

ORMA: Mecanismo de Optimización de Rutas para Redes Móviles Anidadas

Christian Lazo Ramírez¹ and Manuel Fernández Veiga²

¹ Instituto de Informática, Universidad Austral de Chile, Chile.
clazo@inf.uach.cl

² Depto. de Ingeniería Telemática, Universidad de Vigo, España.
mveiga@det.uvigo.es

Resumen En este artículo, se clasifican diferentes propuestas y mecanismos de optimización de ruta para redes móviles anidadas, luego, basado en algunos de estos conceptos, se propone un nuevo mecanismo de optimización de carácter genérico, centrado en el router móvil. Finalmente el comportamiento de nuestra propuesta se revisa por medio de un modelo analítico y se compara con las otras alternativas presentadas.

Key words: IPv6, NEMO, MIPv6, Optimización de rutas

1. Introducción

A pesar que el protocolo de redes IP no contempló en su diseño original mecanismos que permitiesen el soporte de movilidad, el auge de las comunicaciones móviles forzó su desarrollo y permitió contar con sistemas ubicuos, que entregan a los usuarios mecanismos que les permitan estar en entornos “Siempre Bien Conectados” [1]. Por esta razón, y para permitir el soporte para nodos que se desplazan, la IETF (Internet Engineering Task Force) estandarizó las propuestas de movilidad para los nodos que operan con el protocolo IPv4 e IPv6.

En el caso de nodos con IPv6, el protocolo de movilidad MIPv6 [2] incorpora en su estándar mecanismos que le permiten resolver el problema de enrutado no optimizado por medio de un proceso de triangulación, donde los paquetes de datos son enviados directamente hasta el nodo corresponsal (CN) sin la participación de ningún agente hogar (HA). Sin embargo, la propuesta de movilidad de redes IPv6 NEMO [3], a pesar de estar desarrollada sobre la base y como una extensión del protocolo MIPv6, no incluye dentro de su especificación ningún mecanismo que permita realizar el proceso de optimización de rutas (OR); razón por la cual todo el tráfico de datos debe pasar obligatoriamente a través de un túnel bidireccional establecido entre el router que entrega la conectividad a la red móvil y su agente hogar respectivo, esta sobrecarga se agrava en entornos anidados, produciendo un problema de enrutado no optimizado conocido también como *Enrutado Multi-Angular* o Dog-Leg Routing.

En la actualidad, existen muchos mecanismos que han sido propuestos para brindar técnicas de OR a las redes móviles [4]. Sin embargo, ninguno de ellos ha

logrado a la fecha dar una solución global y satisfactoria para este problema. Así, algunos investigadores proponen soluciones centradas en los distintos tipos de nodos que componen la red, apuntando específicamente a resolver el problema desde la perspectiva de los nodos fijos o los nodos móviles (locales y de visita), realizando para ello la modificación de los mensajes del protocolo NEMO o agregando protocolos de redes Ad-Hoc al interior de la red móvil [5], [6], [7].

Considerando estos antecedentes, proponemos un nuevo mecanismo de OR, centrando nuestra solución desde la perspectiva del router que brinda la conectividad a la red móvil. La elección de este dispositivo como eje de nuestra propuesta nos permite asegurar una solución de carácter general y útil para todos los nodos que componen la red. Apoyados en un mecanismo de sustitución de las direcciones de los paquetes en los router móviles intermedios. Para llevar a cabo la evaluación de nuestra propuesta se ha desarrollado un modelo analítico que permite cuantificar los niveles de sobrecarga y retardo experimentado por los paquetes de control y de datos, además de cuantificar el uso de los recursos en la red de infraestructura, mediante la cuenta de enlaces y agentes hogar.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se revisan los conceptos y requerimientos que deben ser considerados en las soluciones de OR, así como un conjunto de propuestas presentadas por la comunidad científica. Nuestra solución y aporte se describe detalladamente en la sección 3, luego se analiza y compara con otras propuestas en el apartado 4, para finalmente en la sección 5 entregar las conclusiones.

2. Trabajos previos

Tal como se ha comentado anteriormente, la solución de movilidad entregada por NEMO adolece de serios problemas en su operación, que pueden llegar a poner en riesgo el envío de información desde y entre sus redes. Por tal motivo, la solución al problema de OR, además de mejorar los conflictos generados por un mecanismo de enrutado no optimizado, deben considerar la manera de disminuir el tamaño de los paquetes producto del encapsulamiento múltiple, además de satisfacer un conjunto de requerimientos descritos en el RFC 4889 [8] entre los cuales podemos mencionar:

- Disminuir el retardo de los paquetes y mejorar los niveles de calidad de servicio.
- Reducir el consumo de recursos, lo que permite tener una red con menos tráfico y más descongestionada, bajando al mismo tiempo la susceptibilidad de fallo en las rutas.
- Mejorar la eficiencia en la entrega de los datos, disminuyendo los niveles de sobrecarga en la cabecera de los paquetes. Lo que permite minimizar el riesgo de fragmentación de paquetes, y mejorar el rendimiento desde el punto de vista de los protocolos de transporte.
- Reducir el tiempo de proceso de los paquetes, eliminando al máximo los procesos de encapsulación y desencapsulación.

2.1. Optimización de ruta en redes móviles anidadas

El uso de redes móviles anidadas brinda mejoras sustanciales, pues aumenta considerablemente su grado de conectividad y radio de cobertura al tiempo que mejora su posibilidad de utilización. Sin embargo, su despliegue multiplica la complejidad en la búsqueda de una solución al problema de OR, pues en este caso la propuesta no sólo debe solucionar y mejorar la comunicación de los caminos para los nodos que componen la red móvil, sino que además debe resolver y mejorar las rutas para aquellos router que están funcionando de manera anidada dentro de la topología y que dan conectividad a sus propias redes móviles. Así, los dos principales aspectos de diseño que se deben considerar son:

1. Número de agentes hogar: La propuesta debe estar orientada a bajar el número de HA involucrados en el proceso de optimización.
2. Número de túneles: La solución debe además apuntar a disminuir el nivel o grado de túneles utilizados en el envío de la información. Para ello, la propuesta debe utilizar mecanismos eficientes que permitan modificar las cabeceras de los paquetes por parte de los routers móviles.

2.2. Mecanismos de optimización de ruta

Con el fin de revisar el conjunto de propuestas de OR presentadas por la comunidad científica, se ha procedido a agruparlas según su forma de operar en cuatro grupos claramente identificables entre sí, según los siguientes enfoques [9]:

- Túnel Bidireccional (TB); En la propuesta desarrollada para NEMO, el establecimiento y utilización de un túnel bidireccional entre el MR y su HA garantizan la conexión con la red de infraestructura. Así, todo el tráfico que sale y entra en la red móvil pasa obligatoriamente por el HA del router que brinda dicha conexión. De esta manera, todo el tráfico se debe volver a encapsular en cada uno de los niveles de anidamiento.
- Enfoque Jerárquico (EJ); Este grupo incorpora principalmente a las propuestas que utilizan o configuran un dispositivo como principal o líder de la red. En este enfoque, cuando un MR se conecta a un router de acceso (AR) alcanzando un nivel $L = 1$, pasa a ser la cabeza dentro de jerarquía de la NEMO anidada o TLMR (Top Level Mobile Router). El proceso de OR se realiza por medio de un mecanismo de delegación de prefijos al interior de la red móvil, y gracias al cual todos los MR configuran sus interfaces de salida S con una dirección asignada (CoA) perteneciente al prefijo del router principal, independientemente del nivel L alcanzado. algunas de las propuestas que se pueden incluir en este grupo son las presentadas en [10], [11], [4], [12].
- Enfoque Recursivo (ER); Una de las principales características de las propuestas que pertenecen a este grupo, es que los mecanismos involucrados en su operación hacen uso de las cabeceras de los mensajes transmitidos entre los nodos finales para informar a los nodos intermedios (HAs y MRs) de parte

del camino que ha atravesado dicho paquete. Este traspaso de información se logra mediante la reserva de recursos o slots en la cabecera de los paquetes. Algunas de las propuestas más representativas de esta categoría son: Reverse Routing Header (RRH) [13], Recursive Binding Update R-BU [14]. Este tipo de enfoque utiliza un único nivel de encapsulación entre el último MR y su HA, con un enfoque de enrutado basado en el origen.

- Método Modificación y Sustitución; Esta técnica ha sido propuesta principalmente para lograr la optimización de rutas entre los nodos móviles que participan de una red anidada y el nodo correspondiente con el que mantienen la comunicación en la red de infraestructura. La operación se realiza mediante el envío de mensajes de anuncio de router (RADV) modificados y técnicas de delegación de prefijos [15] o asignación dinámica de direcciones con DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol version 6) [16], [17]. Bajo este enfoque los nodos móviles configuran múltiples direcciones CoA sobre su interfaz. Una de estas direcciones corresponde al segmento del prefijo del router móvil del nivel superior que le brinda la conexión física, y la otra corresponde a una dirección asignada desde un prefijo de red delegado (DP-Delegated Prefix) desde el router que está directamente conectado al router de acceso, es decir, del router que opera como TLMR.

Existen además un grupo de propuestas de OR que están basadas en una mezcla de algunas de las técnicas descritas anteriormente. Algunos de estos trabajos son por ejemplo los desarrollados en [18], donde los autores proponen un sistema unificado de optimización de rutas, utilizando para ello un mecanismo de control de ruta en la cabecera del paquete (PCH-Path Control Header) de manera similar a los mecanismos implementados por RRH, otro trabajo corresponde al descrito por ROTIO (Route Optimization TIO) [11], optimizado para el conjunto de nodos fijos y propone extender las opciones de los mensajes de RADV para informar a los router de nivel inferior la dirección de los router ubicados en los niveles superiores dentro de la red móvil anidada y, el envío de mensajes de BU duplicados y modificados, unos de los cuales se envía directamente al TLMR e informa a este dispositivo la participación del router en la estructura de la red. Sin embargo, a la fecha no existe consenso en cuál de todos los métodos o propuestas es el más apropiado para resolver este problema, por lo que la IETF mantiene abierta la discusión en el grupo de extensión de movilidad para IPv6 (MEXT-Mobility Extensión for IPv6).

3. ORMA: OR en redes móviles anidadas

Para la correcta operación de nuestra propuesta es necesario realizar modificaciones al funcionamiento de los dispositivos que actúan como MR y que participan de la red móvil anidada, sin considerar ninguna modificación en los nodos clientes de dicha red o en los nodos corresponsales.

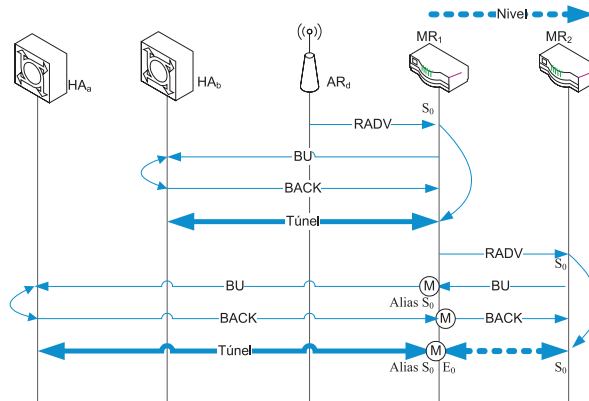


Figura 1. Funcionamiento de ORMA.

3.1. Modificaciones en el router móvil

ORMA modifica la operación interna del MR, donde se propone agregar al proceso de encapsulación y desencapsulación, un mecanismo que permita la modificación de las cabeceras de los paquetes; el método se completa con la agregación de mecanismos de decisión que se ejecutan en los router intermedios y la extensión de la estructura de Binding List (BL_X), que permite guardar los cambios y modificaciones realizadas. Por lo que nuestro método podría ser clasificado como un mecanismo de sustitución y modificación (MS). La operación de nuestra solución se puede apreciar claramente en la figura 1, y su modo de funcionamiento se detalla a continuación.

- Cuando el MR_1 recibe por su interfaz de salida un mensaje de RADV desde un dispositivo AR, procede a configurar un túnel bidireccional con su agente hogar tal como lo indica el funcionamiento del protocolo básico de NEMO, es decir, envía un mensaje de BU y espera la llegada del mensaje de asentimiento para configurar dicha interfaz
- Luego, cuando un router móvil intermedio (en este caso MR_1) envía un mensaje de anuncio de router, y éste es recibido por un router móvil (MR_2), comienza un proceso de configuración de una red móvil anidada. Así, el MR_2 que recibe el mensaje configura una dirección CoA y envía un mensaje de BU por su interfaz de salida S_0 .
- Cuando el router móvil intermedio (MR_1) recibe (para ser reenviado) un mensaje de datos con un BU desde un dispositivo de nivel inferior dentro de la red anidada y configurado con una dirección de red perteneciente a su prefijo anunciado MNP_{MR_1} , guarda una copia de la dirección de origen del paquete (CoA de MR_2S_0) en la tabla de BL_X y lo asocia a una entrada con una dirección de alias de visita asignada (ACoA-Alias Care Of Address) luego cambia las direcciones de CoA por ACoA en el paquete y lo reenvía hasta el nodo destino HA_a .

- El agente hogar (HA_a) del MR_2 recibe el mensaje del router móvil intermedio (MR_1) y, configura en su BC las direcciones HoA y el prefijo de red del MR_2 pero con las direcciones de ACoA del IMR (MR_1) y envía un mensaje de BACK. Cuando el IMR recibe el mensaje de BACK, configura un túnel bidireccional con el agente hogar HA_a , luego busca en su BL_X la dirección CoA equivalente a la dirección ACoA, reemplaza ésta por la dirección de destino del paquete y lo reenvía hacia el MR_2 .
- Así, cuando finalmente el MR_2 recibe el mensaje de BACK desde su agente hogar, configura un túnel bidireccional entre él y el HA_a .

3.2. Proceso de envío de datos

Para el envío de los paquetes de datos hasta los nodos corresponales, el proceso es muy similar al descrito anteriormente. El router móvil encapsula los paquetes de datos recibidos desde los nodos de su red móvil (independiente del tipo de nodo) y los envía encapsulados al dispositivo de su nivel superior. Si este dispositivo es un router de acceso a la red de infraestructura, entonces los datos son encaminados directamente hasta su HA donde se les saca la cabecera y se reenvían hasta el CN. Sin embargo, si el dispositivo del nivel superior es un IMR, éste busca la dirección de ACoA correspondiente a la CoA de origen en la tabla de BL_X , intercambia la dirección de origen del paquete y lo reenvía hasta el HA, donde finalmente se desencapsula y envía hasta al nodo destino.

Este proceso se repite de forma inversa para los paquetes que viajan desde la red de infraestructura hasta la red móvil. En este caso, es el HA el que encapsula los paquetes de datos, el IMR modifica las direcciones de las cabeceras y finalmente el MR los desencapsula y envía hasta el nodo destino.

4. Análisis y comparación de la propuesta

Para poder determinar de manera cuantitativa las mejoras de rendimiento introducidas por nuestra propuesta, se ha desarrollado un modelo analítico que permite evaluar en términos de retardo de conexión, sobrecarga del protocolo y retardo en el envío de paquetes de datos. Este análisis, permite además compararlo con los distintos enfoques de OR presentados anteriormente, donde los valores de los parámetros utilizados durante la revisión de los modelos teóricos se corresponden con los descritos en [19] y [20].

Las gráficas presentadas en la figura 2 permiten comparar el porcentaje o nivel de ocupación de la cabecera de los paquetes de datos de distinto tamaño, utilizando en cada uno de los casos ORMA y los distintos enfoques revisados. Tal como se puede apreciar nuestro enfoque mantiene un tamaño de cabecera constante y similar al empleado por el método de TB y EJ en el primer nivel de la red. También se aprecia que, en el primer nivel, el uso de una cabecera modificada hace que el método ER tenga un rendimiento inferior a los demás, y que se este mejora a partir del segundo nivel de anidamiento, llegando a ser superior a los enfoques TB y EJ, pero sin llegar a alcanzar el rendimiento de

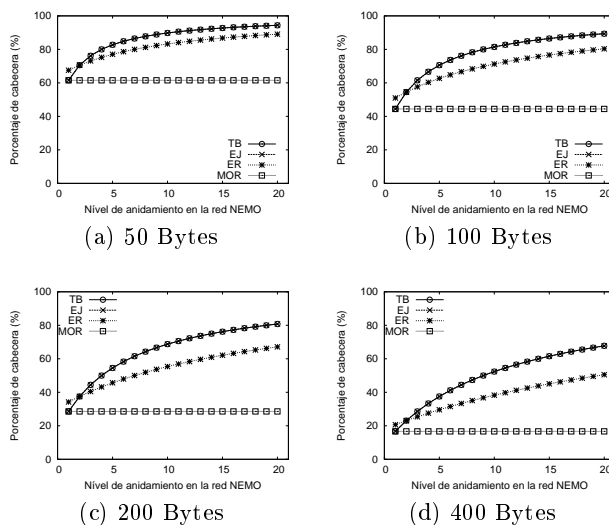


Figura 2. Porcentaje de sobrecarga introducido en la cabecera.

ORMA. Por lo que nuestra propuesta siempre obtiene un mejor aprovechamiento de la carga útil de los paquetes de datos, independiente del tamaño de éste, y del nivel en que se encuentre el MR.

Otro factor importante que se debe considerar en esta evaluación, tiene que ver con el tiempo que demora un mensaje de BU en llegar desde un MR hasta su HA respectivo, pues éste, está directamente relacionado con la demora en establecer un canal de comunicación efectivo para el envío de datos desde y hasta la red móvil. Así, a menor tiempo de recepción del mensaje, mas rápido estará el túnel disponible aumentando de esta manera el grado de conectividad de la red en su conjunto. En esencia el valor de T_{conf}^{ORMA} se puede caracterizar como la suma de los retardos en la red de infraestructura mas la demora en el medio inalámbrico y el tiempo de proceso del paquete en cada uno de los dispositivos por lo que atraviesa. Y se puede representar por medio de la siguiente ecuación

$$T_{conf}^{ORMA} = T_{inf} + LT_{mod} + \sum_{i=1}^L \left(\frac{S_{msj} + 40}{W_{bw}} + W_{ret} \right) \tag{1}$$

donde, S_{msj} indica el tamaño de un mensaje de BU, T_{inf} es el tiempo promedio en cruzar internet, T_{mod} mide el tiempo en modificar un paquete, L indica el nivel en que esta un router, W_{ret} y W_{bw} miden el retardo y ancho de banda en la red inalámbrica respectivamente.

La gráfica de la figura 3(a) permite realizar una comparación entre el tiempo que tarda en enviar un paquete de BU nuestra propuesta y los distintos métodos de optimización presentados anteriormente. En esta gráfica, se aprecia además que, tanto el tiempo alcanzado por ORMA como por el enfoque recursivo son muy similares entre sí, debido principalmente al tratamiento que hacen de las

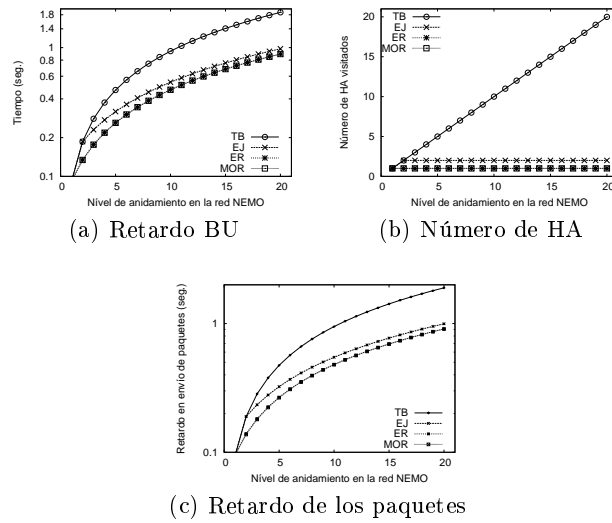


Figura 3. Comportamiento de distintos enfoques de OR.

cabeceras de los paquetes transmitidos y que queda reflejado en el uso de los recursos que hacen de la red de infraestructura. Además, se aprecia claramente que en ambos métodos (ORMA y ER) el envío de mensajes de BU se realiza más rápido que con las técnicas descritas por los enfoques TB y EJ. Pues estas, hacen mayor uso de los enlaces y equipos en la red de infraestructura, aumentando el tiempo del envío del mensaje y de la probabilidad de error producto de la pérdida del paquete en algún enlace.

Otra de las características de diseño importantes que se deben considerar en cada una de las propuestas presentadas, es que estas, deben intentar hacer el menor uso posible de los recursos dentro de la red de infraestructura. Así, en nuestra evaluación consideraremos como parámetro el número de agentes de red hogar involucrados en cada nivel de anidamiento de la red (N_{ha}^{ORMA}), ya que este valor, está directamente relacionado con la cantidad de enlaces por donde pasaran los paquetes de datos dentro de la red de infraestructura. En el caso de ORMA este valor se puede calcular por la ecuación

$$N_{ha}^{ORMA} = HA_{MR} = 1. \tag{2}$$

La gráfica de la figura 3(b) permite comparar el número de agentes hogar que utilizan las distintas propuestas en sus enfoques de optimización de rutas. Así, podemos indicar que el comportamiento de ORMA es igual al enfoque recursivo y superior a las propuestas realizadas por los métodos de TB y EJ.

Finalmente nos queda por evaluar la demora en el envío de los paquetes de datos también conocido como retardo. En nuestro caso, esta medida corresponde al tiempo que tarda un paquete en recorrer la distancia entre un agente hogar y un router móvil, pasando a través de la red de infraestructura, por lo que, su

medida incorpora la suma de los retardos del segmento de la red de fija y del medio inalámbrico, incorporando en cada caso el tiempo de proceso de los nodos intermedios en cada segmento de red. Por lo que podemos caracterizarlo por la siguiente ecuación

$$Ret^{ORMA} = T_{inf} + 2T_{enc} + (L - 1)T_{mod} + \sum_{i=1}^L \left(\frac{S_{msj} + 40}{W_{bw}} + W_{ret} \right) \quad (3)$$

donde, S_{msj} corresponde al tamaño del paquete de datos enviado.

La gráfica de la figura 3(c) permite comparar el comportamiento del retardo para los distintos enfoques revisados, con distintos niveles de anidamiento. En ella, se aprecia un comportamiento similar al retardo experimentado en el envío de los mensajes de BU.

5. Conclusiones

En general, podemos afirmar que nuestra propuesta, presenta un comportamiento teórico similar al entregado por el enfoque recursivo, pero con un mejor porcentaje de aprovechamiento de la carga útil de los paquetes, debido a que su cabecera es más pequeña y, que tanto ORMA como ER permiten asegurar menores tiempo de retardo frente a las propuestas de TB y EJ, debido principalmente al menor grado de uso de los enlaces y dispositivos fijos de la red de infraestructura. Por lo que resultan como dos opciones atractivas para hacer frente al problema de OR. Sin embargo, la naturaleza de nuestra propuesta, no impide que los nodos móviles de visita puedan utilizar sus propios mecanismos de OR, lo que la convierte en una alternativa viable para las redes vehiculares y de transporte inteligente.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por la *Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile* y el *Ministerio de Educación y Ciencia de España* a través del proyecto TSI2006-12507-C03-02.

Referencias

1. E. Gustafsson and A. Jonsson. Always best connected. *Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]*, 10(1):49-55, Feb. 2003.
2. D. Johnson and C. Perkins and J. Arkko. Mobility Support in IPv6. Internet Engineering Task Force, RFC 3775 (Proposed Standar), June 2004.
3. V. Devarapalli and R. Wakikawa and A. Petrescu and P. Thubert. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. Internet Engineering Task Force, RFC 3963 (Proposed Standar), January 2005.

4. T. Suzuki, K. Igarashi, A. Miura, and M. Yabusaki. Care-of prefix routing for moving networks. *IEICE Transaction on Communication*, E88-B(7):2756–2764, July 2005.
5. Thierry Ernst. The information technology era of the vehicular industry. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 36(2):49–52, 2006.
6. Carlos J. Bernardos, Ignacio Soto, María Calderón, Fernando Boavida, and Arturo Azcorra. Varon: Vehicular ad hoc route optimisation for nemo. *Comput. Commun.*, 30(8):1765–1784, 2007.
7. Manabu Tsukada and Thierry Ernst. Vehicle communication experiment environment with manet and nemo. *Applications and the Internet Workshops, 2007. SAINT Workshops 2007. International Symposium on*, pages 45–45, Jan. 2007.
8. C. Ng and T. Ernst and E. Paik and M. Bagnulo. Network Mobility Route Optimization Solution Space Analysis. Internet Engineering Task Force, RFC 4889 (Informational), July 2007.
9. H.-J. Lim and D.-Y. Lee and T.-K. Kim and T.-M. Chung. A Model and Evaluation of Route Optimization in Nested NEMO Environment. *IEICE Transaction on Communication*, E88-B(7):2765–2776, July 2005.
10. Y. Kim and S. Kang and D. Chae and S. As. Route optimization by top level mobile router with source routing in nested mobility. In *Proc. of the International Conference on Wireless Networks, (ICWN)*, pages 597–600, 2004.
11. H. Cho, T. Kwon, and Y. Choi. Route optimization using tree information option for nested mobile networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 24(9):1717–1724, Sept. 2006.
12. Moon Sang Jeong, Yeong Hun Cho, and Jong Tae Park. Hierarchical mobile network binding scheme for route optimization in nemo. *Wirel. Pers. Commun.*, 43(3):975–995, 2007.
13. P. Thubert and M. Molteni. IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks -draft-thubert-nemo-reverse-routing-header-07. Internet Engineering Task Force, Work in progress, February 2007.
14. Hosik Cho, Eun Kyoung Paik, and Yanghee Choi. R-bu: recursive binding update for route optimization in nested mobile networks. *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*, 3:2063–2067 Vol.3, 6-9 Oct. 2003.
15. KyeongJin Lee, Jungsoo Park, and Hyoungjun Kim. Route optimization for mobile nodes in mobile network based on prefix delegation. *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*, 3:2035–2038 Vol.3, 6-9 Oct. 2003.
16. R. Droms and P. Thubert. DHCPv6 Prefix Delegation for NEMO draft-ietf-nemo-dhcpv6-pd-03. Internet Engineering Task Force, Work in progress, December 2007.
17. B. Sarikaya. Relay Based DHCPv6 Prefix Delegation for NEMO draft-sarikaya-mext-relay-dhcpv6pd-00. Internet Engineering Task Force, Work in progress, March 2008.
18. J. Na, J. Choi, S. Cho, C. Kim, S. Lee, H. Kang, and C. Koo. A unified route optimization scheme for network mobility. In *Personal Wireless Communications*, pages 29–38. Springer Berlin / Heidelberg, 2004.
19. N. Banerjee, Wei Wu, and S. K. Das. Mobility support in wireless internet. *Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]*, 10(5):54–61, Oct 2003.
20. Shou-Chih Lo, Guanling Lee, Wen-Tsuen Chen, and Jen-Chi Liu. Architecture for mobility and qos support in all-ip wireless networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 22(4):691–705, May 2004.