

Ruteo Geométrico Aplicado a las Redes de Computadoras

Hernández Peñalver, Gregorio

Departamento de Matemática Aplicada
Facultad de Informática - Universidad Politécnica de Madrid
España
e-mail: gregorio@fi.upm.es
Fax: 34-91-3367426

Berón, Mario Marcelo; Gagliardi, Edilma Olinda

Departamento de Informática
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales - Universidad Nacional de San Luis
Argentina
e-mail: {mberon,oli}@unsl.edu.ar
Fax: 54-2652-430224

Resumen

El ruteo de paquetes en una red de computadoras móviles presenta un desafío de investigación. Esto se debe a que este tipo de redes carece de una infraestructura física debido a la movilidad constante de las máquinas que la componen. Esta característica inhibe el uso de los algoritmos de ruteo tradicionales y motiva el desarrollo de nuevas estrategias que permitan el intercambio eficiente de paquetes.

Los avances tecnológicos han posibilitado el desarrollo de métodos de ruteo teóricos que se basan en la utilización de información geográfica para encontrar el camino entre un nodo origen y otro destino. Algunos de estos algoritmos pertenecen al campo de la Geometría Computacional y son de mucha importancia porque utilizan escasos recursos y proponen una solución elegante al problema del envío y recepción de paquetes en una red móvil.

En este artículo se presenta una línea de investigación que estudia la posibilidad de aplicar diferentes estrategias de ruteo, originadas dentro del campo de la Geometría Computacional, en redes móviles reales.

Palabras Claves: Geometría Computacional, Red móvil, Clases de Grafos, Algoritmos de Ruteo.

1 Introducción

Una de las características principales de las redes de computadoras es el intercambio de información que se lleva a cabo entre las máquinas que las componen. La información que se desea transmitir está dividida en mensajes y estos a su vez en paquetes. Los paquetes son los que se transmiten y permiten la recuperación de la información por medio de un proceso de ensamble. Para enviar un paquete desde una máquina origen a otra destino se necesita de un *Algoritmo de Ruteo*. El algoritmo de ruteo es un software que se encarga encontrar el camino existente entre un par de máquinas pertenecientes a una red de computadoras. Si bien actualmente existen una gran variedad de algoritmos su diseño e implementación sigue siendo un tema de investigación. Esto se debe a que los avances tecnológicos han inhibido el uso de los algoritmos de ruteo que proporcionaban una solución adecuada y eficiente al problema del envío de paquetes. Esta inhibición se produce porque las topologías de las redes, como por ejemplo las móviles, se desconoce. Por lo tanto el algoritmo de ruteo debe enviar el paquete en un ambiente que en el mejor de los casos será parcialmente conocido.

Al diseñar algoritmos de ruteo el programador debe percatarse de que posea las siguientes propiedades: corrección, sencillez, robustez, equitatividad y optimalidad. La obtención de algoritmos de ruteo que cumplan con estos requisitos es una tarea compleja ya que algunas de estas propiedades son contradictorias. La corrección es necesaria porque un algoritmo que posea errores conduce a un mal funcionamiento de la red. La sencillez es importante debido a que está íntimamente ligada con implementaciones de los algoritmos de ruteo eficientes. Las redes de computadoras están sujetas a cambios. Dichos cambios pueden surgir por la naturaleza de la red,

como por ejemplo los cambios constantes de topologías en una red móvil, mal funcionamiento de los equipos (ruteadores, servidores, entre otros), fallos en los suministros de energía que imposibilitan el envío y recepción de paquetes. Un algoritmo de ruteo robusto será capaz de adaptarse a estos cambios sin requerir acciones extraordinarias, como por ejemplo reiniciación de la red, aborto de las actividades realizadas hasta el momento, entre otras cosas.

La equitatividad y la optimalidad son características deseables en los algoritmos de ruteo pero resulta que frecuentemente son contradictorias. Para ejemplificar esta situación suponga que se tienen las siguientes máquinas A, A', B, B', X, X'. Si el mayor flujo de comunicación ocurre entre las máquinas A, A' y B, B' un algoritmo de ruteo que le de prioridad a estas comunicaciones provocará un funcionamiento óptimo de la red. Sin embargo no es equitativo ya que cuando las máquinas X y X' deseen comunicarse se les denegará esa posibilidad porque las máquinas restantes continúan con su comunicación.

Como se puede observar la construcción de algoritmos de ruteo es una tarea compleja que fuerza al programador a compenetrarse con el funcionamiento de la red y a diseñar estrategias sencillas, robustas, equitativas y óptimas con el fin de aumentar el desempeño de la misma.

Este artículo está organizado como sigue. En primera instancia se presentan las clases de grafos que son utilizadas como modelo de redes móviles. Luego se describen los algoritmos de ruteo que son objeto de estudio en esta línea de investigación. Finalmente se presentan los estudios realizados y las conclusiones y visión de futuro.

2 Clases de Grafos

En las redes inalámbricas móviles dos máquinas están conectadas si se encuentran dentro de un radio de transmisión. El factor movilidad hace que estas conexiones cambien a medida que las máquinas se trasladan de un lugar a otro. Esta característica no permite que las redes inalámbricas móviles posean una infraestructura física estática sino que la misma cambia cuando se modifican las conexiones entre sus integrantes. Las estrategias de ruteo tradicionales no son aplicables en esta situación porque necesitan conocer la interconexión completa entre las máquinas que componen la red, lo cual es imposible para el caso de las redes inalámbricas móviles. Actualmente el ruteo de paquetes en esta clase de redes se lleva a cabo a través de *Inundación*. Con esta estrategia una máquina que desea comunicarse con otra debe enviar sus paquetes a todas las computadoras que se encuentran directamente conectadas a ella. Este procedimiento se repite en cada integrante de la red hasta que se alcanza el destino del paquete. La solución propuesta por la inundación es muy ineficiente y conduce a un pobre desempeño de la red. Por consiguiente es necesario encontrar nuevas estrategias de ruteo que, además de consumir pocos recursos, subsanen este inconveniente.

Las investigaciones recientes en el ámbito de la Geometría Computacional han mostrado que las redes inalámbricas móviles pueden ser modeladas por un grafo conocido con el nombre de *Grafo Unidad* y además han propuesto una serie de estrategias de ruteo que se basan en información geográfica para el envío de paquetes. Dichas estrategias funcionan cuando el grafo que modela la red es plano es decir los arcos (conexiones) que conforman la relación no se cruzan. El Grafo Unidad no es plano y por lo tanto se necesitan técnicas de planarización para poder usar los nuevos algoritmos de ruteo. Los subgrafos que se obtienen a través de la aplicación de los procedimientos de planarización se conceptualizarán como *Topologías Avanzadas de Red*.

• Grafo Unidad

Las redes inalámbricas móviles pueden ser modeladas por un grafo $G=(N,R)$ que cumple con las siguientes condiciones:

- Cada nodo $x \in N$ tiene como atributos un radio de transmisión $Radio(x)$ y sus coordenadas en el plano.

- R se construye de la siguiente manera: dos nodos $x \in N$ e $y \in N$ son vecinos en la red si y solo si la Distancia Euclidiana entre sus coordenadas es menor que el mínimo de sus radios de transmisión.

Si todos los rangos de transmisión son iguales esta clase de grafo se denomina *Grafo Unidad* ($U(N)$).

Formalmente:

$$N = \{ x / x \text{ es un nodo de la red } \}$$

$$R = \{ (x,y) / \exists r \in \mathbf{R} \bullet r \text{ es un radio de transmisión } \wedge \text{dist}^1(x,y) \leq r \}$$

Si bien el modelo presentado por los grafos unidades representan adecuadamente a las redes inalámbricas móviles, no es posible su utilización cuando el algoritmo de ruteo de paquetes usado supone que el grafo subyacente es plano. Sin embargo existen algoritmos que permiten planarizar al Grafo Unidad de ahí la importancia de su generación.

- Grafo de Gabriel

Un grafo $G=(N,R)$ es un Grafo de Gabriel ($GG(N)$) si se cumple que para todo par nodos $u \in N$ y $v \in N$ el disco $\text{disc}(u,v)$ con diámetro $d(u,v)$ no contiene otro nodo $w \in N$, con $w \neq u$ y $w \neq v$.

El Grafo de Gabriel es útil para extraer un subgrafo conectado del Grafo Unidad. Esta tarea puede ser llevada a cabo realizando la siguiente operación:

$$GG(N) \cap U(N) \quad (1)$$

Jorge Urrutia y su grupo de investigación demostraron que si $U(N)$ es conectado entonces el grafo obtenido a través de la operación (1) es un subgrafo conectado y planar de $U(N)$.

- Grafo de Vecindad Relativa

Un grafo $G=(N,R)$ es un Grafo de Vecindad Relativa ($GVR(N)$) si se cumple que para todo par de nodos $u \in N$ y $v \in N$, ningún otro nodo $w \in N$, $w \neq u$ y $w \neq v$, se encuentra dentro de la región limitada por la intersección de los círculos $C(u,v)$ con centro en u y radio $r(u,v)$, y $C'(v,u)$ con centro en v y radio $r(v,u)$.

$GVR(N)$ es muy útil para extraer un subgrafo conectado de $U(N)$ realizando la siguiente operación:

$$GVR(N) \cap U(N) \quad (2)$$

Brad Karp y H. T. Kung en [6] sostienen que el grafo obtenido a través de la operación (2) es conectado y planar.

- Grafo de Morelia

Un grafo $G=(N,R)$ es un Grafo de Morelia ($GM(N)$) [4] si para todo nodo $u \in N$ y $v \in N$, $u \neq v$, el disco $\text{disc}(u,v)$ de diámetro $d(u,v)$ no contiene un nodo $w \in N$, $w \neq u$ y $w \neq v$, tal que w sea origen/destino de un arco $a \in R$ y a cruce al arco $a' \in R$, con $a'=(u,v)$. $GM(N)$ es similar a $GG(N)$ ya que intenta eliminar los enlaces basados en los nodos que se encuentran dentro del disco $\text{disc}(u,v)$. Pero a diferencia de $GG(N)$ no elimina el arco que conecta directamente a u y v cuando encuentra un nodo dentro del disco $\text{disc}(u,v)$, sino que verifica si los nodos dentro de $\text{disc}(u,v)$ crean algún cruce con el arco (u,v) . Si es así este arco se elimina; en caso contrario el arco se mantiene.

$GM(N)$ intenta mantener los arcos siempre que sea posible y por lo tanto su contorno será muy similar al contorno del grafo original y además $GM(N)$ no contendrá demasiados vacíos. De esta forma el subgrafo planar resultante tendrá un diámetro más pequeño que $GG(N)$ y $GVR(N)$ y por consiguiente el paquete recorrerá una menor cantidad de arcos.

¹ $\text{Dist}(x,y)$ hace referencia a la Distancia Euclidiana entre los nodos x e y .

3 Algoritmos de Ruteo

Los algoritmos de Ruteo Geométrico, a diferencia de los tradicionales, utilizan pocos recursos y poseen las siguientes características: i) *Información local*: en cada nodo sólo se conoce la posición de sus vecinos; ii) *Memoria limitada*: sólo se recuerda un número constante de nodos ya visitados, así como las coordenadas del origen y el destino; iii) *Ecológico*: no se permite dejar marcas en los nodos visitados; iv) *Decisiones locales*: la elección del camino a seguir en cada nodo se basa exclusivamente en la información local almacenada en el nodo y en la información que lleva el objeto que recorre el camino (de tamaño constante).

Un ejemplo de este tipo de estrategia de ruteo es el *Ruteo Voraz*. Este algoritmo permite enviar paquetes entre un nodo origen y otro destino en redes donde la topología es desconocida parcial o totalmente como es el caso de las redes móviles.

Suponga que el nodo s desea enviar un paquete al nodo t . s solo conoce la las coordenadas de sus vecinos y del destino. El Ruteo Voraz envía el paquete al vecino de s que minimiza la Distancia Euclidiana con el nodo destino del paquete. Cuando más de un nodo se encuentran a la misma distancia hacia el nodo destino, el Ruteo Voraz selecciona uno de ellos al azar.

La figura 1 muestra como actúa la función de selección del próximo nodo sobre una porción de un grafo geométrico plano.

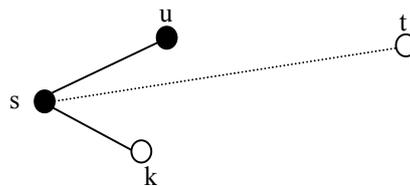


Figura1: Selección del próximo nodo con el ruteo voraz

Si bien el Ruteo Voraz es una estrategia simple presenta el inconveniente de suponer que el grafo subyacente es plano y además no siempre encuentra el camino entre un nodo origen y otro destino.

Existen un diversas estrategias similares al Ruteo Voraz (comparten las mismas ventajas y desventajas) como por ejemplo *Ruteo por Brújula* [2,3,5,9], *Ruteo por Brújula Aleatorizado* [2,3,5,9], *Ruteo por Brújula Voraz* [2,3,5,9], entre otras que son objeto de estudio en esta línea de investigación.

4 Experiencias y Resultados Obtenidos

Hasta el momento se realizaron experiencias que consistieron en la aplicación del Ruteo Voraz sobre las topologías avanzadas de red Grafos de Gabriel y Grafos de Vecindad Relativa. La finalidad de estas prácticas fue determinar la tasa de éxito en el envío de paquetes del Ruteo Voraz. Los resultados obtenidos [11] permitieron inferir que la tasa de éxito del Ruteo Voraz sobre Grafos de Gabriel es mayor que la obtenida con los Grafos de Vecindad Relativa. Aparentemente esto se debe a que los Grafos de Gabriel poseen más arcos y menos vacíos que los de Vecindad Relativa [1,7,10]. Se espera que la tasa de éxito del Ruteo Voraz sobre los Grafos de Morelia sea mejor ya que los Grafos de Gabriel son un subconjunto de ésta topología.

Actualmente se están realizando experiencias que consisten en la aplicación de los algoritmos de ruteo que usan información geográfica a los Grafos de Gabriel, Vecindad Relativa y Morelia. La finalidad de esta tarea es comparar el camino encontrado por esta clase de algoritmos con el camino más corto. Para llevar a cabo esta práctica se aplicará el siguiente experimento:

- Generar n Grafos de Gabriel con m nodos en forma aleatoria.

- Aplicar un algoritmo de ruteo geométrico y el algoritmo de Dijkstra sobre los nodos del grafo generado y calcular la cantidad de enlaces extras que utiliza la estrategia geométrica cuando alcanza el destino.

Los resultados parciales indican que los caminos encontrados por estos algoritmos se alejan en aproximadamente un 30% del camino más corto.

5 Conclusiones y Visión de Futuro

El grupo de trabajo en Geometría Computacional de la UNSL, con asesoramiento de docentes de la UPM dio inicio a un proyecto de investigación conjunto, con el objetivo principal de consolidar la línea de trabajo en la UNSL, aportando nuevos enfoques y técnicas algorítmicas a las líneas de investigación ya establecidas en su Departamento de Informática.

Como parte de esta línea de investigación y desarrollo se presentaron los avances realizados en el estudio del modelado de redes móviles y los algoritmos de ruteo concebidos dentro del campo de la Geometría Computacional.

Las investigaciones realizadas hasta el momento indican que si bien el comportamiento de estas estrategias de ruteo es aceptable se necesitan otras más robustas. Esta dificultad permite el desarrollo de diferentes trabajos de investigación que dan origen a tesis de maestría y doctorales que tratan sobre la automatización del proceso de evaluación de algoritmos de ruteo, creación de nuevos modelos para redes móviles, nuevas estrategias de ruteo y sistemas de localización de nodos [8] para facilitar la aplicación de estrategias de ruteo.

6 Referencias

1. Beron, M.; Flores, S.; Gagliardi, O. *Ruteo con Brújula en Redes sin Cables*. Argentina. Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Argentina. 2001.
2. Bose, P.; Brodnik, A.; Carlsson, S.; Demaine, E.; Fleischer, R.; López-Ortiz, A.; Morin, P.; Munro, J. *Online Routing in Convex Subdivision*. Proc. of the 11th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2000).
3. Bose, P.; Morin, P. *Online Routing in Triangulations*. Proc. of the Tenth International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC'99), LNCS 1741, pages 113-122, 1999.
4. Chavez, E; Boone, P; Gleitzky, Lev; Kranakis, E; Opatryny, J; Salazar, G; Urrutia, J. *Morelia Test: Improving the Efficiency of Gabriel Test and Face Routing in Ad-hoc Networks*. 2004.
5. Datta, S.; Stojmenovic, I.; Wu, J. *Internal Node and Shortcut Base Routing with Guaranteed Delivery in Wireless Networks*. In Proc. IEEE Int. Conf. on Distributed Computing and Systems Workshops; Cluster Computing, pages 461-466. USA. 2001.
6. Karp, B.; Kung, H. *GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks*. 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. MobiCom 2000.
7. Kranakis E., Singh H., J. Urrutia. *Compass Routing on Geometric Network*. Proc. of the 11th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG'99).
8. Mauve, M.; Widmer, J.; Hartenstein, H. *A Survey of Position-Based Routing in Mobile Ad-Hoc Networks*. 2001.
9. Morin, P. *Online Routing in Geometric Graph*. Tesis Doctoral. Canada. 2001.
10. Peñalver, G.; Gagliardi, O.; Beron, M. *Evaluación de Algoritmos de Ruteo en Redes de Computadoras*. IV Workshop de Informática y Ciencias de la Computación. Argentina. 2003.
11. Peñalver, G; Berón, M; Gagliardi, O. *Factibilidad de Uso del Ruteo Voraz en los Grafos de Gabriel y Vecindad Relativa*. Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Argentina. 2004.