

Técnicas Multi-Hop para Uso Eficiente de los Recursos en Redes de Comunicación 4G

Baldomero Coll¹, Javier Gozávez¹ y Jonathan Rodríguez²

¹Uwicore, *Ubiquitous Wireless Communications Research Laboratory*. <http://www.uwicore.umh.es>
Universidad Miguel Hernández de Elche. Avda de la Universidad, s/n, 03202 Elche, España.
bcoll@umh.es, j.gozalvez@umh.es

²The Institute of Telecommunications (IT) in Aveiro, Portugal.

Abstract — Multi-hop Cellular Networks using mobile relays base their operation on the establishment of wireless energy-efficient multi-hop paths to route the information from source to destination. To this aim, this paper proposes a set of novel multi-hop routing protocols that use the knowledge of the location of the destination node. Furthermore, this paper defines adequate neighbor selection techniques, exploiting spatial diversity, that choose the most appropriate nodes over which to route the information. These two aspects are crucial factors to progress towards the future implementation of Multi-hop Cellular Networks based on mobile relays.

I. INTRODUCCIÓN

La futura generación de redes celulares (4G) deberá proveer a los usuarios de telefonía móvil de altas tasas de transmisión, de un modo homogéneo en todo el área de cobertura de la celda, para soportar las exigentes demandas de tráfico. Las actuales redes celulares, debido a que la comunicación se realiza a través de un enlace directo entre el usuario (MS, *Mobile Station*) y la estación base (BS, *Base Station*), ven seriamente afectada la tasa de transmisión a medida que el usuario se aleja de la BS por la atenuación que sufre la señal con la distancia. Lograr estas homogéneas y altas tasas de transmisión requiere de la instalación de un elevado número de BS, o la incorporación de la tecnología ad-hoc a la tecnología celular. Incrementar el número de BS conlleva, además de un elevado coste de implementación y mantenimiento, el rechazo de la sociedad ante la instalación de elementos radiantes, lo cual dificultaría el desarrollo de las redes 4G. Por otro lado, la fusión de la tecnología celular junto con la tecnología ad-hoc da lugar a lo que se conoce como redes celulares de múltiples saltos (MCNs, *Multi-hop Cellular Networks*) [1]. La utilización de la tecnología MCN permite reducir la distancia de comunicación en cada uno de los saltos, y por tanto las pérdidas de propagación, consiguiendo la creación de caminos multi-hop con una elevada tasa de transmisión.

Las redes MCN han abierto un importante campo de investigación dada su capacidad para conseguir los objetivos de las redes 4G, utilizando tanto retransmisores fijos (MCN-FR, *MCN-Fixed Relay*) como retransmisores móviles (MCN-MR, *MCN-Mobile Relay*). Si bien la complejidad del diseño y desarrollo de las redes MCN-FR es notablemente inferior que en las redes MCN-MR, presentan el inconveniente de un mayor coste económico al requerir de la instalación de nuevos elementos retransmisores. Por otro lado, las redes MCN-MR están caracterizadas por un reducido coste de implementación, pero una elevada complejidad de gestión debido a la participación de las MSs. Sin embargo, explotar la capacidad de las MSs de un modo descentralizado y distribuido incrementa las posibilidades y perspectivas futuras de las redes MCN-MR.

Todavía deben ser abordados importantes retos para el adecuado desarrollo e implementación de la tecnología MCN-MR, por ejemplo, el diseño y optimización de protocolos de enrutamiento robustos, adaptativos y energéticamente eficientes. En el contexto de las redes MCN, el estándar 802.11s [2] es un claro candidato tecnológico para las comunicaciones multi-hop inalámbricas. El estándar 802.11s permitirá la formación de redes malladas o redes mesh en redes inalámbricas, mediante protocolos que posibiliten la auto-formación de caminos entre nodos mesh (MP, *Mesh Point*) y el punto de acceso (AP, *Access Point*), a través de topologías multi-hop auto-configurables en sistemas distribuidos inalámbricos.

II. ESTÁNDAR IEEE 802.11S

A. Descripción del estándar IEEE 802.11s

El estándar 802.11s [2] está centrado principalmente en la capa 2, o capa de nivel de enlace de datos del modelo de referencia OSI. Para llevar a cabo la formación de redes mesh inalámbricas desarrolla funcionalidades tales como descubrimiento de la red mesh, autenticación, gestión de enlaces mesh, selección de canal, seguridad, selección de ruta, interworking y control de congestión entre otras.

El descubrimiento de la red mesh se lleva a cabo a través del envío y recepción de mensajes de beacon, mensajes enviados por los MPs en modo broadcast que permiten conocer a los MPs vecinos. El mensaje de beacon está compuesto por una serie de campos predefinidos que permiten la interoperabilidad entre los distintos nodos que forman la red mesh. En estos campos se definen entre otros parámetros, el identificador de la red (*Service Set ID*, SSID), los distintos protocolos que están siendo

usados en dicha red (*Mesh Configuration*) y las funcionalidades soportadas en la red (*Mesh Capability*). Además, los mensajes de beacon cuentan con campos reservados en previsión de futuras necesidades y funcionalidades.

El mecanismo de selección de ruta propuesto en el estándar 802.11s, denominado HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*), está compuesto por un modo reactivo y otro proactivo, permitiéndose un funcionamiento individual y conjunto de ambos modos. El modo reactivo o *on-demand* consiste en una modificación del protocolo de enrutamiento AODV (*Ad-Hoc On demand Distance Vector*) [3]. La versión original de AODV ejecuta el proceso de búsqueda de ruta únicamente cuando el nodo fuente tiene información que transmitir y no conoce una ruta para alcanzar al nodo destino. En ese caso, el nodo fuente difunde por toda la red un mensaje de búsqueda de ruta (RREQ, *Route Request*) que es retransmitido por los nodos intermedios hasta alcanzar al nodo destino. La versión original de AODV pretende la creación de rutas con una menor latencia. Para ello, el mensaje de búsqueda de ruta RREQ posee un número de secuencia que permite a los nodos intermedios reconocer y descartar un mensaje RREQ anteriormente procesado. Por otro lado, la modificación de AODV presentada en el estándar 802.11s permite a los nodos intermedios procesar un mismo paquete RREQ en más de una ocasión; si el paquete contiene un coste acumulativo de ruta menor que los anteriormente procesados. Por lo tanto, la versión modificada de AODV persigue la creación de rutas con el menor coste acumulativo, en lugar de rutas con una menor latencia en las que no se tienen en cuenta el estado de la red. Para calcular el coste de cada uno de los enlaces, el estándar 802.11s define por defecto la métrica *Airtime Link Metric*, aunque permite la utilización de otras métricas y funciones de coste que se ajusten mejor a las características de la red.

El mecanismo de gestión de enlaces mesh descrito en el estándar 802.11s engloba las tareas de establecimiento y destrucción de enlaces lógicos entre MPs. La formación de los enlaces lógicos entre MPs provoca que los nodos involucrados pasen a denominarse *peer_MP* mutuamente, otorgándoles la capacidad de enviar y procesar mensajes distintos a los de descubrimiento de la red mesh y de establecimiento de enlaces lógicos. El estándar 802.11s especifica claramente que la definición de los requisitos que deben cumplir el número limitado de MPs candidatos a convertirse en *peer_MPs* no es objetivo del estándar. El hecho de que los paquetes de datos únicamente puedan ser encaminados a través de los enlaces lógicos establecidos, implica la necesidad de una adecuada y diversa selección de vecinos que maximice la posibilidad de comunicar a las estaciones fuente y destino de tráfico.

B. Adaptación del estándar IEEE 802.11s al entorno de las redes MCN-MR

Como ha sido descrito en el apartado anterior, el estándar IEEE 802.11s permitirá la formación de redes mesh en redes inalámbricas, convirtiéndolo así en un claro candidato tecnológico para la comunicaciones multi-hop de las redes MCN-MR. A pesar de la similitud conceptual y tecnológica entre los objetivos planteados tanto por las redes MCN-MR como por la red mesh definidas en el estándar 802.11s, las exigentes demandas de rendimiento y eficiencia requeridas en las redes MCN-MR hacen necesaria la adaptación de ciertas funcionalidades del estándar 802.11s. En concreto, en este trabajo ha sido habilitado un nuevo campo en los mensajes de beacon, en el cuál cada nodo incorpora su posición¹. De este modo cada MP de la red es capaz de conocer la ubicación de todos sus MPs vecinos. Esta información es explotada por los MPs de la red para desarrollar tanto protocolos de enrutamiento como mecanismos de selección de vecinos energéticamente eficientes, estables y robustos.

Por otro lado, para calcular el coste de cada uno de los enlaces entre MPs vecinos, el presente trabajo ha optado por la implementación propuesta en [4], debido a la idoneidad de los parámetros considerados en la función de costes (número de saltos, congestión del canal y energía) para un escenario de las características de las redes MCN. Sin embargo, la utilización de diferentes tecnologías ha hecho necesario realizar ciertas modificaciones en la implementación de los parámetros de la función de costes. En [4], los autores miden la congestión del canal a través de la diferencia de tiempos entre paquetes de datos; pues utilizan un tráfico constante CBR (*Constant Bit Rate*). La utilización de un tráfico a ráfagas en este trabajo fuerza a medir la congestión en los paquetes de beacon, cuya periodicidad T es conocida por los nodos. En el caso de la energía, los autores de [4] buscan minimizar el consumo energético utilizando un mecanismo de control de potencia, en este trabajo, el factor energético se tiene en cuenta tratando de maximizar el tiempo de vida de las baterías; consiguiendo así un consumo distribuido de la energía en la red.

Finalmente, el presente trabajo aborda el vacío dejado por el estándar IEEE 802.11s en el mecanismo de gestión de enlaces presentando una serie de criterios para la selección de vecinos. Las técnicas de selección de vecinos propuestas, haciendo uso del conocimiento de la ubicación de los MPs vecinos, explotan la diversidad espacial en la selección consiguiendo así incrementar la probabilidad de creación de una ruta entre las estaciones fuente y destino.

III. TÉCNICAS MULTI-HOP PARA REDES DE COMUNICACIÓN MCN-MR

A. Algoritmos de selección de vecinos

Los algoritmos de selección de vecinos propuestos en este artículo trabajan en dos fases distintas. Una primera fase, o fase de establecimiento, realizada por cada MP con una periodicidad T (periodo de beacon, fijado a 1 segundo), en la que se ejecuta el mecanismo de establecimiento de enlaces lógicos mesh con el MP vecino seleccionado. La fase de establecimiento es ejecutada únicamente si el número de *peer_MPs* es inferior al número máximo de vecinos seleccionables

¹ Sistemas de posicionamiento como GPS o Galileo, incorporados en el terminal móvil, podrían proporcionar dicha posición

(*max_peer_MPs*). La segunda fase, o fase de actualización, comprueba que los *peer_MPs* sigan cumpliendo el criterio de selección por el que fueron escogidos, para que en caso contrario, se produzca una actualización si existe un MP candidato que verifique el criterio de selección. Esta segunda fase es ejecutada con una periodicidad $3T$.

Para medir el rendimiento de las propuestas de selección de vecinos presentadas en este trabajo ha sido implementado el criterio de selección de vecinos propuesto en [5]. Este mecanismo, denominado de aquí en adelante como s-PER, utiliza el ratio de paquetes erróneos (PER, *Packet Error Ratio*) medido en los mensajes de beacon como criterio para realizar la selección de vecinos. Para una justa comparativa, [5] ha sido adaptado para utilizar el criterio de selección s-PER en el mecanismo de gestión de enlaces descrito en el estándar 802.11s; al igual que el resto de propuestas de este trabajo.

a. *Algoritmo de selección de vecinos bidireccional*: El algoritmo de selección de vecinos ‘bidireccional’ (s-2D), en su afán por explotar la diversidad espacial en la selección de vecinos, pretende evitar la formación de todos los enlaces lógicos permitidos en una misma dirección. De este modo se pretende que exista una mayor diversidad de rutas para alcanzar a la estación destino. En la fase de establecimiento, s-2D selecciona a sus vecinos bajo el criterio s-PER, a excepción del último vecino permitido. En la selección del último de los vecinos, el algoritmo s-2D comprueba la localización de los *peer_MPs* establecidos previamente y busca en esta última selección asegurar la diversidad espacial escogiendo a un MP situado en dirección contraria al resto de *peer_MPs* (suponiendo a todos los *peer_MPs* anteriormente seleccionados en una misma dirección). La fase de actualización únicamente se ejecuta si el criterio s-2D no se cumple, es decir si los vecinos seleccionados se encuentran todos en la misma dirección.

b. *Algoritmo de selección de vecinos mínima separación* (s-mS), para considerar la diversidad espacial en la selección de vecinos, procura una distancia mínima de separación entre los vecinos seleccionados (*dist_PEER*, escogido igual a la anchura de las calles del escenario, 25m). Durante la fase de establecimiento, el algoritmo s-mS selecciona a sus vecinos bajo el criterio s-PER, asegurando que la distancia mínima *dist_PEER* entre *peer_MPs* se garantice. En la fase de actualización se comprueba si el criterio s-mS sigue cumpliéndose, en caso contrario, se produciría una actualización si existe algún MP candidato que verifique la condición de separación impuesta por el algoritmo s-mS.

c. *Algoritmo de selección de vecinos bidireccional-mínima separación*: El tercer algoritmo de selección de vecinos combina las propuestas s-2D y s-mS para incrementar la diversidad espacial en la creación de rutas inalámbricas multi-hop. Durante la fase de establecimiento, el algoritmo bidireccional-mínima separación (s-2D-mS) selecciona a sus vecinos bajo la condición ‘mínima Separación’, a excepción del último vecino permitido en el que se procura el cumplimiento del criterio ‘bidireccional’. Durante la fase de actualización se comprueba primero que el criterio ‘Bidireccional’ siga cumpliéndose, y a continuación el criterio ‘mínima Separación’.

B. Protocolos de enrutamiento multi-hop

Con el fin de evaluar las propuestas de protocolos de enrutamiento multi-hop presentadas en este trabajo, se ha implementado como algoritmo base con el que realizar las comparaciones el algoritmo MMRP-I (*Multiple Metric Routing Protocol - Improvement*) propuesto en [4], el cual será denominado MM por simplicidad. En el proceso de búsqueda de ruta, MM implementa el modo *on-demand* del protocolo de enrutamiento de 802.11s, es decir, realiza una inundación en toda la red con el paquete de búsqueda de ruta, y el nodo destino responde a aquel paquete que contenga un coste acumulativo de ruta menor. Las propuestas de protocolos de enrutamiento multi-hop presentadas en este trabajo buscan precisamente reducir dicha inundación, la cual puede incurrir en la congestión del canal y en un elevado consumo energético, utilizando para ello el conocimiento de la ubicación fija de la BS destino de los datos².

a. *Direccionalidad – Multi Métricas*: La primera propuesta, denominada Direccionalidad – Multi Métricas (D-MM), explota el conocimiento de la ubicación de la estación destino en su proceso de búsqueda de ruta. De este modo, impide que los nodos intermedios que estén más alejados del destino que lo estaba el nodo retransmisor anterior retransmitan los mensajes de búsqueda de ruta. Así, todos los saltos suponen una progresión hacia el destino y, por lo tanto, consigue reducirse la inundación causada por los mensajes RREQ. De entre las rutas que consigan llegar al destino, el algoritmo D-MM (al igual que el resto de propuestas) escoge aquella que minimiza la función de costes.

b. *Direccionalidad x-permisos – Multi Métricas*: La propuesta Direccionalidad x-permisos – Multi Métricas (Dx-MM) es una versión más ‘permissiva’ del algoritmo D-MM al considerar la direccionalidad en el proceso de búsqueda de ruta entre los nodos fuente y destino. Para ello, el paquete RREQ contiene un campo en el que se indica el número de saltos permitidos (x-permisos) en dirección contraria al nodo destino. Con el protocolo Dx-MM, el paquete RREQ se propagará por la red a medida que las rutas vayan dirigidas hacia la estación destino, o no hayan sido sobrepasados el número de permisos establecidos por el nodo fuente.

² La ubicación de las estaciones base de telefonía móvil en España está actualmente disponible al público en la web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (www.mityc.es).

c. *Híbrido ruta direccionalidad – Multi Métricas*: Por último, la propuesta híbrido ruta direccionalidad – Multi Métricas (hrD-MM) ha sido diseñada para buscar un compromiso entre el rendimiento del algoritmo MM y la eficiencia de D-MM. En la versión modificada del protocolo on-demand de AODV, el nodo fuente puede realizar varios intentos de búsquedas de ruta si no recibe la respuesta de creación de ruta del nodo destino antes de que expire un temporizador. En este contexto, el algoritmo hrD-MM realiza su primera búsqueda utilizando el algoritmo D-MM, y si no es capaz de crear la ruta, los sucesivos intentos búsqueda de ruta son realizados con el algoritmo MM para maximizar las probabilidades de creación de ruta.

IV. ENTORNO DE EVALUACIÓN

El presente estudio ha sido desarrollado empleando la plataforma de simulación ns2 (*Network Simulator v.2.29*), con el fin de modelar la comunicación entre los distintos nodos del sistema. Sobre un escenario tipo Manhattan de dimensiones 1900m x 1900m, 350 nodos se desplazan siguiendo un modelo de movilidad ‘*Random Walk Obstacle*’ [6]. Esta densidad de nodos garantiza que el 95% de los nodos del escenario tienen al menos cuatro vecinos, valor escogido como *max_peer_MPs*. De esta forma se garantiza una selección de vecinos en base a los criterios impuestos por los algoritmos de selección de vecinos.

La tecnología de acceso radio empleada por los nodos es 802.11a a 5.8GHz, con una potencia de transmisión de 0.2W y utilizando una tasa de transmisión de 12Mbps. Las ecuaciones que modelan el efecto del *pathloss*, para medir las pérdidas de propagación que sufre la señal radio al propagarse entre transmisor y receptor, han sido extraídas del modelo urbano microcelular desarrollado en el proyecto europeo WINNER [7]. A pesar de no considerar la misma altura para el transmisor y receptor, para el conocimiento de los autores este modelo es uno de los más completos para entornos urbanos, y en el que se considera una menor altura de la antena de la BS. Además, el modelo WINNER diferencia entre condiciones de visión directa (LOS – *Line-of-Sight*) o NLOS (*Non Line-of-Sight*).

El tráfico modelado para medir las prestaciones de los algoritmos sigue los patrones de tráfico a ráfagas actualmente experimentados en la transmisión de datos. En el modelo implementado, durante sesiones de 200 segundos se lleva a cabo un tráfico intermitente compuesto por periodos de actividad (ON) de duración 5 segundos y periodos de inactividad (OFF) de 15 segundos. Durante los periodos de ON se transmite a 10 paquetes/segundo (siendo el tamaño del paquete de 500 bytes) en dirección a la estación destino. El periodo de inactividad de 15 segundos provoca la destrucción de las tablas de rutas de los nodos por expiración de la validez, y por tanto, la necesidad de una nueva búsqueda de ruta en el siguiente periodo de ON.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

En la Fig. 1 puede apreciarse cómo el algoritmo MM consigue una elevadas tasas de paquetes entregados al destino con respecto a los generados a nivel de aplicación (*rate_app*). Sin embargo, la inundación realizada para localizar a la estación destino requiere una elevada señalización en el proceso de búsqueda de ruta, como muestra la Fig. 2. La propuesta D-MM reduce considerablemente dicha señalización, pero su exceso de ‘radicalidad’ en la consideración de la direccionalidad resulta en una importante reducción del *rate_app*. Dicha reducción es debida a la imposibilidad de creación de ruta, pues el 99% de los paquetes que no llegan al destino no han conseguido salir del nodo fuente del tráfico. El efecto de otorgar una mayor ‘permissividad’ al algoritmo D-MM puede apreciarse en la propuesta D3-MM (3 permisos). Los resultados obtenidos han demostrado que la variación en el número de permisos ofrece un compromiso entre señalización/congestión y *rate_app*. Cabe destacar el rendimiento ofrecido por el algoritmo hrD-MM, el cual debido a los éxitos ocasionados por el primer intento de búsqueda de ruta realizado con el mecanismo D-MM, consigue reducir en un 20% la señalización ocasionada por la búsqueda de ruta de MM considerando selección de vecinos, y en un 65% sin considerar dicha selección (Fig. 2). Además, hrD-MM, mantiene las elevadas tasas de paquetes entregados al destino (Fig. 1) mostradas por MM.

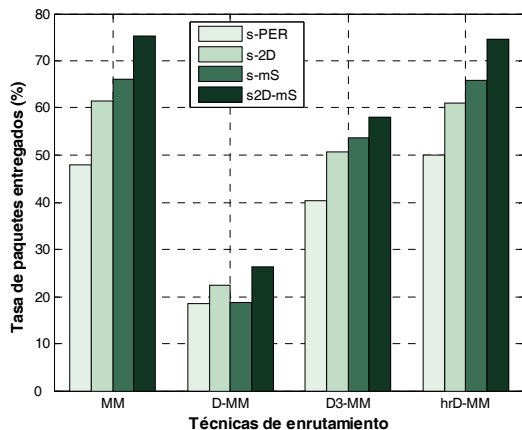


Fig. 1. Tasa de paquetes entregados a nivel de aplicación (*rate_app*)

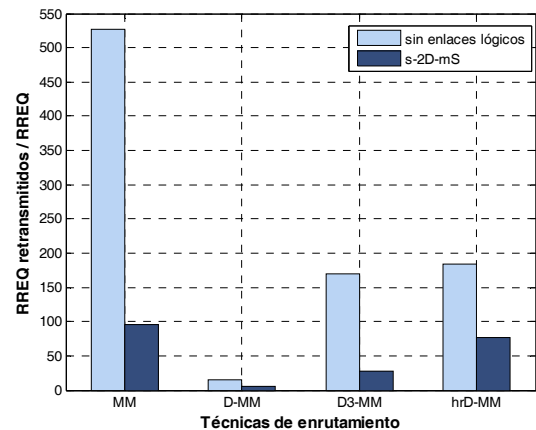


Fig. 2. Número de paquetes RREQ reenviados por los nodos intermedios por intento de búsqueda de ruta.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE VECINOS, UTILIZANDO EL ALGORITMO DE ENRUTAMIENTO HRD-MM

Parámetro	s-PER	s-2D	s-mS	s-2D-mS
Distancia entre peer_MPs (m)	150.621	159.763	182.014	183.427
Duración de los peer links (s)	11.577	16.065	15.238	14.685
Duración de las rutas que se rompen (s)	1.484	1.551	1.614	1.791
RREQ necesarios para crear una ruta	2.478	2.241	2.174	2.217
Energía consumida (J)	2.193	1.762	2.174	2.220

El rendimiento de los mecanismos de selección de vecinos, para cada una de las técnicas de enrutamiento, puede apreciarse en la Fig. 1. Al incrementar el grado de diversidad espacial en la selección de los vecinos ('Distancia entre peer_MPs' en la Tabla I), las posibilidades de encontrar una ruta entre las estaciones fuente y destino se incrementan. Las mejoras obtenidas por las propuestas de selección de vecinos de este trabajo llegan a ser del 49% comparando s-PER y s-2D-mS, utilizando la técnica de enrutamiento hrD-MM. Es importante anotar que el mero hecho de considerar la selección de vecinos supone una importante reducción de la señalización ocasionada en el proceso de enrutamiento (Fig. 2). Un resumen de las características de las técnicas de selección de vecinos puede apreciarse en la Tabla I. Los enlaces lógicos creados con las técnicas propuestas en este artículo poseen una mayor robustez, lo cual puede apreciarse en los parámetros 'Duración de los peer links' y 'Duración de las rutas que se rompen'. Otra importante virtud de las técnicas de selección de vecinos propuestas puede verse en el menor consumo energético medio de los nodos. La técnica s-PER, a pesar del menor número de paquetes de datos enrutados (Fig. 1) requiere de un mayor número de RREQ para el establecimiento de la ruta, y una mayor señalización para el reestablecimiento de las rutas rotas y los enlaces lógicos; lo que se traduce en un elevado consumo energético.

V. CONCLUSIONES

En el presente artículo, los autores han propuesto una serie de técnicas multi-hop para el uso eficiente de los recursos en redes MCN-MR de 4G. La técnicas propuestas explotan la diversidad espacial, en el caso de los mecanismos de selección de vecinos, y el conocimiento de la ubicación de la estación destino, en el de las técnicas de enrutamiento, con el fin de incrementar la posibilidad de alcanzar a la estación destino de tráfico a través de los enlaces lógicos creados, y reducir la señalización ocasionada en el proceso de búsqueda de ruta. Los resultados demuestran que la consideración de la diversidad espacial incrementa la tasa de paquetes entregados al destino, y que es posible hacerlo reduciendo considerablemente la señalización en el proceso de enrutamiento al tener en cuenta la ubicación de la BS en el proceso de enrutamiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el proyecto TEC2008-06728, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio bajo el proyecto TSI-020400-2008-113 y por la Fundación Cajamurcia.

REFERENCIAS

- [1] Y. Lin and Y. Hsu, "Multihop Cellular: A New Architecture for Wireless Communications", in *IEEE Proceedings Computer Communications Conference (INFOCOM)*, vol. 3, pp. 1273-1282, 2000, Israel.
- [2] IEEE P802.11s/D2.0, draft amendment to standard IEEE 802.11: Mesh Networking. *IEEE Standard*, 2007.
- [3] C. Perkins and E. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing", in *IEEE Proceedings Workshop on Mobile Computing System & Applications (WMCSA)*, pp. 90-100, 1999, USA.
- [4] L. Cao, K. Sharif, Y. Wang and T. Dahlberg, "Adaptive Multiple Metrics Routing Protocol for Heterogeneous Multi-Hop Wireless Network", in *IEEE Proceedings Consumer Communications & Network Conference (CCNC)*, pp. 13-17, 2008, USA.
- [5] A. Uchiyama, S. Fujii, T. Umeda, H. Yamagachi and T. Higashino, "Neighbor Selection Algorithm for Ad hoc Network with Highly Dynamic Urban Mobility", in *Proceedings International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 165-170, 2008, Greece.
- [6] K. Maeda, A. Uchiyama, T. Umeda, H. Yamagachi, K. Yasumoto and T. Higashino, "Urban Pedestrian Mobility for Mobile Wireless Network Simulation", in *Ad Hoc Networks, Elsevier, Vol. 7, No. 1, pp. 153-170, 2009.*
- [7] WINNER, "D1.1.1. WINNER II interim channel models", *Public Deliverable*, <http://www.ist-winner.org/index.html>