

ROTEAMENTO GEOGRÁFICO: UM PANORAMA DA PESQUISA ATUAL

Geovano Lago Quatrin

Acadêmico do curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Maria
geovano.quatrin@gmail.com

Isaías Bittencourt Felzmann

Acadêmico do curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Maria
ibfelzmann@gmail.com

Carlos Henrique Barriquello

Professor do curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Maria
barriquello@gmail.com

Resumo. *Este trabalho apresenta um panorama das pesquisas atuais em roteamento geográfico. Para tal, foram analisadas algumas das estratégias já pesquisadas, quanto as suas características, vantagens e desvantagens. Com esta base, pode-se ter uma noção dos avanços na área de roteamento geográfico, e prever-se trabalhos futuros.*

Palavras-chave. *Roteamento geográfico; redes de sensores; protocolos de roteamento.*

1. INTRODUÇÃO

Um emergente campo de pesquisa na área de roteamento é o roteamento geográfico, que consiste no encaminhamento de pacotes através da posição geográfica do emissor e receptor do pacote (LIN, 2001). Este método é aplicável a redes chamadas *ad-hoc*, que não possuem infraestrutura hierárquica de rede, ou seja, onde os nós se comunicam entre si sem o intermédio de equipamentos roteadores. Exemplos de redes *ad-hoc* são as redes *ad-hoc* móveis (MANETs), redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks*, WSN); redes *ad-hoc* veiculares (VANETs); dentre outras. O roteamento geográfico elimina a necessidade dos nós destas redes de compartilhar e armazenar informações das rotas dos pacotes (CADGER, 2013).

Existem muitas propostas de soluções para a questão do roteamento geográfico, todas elas funcionais teoricamente. Porém, em suas implementações práticas, é obtida uma eficiência muito menor em relação aos resultados simulados (SEADA, 2004). Através deste trabalho, serão analisados os principais estudos realizados no campo do roteamento geográfico, as soluções existentes e seus problemas.

2. ABORDAGENS DE ROTEAMENTO

Várias abordagens de roteamento geográfico têm sido propostas nos últimos tempos. A maioria delas é baseada em duas primeiras abordagens: *greedy routing* e *face routing*. Das duas, a *greedy* é a mais antiga e a mais simples: o nó de origem consulta os nós vizinhos, obtém a localização do vizinho mais próximo do destino e repassa-lhe o pacote. O nó vizinho então realiza a mesma consulta, repetindo o processo. Cada nó repete o processo até que o pacote atinja o nó de destino. Esta abordagem é considerada eficiente, tendo em vista sua simplicidade, porém caso um determinado nó não encontre um nó vizinho mais próximo do destino, ele elimina o pacote (KRANAKIS, 1999) para evitar que ele seja repassado por um tempo indefinido na rede. O fato de um dado nó não encontrar um vizinho mais próximo é conhecido como lacuna (*void*) (KIM, 2006).

Na abordagem *face routing*, cada face de um grafo planar é percorrida utilizando a “regra da mão direita”, onde o algoritmo mantém gravado todas as vezes que a linha que conecta a origem ao destino é cruzada (KUHN, 2008). Uma vez que uma face foi percorrida, o pacote é encaminhado para a próxima que está intersectada pela linha que liga origem e destino. Para que esta abordagem seja aplicada, é necessário que o grafo da rede seja planar, de forma que os links entre os nós da rede não cruzem entre si. Dois exemplos de grafos planares utilizados nas soluções existentes são o *Relative Neighborhood Graph* (RNG) e *Gabriel Graph* (GG), onde cada qual impõe uma distância limite para que um dado link seja estabelecido entre dois pontos, evitando a redundância de enlaces entre os nós. A vantagem desta abordagem é que sempre existe garantia de que o pacote será entregue ao destinatário. Porém, existe a possibilidade de o pacote percorrer toda a rede antes de chegar ao destino, sendo que a eficiência seria a mesma que retransmitir o mesmo pacote para todos os pontos da rede (KRANAKIS, 1999).

2.1 Algoritmos de roteamento

Uma das soluções mais exploradas são formas híbridas dos algoritmos de *greedy routing* e *face routing*. O algoritmo inicia no modo *greedy*, repassando o pacote para o vizinho mais próximo até que seja encontrado um *void*. A partir disso, o algoritmo inicia o funcionamento no modo *face routing*, sendo o pacote percorrido por cada face do grafo da rede, até que alcance um nó cuja distância até o destino seja menor que a anterior, quando retorna ao modo *greedy*. Esta é a descrição do funcionamento do algoritmo GPSR (KARP, 2000), que possui uma das melhores respostas na entrega de pacotes em simulações. Porém, foram encontradas algumas questões em implementações práticas, onde a presença de obstáculos e limitações na distância podem caracterizar

links unidirecionais ou que o grafo da rede seja particionado, resultando em falhas (GOVINDAN, 2006). Para a correção destes problemas, foi proposta a extensão CPLD (*Cross Link Detection Protocol*) (GOVINDAN, 2006). Nesta extensão, os nós da rede realizam um teste periódico para realizar a detecção de links cruzados e sua remoção. Em simulações, o algoritmo apresenta um desempenho ótimo, com taxa de entrega de pacotes de 99% (GOVINDAN, 2006). Mas a taxa de comunicação entre nós para a verificação de links é muito alta, e em redes com muitos nós empregados esta solução pode tornar a rede muito lenta.

Outro algoritmo que emprega um método híbrido de *greedy routing* e *face routing* é o GOAFR+ (*Greedy Other Adaptive Face Routing*) (WATTENHOFER, 2003). A diferença é de que o espaço na rede que o pacote irá percorrer é restrito a uma elipse, cujos focos são o nó de destino e o nó de origem. Primeiro, o pacote é roteado em modo *greedy*. Assim que encontra um local sem nó mais próximo ao destino, inicia-se o modo *face routing*, percorrendo o grafo utilizando a “regra da mão direita”. Quando o pacote encontrar uma das bordas da elipse, é invertido o sentido do modo *face*. Se o pacote encontrar a elipse mais uma vez, o tamanho da mesma é aumentado, e o algoritmo prossegue até encontrar o destino. A vantagem do GOAFR+ é de que ele evita que o pacote percorra por um espaço muito grande até chegar ao destino.

Outras abordagens utilizam o armazenamento de certas informações para processar a rota de um pacote. Por exemplo, o método PVEX (*Path Vector Exchange*) (LEONG, 2005), onde cada nó armazena os dados de localização dos nós que pertencem a faces adjacentes; e o método OPVFR (*Oblivious Path Vector Face Routing*) (LEONG, 2005), onde cada nó tem as informações sobre todas as faces do grafo da rede, e pode determinar qual dos enlaces em suas faces adjacentes tem a menor distância

do nó de destino. Tais métodos são mais interessantes quando a densidade de nós for baixa. Em redes cujos grafos contêm faces com muitos vértices, a atualização constante das informações inviabiliza a utilização da rede, existindo casos onde a entrega de pacotes não é garantida (LEONG, 2005).

Greedy PVFR (GPVFR) é um protocolo híbrido que combina os métodos *greedy*, OPVFR e *face routing*. Iniciando no modo *greedy*, assim que encontra um local onde não exista nó mais próximo do destino, inicia o modo OPVFR, onde tenta encontrar um nó adjacente as faces do nó atual que seja mais próximo do destino, e envia o pacote para ele, caso seja encontrado. Se as duas estratégias falharem, o pacote é repassado no modo *face routing*, até que seja encontrado um nó mais próximo do nó de destino.

A grande maioria das pesquisas já realizadas em roteamento geográfico leva em consideração que a rede está localizada em um plano bidimensional (2D). Entretanto, existem algumas aplicações onde os nós podem estar localizados em planos diferentes, devido a irregularidades do terreno, ou devido a elevações; os métodos já propostos podem não garantir a entrega dos pacotes.

Um dos métodos propostos para o roteamento em redes tridimensionais (3D) (FLURY, 2008), que utiliza como modelo um grafo de esferas unitárias, que descreve uma esfera de tamanho fixo em torno de cada nó, e onde estas esferas intersectam, é estabelecido um enlace entre os nós. Porém, Durocher, em seu trabalho em 2008, utiliza um mesmo método em um algoritmo simples baseado nos já propostos para redes (2D) que garanta a entrega dos pacotes, e conclui que tal tarefa é impossível.

Então, em contraste das tentativas de procurar técnicas alternativas para roteamento geográfico 3D, (CHIANG, 2009) tenta modificar o roteamento em redes 2D para o uso em redes 3D através do método *Slab Routing*. Ele atua criando dinamicamente fatias no grafo da rede. O

pacote é repassado utilizando a estratégia *greedy* no espaço 3D, até encontrar um *void*. Neste caso, os nós em torno do nó atual são projetados em um plano, e o algoritmo *face routing* é aplicado neste plano. Um requisito deste método é de que a densidade dos nós seja grande, de no mínimo 2 nós por cubo unitário (CHIANG, 2009), para que existam menos *voids* possíveis.

3. CONCLUSÕES

Apesar de toda a extensa pesquisa já realizada na área de roteamento geográfico, existem muitas questões em aberto. A maioria das propostas existentes são simuladas de maneira ideal, sem levar em conta problemas de implementações físicas reais, como por exemplo, obstáculos entre nós, possíveis variações nos alcances dos radiotransmissores, dentre outras questões.

Também existe a questão do roteamento geográfico em espaços tridimensionais, onde existe pouca pesquisa e muitas questões em aberto. É uma área importante, principalmente em redes de sensores, onde muitas vezes estes precisam atuar em espaços não planos, e um algoritmo projetado para atuar em 2 dimensões pode não ser eficaz o suficiente.

4. REFERÊNCIAS

CADGER F. et al. A Survey of Geographical Routing in Wireless Ad-Hoc Networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**. V. 15, n. 2, p. 621-653, 2013.

CHIANG, P. I.-S. e PENG, W.-C. Slab routing: Adapting two dimensional geographic routing to three-dimensions. In: Conferência da Sociedade de Comunicações da IEEE em Redes de Sensores e Ad-hoc, 6, Roma. **Anais**. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1687332>>.

- DUROCHER, S.; KIRKPATRICK, D. e NARAYANAN, L. On routing with guaranteed delivery in three-dimensional ad-hoc wireless networks. **Wireless Networks**. V. 16, n. 1, p. 227–235, ago. 2008.
- FLURY, R. e WATTENHOFER, R. Randomized 3D Geographic Routing. Conferência em Comunicações Computacionais, 27, Phoenix. **Anais**. Phoenix, 2008. Disponível em <<http://www.dcg.ethz.ch/publications/infocom08.pdf>>.
- GOVINDAN, R.; KIM, Y.-J.; KARP, B. e SHENKER, S. Geographic routing made practical. In Simpósio em Design e Implementação de Sistemas de Rede, 2, Berkeley. **Anais**. Berkeley, 2005. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1251219>>
- KARP B. e KUNG, H. T. Gpsr: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In: Conferência Internacional Anual em Computação Móvel e Redes, 6, Nova York. **Anais**. New York: 2000. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=345953>>.
- KIM, C. et al. GLR: A novel geographic routing scheme for large wireless ad-hoc networks. **Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking**. Vol. 50, n. 17, p. 3434–3448, dez. 2006.
- KRANAKIS, E. et al. Compass Routing on Geometric Networks. In: Conferência Canadense de Geometria Computacional, 11, Vancouver. **Anais**. Vancouver: 1999. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.42.9931>>.
- KUHN, F. et al. An algorithmic approach to geographic routing in ad-hoc and sensor networks. **IEEE/ACM Trans. Netw.** V. 16, n. 1, p. 51–62, 2008.
- LEONG, B.; MITRA, S. e LISKOV, B. Path vector face routing: geographic routing with local face information. In: Conferência Internacional da IEEE em Protocolos de Rede, 13, Boston. **Anais**. Boston, 2005. Disponível em <<https://www.comp.nus.edu/~bleong/publications/icnp2005-pvfr.pdf>>.
- LIN, X. e STOJMENOVIC, I. Power-aware localized routing in wireless networks. **IEEE Trans. Parallels Distrib. Syst.** V. 12, n. 11, p. 1122–1133, nov. 2001.
- SEADA, K.; HELMY, A. e GOVINDAN, R. On the Effect of Localization Errors on Geographic Face Routing in Sensor Networks. In: Simpósio Internacional em Processamento de Informação em Redes de Sensores, 3, Nova York. **Anais**. Nova York: 2004. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=984633>>.
- WATTENHOFER, R; KUHN, F.; ZHANG, Y.; e ZOLLINGER, A. Geometric AdHoc Routing : Of Theory and Practice. In: Simpósio Anual de Princípios de Computação Distribuída, 22, Boston. **Anais**. Boston, 2003. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=872044>>.