

Soporte Multitrayecto en red ad-hoc basada en una propuesta de extensión de AODV

Gerson Rodríguez de los Santos López

David Larrabeiti López

Isaac Seoane Pujol

gsantos@it.uc3m.es

dlarra@it.uc3m.es

iseoane@it.uc3m.es

Universidad Carlos III de Madrid
Departamento de Ingeniería Telemática
Avda. de la Universidad 30, 28911 Leganés (MADRID)
Telf: 91-6248794, Fax: 91-6248749

Abstract — Este artículo presenta una implementación extendida del protocolo de encaminamiento ad-hoc AODV para el soporte multi-trayecto. El sistema está diseñado para integrarse en una red inalámbrica con multiplicidad de enlaces en los nodos móviles, de forma que sea probable que existan varios caminos extremo a extremo. El prototipo permite realizar encaminamiento multicamino disjunto, esto es, descubrir y emplear simultáneamente varias rutas independientes dentro de la red ad hoc dinámicamente. El escenario objetivo de esta implementación es una red ad-hoc inalámbrica, que podría ser desplegada sobre la marcha para dar servicios multimedia en la atención a una situación de emergencias, por ejemplo el soporte de video codificado mediante multidescrición enviando cada descripción a través de caminos diferentes.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes ad hoc inalámbricas son objeto de investigación en los últimos años por su utilidad en entornos en los que no existe una infraestructura de red fija. En estas redes los propios nodos son clientes y encaminadores al mismo tiempo. Sin embargo, debido a la variabilidad de la topología de estas redes como consecuencia de la movilidad de los nodos y a las características de los enlaces radio, el encaminamiento es un aspecto crítico. Existen diversos protocolos propuestos y con implementaciones reales, como AODV [1] y DYMO [2].

AODV es un protocolo reactivo de encaminamiento basado en vector de distancias. Cada vez que se quiere encontrar una ruta a un destino, AODV inunda la red con mensajes RREQ que los nodos van pasándose entre sí hasta llegar al destino. El destino envía un RREP cuando le llega un RREQ y aprende una ruta hacia el origen. El origen aprende una ruta hacia el destino por donde le llega el RREP.

Una línea de investigación, dentro de las múltiples que hay en el encaminamiento en redes ad-hoc, se refiere emplear múltiples caminos para llegar a un destino. Existen protocolos propuestos, como AOMDV [3,4] y OLSR multicamino [5] que tratan el problema de descubrir caminos a un mismo destino. Sin embargo, una cuestión menos tratada, es la posibilidad de utilizar todos los caminos descubiertos a la vez para conseguir robustez frente a fallos e incluso mayor ancho de banda agregado [6,7]. La robustez frente a fallos puede conseguirse utilizando más de una interfaz y que cada interfaz vaya a una frecuencia distinta. Tenemos así una forma de diversidad espectral. De hecho, no existen implementaciones prácticas de estos protocolos, ya que la investigación sobre el multicamino en redes ad-hoc se ha trabajado fundamentalmente a nivel de simulación.

Este artículo presenta una implementación práctica de un protocolo de encaminamiento ad-hoc que es capaz tanto de descubrir varios caminos a un destino como de utilizarlos todos a la vez para enviar tráfico a dicho destino. Con ello se pretende estudiar en condiciones reales hasta qué punto puede resultar interesante o ventajoso el uso simultáneo de múltiples caminos. Para ello, se partirá de la implementación del protocolo de encaminamiento ad-hoc realizado por la Universidad de Uppsala, AODV-UU [8] para hacer cambios en el mismo y obtener una versión modificada que en adelante se denominará AODV-UC3M. AODV-UU se ajusta, según su creador Eric Nordström, a la RFC 3561 y posee algunas características adicionales como la detección de enlaces unidireccionales. Se incluirán cambios en su operación para obtener un comportamiento multicamino.

La propuesta de protocolo AODV-UC3M pretende servir como base para una aplicación de vídeo multidescrición que envíe cada flujo de vídeo por un camino independiente. El vídeo multidescrición divide un flujo de vídeo en varias capas no jerarquizadas e independientes entre sí, de forma que la calidad sea directamente proporcional al número de capas recibidas, pero sin importar el orden y sin prioridades entre ellas en la decodificación. Cada capa por sí sola ha de permitir una

codificación válida con una calidad base aceptable [6]. El objetivo final es implementar una aplicación de video con esta tecnología de codificación en una red de emergencias como la del proyecto IMPROVISA [9,10].

Se iniciará el documento describiendo las modificaciones llevadas a cabo sobre AODV-UU para obtener el comportamiento deseado en AODV-UC3M. Seguidamente, se expondrá una serie de pruebas a las que hemos sometido la implementación resultante para evaluar su funcionamiento, y finalmente se expondrán las conclusiones obtenidas de los resultados de dichas pruebas.

II. MODIFICACIONES PLANTEADAS A PARTIR DE AODV-UU

Se van a describir brevemente las modificaciones realizadas sobre la implementación AODV-UU, desarrollada por la Universidad de Uppsala, para conseguir que tenga un comportamiento multicamino con balanceo de carga. Hay tres modificaciones básicas llevadas a cabo en el protocolo AODV para conseguir el comportamiento deseado y otras dos que complementan su funcionalidad.

- 1) **Cambios en el descubrimiento de rutas.** Esta funcionalidad queda ilustrada por las figuras 1 y 2. A la hora de hacer una solicitud de ruta, AODV-UC3M se comporta de forma parecida a AODV-UU ya que inunda la red con mensajes de RREQ y cada nodo intermedio hace caso solamente a la primera petición que le llega, ignorando las demás para así evitar que los caminos no sean disjuntos nodo a nodo. Sin embargo, nuestra implementación modifica la de AODV-UU en el hecho de que el nodo destino escucha y responde todas las peticiones que le llegan y aprende un camino hacia atrás por cada RREQ que llega. Análogamente, el origen aprende un camino hacia delante por cada RREP que le llega.

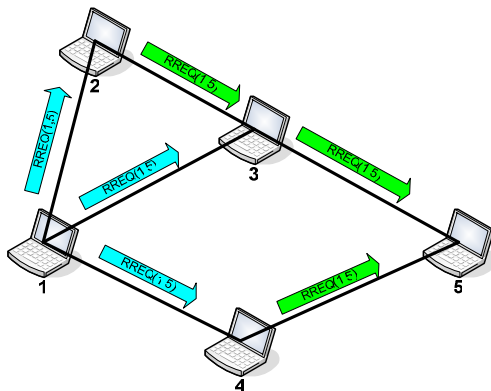


Fig. 1. Procedimiento de descubrimiento de rutas (1).

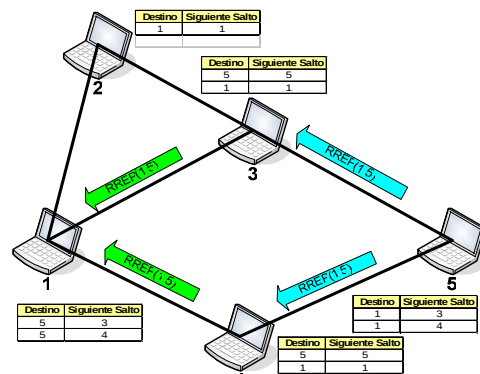


Fig. 2. Procedimiento de descubrimiento de rutas (2).

- 2) **Uso simultáneo de varios caminos.** La siguiente modificación que se introdujo fue, una vez que se descubrían varios caminos, dotar al sistema de la capacidad de utilizarlos todos a la vez. Para ello, se introdujo un mecanismo que, cada vez que se enviaba un paquete al destino, cambiaba la entrada en la FIB (Forwarding Information Base) de Linux para conseguir que se usara un camino distinto al anterior para reenviar el paquete. Esto se ilustra en la figura 3, para dos caminos. La diferencia con la implementación existente en el núcleo del sistema operativo Linux, es que de esta manera se podría gestionar el balanceo de caminos tanto a nivel de flujos como de paquetes.
- 3) **Recuperación frente a errores.** La siguiente modificación, que está ilustrada en la figura 4, consistía en distinguir el origen de los mensajes de RERR. De esta forma, cuando una ruta se cae, se da de baja solamente esa ruta y se redirecciona todo el tráfico a las demás rutas.

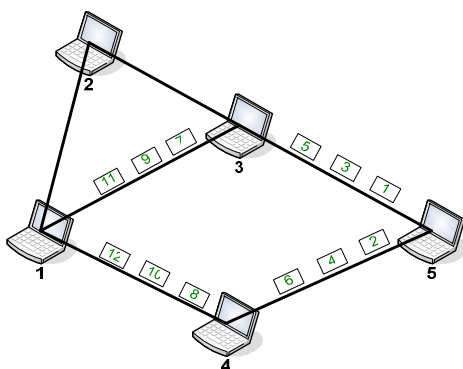


Fig. 3. Uso simultáneo de ambos caminos.

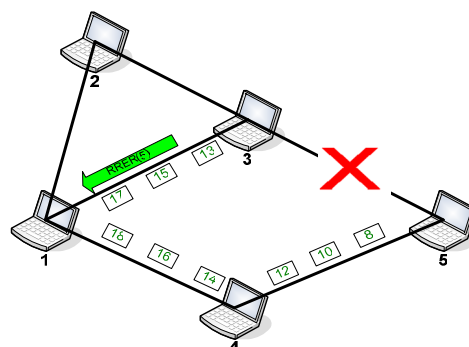


Fig. 4. Mecanismo de recuperación frente a errores (1).

- 4) **Clasificación por origen.** Una premisa de la implementación es la de que las aplicaciones de video multidescrición, sólo envíen descripciones diferentes por caminos disjuntos extremo a extremo. Para garantizar que los caminos descubiertos por un nodo origen sean disjuntos extremo a extremo, se clasifican las rutas por origen de forma que sólo se diversifiquen aquellos flujos que interesen, para no afectar al funcionamiento estándar de la red. Para aclarar esto, tomemos como ejemplo la figura 6.

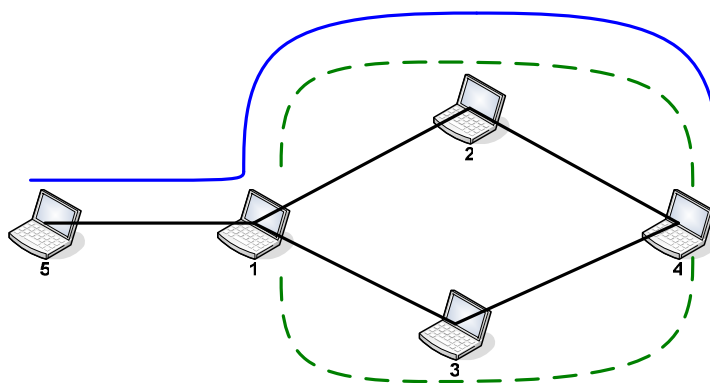


Fig. 6. Flujos de vídeo diferenciados por origen.

Lo que se pretende ilustrar con la figura 6 es lo siguiente: en una red en que el encaminamiento se produce fijándose solamente en el destino, si el nodo 1 quiere enviar tráfico al nodo 4, y posteriormente el nodo 5 quiere enviar tráfico al nodo 4, los paquetes del nodo 5 se dividirán entre los nodos 2 y 3 al pasar por el nodo 1, ya que dicho nodo solo se fija en la dirección destino del paquete. Con esta modificación se pretende que dados un par origen y destino, todos los caminos descubiertos sean disjuntos nodo a nodo y el encaminamiento se haga obedeciendo al par origen/destino. Nótese que de otra forma el tráfico podría congregarse de forma descontrolada en cualquier punto de la red y saturarla.

- 5) **Uso de rutas aprendidas a partir de la FIB.** Un problema de AODV-UU es que, al ser un protocolo reactivo, cada vez que hay algo que no sabe encaminar, bloquea los paquetes salientes hasta que en su RIB (Routing Information Base) aparece una entrada para llegar al destino. Además, AODV-UU sólo se fija en su propia RIB y no tiene en cuenta que en la FIB se pueden añadir entradas de forma estática o mediante otros protocolos de encaminamiento. Por ello, AODV-UC3M lee cada cierto tiempo la FIB y actualiza la RIB con las entradas de la FIB que sean nuevas. Con esta modificación se pretende conseguir interoperabilidad y dar más libertad al usuario.

Se debe también destacar que, al no producirse cambios en la cabecera de los paquetes, nuestro protocolo es perfectamente interoperable con el AODV original. Un nodo que implemente AODV original podrá operar en la red y lo único que le diferenciará del resto es que solo podrá aprovechar un camino al destino.

III. EXPERIMENTOS REALIZADOS

El escenario de pruebas consiste en una red en rombo formada por cuatro PCs portátiles equipados cada uno con dos tarjetas WiFi cada uno (una interna y otra externa). Las internas son compatibles con 802.11g y las externas con 802.11a y 802.11g. Entre cada par de tarjetas se crea una red ad hoc inalámbrica y cada enlace funciona a 6 Mbps. La razón de utilizar varias tarjetas y hacer una subred distinta con cada par es para probar la diversidad basada en caminos independientes en los que el origen y el destino no tengan visibilidad directa. El escenario de pruebas se puede ver en la figura 7.

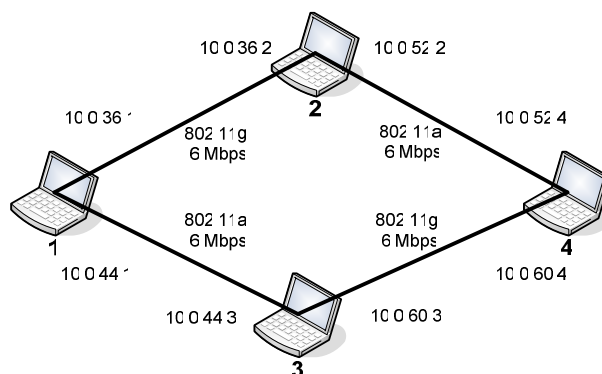


Fig. 7. Escenario de pruebas.

En el escenario de la figura 7, se probó a medir el máximo tráfico cursable por la red. Para ello se utilizó el programa *iperf*, programa implementado para Linux desarrollado para hacer pruebas de rendimiento de tráfico en redes de paquetes. *Iperf* puede crear flujos de tráfico con una tasa binaria, tamaño de paquete y protocolo de transporte personalizados. Así pues, se lanzó un flujo de tráfico UDP de 6Mbps entre los nodos 1 y 4, obteniéndose un flujo medio entre ambos nodos de 4,47 Mbps. Se hicieron 9 realizaciones de este experimento. Se hizo también la prueba de ver el tráfico enviado por el nodo origen y compararlo con el recibido por el nodo destino para medir posibles pérdidas a lo largo del recorrido. En la realización de este experimento se obtuvo una tasa de pérdidas del 12,02%. Es decir, el tráfico ofrecido por el nodo 1 a los nodos 2 y 3 es de unos 5 Mbps y el que realmente llega al nodo 4 es de 4,47 Mbps. También se hizo la prueba de medir el máximo ancho de banda cursable por la red con un solo camino (por ejemplo, con la combinación (1 – 2 – 4) y se obtuvo una media de 4,52 Mbps en 9 realizaciones. En este caso se calculó la tasa de pérdidas y ésta fue del 0%. Nótese que se está contando como tráfico ofrecido el que realmente es capaz de salir a la red desde el nodo 1, no el tráfico que se le pide a *iperf* que intente cursar, que son 6 Mbps.

Finalmente, se probó a medir el tiempo de recuperación del protocolo. Teniendo en cuenta que en AODV-UC3M los enlaces vecinales caducan en 20 segundos (un tiempo que es ajustable por el usuario), el tiempo de recuperación al tirar uno de los enlaces próximos al nodo destino es de 20,00972 segundos. Este resultado se obtiene de sumar el tiempo que tarda un nodo intermedio en darse cuenta de que el enlace se ha caído al tiempo que tarda el nodo origen en dejar de enviar paquetes desde que el nodo intermedio lanza el mensaje de RERR al origen. Véase un resumen de los resultados en la tabla 1.

Tabla 1.- Resumen de resultados obtenidos.

N caminos	Tráfico ofrecido	Tráfico cursado medio	Valor medio de pérdida de paquetes	Tiempo medio de recuperación ante caída de un enlace
1	4,52 Mbps	4,52 Mbps	0%	No aplica
2	5,00 Mbps	4,47 Mbps	12%	20,00972 s

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se ha desarrollado una modificación de AODV-UU capaz de descubrir múltiples rutas disjuntas, utilizarlas simultáneamente para enviar tráfico y recuperarse frente a fallos en esos caminos. De esta forma se mejora el aprovechamiento del ancho de banda que se hace con dos caminos respecto al que se haría con un camino al destino. Se supone que tales resultados se deben en parte al mecanismo con que se hace el cambio de rutas (véase modificación 2 en el apartado III). AODV-UC3M también permite la interoperabilidad con otros protocolos (ver funcionalidad 5 de la sección II). Como modificaciones futuras podría plantearse que el protocolo iniciara un descubrimiento de rutas cuando el número de caminos descubierto fuera menor a un cierto número de caminos mínimo ajustable por el administrador de la red y que el algoritmo de encaminamiento pudiera notificar mediante mensajes que ha descubierto menos caminos que flujos emitidos, para poder reajustar las aplicaciones de capas superiores en el origen.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al proyecto IMPROVISA (TSI2005-07384-C03-02) y a las personas y entidades participantes en el mismo.

REFERENCIAS

- [1] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing" <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, Julio de 2003. IETF RFC 3561.
- [2] I. Chakeres, C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing" <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-dymo-06>, Octubre de 2006. IETF Draft (En borrador).
- [3] Mahesh K. Marina, Samir R. Das, "Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector Routing" in *Wireless Communication and Mobile Computing 2006 (Wiley InterScience)*, 2006, pp 969-988.
- [4] Mahesh K. Marina, Samir R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks" in *Proc. IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, 2001, pp 14-23.
- [5] Mao Kun, Yu Jingdong, Ren Zhi, "The Research and Simulation of Multipath_OLSR for Mobile Ad hoc Network" in *Proceedings of ISCIT 2005*, 2005, pp 522-525.
- [6] John G. Apostolopoulos and Mitchell D. Trott, "Path Diversity for Enhanced Media Streaming" in *IEEE Communications Magazine*, Agosto de 2004, pp 80-87.
- [7] Jiancong Chen, S.H. Gary Chan, Victor O.K. Li, "Multipath Routing for Video Delivery Over Bandwidth-Limited Networks" in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol 22, Número 10, Diciembre de 2004, pp 1920-1931.
- [8] Página principal del proyecto de AODV-UU: <http://core.it.uu.se/core/index.php/AODV-UU>
- [9] Página web del proyecto IMPROVISA <http://www.gsi.dit.upm.es/~improvisa/>
- [10] Isaac Seoane Pujol, David Larrabeiti López "Distribución de video de alta calidad en redes multicamino". Poster. XVI TelecomI+D. ISBN-13: 978-84-690-4355-4. November 2006.