

## CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

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

CPE710: Redes Móveis

## REDES MÓVEIS AD HOC

### Características das Redes Ad Hoc

- Limitação dos dispositivos
  - Raio de alcance limitado
- Topologia altamente dinâmica
  - Nós podem ter mobilidade elevada
  - Qualidade dos enlaces é altamente variável
  - Densidade variável de nós participantes

### Características das Redes Ad Hoc

- Limitação dos dispositivos
  - Raio de alcance limitado
- Topologia altamente dinâmica
  - Nós podem ter mobilidade elevada
  - Qualidade dos enlaces é altamente variável
  - Densidade variável de nós participantes

**Apesar da rede meio físico ser em difusão, não há como garantir conectividade com qualidade o tempo todo**

### Múltiplos Saltos em Redes Ad Hoc

- É uma alternativa para aumentar a conectividade da rede e até mesmo a qualidade das comunicações ...
  - Outras alternativas já foram vistas no curso para aumentar a conectividade das redes sem-fio:
    - Uso de múltiplos canais
    - Controle de potência
    - Antenas direcionais
    - Etc.

### Múltiplos Saltos em Redes Ad Hoc

- É uma alternativa para aumentar a conectividade da rede e até mesmo a qualidade das comunicações ...
  - Outras alternativas já foram vistas no curso para aumentar a conectividade das redes sem-fio:
    - Uso de múltiplos canais
    - Controle de potência
    - Antenas direcionais
    - Etc.

**No ponto em que foram apresentadas, as alternativas não pressupunham o uso em redes de múltiplos saltos!**

## Múltiplos Saltos em Redes Ad Hoc

- Mas qual o desafio principal do múltiplos saltos?
  - Encontrar caminhos!
- E ainda considerar...
  - Mobilidade dos nós
  - Diferentes demandas de tráfego
  - Peculiaridades dos dispositivos e do meio de comunicação

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Múltiplos Saltos em Redes Ad Hoc

- Mas qual o desafio principal do múltiplos saltos?
  - Encontrar caminhos!
- E ainda considerar...
  - Mobilidade dos nós
  - Diferentes demandas de tráfego
  - Peculiaridades dos dispositivos e do meio de comunicação

**Desafios são abordados pelos inúmeros protocolos de roteamento propostos na literatura...**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Por que o Roteamento em Redes Ad Hoc é Diferente?

- Duas razões principais:
  - Protocolos de roteamento da Internet não foram projetados para falhas na mesma granularidade de tempo que nas redes sem-fio
    - Problemas de conectividade podem aparecer por falhas dos nós, movimentação, variação nos enlaces etc.
  - Protocolos de roteamento da Internet assumem o uso de meios de transmissão cabeados entre vizinhos
    - Comunicação com cada vizinho usa meio de transmissão sem-fio (meio físico naturalmente em difusão)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Roteamento para Redes Ad Hoc

**Quais seriam as alternativas para o projeto de novos protocolos de roteamento para as redes ad hoc, conhecendo os já existentes para as redes cabeadas?**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Roteamento para Redes Ad Hoc

**Quais seriam as alternativas para o projeto de novos protocolos de roteamento para as redes ad hoc, conhecendo os já existentes para as redes cabeadas?**

- **Opção 1:** Criar novos protocolos específicos para as redes ad hoc?
- **Opção 2:** Adaptar protocolos existentes das redes cabeadas?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Roteamento para Redes Ad Hoc

- **Opção 1:** Criar novos protocolos específicos para as redes ad hoc
  - Pode ser que se tornem específicos demais...
    - Número de variáveis possivelmente consideradas em redes sem-fio é muito grande
- **Opção 2:** Adaptar protocolos existentes das redes cabeadas
  - Pode ser que não abordem completamente as características das redes sem-fio...
    - Algumas decisões originais não conseguem ser desligadas

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Protocolos de Roteamento para Redes Ad Hoc

- **Opção 1:** Criar novos protocolos específicos para as redes ad hoc

**Não há um protocolo único que funcione bem em todos os ambientes...**

**RESULTADO: Muita pesquisa no assunto foi desenvolvida!**

características das redes sem-fio...

- Algumas decisões originais não conseguem ser desligadas

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

Professor Miguel Campista

## Classes de Protocolos para Roteamento Ad Hoc

- Três classes principais:

- Protocolos pró-ativos
  - Buscam rotas independente do padrão de tráfego da rede
  - Protocolos de roteamento baseados em estado do enlace ou vetor de distâncias
- Protocolos reativos
  - Buscam rotas apenas quando necessário
- Protocolos híbridos
  - Alternativa natural já que nenhuma das classes opostas é unânime em qualquer ambiente

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

Professor Miguel Campista

## Compromissos entre as Classes de Protocolos

- **Latência para descoberta de rotas**

- Protocolos pró-ativos:
  - Possuem menor latência já que as rotas são mantidas o tempo todo
- Protocolos reativos:
  - Possuem maior latência já que uma rota entre um par de nós só é descoberta quando um deles tem dados a enviar ao outro

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

Professor Miguel Campista

## Compromissos entre as Classes de Protocolos

- **Sobrecarga para descoberta e manutenção de rotas**

- Protocolos pró-ativos:
  - Possuem maiores sobrecargas dada a atualização periódica de rotas
- Protocolos reativos:
  - Possuem menor sobrecarga já que rotas só são descobertas quando necessárias

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

Professor Miguel Campista

## Compromissos entre as Classes de Protocolos

- **Quiz!**

- Por que alguém usaria protocolos reativos já que a latência para encontrar as rotas é maior que a dos protocolos pró-ativos?
- Por que alguém usaria protocolos pró-ativos já que a carga de descoberta e manutenção de rotas é maior que a dos protocolos reativos?

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

Professor Miguel Campista

## Compromissos entre as Classes de Protocolos

- **Quiz!**

- Por que alguém usaria protocolos reativos já que a latência para encontrar as rotas é maior que a dos protocolos pró-ativos?
  - Porque a rede é dinâmica e manter rotas pode representar apenas sobrecarga de controle
- Por que alguém usaria protocolos pró-ativos já que a carga de descoberta e manutenção de rotas é maior que a dos protocolos reativos?
  - Para evitar a latência da descoberta de rotas
    - Dependendo da dinâmica da rede, a sobrecarga inserida por protocolos reativos pode ser maior, caso muitas descobertas (ou redescobertas) sejam feitas

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

Professor Miguel Campista

## Compromissos entre as Classes de Protocolos

- Conclusão...
  - A classe de protocolos que se adapta melhor vai depender de fatores como:
    - **Dinâmica da rede**
      - Redes dinâmicas favorecem o uso dos protocolos reativos
    - **Tráfego de dados**
      - Aplicações que possuam restrição de atraso podem se favorecer de protocolos pró-ativos

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

Professor Miguel Campista

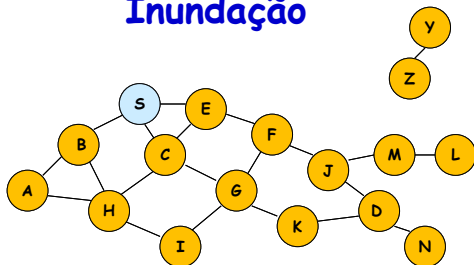
## Entrega de Dados por Inundação

- Nó de origem *S* envia em broadcast um pacote de dados *P* para todos os seus vizinhos
  - Uma transmissão é suficiente pois o meio é em difusão
- Cada nó receptor encaminha *P* para todos os seus vizinhos
  - Número de sequência evita que o mesmo pacote seja encaminhado mais de um vez
- Pacote *P* alcança o destino *D*, assumindo que *D* seja alcançável a partir da origem *S*
  - Nó *D* não encaminha mais o pacote *P*

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação

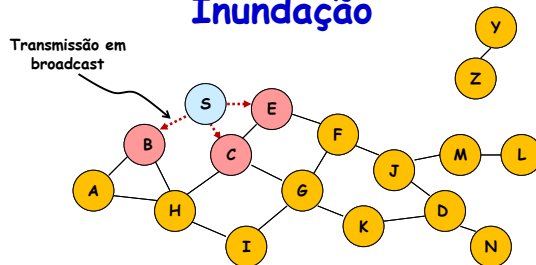


- Representa o nó que recebeu o pacote *P*
- Representa a vizinhança de cada um dos nós

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação



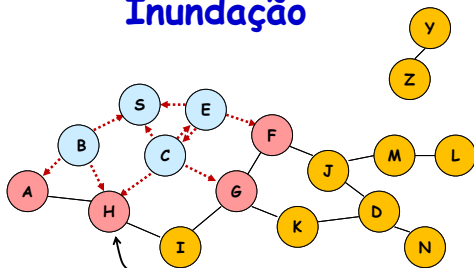
Transmissão em broadcast

- Representa o nó que recebeu o pacote *P* pela primeira vez
- ⋯→ Representa a transmissão do pacote *P*

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação

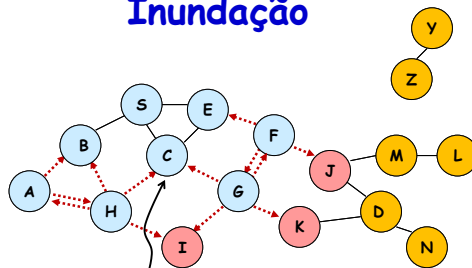


Nó *H* recebe o pacote *P* de dois vizinhos:  
possibilidade de colisão

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação

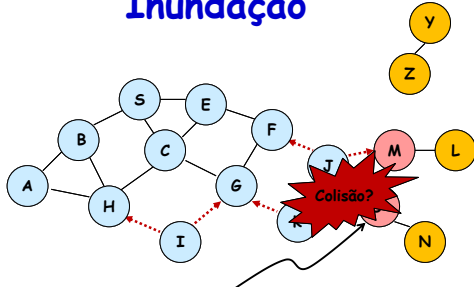


Nó *C* recebe o pacote *P* dos nós *H* e *G* mas não encaminha de novo: o nó *C* já encaminhou o pacote *P* uma vez antes

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação

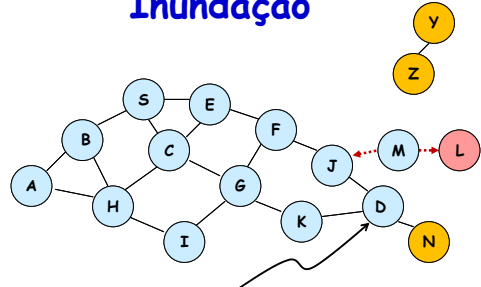


Nós J e K enviam em broadcast o pacote P para o nó D. Porém, como J e K estão escondidos entre si, pode haver uma colisão: **mesmo usando inundação, o pacote P pode não ser entregue ao nó de destino D**

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação

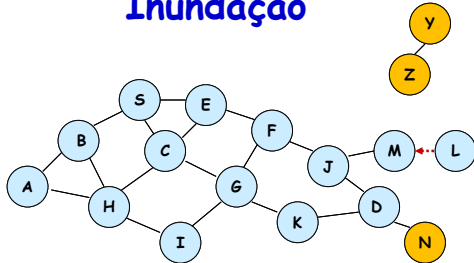


Nó D não encaminha o pacote: **nó D é o destino do pacote P**

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação



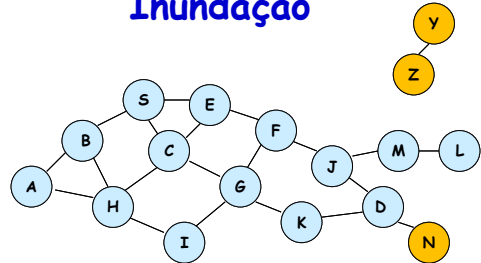
**Inundação completa!**

Nós não alcançáveis por S não recebem o pacote P (nós Y e Z)  
Nós alcançáveis por S, porém através de caminhos que passam pelo nó de destino D também não recebem o pacote P (nó N)

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

Professor Miguel Campista

## Entrega de Dados por Inundação



**Inundação pode entregar pacotes para muitos nós da rede!**  
No pior caso, todos os nós alcançáveis a partir do nó de origem S

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

Professor Miguel Campista

## Vantagens da Entrega de Dados por Inundação

- **Maior simplicidade: Indiscutível!**
- **Maior taxa de entrega**
  - Pacotes entregues por múltiplos caminhos têm maiores chances de sucesso
- **Maior eficiência que outros protocolos que descobrem/mantêm rotas (em condições especiais)**
  - Para baixas taxas de transmissão de dados ou para cenários onde a dinâmica da rede é grande...
    - **Descobrir/manter rotas periodicamente pode ser mais custoso que realizar inundações esporádicas**

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

Professor Miguel Campista

## Desvantagens da Entrega de Dados por Inundação

- **Maior sobrecarga**
  - Pacotes de dados podem ser recebidos por muitos nós sem necessidade
- **Menor confiabilidade (em condições especiais)**
  - Para redes que experimentem muitas colisões ou perdas, o IEEE 802.11 não retransmite pacotes enviados em broadcast na inundação

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

Professor Miguel Campista

## Inundação de Pacotes de Controle

- Muitos protocolos enviam pacotes de controle por inundação ao invés de pacotes de dados
- Pacotes de controle são tipicamente usados para descobrimento de rotas
  - Rotas descobertas são usadas para envio dos dados
- Sobrecarga da inundação de pacotes de controle é amortizada com o envio de pacotes de dados
  - Pacotes de dados são enviados entre inundações de pacotes de controle consecutivos

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

Professor Miguel Campista

## Exemplos de Protocolos de Roteamento Ad Hoc

- Reativos
  - DSR (*Dynamic Source Routing*)
  - AODV (*Ad hoc On Demand Vector*)
- Pró-ativos
  - OLSR (*Optimized Link State Routing*)
- Outros
  - ...

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

Professor Miguel Campista

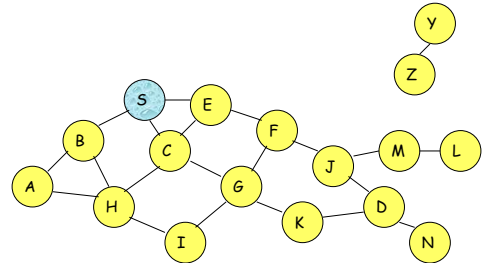
## Dynamic Source Routing (DSR)

- Quando um nó de origem S quiser enviar um pacote para o nó de destino D...
  - Caso S não tenha uma rota até D, S inicia um processo de descobrimento de rota
- Nó de origem S inunda a rede com requisição de rota
  - S inunda a rede com **Route Request (RREQ)**
- Todo nó adiciona o seu próprio identificador ao pacote RREQ antes de encaminhá-lo

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR



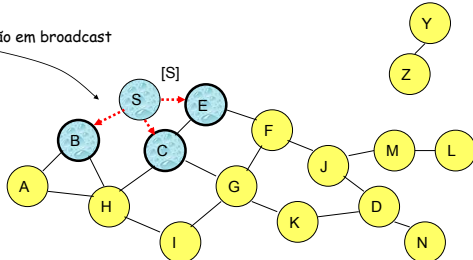
Representa um nó que recebeu para D vindo de S

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR

Transmissão em broadcast



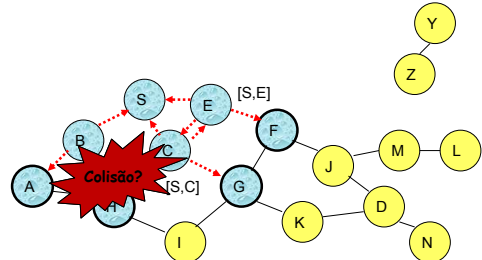
.....> Representa a transmissão do RREQ

[X,Y] Representa a lista de identificadores anexados ao RREQ

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR

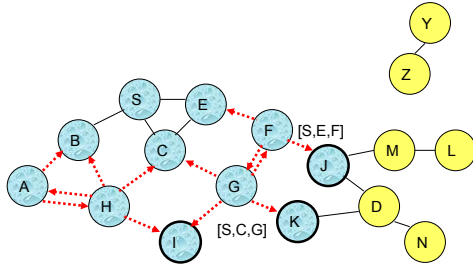


Nó H recebe pacote RREQ de dois vizinhos: **possibilidade de colisão!**

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR

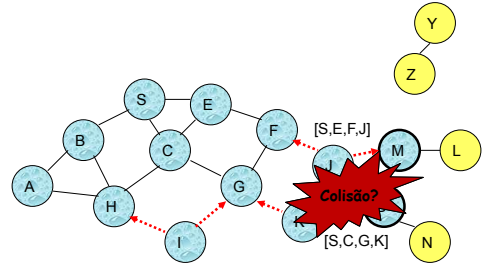


Nó C recebe RREQ de G e H, mas não encaminha novamente porque o nó C já encaminhou o RREQ uma vez

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR



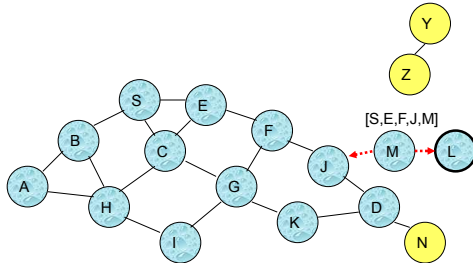
Nós J e K enviam em broadcast o RREQ para o nó D...

Porém, uma vez que os nós J e K estão escondidos um do outro, as transmissões podem colidir

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Rota no DSR



Nó D não encaminha o RREQ porque o nó D é o próprio alvo da descoberta de rota

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

Professor Miguel Campista

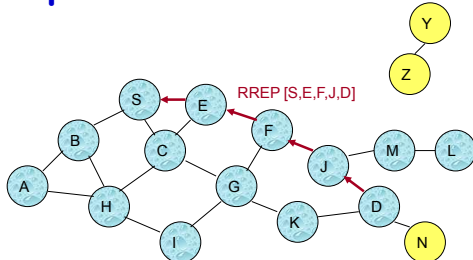
## Descoberta de Rota no DSR

- Nó de destino D envia um Route Reply (RREP) ao receber o primeiro RREQ
- RREP é enviado pela rota recebida no RREQ
  - Usando a ordem inversa contida na lista de nós intermediários
- RREP inclui a rota de S para D
  - Rota recebida pelo nó D no RREQ

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

Professor Miguel Campista

## Resposta de Rota no DSR



← Representa a mensagem de controle RREP

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

Professor Miguel Campista

## Resposta de Rota no DSR

- RREP pode ser enviada invertendo a rota do RREQ somente se os enlaces forem bidirecionais
  - Para garantir que sejam bidirecionais, o RREQ deve ser encaminhado apenas se recebido através um enlace que seja conhecido por ser bidirecional
- Se os enlaces unidirecionais (assimétricos) forem permitidos, então RREP pode precisar de um descobrimento de rota de D para S
  - Exceto se o nó D já conhecer uma rota para S
  - Se uma descoberta de rota for iniciada por D para S, então a RREP é piggybacked na RREQ de D

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

Professor Miguel Campista

## Resposta de Rota no DSR

- RREP pode ser enviada invertendo a rota do RREQ somente se os enlaces forem bidirecionais
  - Para garantir que sejam bidirecionais, o RREQ deve ser encaminhado apenas se recebido através um enlace que seja permitido, então RREP pode precisar de um descobrimento de rota de D para S
    - Exceto se o nó D já conhecer uma rota para S
    - Se uma descoberta de rota for iniciada por D para S, então o RREP é *piggybacked* na RREQ de D

**Se o IEEE 802.11 for usado, então os enlaces têm que ser bidirecionais para envio do ACK!**

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

Professor Miguel Campista

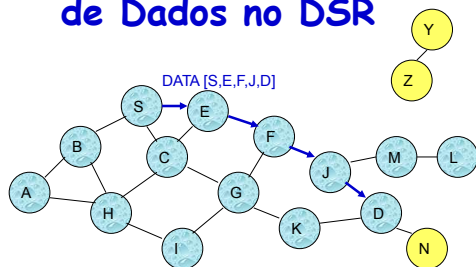
## Encaminhamento de Pacotes de Dados no DSR

- Nó S ao receber um RREP...
  - Armazena em cache a rota contida no RREP
- Quando o nó S enviar o pacote de dados para D...
  - A rota inteira para D é incluída no cabeçalho do pacote
    - Daí o nome "Source Routing" do protocolo
- Nós intermediários ao receberem um pacote de dados...
  - Usam a rota contida no cabeçalho do pacote para determinar o próximo salto

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

Professor Miguel Campista

## Encaminhamento de Pacotes de Dados no DSR



Cabeçalho do pacote cresce com o comprimento da rota

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

Professor Miguel Campista

## Quando Disparar um Descobrimento de Rota?

- Quando o nó S possuir dados a enviar ao nó D...
  - E não conhecer nenhuma rota válida até ele!

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

Professor Miguel Campista

## Otimização do DSR: Cache de Rotas

- Cada nó armazena em cache a nova rota que aprender de qualquer maneira:
  - Quando S encontra a rota [S,E,F,J,D] para o nó D...
    - O nó S também aprende a rota [S,E,F] para o nó F
  - Quando K recebe o RREQ [S,C,G] para um dado nó...
    - O nó K aprende a rota [K,G,C,S] para o nó S
  - Quando F encaminha o RREP [S,E,F,J,D]...
    - O nó F aprende a rota [F,J,D] para o nó D
  - Quando E encaminha dados [S,E,F,J,D]...
    - Ele aprende a rota [E,F,J,D] para o nó D

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

Professor Miguel Campista



## Otimização do DSR: Cache de Rotas

- Nós também podem aprender novas rotas escutando pacotes de dados enviados por outros nós
  - Nesse caso, porém, o nó deve usar escuta promíscua

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

Professor Miguel Campista

## Uso do Cache de Rotas

- Quando o nó S aprende que a rota para o nó D está quebrada...
  - Ele pode usar uma nova rota do seu cache local, se esta nova rota existir
  - Caso contrário, S reinicia um descobrimento de rota para D enviando um novo RREQ
- Quando um nó qualquer receber um RREQ para D...
  - Ele mesmo pode enviar o RREP se tiver uma rota para D em seu cache

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

Professor Miguel Campista

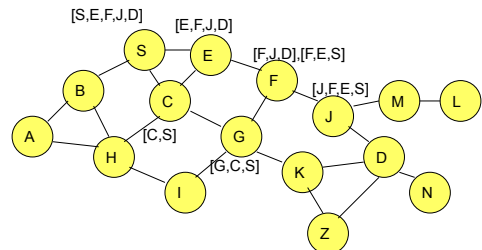
## Uso do Cache de Rotas

- Vantagens:
  - Pode acelerar a descoberta de rotas
  - Pode reduzir a propagação de RREQs

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

Professor Miguel Campista

## Uso do Cache de Rotas



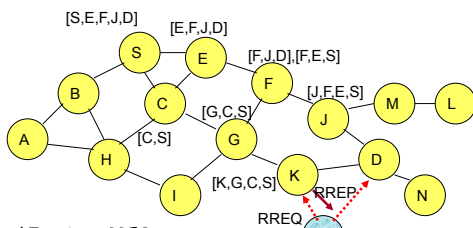
[P,Q,R] Representa a rota em cache de um dado nó (DSR mantém as rotas em cache em um formato em árvore)

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

Professor Miguel Campista

## Uso do Cache de Rotas

### Acelera o Descobrimto de Rotas



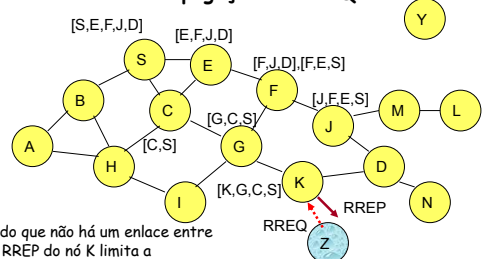
Quando o nó Z envia um RREQ para o nó C, o nó K envia de volta um RREP [Z,K,G,C] para o nó Z usando uma rota do cache local

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

Professor Miguel Campista

## Uso do Cache de Rotas

### Reduz a Propagação de RREQs

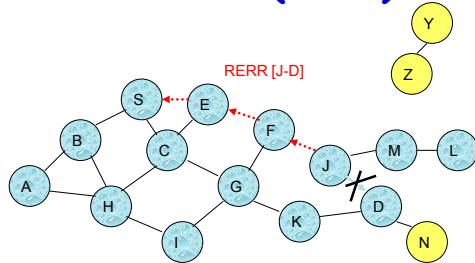


Assumindo que não há um enlace entre D e Z, o RREP do nó K limita a inundação de RREQs. Em geral, a redução pode ser menos contundente...

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

Professor Miguel Campista

## Route Error (RERR)



J envia um RERR para S ao longo da rota J-F-E-S ao notar falha durante o encaminhamento do pacote de dados de S (com rota SEFJD) para D

Os nós que escutam o RERR atualizam os seus caches de rotas, removendo o enlace J-D

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

Professor Miguel Campista

## Cuidados com o Cache de Rotas

- Caches desatualizados podem afetar negativamente o desempenho da rede
  - Com o passar do tempo e com a mobilidade dos nós, as rotas em cache podem se tornar inválidas
- Antes de tentar uma rota válida...
  - Um nó de origem pode tentar várias rotas desatualizadas (armazenadas em seu cache local ou recebidas de caches de outros nós)

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

Professor Miguel Campista

## Vantagens do DSR

- Mantém rotas apenas entre nós que precisam se comunicar
  - Reduz a sobrecarga de manutenção de rotas
- Pode reduzir ainda mais a sobrecarga de descoberta de rotas com o uso do cache de rotas
- Uma única descoberta de rotas pode levar a muitas rotas para o destino
  - Nós intermediários podem responder usando rotas em cache

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

Professor Miguel Campista

## Desvantagens do DSR

- Tamanho do cabeçalho do pacote cresce com o comprimento da rota pelo roteamento pela fonte
- Sobrecarga gerada pela inundação de RREQs pode alcançar todos os nós da rede
- Cuidados devem ser tomados para evitar colisões de RREQs encaminhados por nós vizinhos
  - Inserção de atrasos aleatórios antes da transmissão pode resolver

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

Professor Miguel Campista

## Desvantagens do DSR

- Aumento da contenção se muitos RREPs voltarem por conta do uso de caches locais
  - Problema da tempestade de RREPs (*Route Reply Storm problem*)
    - Tempestade de RREPs pode ser suavizada caso um nó que escute um RREP com uma rota mais curta para o mesmo destino não responda
- Nós intermediários podem enviar RREPs com rotas desatualizadas
  - Problema de poluição de caches dos nós que escutam a resposta
    - Problema combatido com temporizadores que tiram do cache rotas inválidas

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

Professor Miguel Campista

## Ad hoc On demand Distance Vector (AODV)

- DSR inclui rotas nos cabeçalhos dos pacotes
  - Cabeçalhos grandes podem degradar o desempenho, principalmente quando o conteúdo dos dados é pequeno
- AODV tenta aprimorar o DSR mantendo tabelas de roteamento nos nós...
  - Dessa forma, pacotes de dados não precisam ter rotas
- AODV mantém uma vantagem do DSR...
  - Rotas só precisam ser mantidas entre nós que se comunicam

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

Professor Miguel Campista

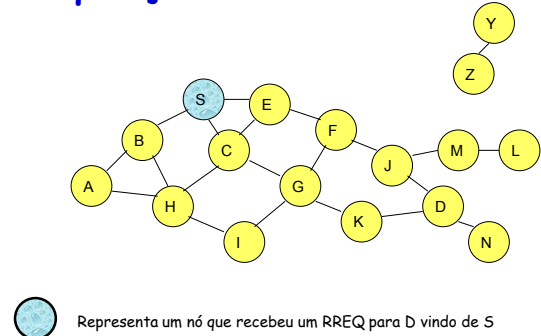
## Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV)

- Requisições de rotas (Route Requests - RREQ) são encaminhadas de uma forma parecida com o DSR
- Quando um nó reenvia em broadcast um RREQ, ele ajusta um caminho reverso apontando para a origem
  - AODV assume enlaces simétricos (bidirecionais)
- Quando o destino desejado recebe um RREQ, ele responde com um Route Reply (RREP)
- RREPs viajam ao longo do caminho reverso, configurado enquanto o RREQ é encaminhado

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

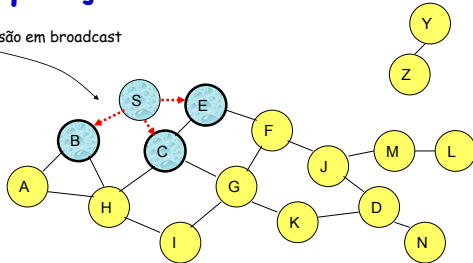
Professor Miguel Campista

## Requisição de Rota no AODV

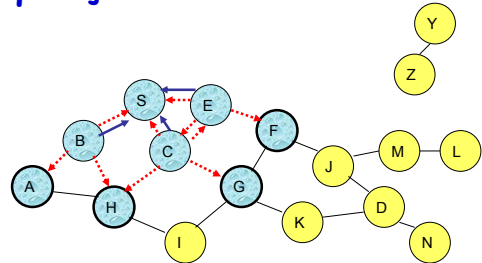


## Requisição de Rota no AODV

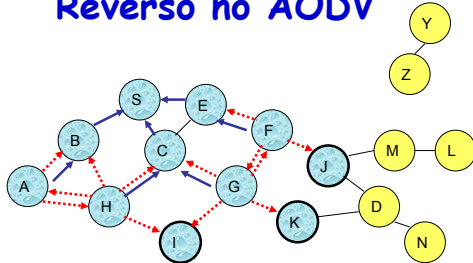
Transmissão em broadcast



## Requisição de Rota no AODV

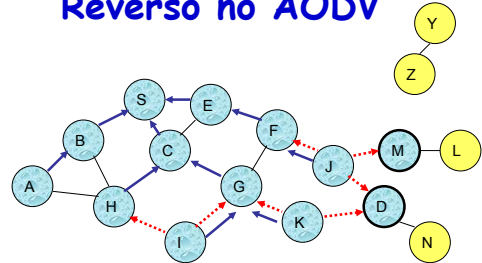


## Configuração do Caminho Reverso no AODV

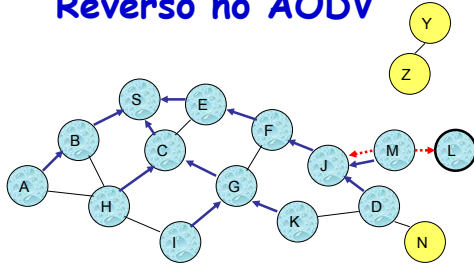


Nó C recebe um RREQ de G e H, mas não encaminha novamente porque o nó C já encaminhou o RREQ uma vez

## Configuração do Caminho Reverso no AODV

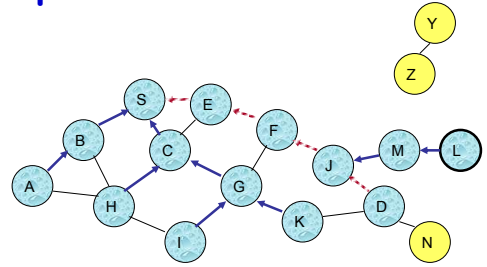


## Configuração do Caminho Reverso no AODV



Nó D não encaminha o RREQ porque ele próprio é o alvo do RREQ

## Resposta de Rota no AODV



--- Representa enlaces do caminho usado pelo RREP

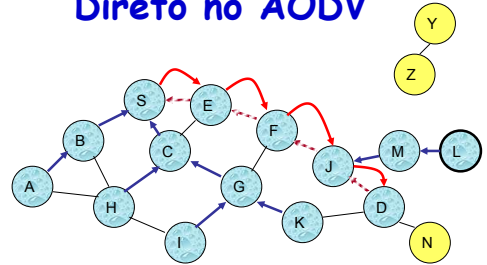
## Resposta de Rota no AODV

- Nós intermediários (diferentes do destino) podem também enviar RREPs, considerando que conhecem caminhos mais recentes que o conhecido pela origem S
  - Números de sequência são usados para determinar se um caminho é mais recente que outro
- A possibilidade de envio de um RREP por um nó intermediário no AODV não é tão alta quanto no DSR
  - RREQ enviado por S para um dado destino tem um número de sequência maior que inibe respostas de nós intermediários com números de sequência menores

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

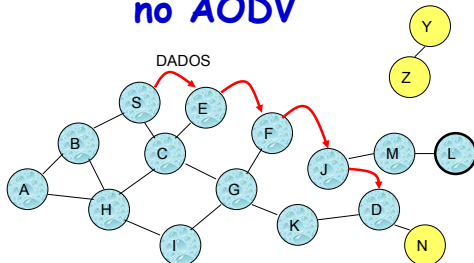
## Configuração do Caminho Direto no AODV



Enlaces no caminho direto são configurados quando o RREP viaja ao longo do caminho reverso

→ Representa um enlace no caminho na direção do destino

## Encaminhamento dos Dados no AODV



Entradas nas tabelas de roteamento são usadas para encaminhamento dos pacote de dados

Rota não é incluída no cabeçalho do pacote

## Temporizadores

- Entrada na tabela de roteamento contendo um caminho reverso é removido após temporizador expirar
  - Temporizador deve ser longo o suficiente para permitir que o RREP retorne
- Entrada na tabela de roteamento mantendo um caminho direto é removido se não for usado por um dado intervalo de tempo
  - Temporizador remove entrada mesmo se a rota ainda for válida, mas não usada

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Aviso de Falha de Enlace

- Um vizinho de um nó qualquer é considerado como uma entrada ativa de tabela de roteamento se...
  - Ao usado para encaminhamento de um pacote, o vizinho realizar o encaminhamento dentro de um intervalo de tempo pré-definido
- Se um enlace para um vizinho quebrar, todos os vizinhos ativos são informados
- Falhas de enlace são propagadas a partir de mensagens de Erro de Rotas (Route Error)
  - RERRs também atualizam o número de sequência

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

Professor Miguel Campista

## Erro de Rota

- Quando um nó X não for mais capaz de encaminhar o pacote P (de S para D) no enlace (X,Y)...
  - Uma mensagem RERR é gerada
- O nó X incrementa o número de sequência do destino para D armazenada em cache em X
- O número de sequência incrementado N é incluído no RERR

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

Professor Miguel Campista

## Erro de Rota

- Quando um nó S recebe o RERR...
  - Uma nova descoberta de rota é iniciada com número de sequência maior ou igual a N
- Quando o nó D receber um RREQ com número de sequência de destino N...
  - Ele atualiza o número de sequência para N, exceto se o número conhecido já for maior que N

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

Professor Miguel Campista

## Detecção de Falhas de Enlaces

- Mensagens de HELLO:
  - Nós vizinhos trocam mensagens de HELLO periodicamente
- Falta de mensagem de HELLO é usada como indicativo de falha de enlace
  - Alternativamente, falhas ao receber qualquer ACK da camada MAC podem ser usadas como indicativo de falha em enlace

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

Professor Miguel Campista

## Otimização: Busca por Anel Expansivo

- Requisição de rotas são inicialmente enviadas com TTL pequeno para limitar a propagação
  - DSR também possui otimização similar
- Se nenhum RREP for recebido...
  - Um valor maior de TTL é tentado

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

Professor Miguel Campista

## Sumário do AODV

- Rotas não precisam ser incluídas nos cabeçalhos dos pacotes
- Nós mantêm tabelas de roteamento contendo entradas ativas
- Pelo menos um próximo salto para cada destino é mantido em cada nó
  - DSR pode manter várias rotas para um único destino
- Rotas inutilizadas expiram mesmo se a topologia não mudar

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

Professor Miguel Campista

## Optimized Link State Routing (OLSR)

- Características típicas de protocolos baseados em estado dos enlaces...
  - Cada nó periodicamente inunda a rede com estado dos enlaces
  - Cada nó reenvia em broadcast os estados dos enlaces recebidos dos seus vizinhos
  - Cada nó mantém os estados dos enlaces recebidos de outros nós
  - Cada nó usa essas informações para determinar os próximos saltos para os destinos da rede
  - Roteamento é pró-ativo
  - Informações locais são disseminadas para toda a rede

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Optimized Link State Routing (OLSR)

- Redução da sobrecarga da inundação é possível se um menor número de nós encaminhar os estados dos enlaces
  - Um broadcast do nó X somente é reenviado por nós selecionados, chamados MPRs (*MultiPoint Relays*)
  - MPRs devem otimizar a inundação global usando otimização local

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

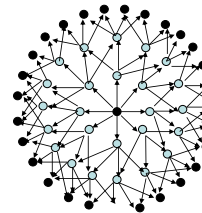
## Roteamento por Estado dos Enlaces (ex. OSPF)

- Como já dito para o próprio OLSR...
  - "Cada nó inunda a rede periodicamente com o estado dos seus enlaces
  - Cada nó reenvia em broadcast informações dos estados dos enlaces recebidos dos seus vizinhos
  - Cada nó mantém os estados dos enlaces recebidos dos outros nós
  - Cada nó usa as informações acima para determinar o próximo salto para todos os destinos da rede"

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Roteamento por Estado dos Enlaces (ex. OSPF)



**24 transmissões para difundir uma mensagem por 3 saltos...**

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## MultiPoint Relays do OLSR

- Definições:
  - Seleção de nós MPR seguem duas regras básicas:
    - Qualquer vizinho de dois saltos deve ser coberto por pelo menos um MPR
    - Número de MPRs deve ser minimizado (por nó)
  - Reenvio de pacotes de inundação pelos MPRs ocorre conforme duas regras:
    - Pacote é encaminhado se ainda não tiver sido recebido pelo MPR para evitar duplicatas
    - MPRs que reenviam o pacote são MPRs do último nó que inundou a rede

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## MultiPoint Relays do OLSR

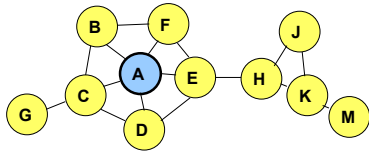
- Heurística simples para calcular os MPRs:
  - Comece com o conjunto de MPRs vazio
  - Adicione ao conjunto de MPRs cada vizinho que seja o único cobrindo algum vizinho de dois saltos (deve ser um MPR de qualquer jeito)
  - Até que todos os vizinhos de dois saltos sejam cobertos repetir:
    - Adicione ao conjunto MPR o vizinho que cubra o máximo de vizinhos de dois saltos ainda não cobertos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Seleção de MPRs

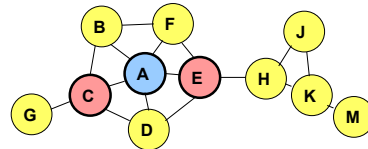
- Quais são os MPRs do nó A?



Source: Nitin Vaidya

## Seleção de MPRs

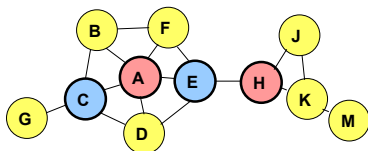
- Nós C e E encaminham as informações recebidas de A
  - Quais são os MPRs do nó E?



● Nó que envia em broadcast as informações do nó A

## Seleção de MPRs

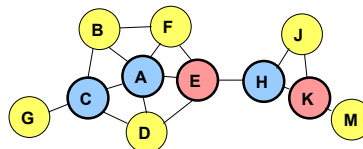
- Nós A e H são MPRs do nó E
  - A já encaminhou os estados dos enlaces



● Nó que envia em broadcast as informações do nó A

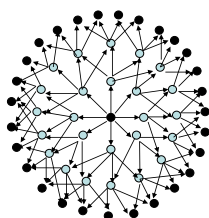
## Seleção de MPRs

- Nós E e K são MPRs do nó H
  - Nó K encaminha informações recebidas de H no próximo passo
  - E já encaminhou a mesma informação uma vez



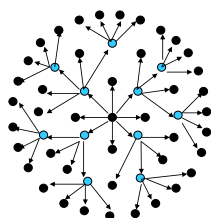
● Nó que envia em broadcast as informações do nó A

## Inundação LSR vs. OLSR



24 retransmissões para difundir uma mensagem por 3 saltos

○ Nó retransmissor



11 retransmissões para difundir uma mensagem por 3 saltos

● Nó retransmissor

## Descoberta de Vizinhança

- Cada nó periodicamente envia em broadcast mensagens de HELLO
  - Mensagens de HELLO contêm informações sobre vizinhança e estado dos enlaces
  - Mensagens de HELLO são recebidas por todos vizinhos de um salto
- Mensagens de HELLO contêm:
  - Lista de endereços dos vizinhos com enlace bidirecional válido
  - Lista de endereços de endereços escutados pelo nó (um HELLO foi recebido)
    - Mas o enlace ainda não foi validado como bidirecional

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

Professor Miguel Campista

## Descoberta de Vizinhança

- Mensagens de HELLO
  - Fazem escuta de enlace
  - Permitem que cada nó aprenda sobre a vizinhança de até dois saltos (descoberta de vizinhança)
  - A partir das informações de vizinhança, cada nó seleciona o seu conjunto de MPRs
  - Indicam MPRs selecionados
- Ao receber mensagens de HELLO...
  - Cada nó constrói sua tabela de seletores de MPR

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Funcionalidades Fundamentais do OLSR

- Escuta do enlace
  - Mensagens de HELLO periódicas para definição de vizinhança
- Seleção e sinalização de MPRs
  - Nós selecionam um subconjunto de vizinhos tais que uma mensagem de broadcast, retransmitida por esses vizinhos possa ser recebida por todos os vizinhos de dois saltos
  - Cálculo dos MPRs baseado nas mensagens de HELLO

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Funcionalidades Fundamentais do OLSR

- Difusão de mensagens de Controle de Topologia
  - Mensagens de Controle de Topologia carregam informações suficientes de estados de enlace o cálculo da rota para todos os nós da rede
- Cálculo de rotas:
  - Baseado em informações de estado de enlace mais configurações das interfaces
  - Tabela de roteamento é calculada em cada nó
- Padrão OLSR especifica todas as mensagens e mecanismos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Sumário do OLSR

- Redes-alvo:
  - Grandes e densas
  - Baixa latência para descobrimento de rotas (pró-ativas)
  - Várias extensões existem, chamadas funções auxiliares para complemento das funções fundamentais
- MPRs reduzem a sobrecarga de roteamento porque...
  - Somente MPRs encaminham mensagens de controle
  - MPRs podem inundar a rede enviando apenas informações de enlaces entre MPRs incluindo informações sobre seletor de MPRs
    - Seletor MPR de um nó X é um nó que selecionou seu vizinho de um salto, o nó X, como MPR

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Outros Protocolos

- Muitos protocolos existem para roteamento em redes ad hoc...
  - Protocolos geográficos
    - Nós mantêm as próprias posições e dos outros nós da rede
  - Protocolos híbridos
    - Nós combinam manutenção de rota pró-ativa para destinos mais próximos com descoberta de rota reativa para destinos mais distantes
  - Protocolos que consideram aprimoramentos de camada física ou de enlace
    - Por exemplo, protocolos de roteamento que assumam que todos os nós têm antenas direcionais...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Agradecimentos

- Parte dos slides foi gentilmente cedidos pela Profa. Anne Fladenmuller - NPA/LIP6

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista



## Leitura Recomendada

- D. Johnson e D. Maltz, "Dynamic source routing in ad-hoc wireless networks", *ACM SIGCOMM*, 1996
- C.E. Perkins e E.M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing". Em *IEEE WMCSA*, 1999
- P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum e L. Viennot, "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks". Em *IEEE INMIC*, 2001