



TÉCNICAS DE ENCAMINAMIENTO EN REDES AD HOC BASADAS EN CRITERIOS DE POTENCIA Y BATERÍA

Jesus Martín Hermosín, Antonio Pascual Iserte

{almartin,tonip}@gps.tsc.upc.es

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universitat Politècnica de Catalunya

RESUMEN

Las redes ad hoc están formadas únicamente por terminales móviles que funcionan a partir de baterías, es decir, no hay estaciones base. El consumo de energía es, por lo tanto, un punto muy importante a la hora de diseñar la red. Para maximizar el tiempo de vida de una red ad hoc, el consumo de energía tiene que ser distribuido de forma equitativa entre el conjunto de nodos que la forman, y a la vez ha de minimizarse el consumo total de energía para cada transmisión. Los algoritmos de encaminamiento clásicos para ad hoc no tienen en cuenta la energía y por tanto no consiguen maximizar el tiempo de vida de la red. En este artículo se hace un estudio del estado del arte en métricas de encaminamiento que tengan en cuenta la batería al seleccionar las rutas y se proponen nuevas métricas al respecto. Dichas métricas se comparan mediante simulación intentando llegar a un compromiso entre parámetros como el tiempo de vida de la red y la calidad de servicio, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de investigación más activos actualmente es el de las redes inalámbricas ad hoc. De origen militar, durante más de 30 años se ha venido trabajando en este tipo de redes, pero ha sido en los últimos años cuando la proliferación de la tecnología inalámbrica y su bajo coste ha provocado el mayor avance en el desarrollo de la investigación en este campo. Una red inalámbrica ad hoc es una colección de nodos (posiblemente móviles), que se comunican entre sí, sin disponer de ninguna infraestructura fija en la que apoyarse ni estructura predeterminada de enlaces disponibles

[1]. Dichos nodos pueden comunicarse con otros nodos que pueden o no estar dentro de su radio de alcance. En este último caso uno o varios nodos intermedios transportan la información desde el origen hasta el el destino, lo que forma una red ad hoc de múltiples saltos.

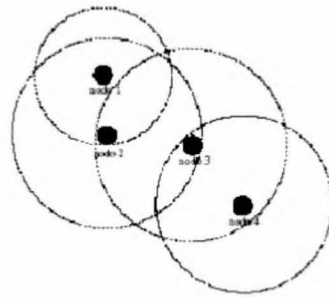


Figura 1.1. Ejemplo de red ad hoc.

Los nodos han de ser capaces de discernir con qué otros nodos pueden comunicarse directamente y con cuáles no, y de detectar la presencia o la desaparición de nodos vecinos. Una característica relativamente rápidos debido a la movilidad de los nodos.

Una red ad hoc es auto-organizativa y adaptativa, esto es, que se puede formar o destruir en cualquier momento y lugar sin necesidad de ningún sistema de administración. "Ad hoc" tiende a implicar que "puede tomar diferentes formas" y que "puede tener movilidad".

Cada nodo, por lo tanto, hace a la vez las funciones de terminal y router, ya que todos deberán ser capaces de retransmitir la información de la que no sean destinatarios hacia otros nodos hasta que se alcance el destino, como se observa en la figura 1.2.

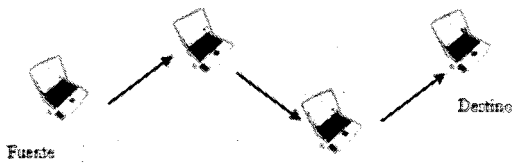


Figura 1.2. Ejemplo de funcionamiento ad hoc.

Se puede dar el caso de que uno o más nodos de los que forman la red puedan agotar su batería en tareas de retransmisión y de mantenimiento de la red, sin haber llegado a ser fuente o destino de una llamada o transmisión. Este hecho muestra claramente la necesidad de administrar de manera justa la energía de la red, es decir, de las baterías de los nodos que la componen.

2.SERVICIOS

La actual y previsible futura demanda de tecnología ad hoc hace que constantemente salgan a la luz nuevas aplicaciones que en la mayoría de los casos no hacen más que responder a dicha demanda.

Los servicios van principalmente destinados a cubrir las necesidades de nuevas redes autónomas que puedan conectarse a accesos fijos siguiendo la tecnología IP.

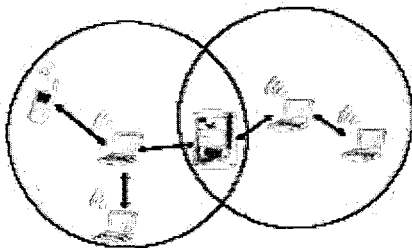


Figura 2.1. Servicios de valor añadido.

A continuación se hace un listado de posibles aplicaciones y servicios de las redes ad hoc:

" El origen militar de las redes ad hoc hace que en este campo continúen teniendo un papel muy importante tanto en servicio como en desarrollo de la tecnología. La industria militar demanda sistemas totalmente autónomos y muy dinámicos.

" Aplicaciones para rescates, emergencias, y en general en zonas donde no existan infraestructuras disponibles y donde se haga necesaria la formación, en ocasiones muy rápida, de una red de comunicaciones. Adecuadamente combinada con información proveniente de los satélites de comunicación, las redes ad hoc proporcionan un método muy rápido y flexible de establecer comunicaciones.

" Cada vez más son una alternativa en comunicaciones marítimas e incluso se han realizado pruebas de comunicación entre aviones y entre aviones y barcos.

" La creación de WLAN con todas las aplicaciones de las LAN y la aparición de nuevas aplicaciones sacan provecho de la gran ventaja del rápido despliegue de las redes wireless ante las redes cableadas.

" Creación de redes provisionales en todo tipo de eventos o lugares donde sea necesario, tales como congresos, eventos deportivos, etc.

" Tienen un papel importante en las redes de 4G y en el desarrollo de las redes de área personal (PAN), donde se forman redes ad hoc heterogéneas que conectan por ejemplo el ordenador personal con el teléfono móvil o la agenda.

" Un campo al que recientemente se ha prestado bastante atención es el de las redes de sensores [2]. Los sensores son de tamaño muy reducido y poseen capacidades de medición, comunicación vía radio y almacenamiento. Se usan principalmente para realizar mediciones en tareas militares, pero también tienen otras muchas aplicaciones. En la industria médica, los sensores permiten monitorizar información crítica para la vida. En la industria alimenticia se aplican al control de calidad de los productos. El control medioambiental y el uso en la agricultura son otras de sus muchas aplicaciones.

3.PROBLEMAS Y RETOS: ENERGÍA

A pesar de su relativamente larga historia, las redes ad hoc presentan todavía algunos retos por resolver. Principalmente van ligados a los problemas de escalabilidad, seguridad, calidad de servicio o scheduling. En varios trabajos se profundiza en estos aspectos que han sido tratados a lo largo de la historia de las redes ad hoc [3,4,5]. En este artículo nos centraremos en un problema del que no se ha tratado hasta hace bien poco, el problema de la gestión de la energía de la red.

La vida de la red ad hoc depende de la vida de sus terminales. A su vez los terminales móviles dependen de sus baterías como única fuente de energía. Esto hace de la gestión eficiente de la energía de los nodos algo vital para la red. La capacidad de las baterías es finita y representa uno de los mayores problemas a la hora de diseñar un algoritmo de encaminamiento. Estudios en el avance de la tecnología de las baterías muestran que no se esperan muchos progresos en la capacidad de las mismas [3]. La tecnología de las baterías está muy por detrás de la tecnología de los microprocesadores. La vida de una batería de Litio hoy en día es sólo de 2 ó 3 horas [1]. Las limitaciones en la vida de las baterías y los requerimientos de energía debido al encaminamiento hace de la conservación de energía uno de los principales problemas en ad hoc.

3.1 Estrategias para la conservación de energía

Se han investigado estrategias para la conservación de la energía en los diferentes niveles de los terminales móviles [5] [6]:

" Capa física. Actualmente se han hecho avances en hardware a nivel de circuito en la optimización de la potencia. Pantallas y CPUs que consumen poca potencia o algoritmos computacionales eficientes en consumo de potencia son algunos ejemplos. Otros trabajos han ido dirigidos a conseguir mejorar la eficacia en los componentes actuales.

" Capa de enlace. En la capa de enlace la conservación de la energía puede conseguirse usando esquemas de retransmisión efectivos y operación en modo sleep.

La capa de enlace detecta errores en la transmisión y retransmite los paquetes necesarios. En las redes ad hoc, debido a la presencia de movilidad o interferencia co-canal, los errores de transmisión pueden ocurrir con bastante frecuencia, lo que lleva a frecuentes peticiones de retransmisión. Debido a que dichas peticiones provocan un alto consumo de energía y de interferencia, un nuevo sistema de petición de retransmisiones es necesario. alguna propuesta al respecto se presenta en [5].

" Capa de red. En las redes con cables los esfuerzos se han centrado tradicionalmente en aumentar el throughput de la red y minimizar el retardo. Elegir rutas que requieran niveles de consumo de potencia menor puede perjudicar los parámetros tradicionales que se basaban en escoger la ruta con el menor número de saltos.

Transmitir con mucha potencia puede disminuir la probabilidad de pérdida de las transmisiones y por lo tanto incrementar el throughput. Sin embargo, esto puede provocar un aumento de la interferencia, bloquear enlaces, y por lo tanto puede provocar una disminución de la capacidad de la red [7], por lo que transmitir a baja potencia no siempre es perjudicial para la red. Desde el punto de vista de la energía, las redes ad hoc necesitan protocolos que maximicen la vida de todos los nodos y con ello maximizar el tiempo antes de que la red se particione, es decir, se dé el caso en que dos nodos no se puedan comunicar entre sí ya que los nodos intermedios necesarios para establecer la comunicación tengan su batería agotada.

4.ENCAMINAMIENTO EN AD HOC

Se puede definir encaminamiento como un proceso mediante el cual se trata de encontrar una ruta o camino entre dos puntos de la red. Los algoritmos de encaminamiento tienen por fin encontrar la mejor ruta entre pares de nodos.

Si nos referimos a redes de comunicación fijas, típicamente al decir "mejor ruta" se consideran aquéllas que cumplen unas condiciones como presentar el menor retardo medio, ofrecer el menor coste o presentar la mayor cadencia media sin tener en cuenta el retardo. Respecto a la métrica pueden tenerse en cuenta parámetros como el número de saltos (el camino que toma un paquete de información desde un nodo a otro de la red), el tiempo de retardo que sufre la información durante su transmisión o la longitud de la cola, etc. Los algoritmos y protocolos de encaminamiento clásicos para ad hoc han mantenido en gran medida las métricas clásicas de selección de rutas, centrando sus esfuerzos principalmente en realizar la gestión de la información de control de la manera más eficiente para así mejorar la escalabilidad de la red, es decir, la capacidad de mantener una calidad de servicio a medida que la red crece.

En ad hoc la forma de actuar de los algoritmos clásicos no funciona de manera eficiente. Ante este hecho recientemente están apareciendo trabajos destinados a buscar nuevos mecanismos de encaminamiento más apropiados para ad hoc [5] [11].

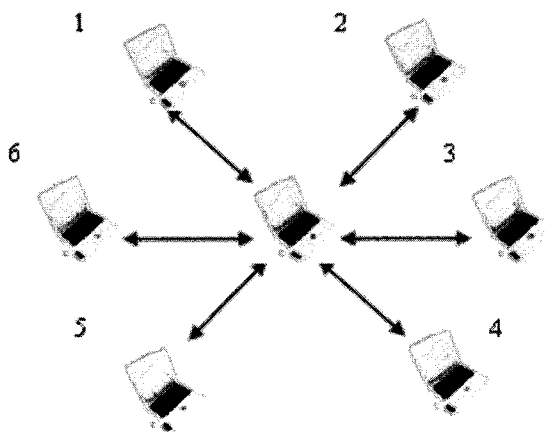


Figura 4.1. Ejemplo de selección de rutas.

En la figura 4.1. se observa que desde el punto de vista del encaminamiento clásico el nodo central agotará su batería en muy poco tiempo. Esto es debido a que forma parte de las rutas con menor número de saltos entre los nodos 1-4, 2-5 y 6-6. Esto provoca que la red se particione rápidamente

ya que el nodo central agotará su batería antes que el resto. Existe la necesidad de la aparición de nuevos esquemas de encaminamiento que gestionen la energía de la red de manera más eficiente, aunque ello suponga aumentar el número de saltos de las rutas.

4.1 Protocolos existentes para ad hoc

Son muchos los protocolos que han aparecido específicamente para redes ad hoc. Se pueden clasificar en proactivos, reactivos e híbridos.

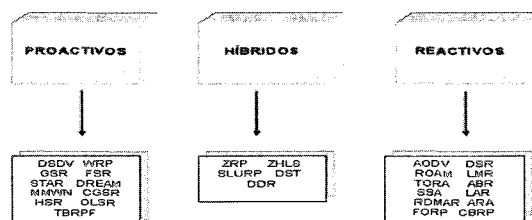


Figura 4.2. Clasificación de los protocolos para ad hoc.

En los protocolos proactivos o globales cada nodo mantiene información de encaminamiento de los demás nodos de la red. La información de encaminamiento se almacena en diferentes tablas. Responden a los cambios de topología propagando actualizaciones para mantener una red estable [8]. La diferencia entre ellos está en la forma en que se propaga esta información de actualización y en el tipo de información guardada en las tablas de encaminamiento.

Los protocolos reactivos se diseñaron para reducir la carga de control que se produce en los protocolos proactivos. Para ello se mantiene la información solamente de los nodos activos (On-demand). Las rutas se determinan y mantienen solamente cuando un nodo en cuestión tiene que enviar información.

Los protocolos híbridos son una nueva generación de protocolos que incluyen características proactivas y reactivas. Se han pensado para mejorar la escalabilidad y reducir la carga de información necesaria para el descubrimiento de rutas. Para ello permiten a los nodos cercanos trabajar como una unidad, es decir, sin necesidad de intercambio periódico de información de control.

5. METRICAS DE ENCAMINAMIENTO PARA REDES AD HOC

En este apartado se presentan esquemas de encaminamiento que utilizan métricas que pretenden ser justas a la hora de administrar el consumo de batería de los nodos de una red ad hoc. Este estudio trata de encontrar nuevas métricas que sustituyan a las clásicas aplicadas por la mayoría de los protocolos de encaminamiento.

5.1. MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing)

Este es uno de los primeros algoritmos que introdujeron el consumo de energía como métrica de selección de rutas. Fue propuesto por K. Scott y N. Bambos [7]. La potencia requerida por cada nodo puede dividirse en potencia de procesamiento y potencia de transmisión. La potencia de transmisión es la potencia consumida en la comunicación por radio con otros nodos, y es en su estudio en el que se centra el algoritmo.

Para transmisiones correctas, la relación señal a ruido (SNR) recibida en un nodo tiene que ser superior a un umbral. Este umbral está estrechamente relacionado con la probabilidad de error de bit (BER) máxima tolerable en el enlace para la transmisión de la señal recibida. Por lo tanto se observa que para una transmisión satisfactoria desde un nodo n_i hasta un nodo n_j , la relación señal a ruido en el nodo n_j tiene que satisfacer la siguiente ecuación:

$$SNR_j = \frac{P_i^\alpha G_{i,j}}{\sum_{k \neq i} P_k^\alpha G_{k,j} + \eta_j} \geq \psi_j$$

donde P_i^α es la potencia de transmisión del nodo n_i ; G_{ij} es la ganancia en potencia del canal entre los nodos n_i y n_j y η_j es la potencia de ruido térmico en el nodo n_j .

Según este criterio, la potencia mínima de transmisión depende del ruido interferente, de la probabilidad de error deseada y, lo que es más interesante, de la distancia entre nodos.

El algoritmo MTPR tiene como objetivo minimizar la potencia total de transmisión de la ruta.

A continuación se especifica el algoritmo:

" Se define:

A , conjunto de todas las rutas posibles que unen dos nodos.

" La potencia total de transmisión para una ruta l , se puede obtener de:

$$P_l = \sum_{i=0}^{D-1} P(n_i^l, n_{i+1}^l) \text{ para todo nodo } n_i \in l$$

Donde n_o y n_d son los nodos fuente y destino respectivamente.

" De lo que se trata es de tomar la ruta deseada, l_c , como la ruta que minimiza la potencia total de transmisión necesaria:

$$P_{l_c} = \min P_l, \text{ para } l \in A$$

" Se puede observar que debido a su naturaleza, este algoritmo puede tomar rutas más largas que otros algoritmos, lo que provoca un mayor retardo. Esto hace que en ocasiones no sea atractivo para una red ad hoc.

5.2. MBCR (Minimum Battery Cost Routing)

La métrica del coste total de potencia presenta el inconveniente de que la reducción en el consumo de energía puede no verse reflejado en cada terminal. Por ejemplo si las rutas de menor coste total pasan todas por un nodo en concreto, la batería de este terminal se consumirá en muy poco tiempo.

En [9] se proponen varias métricas que buscan maximizar el tiempo de vida de los terminales que forman una red. Una de ellas es utilizada en [5] como base del algoritmo MBCR. El algoritmo MBCR propone tener en cuenta la batería residual

de los nodos para evitar las rutas que contengan los nodos con menor batería.

" Se define:

B_i^t , capacidad residual de batería de un nodo n_i en un instante de tiempo t .

$f_i(B_i^t)$, función de coste de batería de un nodo n_i .

Se propone una función de coste que haga que un nodo sea más reactivo, es decir, le "cueste más" encaminar, a medida que su capacidad residual de batería es más baja. Se propone la siguiente:

$$f_i(B_i^t) = \frac{1}{B_i^t}$$

" Se calcula el coste de batería C_l para la ruta l como la suma de los costes individuales de los nodos que la forman:

$$C_l = \sum_{i=0}^{D_{l,i}} f_i(B_i^t)$$

donde D_l es el nodo destino de la ruta l .

" Se toma la ruta que presenta el menor coste de batería de la ruta:

$$C_{lc} = \min \{C_l \mid l \in A\}$$

Debido a que la capacidad de batería disponible se incorpora directamente en el algoritmo de encaminamiento, esta métrica evita que los nodos puedan ser sobrecargados. A pesar de que este esquema prolonga tanto el tiempo de vida de la red como el de los nodos en individual., presenta un problema que queda patente en la figura 5.1.

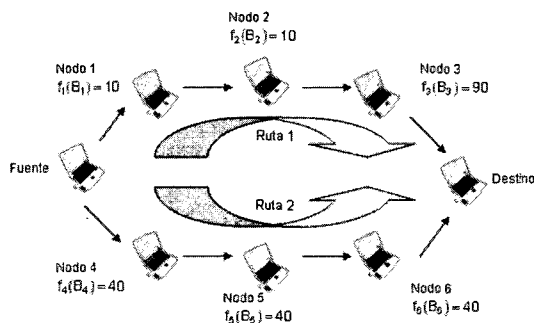


Figura 5.1. Problema de encaminamiento.

En la figura anterior, existen dos posibles rutas entre el nodo fuente y destino. Aunque el nodo 3 tiene mucha menos batería restante que los demás nodos (su función de coste es sensiblemente superior), la ruta 1, la que incluye el nodo 3, presenta un menor coste total de batería. Por lo tanto la ruta 1 es la elegida, reduciendo el tiempo de vida del nodo 3, algo que como se ha venido comentando, no es deseable.

5.3 MMBCR (Min-Max Battery Cost Routing)

El objetivo del esquema MMBCR es distribuir el consumo de batería entre los diferentes nodos, protegiendo la red del rápido consumo de la batería de unos pocos nodos. Se trata de evitar que los nodos con menor capacidad de batería restante soporten la mayoría del tráfico sólo por el hecho de estar situados en una ruta con menor coste de batería total. Con ello se pretende alargar la vida de los nodos y de la red.

Se propone la modificación del cálculo del coste de batería C_l para la ruta l de la siguiente manera:

$$C_l = \max f_i(B_i^t) \text{ para } i \in l$$

Es decir, el coste de la ruta viene marcado por el nodo con valor de la función de coste más alto, esto es, con menor capacidad de batería restante.

" La ruta elegida lc es aquélla que tenga el menor coste de todas las posibles:

$$C_{lc} = \min \{C_l \mid l \in A\}$$

En principio al evitar los nodos más débiles parece que la energía de la red se trata de manera más justa. Sin embargo, por un lado no se garantiza que la ruta escogida sea la más corta, con el mayor retardo que ello conlleva. Por otro lado, no hay garantía de que en todos los casos la ruta con menor coste de energía de transmisión total sea la seleccionada. Esto, de hecho, reduce el tiempo de vida de todos los nodos. Todas estas consideraciones quedan patentes en la figura 5.2,

donde se selecciona la ruta 2, con mayor coste total de batería.

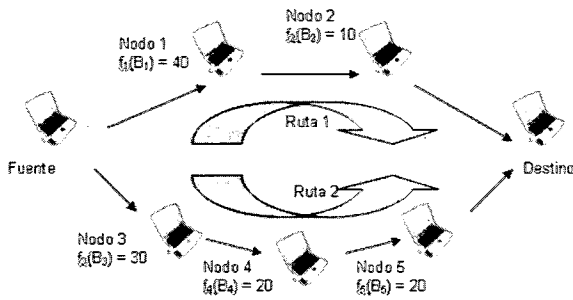


Figura 5.2. Problema de encaminamiento.

5.4 CMMBCR (Conditional Max-Min Battery Capacity Routing)

Los esquemas anteriores no consiguen los objetivos de maximizar el tiempo de vida de los nodos y de la red simultáneamente. Para resolver este problema, el esquema CMMBCR [5] introduce un umbral de batería a la hora de seleccionar las rutas. Lo hace de la siguiente manera:

1. Cuando todos los nodos incluidos en las posibles rutas disponen de suficiente capacidad de batería restante, es decir, por encima de un umbral γ , entonces se escoge la ruta con el mínimo consumo total de potencia transmitida según el esquema MTPR.

2. Cuando todas las rutas posibles contienen algún nodo por debajo del umbral, se evitan las rutas que contengan los nodos más débiles.

"Se define la capacidad residual de batería para una ruta l en un tiempo t como:

$$C_l^B = \min B_i^t \text{ para } i \in \text{ruta } l$$

"Se define un vector Q donde se encuentran todas las rutas con batería residual suficiente:

$$C_l^B \geq \gamma, \forall l \in Q$$

entonces se llega a:

1. Si $A \cap Q \neq \emptyset$, lo que implica que existe alguna ruta entre el nodo fuente y destino en la que

todos los nodos disponen de un nivel de batería restante superior al umbral γ , se elige la ruta incluida en $A \cap Q$ aplicando el esquema MTPR [18].

2. En otro caso, se selecciona la ruta con la máxima batería restante en su nodo más débil usando la ecuación:

$$C_{lc}^B = \max \{C_i^B \mid l \in A\}$$

El factor γ es un margen de protección y presenta un compromiso para el funcionamiento del algoritmo.

5.5 CMBCR (Conditional Minimum Battery Cost Routing)

Con este nuevo esquema se propone utilizar la idea propuesta en el algoritmo CMMBCR pero destinada íntegramente a minimizar el coste de batería a la hora de seleccionar las rutas. Se propone lo siguiente:

1. Por un lado, y al igual en el esquema CMMBCR, se define un umbral γ . Si todos los nodos que componen la ruta tienen capacidad de batería restante por encima del umbral, se utiliza en esquema de mínimo coste de batería total para así alargar la vida de toda la red.

2. Cuando no exista más remedio que usar una ruta que contenga algún nodo con capacidad de batería restante por debajo del umbral, se tratará de evitar los nodos con menor batería, para así alargarles la vida.

" Se utilizan las funciones de coste y vectores que se han venido utilizando a lo largo del texto.

" Se define el coste total de batería:

$$C_l^1 = \sum_{i=0}^{D_{i,l}} f_i(B_i^t)$$

" Por otro lado se define la capacidad residual de batería de la ruta:

$$C_l^2 = \min B_i^t \text{ para } i \in l$$

" A partir de estos costes se aplica la misma idea que el algoritmo anterior y se evitan los nodos más débiles cuando la batería de todos los que forman la ruta es inferior a un umbral.

Esta técnica controla la gestión de la batería pero no tiene control sobre la potencia de transmisión en la selección de rutas, lo que hace que no en todos los casos se gestione la energía de la red de la manera más justa.

5.6 TVNR (Tiempo de Vida de los Nodos en Ruta)

Este esquema trata de hacer hincapié en una cuestión que no han tenido en cuenta los esquemas anteriores, al menos de manera explícita. Por mucha batería restante que disponga un nodo, si éste tiene que soportar el tráfico derivado de los demás nodos, agotará su batería rápidamente. Para evitar este problema se propone tener en cuenta el consumo medio por unidad de tiempo que sufre un nodo mediante la definición de un parámetro Bc_i^t , que no es más que el consumo de batería medio por un nodo n_i por unidad de tiempo, en un instante de tiempo t .

" Se define el tiempo de vida estimado bajo el consumo actual de un nodo según la ecuación:

$$T_i(B_i^t, Bc_i^t) = \frac{B_i^t}{Bc_i^t}$$

" Se selecciona la ruta con el mayor tiempo de vida como:

$$T_{vida} = \max \{T_l \mid l \in A\}$$

Una parte crítica del diseño de este esquema es la selección del parámetro Bc_i^t , para el cual se tiene en cuenta el valor calculado en diferentes intervalos de tiempo según la forma:

$$Bc_i^t = \alpha Bc_{ant} + (1 - \alpha) Bc_{act}$$

Con el parámetro α se regula si se quiere dar más valor al consumo medio calculado durante todo el tiempo de vida del nodo o al calculado en el último intervalo.

5.7 TPBCR (Transmission Power-Battery Cost Routing)

Los algoritmos anteriormente descritos tienen en cuenta la potencia de transmisión o la batería en sus métricas pero no simultáneamente, aunque en todos ellos ambas tienen un impacto importante en el tiempo de vida de la red. Si se selecciona una ruta atendiendo únicamente a la batería restante de los nodos sin tener en cuenta la potencia que consumirá, puede suceder que un nodo agote rápidamente su batería si éste se encuentra muy alejado del que le sucede en la ruta; es decir, se pierde un término importante a la hora de controlar el consumo de energía, y por lo tanto de controlar el tiempo de vida de la red.

Lo que se pretende con el algoritmo TPBCR es que a la hora de decidir qué nodo sigue en la selección de la ruta se tenga en cuenta la potencia que se va a consumir al transmitir y simultáneamente la capacidad de batería restante del nodo en cuestión.

" Según lo anterior se define una función de coste que tenga en cuenta la potencia de transmisión y la capacidad de batería restante en el nodo:

$$f_i(B_i^t, P_{ij}^t) = \frac{P_{ij}^t}{B_i^t}$$

" De lo que se trata es de tomar la ruta con menor coste total en sus nodos:

$$C_l = \sum_{i=0}^{D_{l,t}} f_i(B_i^t, P_{ij}^t)$$

$$C_{lc} = \min \{C_l \mid l \in A\}$$

Se puede pensar que un nodo con poca batería restante pero que necesita poca potencia de transmisión puede ser elegido en lugar de un nodo con más batería si éste necesita una potencia de transmisión mayor, por lo que en este caso se penalizará al nodo con menor batería. Lo que prima es la relación entre potencia y batería.

5.8 CTPBCR (Conditional Transmission Power-Battery Cost Routing)

Para evitar lo comentado anteriormente se ha propuesto aplicar un umbral de batería al esquema TPBCR. Así, de la misma manera que en los demás esquemas condicionales, cuando no existen rutas formadas por nodos con batería residual por encima de un umbral, se evitan los nodos con menor batería restante.

Para comprobar las suposiciones teóricas y determinar qué soluciones dan mejores resultados se hace necesaria la comparación mediante simulación.

6. EL SIMULADOR

6.1. Estructura del simulador

Se permite simular tanto redes ad hoc de múltiples saltos como de salto único, dentro de un área limitada definida por el usuario. La creación del escenario y de la red se controla a partir de los parámetros de entrada. Así se pueden crear desde una red de dos nodos en un área pequeña hasta una red de cientos de nodos que ocupe una gran área.

El simulador permite la formación de redes estáticas y dinámicas. En estas últimas los nodos toman direcciones aleatorias que varían cuando llegan a los límites del área permitida.

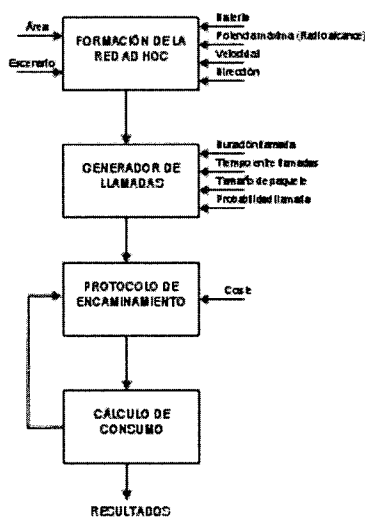


Figura 6.1. Diagrama de bloques del simulador.

6.2. Generador de llamadas

A partir de los parámetros de tiempos, se generan las llamadas de forma aleatoria según una variable aleatoria exponencial.

Los nodos generan llamadas con una probabilidad determinada e indicada, y el nodo destino se elige de manera aleatoria.

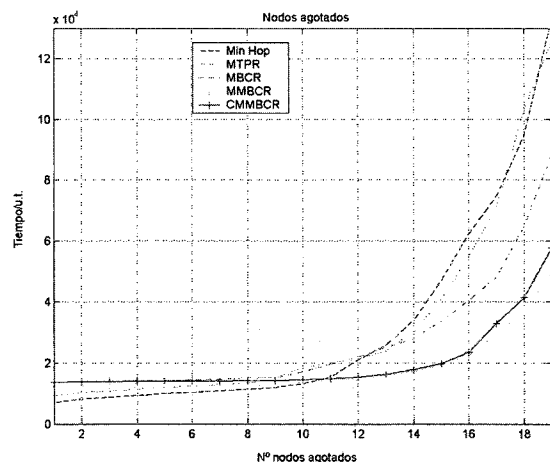
6.3. Protocolo de encaminamiento

Para evitar tener que aplicar el protocolo de encaminamiento a nivel de paquete se ha tomado la solución de realizar un protocolo a nivel de llamada. Los nodos generan peticiones de llamada que se envían por la red y ponen en marcha los diferentes algoritmos de encaminamiento.

7. RESULTADOS

Se han realizado un gran número de simulaciones y comparaciones en diferentes escenarios con diferentes características cada uno. El objetivo principal ha sido comparar el comportamiento de las métricas en diferentes situaciones y desde diferentes puntos de vista (tiempo de vida de la red, número medio de saltos por ruta, tráfico cursado...). Además de todas las métricas expuestas anteriormente se ha introducido la métrica del mínimo número de saltos (MH), típica de los protocolos clásicos.

Aquí se presenta alguna muestra de los resultados obtenidos.



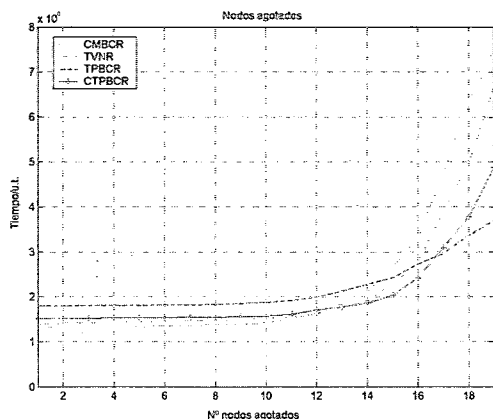


Figura 6.2. Secuencia de expiración de los nodos

Se observa que el esquema que agota sus nodos más rápidamente es el MH. Al no tener control sobre la energía, selecciona rutas que perjudican a unos nodos en concreto, que agotan su batería rápidamente. A medida que los nodos caen se llega al punto de que no presenta el menor número medio saltos (figura 6.3). Esto, aunque puede parecer extraño, es lógico ya que se al no gestionar la batería de los nodos adecuadamente, agota los recursos de la red rápidamente viéndose obligado a tomar rutas largas, ya que son las únicas que permanecen activas. Respecto al tráfico cursado, se observa que presenta nuevamente el peor comportamiento (figura 6.4). Esto se debe nuevamente a la mala gestión de los recursos de la red.

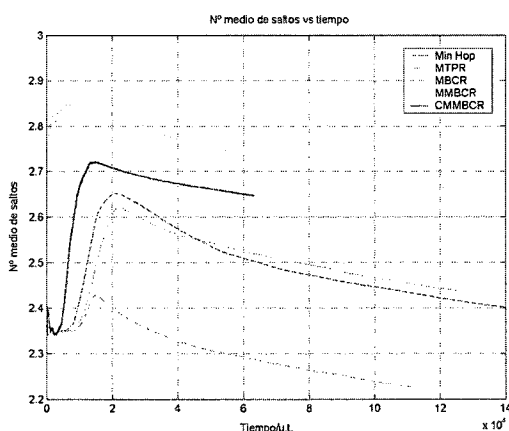


Figura 6.3. Número medio saltos vs tiempo.

Esquemas como el MBCR o CMBCR, que seleccionan sus rutas a partir del coste total de batería, presentan un buen comportamiento respecto

a la gestión del tiempo de vida de la red. El problema que presentan los esquemas que no introducen la potencia de transmisión es que son poco robustos ante los cambios en el radio de cobertura. La potencia de transmisión está muy relacionada con el radio de cobertura de los nodos. Es por esto que para redes con nodos muy alejados se pueden tomar enlaces muy largos que agoten rápidamente la batería de los nodos.

La métrica TPBCR es la que trata de manera más justa la energía de los nodos. Los nodos se agotan en instantes próximos. Esto significa que los recursos de la red son gestionados para sacar el máximo partido de la misma, sin abusar de unos pocos nodos y evitando que la red se particione. Esto da lugar a altos porcentajes de tráfico cursado respecto a los demás esquemas (figura 6.4).

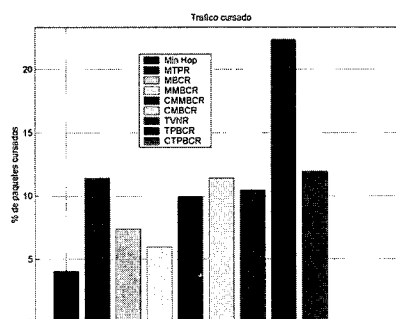


Figura 6.4. Porcentaje de tráfico cursado.

8. CONCLUSIONES

En este artículo se ha puesto en evidencia la necesidad de aplicar nuevas técnicas de encaminamiento que tengan en cuenta la energía de la red. Se ha hecho una revisión del estado del arte y se han propuesto nuevas técnicas destinadas a mejorar las ya realizadas.

Se puede concluir que el comportamiento de las diferentes métricas depende de las características de la red. Claramente la técnica comúnmente aplicada, la minimización del número de saltos, no es óptima para redes donde la gestión de la batería de la red es vital para la misma. Las propuestas que solamente tienen en cuenta la batería de los nodos al seleccionar las rutas presentan un buen comportamiento en general para redes con los

nodos relativamente próximos. El mejor comportamiento para todo tipo de redes lo presenta el esquema TPBCR, que incluye la métrica de la potencia de transmisión y el coste de batería simultáneamente.

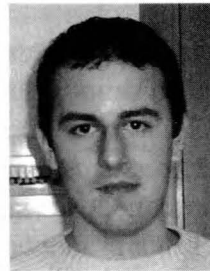
Quedan muchas cuestiones todavía por resolver sobre las redes ad hoc. Cualquier avance en cualquiera de las capas ayudará a formar redes más eficientes. En concreto se está poniendo énfasis en la relación de la distancia entre los nodos y la potencia de transmisión necesaria [10]. Nuevos avances en este terreno mejorarán los resultados de los esquemas de encaminamiento que introducen la métrica de la potencia de transmisión.

REFERENCIAS

- [1] Toh, C-K. (2002). Ad hoc Mobile Wireless Networks, Procols and systems. Prentice-Hall.
- [2] Xu, Y.; Heidemann, J.; Estrin, D. (2000). Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks. USC/ISI Technical Report.
- [3] Chlamtac, I; Conti, M.; Liu, N. (2003). Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. Ad hoc networks. 1(1):13-64.
- [4] Internet Engineering Task Force (IETF) internetdraft, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, 1998.
- [5] Toh, C-K. (2001). Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Communications magazine. (39):138-147.
- [6] Jones, C.; Sivalingam, K.; Agarwal, P.; Chen, J.C. (2001). A survey of energy efficient network protocols for wireless and mobile networks, ACM/Kluwer Wireless Networks 7(4) 343-358.
- [7] Scott, K.; Bambos, N. (1996). Routing and channel assignment for low power transmission in PCS. Proceedings of IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC '96), Cambridge.
- [8] Abolhasan, M.; Wysocki, T.; Dutkiewicz, E. (2004). A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. Ad hoc networks. 1(2).

- [9] Singh, S.; Woo, M.; Raghavendra, C. (1998). Power-aware routing in mobile ad hoc networks. Proceedings of Mobicom '98. 181-190.
- [10] Stojmenovic, I.; Lin, X. (2000). Power-Aware Localized Routing in Wireless Networks. Proceeding of IEEE International Parallel and Distributed Computing Symposium, 2000.
- [11] Martín, J; (2004). Técnicas de encaminamiento en ad hoc basadas en criterios de potencia y batería. PFC en la ETSETB. Director: Pascual, A. Biblioteca Rector Gabriel Ferraté (BRGF).

AUTORES



Jesús Martín, nacido en 1980, comenzó los estudios de ingeniero superior de telecomunicación en 1998 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). En septiembre de 2004 presentó su proyecto final de carrera sobre la investigación de nuevas técnicas de encaminamiento en redes ad hoc que tengan en cuenta y gestionen la capacidad de energía de la red en su funcionamiento, realizado en el departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones (TSC).



Antonio Pascual nació en 1977 en Barcelona. Cursó los estudios de ingeniero superior de telecomunicación en el período 1995-2000 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), obteniendo el premio nacional de fin de carrera correspondiente al curso 2000-2001. Durante el período de septiembre de 1998 hasta junio de 1999 trabajó como becario en el departamento de ingeniería electrónica de la UPC, y desde junio de 1999, y hasta enero de 2001, trabajó, primero como becario y después como ingeniero contratado, en el departamento de I+D de Retevisión, involucrándose en temas relacionados con la implantación de la red de televisión digital y radio digital terrestre en España. En enero de 2001 se incorporó como estudiante de doctorado y becario del programa de "Formació d'Investigadors" de la Generalitat de Catalunya al departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones (TSC) de la UPC, donde actualmente desarrolla en su última etapa de tesis actividades de investigación en el grupo de procesado de arrays y señales multicanal. Desde septiembre de 2003, es profesor en la Escuela Politècnica Superior de Castelldefels (EPSC) de la UPC.