de estaciones. Los nodos se separan a una distancia de 100 m que es aproximadamente el área de cobertura para propiciar saltos (estaciones intermedias por las que pasa la información antes de llegar al destino) entre los nodos. El experimento se lleva a cabo con el objetivo de apreciar el desempeño de los diferentes protocolos respecto al número de saltos, ya que está demostrado que existe una degradación de la calidad cuando aumenta el número de estos [1], [5].

Se evalúa la pérdida de paquetes y el retardo, ya que estos parámetros tienen un impacto directo en la calidad percibida por los usuarios. Para la realización de este experimento se usa la topología de red ilustrada en la Fig. 1 y los parámetros de simulación de la tabla I:

Fig. 1. TOPOLOGÍA DEL EXPERIMENTO 1



Fuente: autora

TABLA I
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DEL EXPERIMENTO 1

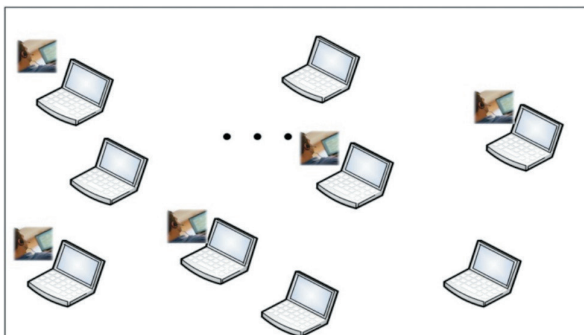
Parámetros	Valor
Protocolo de ruteo	AODV/DSDV/OLSR
Mac/Phy	802.11b
Área	800 m x 100 m
Tipo de Tráfico	VoIP
Códec	G.711
Cantidad de Paquetes	15 000
Número de Nodos	2-9
Tiempo de Simulación	1 000 s

2.2. Experimento 2

Este experimento consiste en elegir un área e ir incrementando la cantidad de estaciones; se realiza con el objetivo de evaluar la tendencia del desempeño de los protocolos respecto a la densidad de nodos. Además, para encontrar una densidad adecuada de terminales que permita llevar a cabo otros experimentos, ya que se utilizan modelos de movilidad aleatorios donde se hace difícil la predicción de la ubicación de los nodos y por ende el mantenimiento de la conexión sin pérdidas de enlace producto de ausencia de cobertura.

Para la realización de este experimento se usa la topología de red ilustrada en la Fig. 2 y los parámetros de simulación de la tabla II:

Fig. 2. TOPOLOGÍA DE RED EXPERIMENTO 2



Fuente: autora

TABLA II
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DEL EXPERIMENTO 2

Parámetros	Valor
Protocolo de ruteo	AODV/DSDV/OLSR
Mac/Phy.	802.11b
Área	500x500m
Tipo de Tráfico	VoIP
Códec	G.711
Cantidad de Paquetes	9000
Número de Nodos	30/50/100 con 5 conexiones simultáneas
Tiempo de Simulación	1000s
Modelo de movilidad	Random Waypoint/Random Walk2

2.3. Experimento 3

En este experimento se analiza la capacidad para tráfico *VoIP*, siendo el escenario fundamental un área rectangular (una sola celda) donde se posicionan los nodos aleatoriamente. La capacidad teórica para tráfico *VoIP* puede ser definida como el máximo número de llamadas que están permitidas simultáneamente en el canal [4].

Un cliente *CBR* (Razón de Bit Constante) *VoIP* genera un paquete *VoIP* en cada intervalo de paquetización y el paquete necesita ser transmitido dentro de este intervalo para evitar la acumulación del retardo. Entonces, el número de paquetes *VoIP* que pueden ser transmitidos durante un intervalo de paquetización es el máximo número de llamadas simultáneas y es la capacidad para tráfico *CBRVoIP* [4]. Los parámetros utilizados son similares al experimento 2 como se puede observar en la tabla I. Se utiliza la misma topología del experimento 2.

2.4. Experimento 4

El siguiente experimento considera un número variable de flujos de datos en la red; se miden la cantidad de interrupciones que se producen en un escenario común donde se agrava la situación en cuanto a la aparición de intervalos sin ruta sobre la base de aumentar el área y disminuir la densidad de nodos.

Bajo la influencia del experimento 2 se escogió una cantidad de nodos y un área de movilidad que garanticen que la probabilidad de aparición de interrupciones y pérdida de ruta aparezcan con una mayor frecuencia. Los parámetros utilizados son similares al experimento 2 como se puede observar en la tabla I. Se utiliza la misma topología del experimento 2.

La tabla III muestra un resumen de las características de los cuatro experimentos realizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

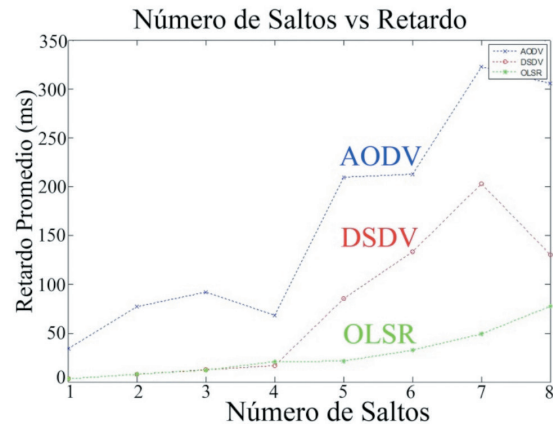
3.1. Experimento 1

En la Fig. 3 puede observarse que con el incremento del número de saltos el retardo promedio también aumenta. Se ilustra que el retardo es bajo cuando el número de saltos es inferior a cinco para AODV (similar resultado se obtiene en el experimento descrito en [1]) y menor a siete para DSDV.

OLSR muestra un mejor comportamiento, ya que este protocolo mantiene *clusters* de nodos en la topología dividiendo los nodos vecinos en vecinos de un salto y de dos, lo que hace más eficiente el proceso de enlace [13]. Se puede verificar además que los protocolos reactivos presentan más retardo que los proactivos, resul-

tado que coincide con los presentados en [10]. En este caso se debe a que el protocolo reactivo AODV busca la ruta bajo demanda y, además, lleva a cabo un proceso de mantenimiento de ruta, lo que genera un incremento en la transmisión de tráfico de control al detectar la pérdida del enlace o un cambio en la topología [16]

Fig. 3. RETARDO DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN EL EXPERIMENTO 1



Fuente: autora

En la Fig. 4 la pérdida de paquetes se expresa como el por ciento de paquetes perdidos respecto al total de paquetes transmitidos. La pérdida de paquetes resulta cuando los paquetes transmitidos no son recibidos en el destino final [1].

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPERIMENTOS

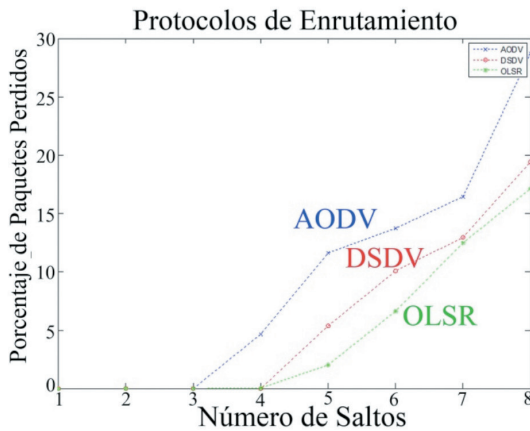
Parámetro/Experimento	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Protocolo de Ruteo	AODV/DSDV/OLSR	AODV/DSDV/OLSR	AODV/DSDV/OLSR	AODV/DSDV/OLSR
Mac/Phy	802.11b	802.11b	802.11b	802.11b
Área	800m x 100m	500m x 500m	300m x 300m	500m x 500m
Tipo de Tráfico	VoIP	VoIP	VoIP	VoIP
Códec	G.711	G.711	G.711	G.711
Cantidad de Paquetes	15000	9000	9000	9000
Número de Nodos	2-9	30/50/100*	30/50/100**	50***
Tiempo de Simulación (s)	1000	1000	1000	1000
Modelo de Movilidad		RandomWaypoint/Walk2	RandomWaypoint/Walk2	RandomWaypoint/Walk2
Objetivo	Apreciar el desempeño de los diferentes protocolos respecto al número de saltos.	Evaluar la tendencia del desempeño de los protocolos respecto a la densidad de nodos.	Analizar la capacidad para tráfico VoIP.	Verificar la tendencia que presentan los tres protocolos de enrutamiento con el incremento de la cantidad de flujos.

* Con 5 conexiones simultáneas.

** Se incrementan las conexiones simultáneas de 5 a 20.

*** Número variable de conexiones de datos en la red.

Fig. 4. PORCENTAJE DE PAQUETES PERDIDOS DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN EL EXPERIMENTO 1



Fuente: autora

Es necesario mencionar que el número de paquetes de enrutamiento se incrementa de acuerdo con el número de nodos que presenta la red, lo cual es lógico, pues para que la ruta sea descubierta, tanto el intercambio de las tablas de enrutamiento como de los paquetes *RREQ* (*RouteRequest*) y *RREP* (*RouteReply*) deben ser generados por un mayor número de nodos. Además, se observó en la herramienta *Wireshark*, que en el protocolo reactivo *AODV*, mientras más rápido se descubre la ruta más son los paquetes de enrutamiento generados por este. Todo esto contribuye al incremento del nivel de tráfico, lo que unido al aumento del retardo explicado anteriormente ocasiona una mayor probabilidad de pérdida de paquetes.

Es necesario mencionar, que a pesar de que los protocolos proactivos *OLSR* y *DSDV* muestran un mejor comportamiento en relación con *AODV*, a partir de los cinco saltos se ven también influenciados por el aumento del tráfico de control y del retardo, fundamentalmente en *DSDV*, superando el umbral permitido para la pérdida de paquetes.

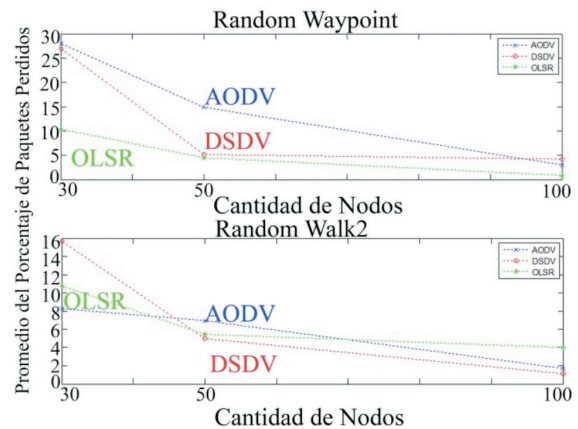
De los resultados de la simulación se puede observar que con menos saltos los protocolos son más estables y se puede proveer mejor *QoS*. Si la cantidad de nodos se incrementa, y por ende en este experimento el número de saltos, trae como consecuencia un aumento del tráfico de control, del retardo y que las rutas se rompan más frecuentemente; por lo que la calidad empeorará.

3.2. Experimento 2

En la Fig. 5 se observa que para una densidad de nodos entre 30 y 100 estaciones, existe una clara tendencia a que en la medida en que aumenta la densidad de nodos disminuye para todos los protocolos la pérdida de paquetes, comportándose así mismo en ambos modelos de movilidad. Es necesario apreciar que la densidad de nodos para el área determinada tiene un impacto importante en el porcentaje de paquetes perdidos, ya que el aumento de los nodos provoca que se pierdan menos paquetes como consecuencia de que se minimiza la pérdida de enlace.

Nótese que aparece una gran diferencia del porcentaje de paquetes que se pierden en el protocolo *OLSR* con respecto a *DSDV* y *AODV*. Sin embargo, es difícil hacer corresponder la situación concreta que enfrenta cada uno de estos protocolos atendiendo a las características aleatorias del modelo de movilidad que se utilice y a la influencia de la topología inicial [15]. Por ello, el experimento es válido para apreciar la tendencia en el comportamiento para cada uno de los protocolos, pero no para comparar el desempeño de los mismos.

Fig. 5. PAQUETES PERDIDOS, MOVILIDAD Y DENSIDAD DE NODOS



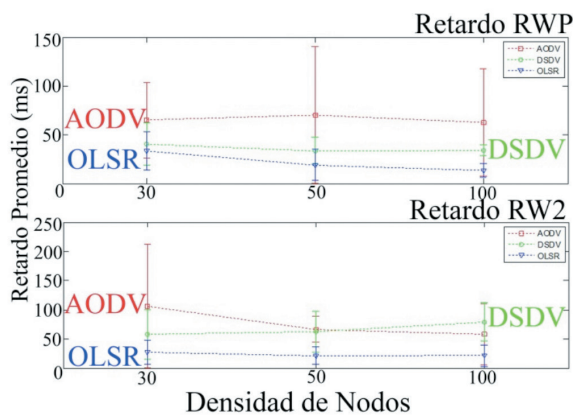
Fuente: autora

En la Fig. 6 se puede observar el retardo promedio, mínimo y máximo de cada conjunto de estaciones respecto a la densidad de nodos y a los modelos de movilidad *RWP* (*RandomWaypoint*) y *RW2* (*RandomWalk2*). Se puede observar que en ambas figuras no hay una degradación apreciable del retardo que pueda afectar la calidad percibida por el usuario.

Véase que el protocolo *OLSR* tiene un mejor comportamiento en cuanto al retardo promedio. Al

respecto, se puede decir que se conoce que *OLSR* presenta un mejor desempeño en redes densamente pobladas [10]. *OLSR* minimiza la propagación de tráfico de control al proveer un mecanismo eficiente de disseminación de información basado en el esquema de los *Multipoint Relays (MPR)* [17]. Bajo este esquema, en lugar de permitir que cada nodo retransmita cualquier información que reciba (*flooding* clásico), todos los nodos de la red seleccionan entre sus vecinos un conjunto de *MPR* (retransmisores) encargados de retransmitir los mensajes que envía el nodo en cuestión. Los demás vecinos del nodo no pueden retransmitir, lo que reduce el tráfico generado por una operación de *flooding*; además, los mensajes *Hello* son enviados periódicamente por cada nodo de la red a sus nodos vecinos, pero nunca son transmitidos más allá del primer salto desde su emisor (alcance local) [17]. Sin embargo, es necesario insistir en que las características del experimento no facilitan una comparación justa entre los protocolos.

Fig. 6. RETARDO, MOVILIDAD Y DENSIDAD DE NODOS



Fuente: autora

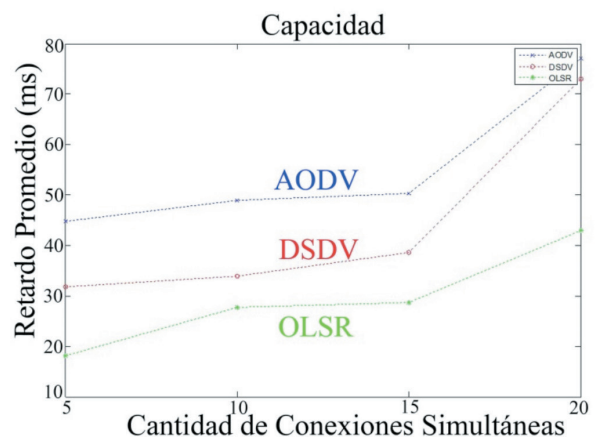
En el experimento anterior existe una gran dispersión de los datos. Para trabajos futuros se aconseja realizar un número adecuado de simulaciones sucesivas que permitan hacer una validación estadística de los resultados. Lo anterior también es válido para potenciar el experimento con la inclusión de la evaluación comparativa de los protocolos.

3.3. Experimento 3

La Fig. 7 ilustra el retardo promedio que sufren los diferentes protocolos de enrutamiento al incrementar el número de conexiones simultáneas; se

puede deducir que la tendencia es que a partir de 15 llamadas simultáneas el retardo aumente más drásticamente, lo que coincide con la capacidad declarada de una 802.11 [4]. Se debe aclarar que la capacidad de los tres protocolos de ruteo no es exactamente 15 llamadas simultáneas sino que está aproximadamente en este valor. Como se observa en la Fig. 7 el retardo promedio no degrada considerablemente la calidad percibida por el usuario, pero cuando el número de flujos se eleva hasta 15 hay un incremento acelerado que llega a comprometer la QoS cuando alcanza alrededor de los 25 flujos (fuera del rango de la Fig. 7).

Fig. 7. RETARDO DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN EL EXPERIMENTO 3

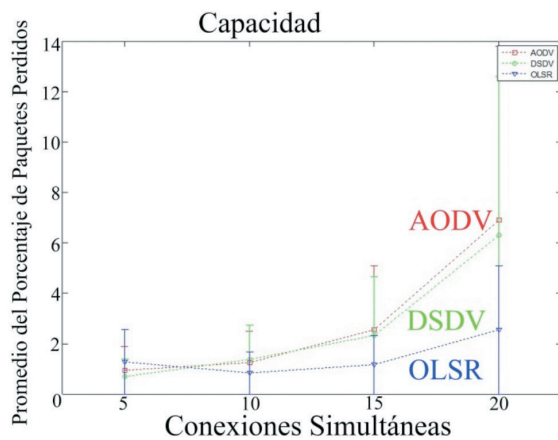


Fuente: autora

La Fig. 8 muestra el promedio así como el mínimo y el máximo del por ciento de los paquetes perdidos. Nótese la dispersión existente entre valor máximo y mínimo. Por ejemplo, en 15 conexiones simultáneas, una de las conversaciones no tiene ninguna afectación y otra, sin embargo, tiene un 6.45 % de paquetes perdidos. Puede observarse que en el caso de 20 conexiones la mayoría de los protocolos supera del 3 % al 5 % de pérdidas invalidando esta cantidad de conexiones simultáneas.

Es necesario mencionar que la capacidad de una red 802.11 es baja y que para una sola celda la capacidad de *MANET* no debe superar la capacidad ya declarada en [4], sin embargo, la posibilidad de que aparezcan varias celdas hace que no sea trivial la determinación del número de conexiones simultáneas para una configuración con una densidad y un patrón de movilidad. Se recomienda realizar este trabajo en estudios futuros, o sea, correlacionar la capacidad con el número de saltos.

Fig. 8. PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE PAQUETES PERDIDOS PARA LOS PROTOCOLOS DE RUTEO



Fuente: autora

3.4. Experimento 4

La Fig. 9 indica la tendencia que presentan los tres protocolos de enrutamiento a aumentar la cantidad de interrupciones con el incremento de la cantidad de flujos; es necesario apreciar que la carga de la red tiene claramente un efecto en esta métrica [3]. Para el protocolo AODV con una pérdida de paquetes de alrededor del 50 % se ha descartado la realización de la corrida para más de 15 flujos simultáneos por considerarse que en términos de calidad son inservibles.

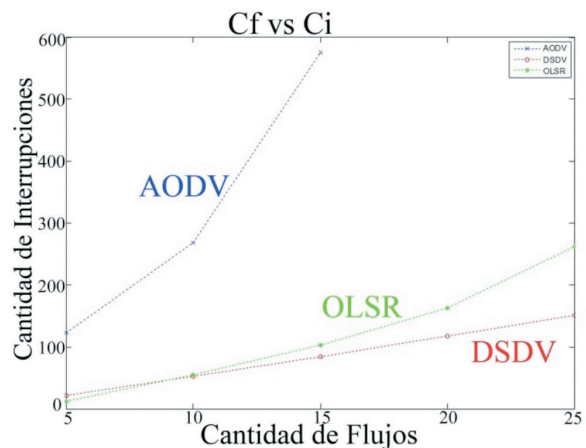
En la Fig. 9 se puede observar la mayor presencia de interrupciones en el protocolo AODV, que se puede explicar por la cantidad de tráfico de control observada a través de la herramienta *Wireshark*. Los mensajes *RouteRequest*, propios del protocolo cuando pierde la ruta, se observan frecuentemente en *Wireshark*, debido a la pérdida y el reencuentro del enlace entre estaciones, que se agrava por las condiciones impuestas en el escenario de simulación; y como AODV es un protocolo de naturaleza reactiva que busca las rutas bajo demanda (no tiene al inicio de la conexión una tabla de ruta en las estaciones con toda la topología de red), al perder el enlace necesita iniciar un nuevo proceso de descubrimiento de ruta que conlleva mensajes *RREQ*, *RREP* e incluso *RERR* (*RouteError*); además de que este proceso fue observado, es necesario mencionar que el funcionamiento del protocolo trae implícito el envío de mensajes frecuentes de *broadcastingRREQ* y reinicialización de rutas para encontrar un camino más óptimo y reciente [18].

También se puede decir que AODV tiene más encabezado en los paquetes, ya que los mensajes *Hello* añaden un pequeño encabezado pues son mensajes de control periódicos enviados por *broadcast* en la red cada un segundo para informar a los vecinos que el nodo sigue activo [18].

La Fig. 9 indica que OLSR tiene más cantidad de interrupciones que DSDV; se supone que este comportamiento esté dado fundamentalmente por el aumento del tráfico de control pues a pesar de que OLSR debe comportarse mejor en este aspecto por el hecho de contar con el esquema de los MPR, se conoce que envía mensajes TC (*TopologyControl*) cada cinco segundos mientras que DSDV envía sus mensajes de señalización cada quince segundos. Otro hecho que tiene un efecto importante en que existan menos interrupciones en DSDV, es que este protocolo tuvo una gran cantidad de pérdidas de enlace que no recuperó, o sea el servicio no se interrumpió simplemente, sino que se perdió; por eso es que en la Fig. 10 se observa la alta relación de paquetes perdidos que presenta DSDV.

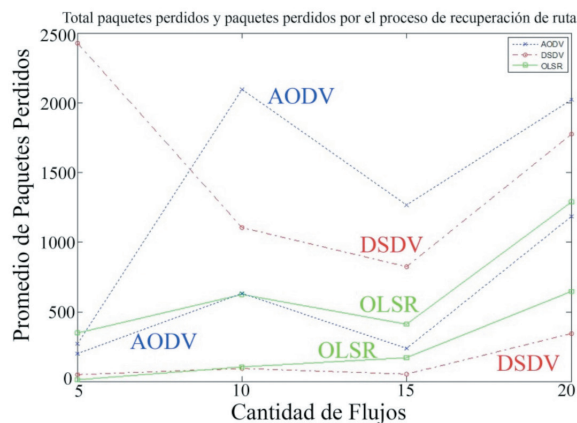
La Fig. 10 indica la cantidad promedio de paquetes perdidos total y de paquetes perdidos por el proceso de recuperación de ruta. Es necesario recalcar que los paquetes perdidos totales se deben en una gran mayoría a la pérdida del enlace entre las estaciones dada por las condiciones impuestas en el escenario de simulación. Nótese que las interrupciones o las pérdidas de enlace que se producen tienen una repercusión directa en la pérdida de paquetes.

Fig. 9. CANTIDAD DE INTERRUPCIONES EN LOS DIFERENTES PROTOCOLOS DE RUTEO



Fuente: autora

Fig. 10. TOTAL DE PAQUETES PERDIDOS Y PAQUETES PERDIDOS POR EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE RUTA



Fuente: autora

CONCLUSIONES

Las MANET ofrecen una plataforma adecuada para el desarrollo de las redes móviles VoIP. Sin embargo, aún deben realizarse muchos esfuerzos para mejorar su desempeño. Una de las principales limitaciones está relacionada con la alta variabilidad de la topología de la red y el comportamiento del canal lo cual influye negativamente en la QoS.

En este trabajo se evaluó mediante simulación el soporte de aplicaciones de voz sobre redes MANET, a través del uso de métricas importantes que influyen en el desempeño de los diferentes protocolos de enrutamiento. Con los resultados adquiridos en las simulaciones se puede concluir que:

- Con menos saltos los protocolos de enrutamiento estudiados son más estables y se puede proveer mejor QoS. Si el número de saltos se incrementa, trae como consecuencia un aumento del tráfico de control, del retardo y que las rutas se rompan más frecuentemente; por lo que la calidad empeorará.
- Con un rango de 30 a 100 estaciones, existe una clara tendencia a que en la medida en que sube la densidad de nodos disminuya para todos los protocolos de ruteo la pérdida de paquetes, comportándose igualmente en los dos modelos de movilidad utilizados (*RandomWaypoint* y *RandomWalk2*).
- La densidad de nodos para un área determinada tiene un impacto importante en el

por ciento de paquetes perdidos, ya que el aumento de las estaciones provoca que se pierdan menos paquetes como consecuencia de que se minimiza la pérdida de enlace.

- La capacidad de conexiones simultáneas de los tres protocolos de ruteo es aproximadamente 15 llamadas, lo que coincide con la capacidad declarada de una 802.11 en [4].
- Los tres protocolos de enrutamiento presentan una clara tendencia de aumento de la cantidad de interrupciones con el incremento de la cantidad de flujos, notándose que las interrupciones o las pérdidas de enlace que se producen tienen una repercusión directa en la pérdida de paquetes.

Los resultados obtenidos ofrecen una perspectiva en el uso de VoIP sobre MANET, contribuyen con mecanismos para evaluar el desempeño de aplicaciones de voz y sientan las bases para futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este artículo no hubiera sido posible sin la estrecha colaboración y compromiso del M. Sc. Carlos Rodríguez López.

REFERENCIAS

- [1] S. el-brak, M. Bouhorma & A. A. Boudhir, "VoIP over MANET (VoMAN): QoS & Performance Analysis of Routing Protocols for Different Audio Codecs," *International Journal of Computer Applications*, vol. 36, no. 12, pp. 22-26, 2011.
- [2] S. Mahajan & V. Chopra, "Performance Evaluation of MANET Routing Protocols with Scalability using QoS Metrics of VoIP Applications". *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 3 no. 2, pp. 150-156, 2013.
- [3] E. Thibodeau, M. Youssef & A. C. Houle, "Investigating MANET performance in a VoIP context," *IEEE CCECE/CCGEI*, pp. 920 – 923, 2006.
- [4] S. Shin & H. Schulzrinne, "Measurement and Analysis of the VoIP Capacity," in *IEEE 802.11 WLAN*, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 8, no. 9, pp. 1265-1279, 2009.
- [5] S. Armenia, L. Galluccio, A. Leonardi & S. Palazzo, "Transmission of VoIP traffic in multihop ad hoc IEEE 802.11b networks: experimental results," *WICON '05: Proceedings of the First International Conference on Wireless Internet*, Washington, DC, USA, 2005.

- [6] L. Atziori & F. Boi, "Joint Routing and Playout Buffering of IP telephony flows in MANETs," in *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 3 no. 4, pp. 297-305, 2008.
- [7] S. El-brak, M. Bouhorma, A. Boudhir & M. El-brak, "VoIP Applications over MANET: codec performance enhancement by tuning routing protocol parameters," *Journal Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 68-75, 2013.
- [8] J. Xiang, J. He, S. Sesay & N. Xie, "Subjective quality evaluation for voice communication over MANET," in *IEEE Communications Magazine*, pp. 1112-1115, 2005.
- [9] J. Hosek, D. Kovac, P. Vajsar & A. Potfay, "QoS support in routing protocols for MANET telecommunications and signal processing (TSP)," in *36th International Conference Roma*, 2013.
- [10] S. Midha, "Performance Analysis of AODV & OLSR for MANET," in *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol.2, no. 1, pp. 1-5, 2013.
- [11] C. Soria-lópez & V.Ramos, "Applying traditional VoIP playout delay control algorithms to MANET devices, circuits and systems (ICCDCS)," in *8th International Caribbean Conference Playa del Carmen*, 2013.
- [12] ITU-T, "Recommendation G.114," in *One-Way transmission time*, 2003.
- [13] P. Gite & S. Thakur, "Performance analysis of different routing protocols using NS3," in *International Journal of Computer Networking, Wireless and Mobile Communications*, vol. 3, no. 1, pp. 197-208, 2013.
- [14] P. Sing-borrajó & C. Rodríguez-López, "Evaluación de desempeño de servicio de voz en redes MANET," en *Universidad Central Marta Abreu de las Villas*, 2012.
- [15] R. Nossenson & A. Schwartz, "The impact of initial network topology on performance of routing algorithms in MANETs," in *WCE*, 2012.
- [16] V. Sireesha & P. Geeta, "Analysis of QoS attributes for AODV routing protocol in MANETS," in *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 1 no. 4, pp. 1-6, 2012.
- [17] T.Clausen, & P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," in *IETF RFC 3626 [Online]*. Available: www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt [Accessed Dec. 2013].
- [18] C. Perkins & E. Belding-royer, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) Routing," in *IETF RFC 3561 [Online]*. Available: www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt [Accessed Dec. 2013].