

# Um Protocolo de Roteamento com QoS para Redes Mesh sem Fio com Múltiplos Rádios

Rachel de C. Paschoalino<sup>1,2</sup>, Edmundo R. M. Madeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Computação  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas – SP – Brazil

<sup>2</sup>Centro de Computação  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas – SP – Brazil

rachel@ccuec.unicamp.br, edmundo@ic.unicamp.br

**Abstract.** *Due to their installation and management simplicity, Wireless Mesh Networks (WMNs) have become a natural way to deliver wireless coverage for local and metropolitan areas. In order to support multimedia applications, it is necessary to provide QoS mechanisms in WMNs. In this paper, a scalable QoS routing protocol for multi-radio WMNs is proposed. We incorporate a local link quality metric and multi-radio support in the OLSR protocol. Performed simulations showed expressive performance improvements of the proposed protocol over the original OLSR, with minimum overhead increase.*

**Resumo.** *A simplicidade de instalação e gerenciamento torna as redes mesh sem fio, ou WMNs (Wireless Mesh Networks), a escolha ideal para fornecer cobertura sem fio em áreas locais e metropolitanas. Para suportar aplicações multimídia, é necessário prover mecanismos de QoS nas WMNs. Este trabalho apresenta um protocolo de roteamento escalável com QoS para WMNs, que incorpora uma métrica local de qualidade de enlace e suporte a múltiplos rádios ao protocolo OLSR. Simulações realizadas mostram que o protocolo proposto traz melhorias significativas de desempenho em relação ao OLSR original, com aumento mínimo do overhead.*

## 1. Introdução

As redes *mesh* sem fio, ou *Wireless Mesh Networks* (WMNs), têm atraído interesse acadêmico [Remesh 2005, Bicket et al. 2005] e comercial [Nortel 2006, Cisco 2006] pela facilidade de implantação e gerenciamento. Para suporte a aplicações multimídia, é necessário prover mecanismos de qualidade de serviço (QoS) em WMNs. As características inerentes do meio sem fio, com altas taxas de perda, atraso e *jitter*, tornam a obtenção de QoS em redes *mesh* um grande desafio.

A capacidade de uma rede sem fio é afetada por dois tipos de interferência: *interferência intra-fluxo*, gerada por nós adjacentes num mesmo caminho, e *interferência entre fluxos*, causada por nós de caminhos vizinhos [Gong et al 2007]. O uso de múltiplos rádios por nó é um método eficaz para minimizar interferência e melhorar o desempenho das WMNs, e se justifica pela função de *backhaul* exercida por essas redes. Vários trabalhos [Kyasanur and Vaidya 2005, Raniwala and Chiueh 2005, Alicherry et al. 2005] apresentaram heurísticas para o problema *NP-completo* de alocação de canais em WMNs, com alocação híbrida (estática para receptor, dinâmica para transmissores) e com interfaces dedicadas para controle [Qu et al. 2006, Gong et al.

2007]. A alocação dinâmica de canais envolve coordenação e atraso de comutação.

Escalabilidade é a questão mais crítica em WMNs [Akyildiz et al. 2005]. A abordagem da maioria dos protocolos de roteamento propostos para redes multi-rádio [Draves et al., Kyasanur and Vaidya 2006, Subramanian et al. 2006, Tang et al. 2005], envolve estimar, em cada nó, a capacidade de banda disponível, o tempo de transmissão, a carga por canal, entre outros, difundir essas informações pela rede, e combiná-las para encontrar um caminho ótimo. Essas medidas, aliadas às flutuações de tráfego, impõem limitações práticas à computação de métricas cumulativas. Além disso, a maioria das métricas existentes (ETX [Couto et al. 2003], ETT [Draves et al. 2004], WCETT [Draves et al. 2004], MCR [Kyasanur and Vaidya 2006]) visa minimizar interferência intra-fluxo; MIC [Yang et al. 2005] e iWARE [Subramanian et al. 2006] tratam interferência entre fluxos, mas não possuem isotonicidade [Subramanian et al. 2006]. Com o aumento do número de fluxos, esperado em *backbones*, essas métricas fim-a-fim podem não apresentar bom desempenho, devido à interferência entre fluxos e ao *overhead* de controle. Nestes cenários, o uso de menores caminhos (*shortest paths*) se torna uma escolha interessante, como apontado em [Kyasanur and Vaidya 2006].

A contribuição deste artigo é apresentar um protocolo de roteamento escalável com QoS para WMNs com múltiplos rádios. O trabalho é dirigido aos roteadores *mesh*, que são estacionários e formam a infra-estrutura de comunicação (*backhaul*) usada pelos clientes. Incorporamos uma métrica de QoS local, não cumulativa, ao protocolo OLSR [Clausen and Jacquet 2003], além de suporte multi-rádio. Variações na métrica são tratadas na vizinhança 1 *hop*, preservando escalabilidade. Simulações mostram que a proposta duplica a vazão da rede e diminui o atraso em até 80%. O trabalho foi desenvolvido com o padrão IEEE 802.11, mas pode ser usado em redes IEEE 802.16.

## 2. Proposta do protocolo de roteamento com QoS multi-rádio

A característica de *backhaul* das WMNs nos motivou a investir num protocolo de roteamento pró-ativo. Escolhemos o protocolo OLSR (*Optimized Link State Routing*) [Clausen and Jacquet 2003] como base para nosso trabalho, devido à sua escalabilidade.

### 2.1. Protocolo OLSR original

O OLSR é um protocolo de roteamento para MANETs (*mobile ad hoc network*) padronizado pelo IETF, que usa *Multipoint Relays* (MPRs) para difundir as mensagens de controle, minimizando o *overhead*. O protocolo usa dois tipos principais de mensagem: *hello* (descobrimto de vizinhos) e *tc* (difusão da topologia). Através dessas mensagens, os nós obtêm informações para a construção de rotas, usando o número de saltos (*hop count*) como métrica. Cada nó escolhe um conjunto mínimo de vizinhos 1 *hop* que permita alcançar toda a vizinhança 2 *hops*; este conjunto é formado pelos nós MPR. Apenas os MPRs podem divulgar enlaces, compondo uma topologia *parcial* da rede e fazendo com que as rotas contenham apenas MPRs como intermediários. A heurística de seleção de MPRs, ao minimizar o número de MPRs, pode gerar:

- divulgação de enlaces ruins, pois a qualidade dos enlaces não é considerada;
- concentração de tráfego, pois os nós com mais vizinhos tendem a ser selecionados como MPRs, e seus enlaces considerados na construção de rotas;
- vulnerabilidade a falhas, pois a perda de um MPR numa topologia com concentração de tráfego pode afetar várias rotas que usam o nó.

## 2.2. Extensão do OLSR proposta

Em MANETs, onde os nós possuem tipicamente um único rádio, não há ganho de desempenho ao distribuir o tráfego pela rede, devido à interferência entre fluxos. Nas WMNs com múltiplos rádios, porém, o desempenho pode ser melhorado através da distribuição de tráfego por melhores enlaces, escolhidos por uma heurística de seleção de MPRs que privilegie a qualidade dos enlaces. Esta abordagem traz maior diversidade de caminhos e resistência a falhas.

Para medir a qualidade dos enlaces, usamos a heurística "*Link Hysteresis*" da especificação original do OLSR. A métrica de qualidade é baseada no número de pacotes perdidos, facilmente calculado através do campo *Packet Sequence Number*. No OLSR original, este valor é usado apenas para detectar a queda de enlaces. Em nosso trabalho, denominado *LQ-OLSR*, usamos a métrica de qualidade na seleção de MPRs e rotas.

Nossa proposta foi baseada na implementação OLSR do projeto Hipercom [OOLSR 2004]. Incluímos um atributo na classe *LinkTuple* denominado *L\_link\_quality* para armazenar a métrica de qualidade do enlace, calculada conforme a heurística citada. A métrica varia de 0 a 1, sendo o valor 1 a qualidade máxima (nenhum pacote perdido). Acrescentamos na classe *NeighborTuple* o atributo *N\_quality*, que informa a qualidade do nó vizinho. O valor de *N\_quality* é calculado por uma função que mapeia *L\_link\_quality* nos valores 1, 2 ou 3, sendo o valor 3 a melhor qualidade. O atributo *N\_quality* é usado na seleção de MPRs e de rotas 2 hops.

### 2.2.1. Seleção de MPRs

Para a seleção de MPRs, inserimos uma comparação da métrica de qualidade dos nós (*N\_quality*) no algoritmo original. Dessa forma, cada nó escolhe os nós vizinhos 1 hop simétricos que possuem, nessa ordem (ver linha 6 do Algoritmo 1):

- maior "*willingness*", ou seja, maior capacidade de encaminhar tráfego de/para outros nós. Este valor varia conforme condições locais de energia, tráfego, etc.;
- melhor métrica de qualidade do enlace, isto é, maior *N\_quality*. Esse é o passo adicionado ao algoritmo original;
- maior "*reachability*", alcançando o maior número de nós da vizinhança 2 hops.

---

#### Algoritmo 1: OLSR\_seleção\_MPR ( $V_x, V2_x$ )

---

*Entrada:*  $V_x$ : vizinhos 1-hop simétricos do nó  $x$ ;  $V2_x$ : vizinhos 2-hop do nó  $x$  contendo apenas vizinhos simétricos em  $V_x$ .  $V2_x$  não contém nenhum vizinho 1-hop do nó  $x$ .

*Saída:*  $MPR_x$ : MPRs do nó  $x$ .

```

1  Início
2      inicia com um conjunto vazio  $MPR_x$ 
3      insere em  $MPR_x$  os nós de  $V_x$  que são os únicos a prover alcance a um nó em  $V2_x$ 
4      exclui de  $V2_x$  os nós que foram cobertos pelo passo anterior
5      enquanto  $V2_x$  não estiver vazio
6          seleciona o nó de  $V_x$  que possui maior "willingness". Em caso de empate,
              escolhe o nó de  $V_x$  que possui maior N_quality. Em caso de empate,
              seleciona o nó de  $V_x$  com maior "reachability"
7          insere o nó selecionado em  $MPR_x$ 
8          exclui de  $V2_x$  o nó que foi coberto pelo nó selecionado
9  Fim
```

---

### 2.2.2. Seleção de rotas

Usamos o atributo *N\_quality*, incluído na classe *NeighborTuple*, como métrica para escolher o nó intermediário (vizinho 1 *hop*) para atingir os vizinhos 2 *hops*. Para caminhos com mais de 2 *hops*, é usada a métrica do OLSR original (*hop count*), que não trata taxa de transmissão nem interferência dos enlaces, podendo resultar em baixo desempenho [Subramanian et al. 2006]. O protocolo proposto seleciona menores caminhos (*shortest paths*) através de enlaces melhores devido à seleção de MPRs com melhor qualidade.

A seleção de MPRs e de rotas é refeita apenas quando o estado e/ou a qualidade dos enlaces 1 ou 2 *hops* muda, sem gerar mensagens de controle adicionais, preservando escalabilidade. No protocolo QOLSR [Badis and Agha 2006], essas computações são mais frequentes, pois são afetadas pela variação de QoS dos enlaces de todos os nós, e envolvem divulgação para toda a rede.

Também implementamos uma versão (*LQ2-OLSR*) com métrica de QoS cumulativa na vizinhança 2 *hops*, onde usamos o campo *Reserved* das mensagens de *hello* para divulgar a qualidade dos enlaces entre nós vizinhos, possibilitando aos nós obter a métrica na vizinhança 2 *hops*. As métricas de qualidade 1 e 2 *hops* são somadas para encontrar o melhor caminho 2 *hops*; porém essa versão não demonstrou ganho de performance em relação à extensão *LQ-OLSR*. Então, consideramos neste artigo a extensão de QoS em 1 *hop* (*LQ-OLSR*), que não requer alteração nas mensagens de *hello*, mantendo compatibilidade com o protocolo OLSR original.

### 2.2.3. Suporte a múltiplos rádios

Para suporte a múltiplos rádios, incluímos na classe *Node* o campo *nodeChannel*, que identifica a interface de transmissão e permite futuro uso para (re)alocação de canais.

## 3. Simulação e resultados

Foram realizados diversos experimentos no ns-2 [NS-2 2005] para comparar o protocolo OLSR original com monitoramento de enlaces habilitado (*OLSR*), e o protocolo proposto com QoS em 1 *hop* (*LQ-OLSR*) e 2 *hops* (*LQ2-OLSR*) e múltiplos rádios. Fizemos modificações no NS-2 para incluir o suporte a múltiplos rádios por nó. Os seguintes parâmetros foram usados: interface 802.11b, taxa de dados de 11Mbps, fila de tamanho 50, mecanismo de RTS/CTS desabilitado e tráfego CBR (pacotes de 512 bytes a cada 0.02s). Os fluxos CBR foram iniciados aleatoriamente, a partir do instante 10, com duração máxima de 60s por fluxo. O tempo total de cada simulação foi de 130s.

Cada nó foi equipado com três interfaces (rádios), sendo duas receptoras e uma receptora/transmissora, configuradas nos canais ortogonais 1, 6 e 11 do 802.11b. O canal de transmissão é definido aleatoriamente no início e mantido até o final da simulação. Como o enfoque do nosso trabalho é roteamento, usamos alocação estática de canais, como em [Draves et al. 2004], o que evita o atraso de comutação.

Para as simulações, geramos 10 cenários distintos com 50 e outros 10 com 100 nós, distribuídos aleatoriamente, com distância mínima de 100m entre os nós. Selecionamos arbitrariamente 10% dos nós para funcionar como *gateways* entre a rede cabeada. Diferentemente de outros trabalhos, simulamos subida e descida de dados entre a rede cabeada e os clientes, concentrando o tráfego nos *gateways*, com origem e destino aleatórios. Usamos três variações de carga: baixa, média e alta, correspondentes a 15, 25 e 35 fluxos injetados. A Figura 1 ilustra os resultados médios obtidos para vazão da rede

(a), atraso (b) e taxa de descarte de pacotes (c) para cenários com 50 nós, numa área de 1000m x 1000m. Usando as extensões de QoS propostas (*LQ-OLSR* e *LQ2-OLSR*), obtivemos uma duplicação na vazão da rede e uma redução de até 99% no atraso; não houve descarte de pacotes no cenário com carga baixa; com carga alta, obtivemos uma diminuição de 65% em relação ao OLSR original.

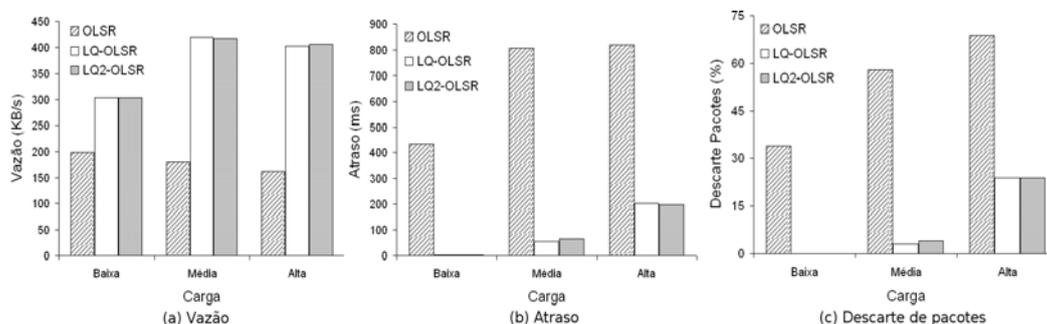


Figura 1. Comparativo de desempenho (50 nós, 1000m x 1000m).

Para testar a escalabilidade, realizamos experimentos com topologia de 100 nós distribuídos numa área de 2500m x 2000m, usando os mesmos parâmetros citados. Os ganhos obtidos foram de até 54% na vazão, 62% no atraso e 48% no descarte de pacotes em relação ao protocolo original. Os ganhos são menores pela limitação da diversidade de canais (3) em função do número total de nós. No entanto, acreditamos que o desempenho pode ser melhorado com a adição de mais receptores nos nós e maior número de canais. Em todas as simulações realizadas, o *overhead* foi apenas 1% maior que do OLSR, o que é pouco significativo diante do ganho em performance obtido.

#### 4. Conclusão

Neste trabalho, apresentamos uma extensão de QoS do protocolo OLSR otimizada para redes *mesh* com múltiplos rádios, onde enlaces com maior qualidade são divulgados e considerados na seleção de rotas. Os resultados obtidos nas simulações mostram que essa extensão simples e escalável traz melhorias de desempenho, com um aumento desprezível no *overhead* do protocolo. O trabalho foi desenvolvido com uma alocação estática de canais, definida de forma aleatória. Como trabalho futuro, pretendemos integrar alocação de canais ao protocolo de roteamento proposto e comparar nossa proposta com protocolos de roteamento com métricas cumulativas.

#### Referências

- Akyildiz, I. F., Wang, X. and Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: a survey. In *Computer Networks Journal (Elsevier)* v. 47, no. 4, p. 445-487, mar. 2005.
- Alicherry, M., Bathia, R. and Li, L. (2005). Joint channel assignment and routing for throughput optimization in multi-radio wireless mesh networks. In *Mobicom*, Cologne, Germany, p. 58-72, ago-set. 2005.
- Badis, H. and Agha, K. A. (2006). Quality of service for ad hoc optimized link state routing protocol (QOLSR). draft-badis-manet-qolsr-03.txt, mar. 2006.
- Bicket, J., Aguayo, D., Biswas, S., and Morris, R. (2005). Architecture and evaluation of an unplanned 802.11b mesh network. In *MobiCom*, Cologne, Germany, p. 31-42, ago-set. 2005.

- Clausen, T. and Jacquet, P. (2003). Optimized link state routing protocol (OLSR). *IETF RFC 3626*, out. 2003.
- Cisco Systems (2006). Outdoor Wireless Network Solution. Disponível em: <http://www.cisco.com/go/wirelessmesh>.
- Couto, D. S. J. D., Aguayo, D., Bicket J., and Morris, R. (2003). A high throughput path metric for multi-hop wireless routing. In *Mobicom*, San Diego, USA, p. 419-434, set. 2003.
- Draves, R., Padhye, J. and Zill, B. (2004). Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks. In *Mobicom*, Philadelphia, USA, p. 114-128, set-out. 2004.
- Gong, M. X., Midkiff, S. F. and Mao, S. (2007). A cross-layer approach to channel assignment in wireless ad hoc networks. In *Mobile Networks and Applications*, v. 12, p. 43-56, jan. 2007.
- Kyasanur, P. and Vaidya, N. H. (2005). Routing and interface assignment in multi-channel multi-interface wireless networks. In *IEEE WCNC*, New Orleans, USA, v. 4, p. 2051-2056, mar. 2005.
- Kyasanur, P. and Vaidya, N. H. (2006). Routing and link-layer protocols for multi-channel multi-interface ad hoc wireless networks. In *ACM Mobile Computing and Communications Review*, v. 10, p. 31-43, jan. 2006.
- Nortel (2006). Wireless Mesh Network Solution. Disponível em: [http://products.nortel.com/go/solution\\_content.jsp?segId=0&parId=0&prod\\_id=47160&locale=en-US](http://products.nortel.com/go/solution_content.jsp?segId=0&parId=0&prod_id=47160&locale=en-US).
- NS-2 (2005). The network Simulator - ns-2. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- OOLSR (2004). Implementação do OLSR - Projeto Hipercom, INRIA. Disponível em: <http://hipercom.inria.fr/OOLSR/>.
- Qu, Y., Lung, C.-H. and Srinivasan, A. (2006). Multi-channel OLSR with dedicated control interface. In *SPECTS*, Calgary, Canada, jul-ago. 2006.
- Raniwala, A. and Chiueh, T. (2005). Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network. In *IEEE Infocom*, Miami, USA, p. 2223-2234, mar. 2005.
- Projeto ReMesh (2005). Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga sem Fio. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.
- Subramanian, A. P., Buddikhot, M. M., and Miller, S. (2006). Interference aware routing in multi-radio wireless mesh networks. In *IEEE WiMesh*, Reston, USA, set. 2006.
- Tang, J., Xue, G. and Zhang, W. (2005). Interference-aware topology control and QoS routing in multi-channel wireless mesh networks. In *MobiHoc*, Urbana-Champaign, USA, mai. 2005.
- Yang, Y., Wang, J., and Kravets, R. (2005). Designing routing metrics for mesh networks. In *IEEE WiMesh*, Santa Clara, USA, set. 2005.