

# VENTAJAS DE USAR SUBREDES EN UNA RED AD-HOC CON NODOS MOVILES

Johann López, José M. Barceló, Jorge García-Vidal  
Departamento de Arquitectura de Computadores, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)  
C/Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona  
E-mail: {johannl, joseb, jorge}@ac.upc.edu

## Resumen

*Las redes inalámbricas multi-salto (MANETs) están teniendo un auge cada vez mayor en las comunicaciones móviles. Estas redes asumen que el direccionamiento de los nodos es plano, es decir, sin la estructura jerárquica clásica de Internet: las subredes. En este artículo, evaluamos la reducción del número de paquetes de encaminamiento que se obtendría en una MANET si usásemos subredes en vez de direccionamiento plano. De esta forma evaluamos si vale la pena el esfuerzo en desarrollar protocolos con soporte a subredes en MANETs.*

## 1 Introducción

Durante los últimos años, se han realizado grandes esfuerzos en investigación en el campo de la redes móviles ad-hoc (MANET)[1]. Una MANET es una red inalámbrica sin infraestructura, sin puntos de acceso, donde cada nodo ejerce simultáneamente de nodo final y de router. Es lo que se llama una red inalámbrica multi-salto (multi-hop).

Uno de los principales temas de investigación en los últimos 4 ó 5 años en MANETs ha sido el encaminamiento. El IETF (Internet Engineering Task Force) ha estandarizado varios protocolos de encaminamiento entre los cuales AODV [2] y OLSR [3] son los más reconocidos representantes de los protocolos de encaminamiento reactivos y proactivos. En una MANET, cada nodo se debe comportar como un router, manteniendo individualmente las rutas a otros nodos, por lo tanto, sí el número de nodos crece rápidamente, el número de rutas aumentará también rápidamente impactando tanto en el tamaño de la tabla de encaminamiento como en la búsqueda del camino óptimo. El problema de la escalabilidad (incremento del número de nodos en la MANET) junto con la movilidad de los nodos, puede producir un aumento en la carga (paquetes de control intercambiados por los nodos en la red) generada por el mantenimiento de las rutas, consumiendo el poco ancho de banda disponible en una MANET y por lo tanto reduciendo el desempeño o throughput. Si dejamos de lado la movilidad, el problema es un poco parecido al presentado en los inicios de ARPAnet (precursor del Internet actual), en donde al principio los nodos utilizaban una dirección plana o no jerárquica para su identificación, y por lo tanto cada nodo debía almacenar una ruta para cada uno de los nodos presentes en la red. A medida que ARPAnet seguía creciendo rápidamente, el número de rutas a mantener por cada nodo también aumentaba drásticamente, generando una carga muy grande en la red solamente para el mantenimiento de las rutas.

La solución lógica para reducir esta carga sería utilizar una estructura jerárquica como la definida en Internet, en donde los nodos se agruparan en subredes, de forma que estos nodos aparecen como una sola entrada en la tabla de encaminamiento. Sin embargo, este esquema es difícil de aplicar en MANETs debido a su naturaleza dinámica y distribuida. El primer problema a solucionar es identificar las modificaciones que deberían plantearse a los protocolos de encaminamiento ad-hoc para soportar subredes. Además hay que resolver problemas relacionados con la creación de subredes, asignación de direcciones dinámicas a los nodos, mantenimiento de las sesiones ya establecidas movimiento y detección en el cambio de subred por parte de los nodos. Antes de atacar estos problemas, habría que evaluar si el esfuerzo a realizar vale la pena, es decir, para soportar subredes hay que modificar y proponer cambios en los protocolos, pero, ¿Es factible encontrarse con MANETs que vayan a usar subredes?, ¿Cuál es la ganancia que se obtendrá de este esfuerzo?.

Para responder a la primera cuestión podemos usar como ejemplo las redes de emergencia, ver [4] (proyecto IST WIDENS). En una situación de emergencia, un equipo de bomberos dirigidos desde un cuartel general es dividido en grupos de rescate. Cada grupo de rescate es dirigido por un líder. A su vez estos grupos de rescate pueden ser subdivididos en unidades de rescate con un líder de unidad y compuesto por un par de bomberos. Este equipo de bomberos forma una estructura jerárquica con comunicaciones entre los cuarteles principales con el jefe de equipo y los jefes de grupo y con los líderes de las unidades de rescate. Cada unidad de rescate forma un grupo de comunicaciones dentro de su propio grupo y la de su líder (comunicaciones internas dentro de los grupos) y con otros grupos (comunicaciones externas con otros grupos), ver [4]. Desde el punto de vista de las comunicaciones, cada grupo está formado por un líder, el cual generalmente cuenta con más recursos en términos de ancho de banda, suministro de energía, radio de

cobertura, etc. Por ejemplo, un camión de bomberos relativamente estático donde los nodos (bomberos con equipos de comunicaciones integrados) se mueven en el área del desastre. En definitiva, bomberos, equipos de rescate, ambulancias, etc, pueden formar grupos de comunicaciones con una estructura jerárquica y por tanto formar subredes desde el punto de vista de las comunicaciones, ver Figura 1. Otro ejemplo de estructura jerárquica son las llamadas Redes Inalámbricas Malladas (Wireless Meshed Networks, WMN) donde un conjunto de routers inalámbricos forman una MANET, y de cada uno de ellos cuelga una red que puede ser a su vez una MANET, una PAN (Personal Area Network), una red WIFI, etc. Cada una de estas redes puede ser una subred dentro de la WMN.

Respecto a la segunda pregunta, hay que evaluar la cantidad de paquetes que generan los protocolos de encaminamiento (AODV o OLSR) cuando usan una estructura plana (como está definido actualmente) y con una estructura jerárquica, como proponemos en este artículo. Los siguientes apartados están dedicados a evaluar la ganancia que se obtendría si realizamos los cambios necesarios en los protocolos de encaminamiento usados en MANET conjuntamente con nuevos protocolos que den soporte a subredes.

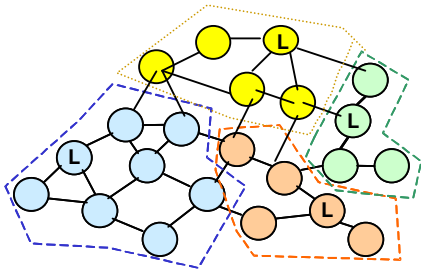


Figura 1. Nodos de una MANET agrupados en subredes.

## 2 Descripción del Escenario

En esta sección describimos aquellas hipótesis que utilizan en el estudio y las cuales nos permitirán demostrar la ganancia que se puede obtener si usamos una estructura jerárquica en una MANET.

Las hipótesis principales son las siguientes:

- Los nodos forman un área o celda de tamaño  $A$  alrededor un nodo líder, y esta área corresponderá a una subred IP de tamaño variable, por ejemplo, dependiente del número de nodos pertenecientes a una celda. Hay que desarrollar un protocolo que permita la detección de subredes, el registro en una subred y la adquisición de una dirección IP de esa subred. En este artículo no resolvemos estos problemas, pero si podemos indicar que tecnológicamente no son complicados de resolver y que la cantidad de paquetes con que contribuirán al “overhead” final

será dependiente del número de nodos en la subred, como veremos más adelante.

- Los nodos forman una red multi-homed con nodos de la misma subred y con nodos de otras subredes. Eso significa, que un nodo tiene vecinos dentro de su subred y puede, o no, tener vecinos de otras subredes.
- Los nodos pertenecientes a una subred o área tendrán una dirección IP la cual se corresponderá con la dirección IP de esa subred. La dirección IP se utiliza como localizador del nodo.
- Cada nodo conoce a todos los vecinos que se encuentran localizados a un salto de distancia, ya sea porque usa un protocolo de detección de nivel de enlace (“link sensing”) o porque utiliza un protocolo de Hello de nivel de red.
- Un paquete enviado por un nodo es recibido correctamente en un intervalo de tiempo finito por todos los vecinos que están a un salto de distancia.

Como trabajo futuro tendremos que definir y evaluar los mecanismos y modificaciones mencionados anteriormente para que los protocolos de encaminamiento actuales puedan incorporar la estructura jerárquica propuesta.

## 3 Modelo Analítico

Para validar nuestra propuesta utilizamos algunos modelos analíticos ya usados en la investigación de protocolos de encaminamiento reactivos y proactivos, [6], en estudios de encaminamiento jerárquico, [8], y en estudios de redes celulares, [7]. Los modelos de protocolos de encaminamiento para MANETs ya existentes nos permiten estimar la cantidad de paquetes (overhead) generados por el mantenimiento de las rutas para el caso en el que los nodos permanecen estáticos, y la cantidad de paquetes generados debido a la movilidad. A continuación, introducimos los parámetros que representan el encaminamiento jerárquico (subredes) al modelo, y volvemos a evaluar la cantidad de paquetes generados por el protocolo de encaminamiento para el caso en el que los nodos permanecen estáticos. Luego, con las expresiones obtenidas y modelos de redes celulares estimamos la cantidad de paquetes debido a usar subredes y a la movilidad. Finalmente, comparamos los resultados obtenidos para validar nuestra propuesta.

### 3.1 Modelos de los protocolos de encaminamiento para MANET

Estos modelos fueron desarrollados y validados en [6], con el objetivo de comparar el número de paquetes generados por los protocolos reactivos y proactivos y el ancho de banda consumido. Estos modelos tienen en cuenta la densidad de la red, la movilidad, la creación de tráfico, y la densidad del tráfico. Los parámetros usados para modelar la red son: el número de nodos en la red  $N$ , la vida media de un enlace  $T_b$  ( $T_b = 1/\mu$ , donde  $\mu$  es la tasa media de ruptura de enlaces) para modelar la movilidad, la

longitud media de una ruta  $L$  que depende principalmente de la forma (estructura) de la red. Además, el modelo asume que  $\mu$  y  $L$  permanecen constantes, y la red permanece conectada siempre.

### 3.1.1 Modelo para Protocolos Reactivos

Partiendo de que la creación de rutas en los protocolos reactivos depende principalmente del tráfico y de la diversidad, usamos los siguientes parámetros: el número medio de creación de rutas (solicitud de ruta)  $\lambda$ , y el número medio de rutas activas en cada nodo  $a$ , donde una ruta activa es definida como el par entre una fuente y un destino que continuamente intercambian datos.

A continuación definimos los parámetros que dependen del protocolo, ver [6]: el número medio de las emisiones  $B_r$ , hechas por cada petición de ruta (podría incluir los mensajes Route Reply de AODV), y el factor de optimización de petición de ruta  $o_r$ , que depende de los parámetros de la red y del tráfico ( $o_r = B_r / N$ ). Si incluimos que el mensaje de Route Reply es emitido desde el destino, obtenemos que  $o_r = 1 + j / N$ , donde  $j$  es el número medio de solicitudes de ruta respondidos. De acuerdo con [5] las solicitudes de ruta son las responsables de la mayor parte de la carga generada por el encaminamiento en las redes que utilizan AODV, por lo cual, podríamos esperar que  $o_r \approx 1$ .

En una red fija (los nodos permanecen estáticos), un protocolo reactivo genera  $\lambda N$  solicitudes de ruta cada segundo. Estas solicitudes generarán  $\lambda a_r N^2$  paquetes de control en la red. Por lo tanto, podemos expresar la carga (overhead) generada por el protocolo de encaminamiento como:

$$O(N) = o_r \lambda N^2 \quad (1)$$

La movilidad en MANETs se puede representar mediante la ruptura y creación de enlaces entre nodos. La ruptura es el factor más importante para modelar la reacción del protocolo de encaminamiento a la movilidad de los nodos, ya que los protocolos tienen que reaccionar rápidamente a las rupturas cuando el enlace está siendo usado para la transmisión de datos. Por lo tanto, cuando se detecta una ruptura del enlace, el protocolo generara básicamente una nueva solicitud de ruta para reparar las rutas que utilizaban a ese enlace.

Si tenemos  $aN$  rutas en la red, habrán  $aNL$  enlaces activos, tal que  $\mu(aNL)N$  paquetes serán generados por una ruptura de enlace. El protocolo reactivo generará básicamente una nueva solicitud de ruta para reparar las rutas que estaban usando el enlace. Esta solicitud de ruta podría ser hecha por la fuente de la ruta o por el nodo que detecta la ruptura del enlace. Para este último caso, esta ganancia se puede

integrar en el parámetro  $o_r$ . En el peor de los casos la carga debida a la movilidad se podrá expresar como:

$$O(N) = o_r \mu a L N^2 \quad (2)$$

### 3.1.2 Modelo para Protocolo Proactivos

Un protocolo proactivo depende principalmente de la transmisión regular de paquetes de control, teniendo la ventaja de no generar ninguna carga adicional para la creación de rutas, porque su carga fija generada por la transmisión de los paquetes de control incluye el coste de la creación de la ruta.

Los parámetros definidos para modelar el protocolo proactivo son, ver [6]: la tasa de paquetes transmitidos por segundo para descubrir la topología local (paquetes de hello)  $h_p$ , y los paquetes para la difusión de la topología emitidos por un nodo durante un segundo para dar un conocimiento global de la topología,  $t_p$ . Estos parámetros están expresados en términos de tasas. Para reaccionar a los cambios topológicos se define el parámetro "próximo nodo activo"  $AN_p$ , el cual corresponde al número medio de enlaces activos por nodo, y se utiliza para evaluar el impacto de los cambios de topología que tienen sobre la carga generada por los protocolos de encaminamiento. Puesto que los protocolos proactivos pueden aprovecharse del conocimiento de la topología para optimizar la difusión, se introduce el factor de optimización de difusión  $o_p$  (tener en cuenta que  $o_p = B_p / N$ ), donde  $B_p$  denota el número medio de emisiones para alcanzar una difusión completa de la topología.

En un protocolo proactivo se generan  $h_p N$  mensajes hello por segundo en toda la red, iniciando  $t_p N$  emisiones de topología por segundo, lo cual significa en total  $t_p o_p N^2$  paquetes. La carga producida se puede representar por:

$$O(N) = h_p N + o_p t_p N^2 \quad (3)$$

Para cuantificar la carga generada en respuesta a la movilidad podemos realizar un análisis similar al realizado con los protocolos reactivos. Un nodo que detecta una ruptura de enlace sobre una ruta transmitirá un paquete adicional a los paquetes de topología difundidos en la red. En promedio un nodo está en  $aL$  rutas, y varias rutas pueden tener el mismo enlace de salida. Sin embargo, la probabilidad de que los saltos siguientes para estas rutas sean iguales es ciertamente mayor que la probabilidad que los destinos de estas rutas sean iguales. Con la introducción del parámetro "número medio de enlaces activos por nodo"  $AN_p$ , la carga total debido a la movilidad en un protocolo proactivo se expresará como:

$$O(N) = o_p \mu AN_p N^2 \quad (4)$$

Con las expresiones presentadas anteriormente, podemos observar que el número de nodos en la red domina la expresión que representa la carga de una forma exponencial  $O(N^2)$  para los dos tipos de protocolos de encaminamiento. El coste de estos protocolos de encaminamiento llega a ser prohibitivo a medida que el número de nodos en la red aumenta drásticamente.

### 3.2 Análisis del coste de transmisión de paquetes de encaminamiento usando subredes

Si usamos encaminamiento jerárquico, cada nodo debería mantener toda la información de encaminamiento sobre los nodos que están cerca de él (por ejemplo en su subred), y poca información sobre los nodos situados lejos de él (por ejemplo en otras subredes). Hacemos divisiones en la red siguiendo un esquema jerárquico de 2 niveles como el analizado en [8], donde todos los nodos están distribuidos uniformemente en la red y en cada subred.

Para este escenario con subredes debemos incluir un nuevo parámetro en el modelo: el número de subredes  $k$  en la red. Para garantizar completa conectividad en la red, un nodo debe mantener por lo menos una ruta a cada nodo ubicado en la misma subred, y una ruta para cada subred en la red. Por lo tanto, la red debe tener  $(k-1) + N/k$  rutas por nodo.

#### 3.2.1 Protocolos Reactivos con Subredes

Cuando introducimos subredes al modelo del protocolo reactivo, incluiremos el número medio de creación de rutas  $\lambda_I$  desde un nodo a los demás nodos de la misma subred, el número medio de creación de rutas  $\lambda_E$  desde un nodo al resto de subredes, y la longitud media de una ruta a otra subred  $q$ .

Aplicando los nuevos parámetros al modelo para una red fija, ver ecuación (2), se obtienen  $N\lambda_I$  solicitudes de ruta a otros nodos dentro de la misma subred producidas cada segundo, y  $N(k-1)\lambda_E$  solicitudes de ruta por segundo hacia otras subredes. Por lo tanto, carga generada por estas solicitudes se pueden expresar por

$$O(N) = o_r \lambda_I \frac{N^2}{k} + o_r \lambda_E (k-1) N \left( \frac{N}{k} + q \right) + S$$

Donde  $S$  representa el coste de descubrir las rutas a otras subredes ( $S = (k-1)^2 N/k$ ). Asumiendo que la probabilidad de encontrar una ruta a una subred es mucho más alta ( $P(\text{cache}) \approx 1$ ) que la probabilidad de encontrar una ruta a un nodo particular, este coste se paga muy pocas veces, por lo tanto, durante un largo período de tiempo este valor será pequeño (porque no es una tasa, es independiente del tiempo). Además, si tenemos en cuenta que el valor de  $q$  es

muy pequeño comparado con el número de nodos en la red, y el valor de  $S$  es constante durante el tiempo, estos dos valores se pueden considerar no relevantes para nuestro análisis. De la hipótesis anterior tenemos que

$$O(N) \approx o_r \lambda_I \frac{N^2}{k} + o_r \lambda_E (k-1) \frac{N^2}{k} \quad (5)$$

Partiendo de que los nodos están distribuidos uniformemente, y asumiendo que  $\lambda_I$  y  $\lambda_E$  son mutuamente independientes con la misma probabilidad de ocurrencia, estas tasas se pueden representar como  $\lambda = \lambda_I + (k-1)\lambda_E$ . Expresando la ecuación (4) en términos de  $\lambda$ , obtenemos

$$O(N) \approx o_r \lambda \frac{N^2}{k} \quad (6)$$

Para modelar la carga generada por los protocolos de encaminamiento a causa de la movilidad, esta se tiene que dividir en dos componentes:

$$O(N) = O_S(N) + O_H(N) \quad (7)$$

La primera componente  $O_S(N)$  corresponde a la carga debida a la movilidad de los nodos dentro de la subred. Y la segunda componente  $O_H(N)$  representa la carga debida al cambio de subred. Esta última componente se presenta porque cada vez que un nodo se mueve de una subred a otra, este nodo debe cambiar su dirección IP. El proceso de cambio de dirección implica un intercambio de mensajes, el cual generara una carga adicional en la red.

Partiendo de que la ruptura de enlaces es la principal componente de la carga generada en reacción a la movilidad, después de agregar subredes al modelo del protocolo reactivo se tendrán dos posibles escenarios. El primer escenario se tiene cuando una ruptura de enlace sucede en un enlace entre dos nodos que están en la misma subred, y para este caso la ruta se reparará localmente. Este caso implica una difusión de paquetes solamente dentro de la subred. El segundo escenario, se tiene cuando la ruptura de un enlace se presenta en un enlace entre dos nodos que pertenecen a subredes diferentes, y para este caso la ruta debe ser reparada desde el origen de la ruta. Este caso supondría una difusión de paquetes en la red completa. Y será analizado en la siguiente sección (3.2.2).

Si se tienen  $aNL$  enlaces activos en la red, la carga debida a la movilidad  $O_S(N)$  se puede representar por:

$$o_r \mu a L \frac{N^2}{k} \leq O_S(N) \leq o_r \mu a L N^2 \quad (8)$$

Debido a la dificultad para cuantificar exactamente el número de emisiones de paquetes de control (carga) en respuesta a la movilidad, decidimos expresarla entre dos extremos, en donde cada uno de los extremos corresponde a cada uno de los escenarios expuestos en el párrafo anterior. Nosotros hacemos énfasis en que frecuentemente la mayoría de las rutas tienen los mismos destinos (la ruta hasta otra subred) y pueden ser reparadas localmente, por lo cual la carga generada estará muy cerca del límite inferior (término ubicado a la izquierda en la expresión (8) la mayor parte del tiempo.

### 3.2.2 Introduciendo movilidad entre Subredes al modelo

Se parte de la premisa de que una subred se corresponde con un grupo o cluster. La pertenencia a un grupo depende de la proximidad (# de saltos) al nodo líder del grupo, formando un área alrededor de este nodo líder. A pesar del tamaño variable de esta área (subred), y para simplicidad del análisis, se asume que las subredes son de tamaño fijo. Por lo tanto, se puede asumir que el comportamiento de un nodo moviéndose entre subredes es similar al comportamiento de un nodo en un sistema celular.

Para nuestro análisis el factor más importante relacionado con la movilidad será la probabilidad de cruce de subred (celda). En [7], B. Jarabbi obtiene una evaluación aproximada del desempeño de un sistema celular usando modelos basados en hipótesis de física de fluidos. Las siguientes condiciones son necesarias para obtener una expresión sencilla:

- Los nodos y su tráfico están distribuidos uniformemente dentro de una subred (celda).
- Los nodos tienen una velocidad media  $v$  y sus direcciones de movimiento están distribuidas uniformemente entre  $[0, 2\pi]$ .

Con las condiciones mencionadas arriba, la tasa de cruce de subred  $\eta$  es dada por

$$\eta = v \frac{P}{\pi S}$$

Donde  $P$  corresponde al perímetro de la subred, y  $S$  es el área de la subred.

Definimos el tiempo que un nodo permanece en una subred (dwell time o tiempo de estancia, [9], [10]), por la variable aleatoria  $T_h$ . El tiempo medio  $E(T_h)$  se puede calcular conociendo la tasa de cruce de subred ([11] y [12]):

$$E(T_h) = \frac{1}{\eta}$$

Donde la expresión anterior corresponde al número medio de traspasos o handoffs.

Adicionalmente, el tiempo de estancia se asume exponencialmente distribuido (es un sistema sin memoria, porque el tiempo que un nodo permanece en una subred no depende del tiempo que permaneció en la subred anterior). Entonces, la probabilidad de cruce de subred esta dada por:

$$P(T_h) = \eta e^{-\eta t}$$

Si además cuenta con un procedimiento de Adquisición de Direcciones que genera  $h$  paquetes en promedio, y se tienen  $N/k$  nodos por subred, se tendrán  $h\eta(N/k)$  paquetes en promedio por subred como respuesta al cambio de subredes. Ahora, podemos expresar la carga generada en toda la red por el cambio de subred como:

$$O_H(N) = h\eta N \quad (9)$$

Finalmente, reemplazando las expresiones (8) y (9) en la expresión (7), se puede aproximar la carga generada por los protocolos de encaminamiento reactivos con subredes debida a la movilidad:

$$O(N) \approx o_r \mu a L \frac{N^2}{k} + h\eta N$$

### 3.2.3 Protocolos Proactivos con subredes

Cuando aplicamos encaminamiento jerárquico con un protocolo proactivo, se hace necesario un mecanismo para descubrir las rutas para alcanzar las otras subredes. Dentro de este estudio introducimos el parámetro  $\phi$ , para representar el coste de descubrir estas rutas, donde dejamos la descripción y evaluación (identificar el valor del parámetro  $\phi$ ) de dicho mecanismo para un estudio futuro.

En un protocolo proactivo, cada nodo emite  $h_p$  mensajes de descubrimiento (hello) por segundo, seguidas de  $t_p$  emisiones a los nodos que están cerca de él (a todos los miembros del subred). La carga generada esta dada por:

$$O(N) = h_p N + o_p t_p \frac{N^2}{k} + \phi \quad (10)$$

Es importante de recordar que el parámetro  $\phi$  incluye el coste de informar a cada nodo las rutas hacia otras subredes. A pesar de que toda esta información de encaminamiento tiene un coste, este coste es mucho más bajo si es comparado con la carga generada por los protocolos de encaminamiento no jerárquicos. Y esto se debe a que este coste no depende de un factor de  $N^2$  como en los protocolos proactivos y reactivos, y porque el procedimiento puede aprovecharse del conocimiento parcial de la topología y de las características del escenario (por ejemplo, las subredes son estáticas).

La carga generada en respuesta a la movilidad esta representada por la expresión (7), en donde la segunda componente,  $O_H$ , es la misma expresada en (9), y la primera componente,  $O_s$ , se puede expresar como:

$$O_s = o_p \mu A N_p \frac{N^2}{k} + \phi \quad (11)$$

La primera parte corresponde a la carga generada por la ruptura de enlaces, en la cual solamente la topología es actualizada localmente. Es obvio que un cambio local en la topología no tiene porque generar carga en toda la red, porque los nodos más distanciados no son afectados ciertamente por estos cambios locales. Una vez más, se tiene el parámetro  $\phi$  en la segunda parte de la expresión, para representar la carga generada en respuesta a la ruptura de un enlace entre subredes.

Finalmente substituyendo (9) y (11) en (7) se obtiene

$$O(N) = o_p \mu A N_p \frac{N^2}{k} + \phi + h \eta N$$

### 3.2.4 Comparación de los Modelos Obtenidos

La mejor manera de obtener una idea de la reducción en la carga generada por los protocolos de encaminamiento después de aplicar una estructura jerárquica (subredes) frente a la carga generada por los protocolos actuales para MANETs, es graficando expresiones obtenidas, por ejemplo en (1) y (6). La figura 2 muestra una comparación entre un protocolo reactivo y el mismo protocolo con 4 subredes.

La figura muestra que la reducción en la carga es tan grande como para poder absorber la carga adicional generada por las modificaciones y nuevos mecanismos necesarios para la aplicación del encaminamiento jerárquico en MANETs, y aún después de permanecer más baja que la generada por los protocolos actuales. Esta afirmación se sustenta al observar el hecho de que la carga generada por el encaminamiento jerárquico esta dominada por una componente  $N^2/k$ , y en el caso de una MANET grande el número  $k$  también puede ser relativamente grande, incurriendo en una reducción en la componente dominante de la carga.

Además de la reducción en el número de paquetes, se puede esperar una reducción en el tamaño de los paquetes de topología (ancho de banda consumido será menor) para el caso de protocolos proactivos y también una reducción en el tiempo que tarda un protocolo reactivo en descubrir una ruta.

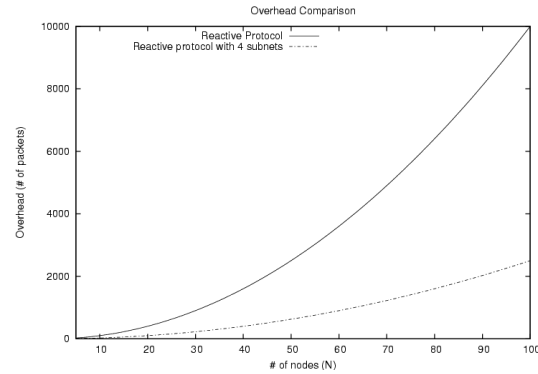


Figura 2. Comparación entre carga generada por un protocolo reactivo y el mismo protocolo incluyendo una estructura jerárquica.

## 4 Conclusiones

En este documento presentamos un escenario en el cual es posible agregar encaminamiento jerárquico a MANET, luego describimos el esquema (identificar las modificaciones y nuevos mecanismos) necesarios para soportar jerarquías en MANETs. Finalmente demostramos analíticamente la reducción esperada en la carga generada por un protocolo de encaminamiento para MANET que incorpore jerarquías (subredes) bajo un escenario específico.

Hacemos énfasis en que los resultados obtenidos en este estudio son preliminares, pero aún así son suficientes para justificar los esfuerzos que estamos realizando actualmente para incorporar un encaminamiento jerárquico en MANET. Algunas de estas actividades en las que estamos trabajando son: la formación de las subredes y adquisición de dirección IP, la movilidad de los nodos entre las subredes, el encaminamiento dentro las subredes, y el encaminamiento entre subredes (modificaciones a los protocolos de encaminamiento existentes).

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia bajo el proyecto CICYT TEC-2004-06437-C05-05/TCM.

## Referencias

- [1] Mobile Ad-hoc Networks working group IETF URL: <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das. Ad hoc Vector (AODV) Routing. RFC 3561, July 2003.
- [3] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol", RFC 3626, October 2003.
- [4] H. Aiache et al, "WIDENS System Specification", Deliverable 2.2, IST WIDENS, June 2004
- [5] C. Shiflet, E. M. Belding-Royer and C. E. Perkins. "Address Aggregation in Mobile Ad

- hoc Networks." Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, June 2004.
- [6] L. Viennot, P. Jacquet, T. H. Clausen, "Analyzing control traffic overhead versus mobility and data traffic activity in mobile Ad-Hoc network protocols," presented at ACM Wireless Networks journal (Winet), 2004.
  - [7] B. Jabbari, "Teletraffic aspects of evolving and next-generation wireless communication networks," *Personal Communications, IEEE* [see also *IEEE Wireless Communications*], vol. 3, pp. 4, 1996.
  - [8] Kleinrock, L. and Kamoun, F. (1977), "Hierarchical Routing for Large Networks: Performance Evaluation and Optimization," *Computer Networks*, Vol. 1, pp. 155-174.
  - [9] D. Hong and S S Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Non-prioritized Hand-off Procedures," *IEEE Trans Vehic Tech*, vol 35,no 3, Aug 1986, pp. 77-92.
  - [10] S. S. Rappaport, "The Multiple-Call Hand-off Problem in High-Capacity Cellular Communications Systems," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Aug. 1991, vol. 40, no. 3, pp. 546-57.
  - [11] G. Morales-Andres and M. Villen-Altamirano, "An Approach to Modelling Subscriber Mobility in Cellular Radio Networks," *Telecom Forum87*, Geneva, Switzerland, Nov. 1987.
  - [12] R. Thomas, H. Gilbert, and G. Maziotto, "Influence of the Moving of the Mobile Stations on the Performance of a Radio Mobile Cellular Network," *Proc. 3rd Nordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Comm.*, Sept. 1988.