

CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

<http://www.gta.ufrj.br/~miguel>

CPE710: Redes Móveis

REDES EM MALHA SEM-FIO

Introdução às Redes em Malha Sem-fio

- Alternativa de baixo custo para as redes de acesso
 - Aumentam o alcance da comunicação
 - Mantêm a conectividade da rede, apesar da dinamicidade do meio e da mobilidade dos usuários.
- Caracterizadas pela presença de um backbone composto por roteadores sem fio
 - Backbone é responsável por estender o alcance do acesso à rede cabeada além do alcance da transmissão de um único ponto de acesso
 - Backbone sem-fio realiza encaminhamento por múltiplos saltos

Introdução às Redes em Malha Sem-fio

- Presença do backbone sem-fio
 - Faz com que as redes em malha tornem-se um híbrido entre:
 - **Modo infraestruturado:** Estações utilizam o backbone sem-fio para se comunicar
 - **Modo ad hoc:** Encaminhamento no backbone é realizado em múltiplos saltos
- As redes em malha sem fio possuem custo reduzido
 - Evitam cabos de rede, reduzindo os custos em comparação a redes que exijam infraestrutura

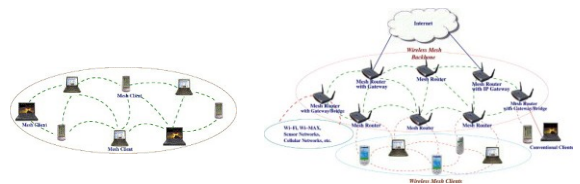
Arquiteturas

- Infraestruturada/backbone



Arquiteturas

- Cliente
- Híbrida



IEEE 802.11s

- Define o encaminhamento de quadros em múltiplos saltos na camada de enlace
 - Nós que não pertencem à rede em malha sem fio, a enxergam como um único enlace
- Adota abordagem que vai contra o princípio de independência entre camadas
 - Mistura acesso ao meio com encaminhamento
 - Facilita a adoção já que todas as funcionalidades necessárias já estão disponíveis e pré-configuradas nos equipamentos dos usuários

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

IEEE 802.11s

- Classifica os nós que compõem uma rede em malha sem-fio em quatro categorias:
 - Estações (*stations* - STA)
 - Usuários que não participam do roteamento
 - Pontos da malha (*mesh points*)
 - Nós que participam do roteamento, mas não oferecem conexão às estações participantes
 - Pontos de acesso da malha (*mesh access points*)
 - Nós que participam do roteamento e ainda funcionam como pontos de acesso às estações.

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

IEEE 802.11s

- Classifica os nós que compõem uma rede em malha sem-fio em quatro categorias:
 - Portais da malha (*mesh portal points*).
 - Nós responsáveis pela interconexão da rede, ou seja, nós que funcionam como gateways ou pontes para redes externas.
 - Nós que possuem funcionalidades semelhantes aos pontos da malha e, portanto, não são utilizados como pontos de acesso para as estações.

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

IEEE 802.11s



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Redes em Malha Sem-fio Vs. Redes Ad Hoc

- **Matriz de tráfego**
 - Aplicações principais requerem acesso à Internet
 - Tráfego flui primordialmente de/para os portais da arquitetura
 - Tráfego entre clientes da mesma rede em malha também é possível

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Redes em Malha Sem-fio Vs. Redes Ad Hoc

- **Presença do backbone estacionário**
 - Redes em malha sem-fio tradicionais usam a arquitetura infraestruturada
 - Aumenta a conectividade e o alcance da rede
 - Permite que os nós da infra estejam permanentemente ligados a uma fonte de energia
 - Aumenta os custos de instalação e manutenção
 - Redes ad hoc são mais apropriadas a ambientes onde a infra seja proibitiva ou inexistente
 - Mobilidade limitada a dos usuários da rede apenas

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Redes em Malha Sem-fio Vs. Redes Ad Hoc

- **Presença do backbone estacionário**
 - Redes em malha sem-fio tradicionais usam a arquitetura infraestruturada

• *Aumenta a conectividade e o alcance da rede*

Backbone estacionário permite que o roteamento utilize métricas mais elaboradas, por exemplo, usando as chamadas "métricas cientes da qualidade"

- Mobilidade limitada a dos usuários da rede apenas

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Métricas Cientes da Qualidade

- Utilizam abordagem "entre-camadas" (cross layer)
 - Tentam capturar informações da camada física na camada de enlace
- Contrastam com a ideia da métrica número de saltos
 - Requer conhecimento apenas de vizinhança

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

ETX (Expected Transmission Count)

- Calcula o número médio de vezes que um nó precisa enviar um pacote para um vizinho até que ele seja recebido com sucesso
 - Cada nó envia sondas periodicamente em broadcast contendo o número de sondas recebidas de cada vizinho
 - *Número de sondas recebidas é calculado no último intervalo de tempo T em uma janela deslizante*

$$ETX = \frac{1}{d_d \times d_r}$$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

ETX (Expected Transmission Count)

- Problemas do ETX:
 - Envio de pacotes em broadcast é normalmente realizado na taxa básica de operação da rede
 - Tamanho das sondas é menor que o tamanho típico dos pacotes de dados

Enlaces não distingue enlaces com diferentes larguras de banda, tampouco considera pacotes com tamanhos maiores, como podem ser os tamanhos dados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

ETT (Expected Transmission Time)

- Tempo médio que um pacote de dados precisa para ser entregue com sucesso para o próximo salto
 - ETT ajusta o ETX levando em conta:
 - *Taxas de transmissão empregadas em cada enlace*
 - *Tamanho do pacote*

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

ETT (Expected Transmission Time)

- Cálculo do ETT pode ser feito de duas formas:
 1. Produto entre o ETX e o tempo médio que um único pacote de dados precisa para ser entregue com sucesso
 - *t é calculado pela divisão de um tamanho fixo S pela banda passante B estimada*

$$ETT = ETX \times t$$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

ETT (Expected Transmission Time)

- Cálculo do ETT pode ser feito de duas formas:
 2. Probabilidade de perda considera quadros de dados e de ACK
 - **Taxa de perda dos dados:** Estimada através do envio em broadcast de quadros com tamanhos semelhantes aos de quadros de dados típicos em todas as taxas de dados definidas pelo IEEE 802.11 para cada vizinho
 - **Taxa de perda de reconhecimentos positivos:** Estimada enviando em broadcast pacotes do mesmo tamanho que quadros de ACK na taxa básica da rede

$$ETT = \frac{1}{v_{max} \times P_{ACK}}$$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Abordagens Cross-layer

- Recebem atenção especial em redes em malha sem fio
 - Dentre as técnicas disponíveis, o emprego de múltiplos canais é o mais comum
- Uso de múltiplos canais não sobrepostos
 - Proporciona aumento de vazão...
 - Porém, deve lidar com dois problemas para se tornar efetiva, a **interferência intra e interfluxos**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Interferência Intra e Interfluxo

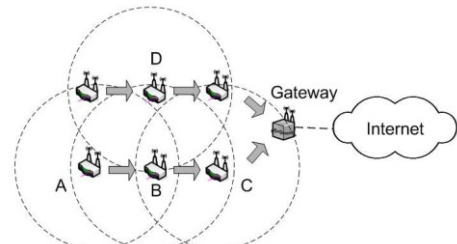
- Interferência intrafluxo
 - Nós transmitindo pacotes do mesmo fluxos interferem entre si
- Interferência interfluxo
 - Nós transmitindo pacotes de fluxos diferentes interferem entre si

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Interferência Intra e Interfluxo

- Interferência intrafluxo: A, B e C
- Interferência interfluxo: B e D

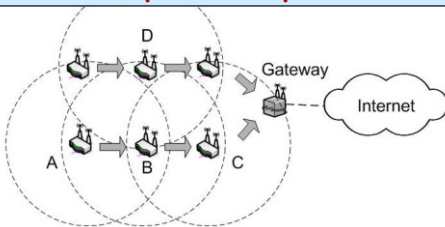


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Interferência Intra e Interfluxo

**Como resolver o problema da interferência?
Usar múltiplos canais resolveria?
Se sim, qual seria o problema?**

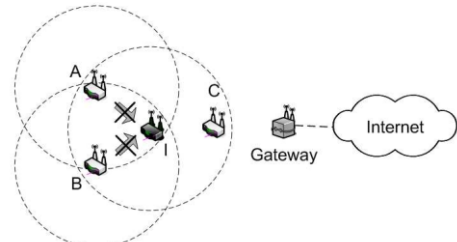


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Interferência Intra e Interfluxo

- Caso A e B estejam em um canal diferente de I:
 - Há um problema de surdez e a rede passa a ser considerada desconectada...



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

WCETT (Weighted Cumulative ETT)

- Altera o ETT para também considerar interferência intrafluxo
- Métrica é a soma de dois componentes:
 - Atraso fim-a-fim e a diversidade de canais
 - Parâmetro ajustável é usado para combinar ambos os componentes ou priorizar um deles

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

WCETT (Weighted Cumulative ETT)

- Diferente do ETX e do ETT, o WCETT é uma métrica fim-a-fim
 - Resultado da métrica já representa o custo do caminho e não do enlace como o ETX e o ETT
 - Considera todos os canais utilizados ao longo da rota para levar em conta a interferência intrafluxo
 - Porém, não garante caminhos mais curtos e não evita interferência interfluxo
 - Pode utilizar caminhos em regiões congestionadas de qualquer forma

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

MIC

(Metric of Interference and Channel-switching)

- Considera a interferência intra e interfluxo
 - Cada nó estima a interferência intra e interfluxo considerando o número de nós da vizinhança
 - Interferência intra e interfluxo são provocadas por nós vizinhos no mesmo canal
- Calcula seu valor a partir da ETT

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Variação da Qualidade dos Enlaces

- Rápida variação da qualidade dos enlaces: Problema crítico em redes sem fio
 - Métricas baseadas em valores médios calculadas sobre janelas de tempo podem não capturar rápidas variações
 - Por exemplo, o ETX e o ETT
 - Caso tentem capturar, podem gerar uma sobrecarga de controle excessiva
- Solução: Considerar a variação da qualidade dos enlaces
 - Ideia por trás das métricas mETX (modified ETX) e ENT (Effective Number of Transmissions) ...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Variação da Qualidade dos Enlaces

- Tentam projetar as variações da qualidade do meio físico nas métricas de roteamento
 - mETX é também calculada com o envio de sondas em broadcast
 - Calcula a BER ao invés da taxa de perda de sondas (ETX)
 - Sabendo a BER, se o erro afetou múltiplos bits consecutivos e se o erro afetou múltiplos pacotes consecutivos, é possível ter ideia da variação do erro
 - ENT é uma alternativa ao mETX
 - Limita o cálculo de rotas aos enlaces que mostram um número aceitável de retransmissões
 - Esse número depende dos requisitos das camadas superiores

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Variação da Qualidade dos Enlaces

- Algumas tentam considerar simultaneamente desafios conhecidos:
 - iAWARE (Interference Aware Routing Metric)
 - Usa a relação sinal-ruído e a relação sinal-interferência-ruído (SINR) para continuamente avaliar a interferência da vizinhança nas métricas de roteamento
 - Estima o tempo médio que o meio sem-fio está ocupado devido à transmissão de cada vizinho com potencial de interferir
 - Quanto maior a interferência, maior é o valor da métrica
 - Considera interferência intra e interfluxo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Sumário das Métricas

Métrica	Ciente da qualidade	Taxa de dados	Tam. do pacote	Interf. intra-fluxo	Interf. inter-fluxo	Instabilidade do meio
Hop	x	x	x	x	x	x
ETX	✓	x	x	x	x	x
ML	✓	x	x	x	x	x
ETT	✓	✓	✓	x	x	x
WCETT	✓	✓	✓	✓	x	x
MIC	✓	✓	✓	✓	✓	x
mETX	✓	✓	✓	x	x	✓
ENT	✓	✓	✓	x	x	✓
DBETX	✓	✓	✓	✓	✓	✓
iAWARE	✓	✓	✓	✓	✓	✓

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Roteamento

- Possuem estratégias semelhantes às usadas nas redes ad hoc sem-fio
 - Consideram as particularidades das redes em malha
 - Usam métricas cientes de qualidade
- Podem ser divididos em quatro classes:
 - Legados das redes ad hoc
 - Com controle de inundação
 - Cientes do tráfego
 - Oportunísticos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Legados das Redes Ad Hoc

- Adaptam os protocolos de roteamento das redes ad hoc para o caso em malha
 - Utilizam métricas cientes da qualidade ao invés do número de saltos
 - Alteram os procedimentos de requisição e manutenção de rotas
 - Utilizam características das redes em malha sem fio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

LQSR (Link Quality Source Routing)

- Combina roteamento pró-ativo baseado em estado do enlace com a estratégia reativa das redes ad hoc
 - Fundamentalmente é um protocolo de roteamento baseado em estado do enlace
 - Usa uma visão completa da topologia da rede para realizar cálculo de menor caminho
 - Porém, usa procedimento de descoberta de rotas para redução da sobrecarga de roteamento
 - Maior parte do tráfego é encaminhada ao gateway
 - Novos procedimentos de descoberta de rotas só são realizados quando a rota até o gateway for perdida ou quando houver necessidade de se comunicar com algum outro nó do backbone

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

SRcRR

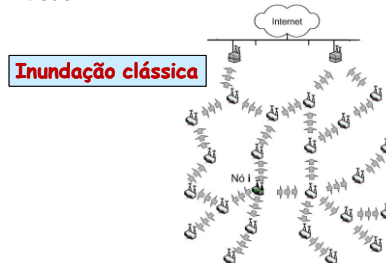
- O protocolo SRcRR é um outro exemplo de protocolo legado das redes ad hoc
 - Esse protocolo somente utiliza um procedimento de descoberta de rotas semelhante ao dos protocolos reativos para atualizar as informações de roteamento dos enlaces atravessados
 - SrcRR reduz ainda mais a sobrecarga de controle, mas pode calcular rotas com um visão reduzida da rede

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos com Controle de Inundação

- Utiliza algoritmos que reduzem a carga de controle da rede



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos com Controle de Inundação

- Utiliza algoritmos que reduzem a carga de controle da rede

Inundação temporal



Inundação espacial



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Fisheye

- Um dos primeiros protocolos propostos para redes ad hoc que limita a disseminação dos pacotes de controle somente aos vizinhos
 - Ajusta o TTL das mensagens de controle conforme o número de nós da rede que se pretende alcançar
 - Quanto menor o TTL, menor é o número de nós que recebem a mensagem.

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

LOLS (Localized On-demand Link State)

- Segue o mesmo princípio do Fisheye
- Atribui um custo de longo-prazo e um custo de curto-prazo aos enlaces
 - Custos de longo-prazo e de curto-prazo são o custo médio e o custo instantâneo do enlace, respectivamente
- Reduz a sobrecarga de controle de roteamento enviando os custos de curto-prazo com uma frequência maior aos vizinhos
 - Custos de longo-prazo são enviados em frequência
- Calcula rotas usando a ETX ou a ETT

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

OLSR

- Aplica mesma ideia de redes ad hoc em redes sem-fio em redes
 - Possível combinação com o Fisheye gera o OFLSR (*Optimized Fisheye Link State Routing*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Cientes de Tráfego

- Se beneficiam da matriz de tráfego recorrente em redes em malha sem fio
 - Assumem que o acesso à rede cabeada é a aplicação mais comum e, portanto, consideram que a topologia da rede é semelhante a uma árvore
- AODV-ST (*Ad hoc On-demand Distance Vector-Spanning Tree*)
 - Adaptação do AODV para redes em malha
 - Gateway periodicamente envia requisições de rota para todos os nós da rede para manter sua tabela de roteamento atualizada
 - Mantém uma árvore onde o gateway é a raiz

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Cientes de Tráfego

- AODV-ST (*Ad hoc On-demand Distance Vector-Spanning Tree*)
 - As comunicações que não incluem o gateway funcionam como no AODV original
 - Suporta tanto o ETX quanto o ETT

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Oportunísticos

- Exploram o fato de que as transmissões em radiofrequência são realizadas em difusão por natureza
 - Assim, eles escolhem sob demanda o próximo salto que oferece a melhor vazão, por exemplo
- Protocolos de roteamento clássicos
 - Calculam uma sequência de saltos até o destino antes de enviar um pacote de dados, utilizando roteamento salto-a-salto ou pela fonte

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Oportunísticos

- No caso de falhas de enlaces, retransmissões sucessivas são realizadas
 - Na camada de enlace até que o pacote de dados seja corretamente encaminhado ao próximo salto ou até que o número máximo de retransmissões seja alcançado...
- Essa abordagem pode provocar um grande atraso e um desempenho pobre, pois os enlaces sem fio precisam de algum tempo para se recuperar de falhas
 - Protocolos oportunistas garantem que os dados são sempre encaminhados já que pelo menos uma próxima vez que haja pelo menos um próximo salto disponível

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Sumário dos Protocolos de Roteamento

Classe	Protocolos	Métricas
Legados das redes ad hoc	LQSR	ETX
	SecRR	ETX
	MR-LQSR	WCETT
	MeshDV	#saltos ou taxa física
	DOLSR	#saltos ou ETX
Controle de inundação	LOLS	ETX ou ETT
	MMRP	Indefinido
	OLSR	#saltos, ETX, ML ou ETT
Cientes do tráfego	AODV-ST	ETX ou ETT
	Protocolo do Raniwala <i>et al.</i>	#saltos ou métricas de balanceamento de carga
Oportunísticos	EsOR	ETX unidirecional
	ROMER	Número de saltos ou Atraso

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Referências

- Miguel Elias Mitre Campista, "Um Novo Protocolo de Roteamento para Redes em Malha Sem Fio", Doctor of Science Thesis, COPPE/PEE/UFRJ, 2008

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista