

CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

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

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

Professor Miguel Campista

CPE710: Redes Móveis

REDES MÓVEIS AD HOC

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

Professor Miguel Campista

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

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

Professor Miguel Campista

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

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

Professor Miguel Campista

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.

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

Professor Miguel Campista

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!

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

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

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

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/UFRJ

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 frequência que ocorrem 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/UFRJ

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/UFRJ

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/UFRJ

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/UFRJ

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

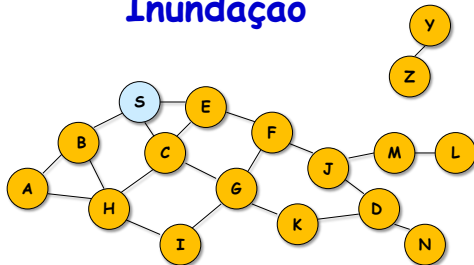
Entrega de Dados por Inundação

- 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

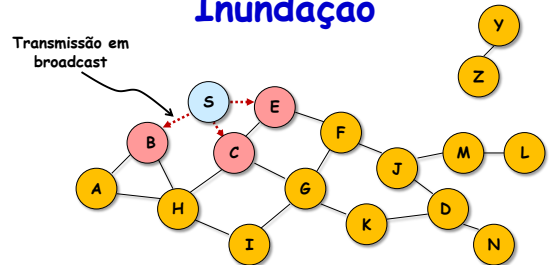


- Representa o nó que recebeu o pacote *P*
- Representa a vizinhança de cada um dos nós

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

Professor Miguel Campista

Entrega de Dados por Inundação



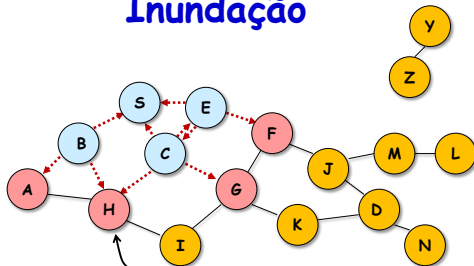
Transmissão em broadcast

- 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

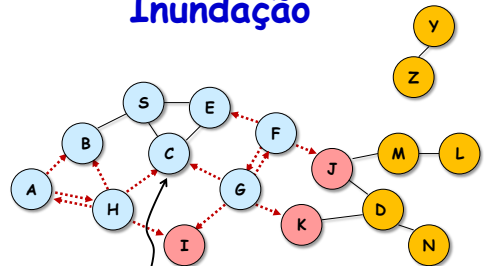


Nó *H* recebe o pacote *P* de dois vizinhos:
possibilidade de colisão

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

Professor Miguel Campista

Entrega de Dados por Inundação

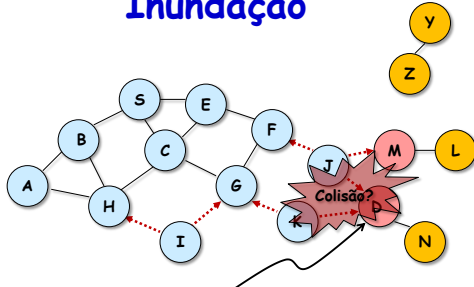


Nó *C* recebe o pacote *P* dos nós *H* e *G* mas não encaminha de novo: o nó *C* já encaminhou o pacote *P* uma vez antes

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

Professor Miguel Campista

Entrega de Dados por Inundação

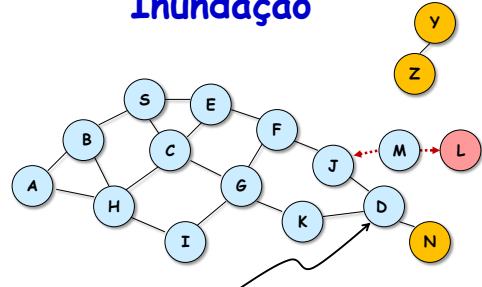


Nós J e K enviam em broadcast o pacote P para o nó D. Porém, como J e K estão escondidos entre si, pode haver uma colisão: **mesmo usando inundação, o pacote P pode não ser entregue ao nó de destino D**

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

Professor Miguel Campista

Entrega de Dados por Inundação

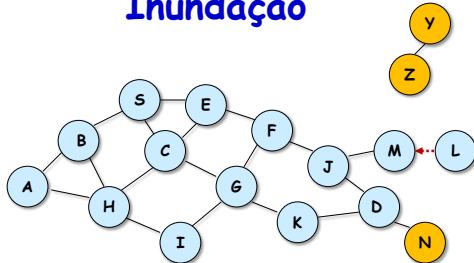


Nó D não encaminha o pacote: **nó D é o destino do pacote P**

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

Professor Miguel Campista

Entrega de Dados por Inundação



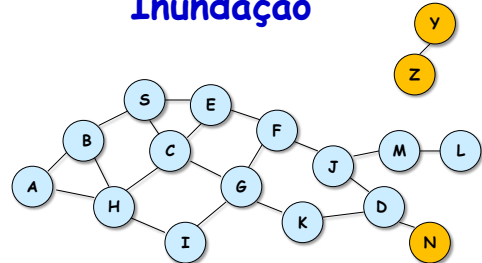
Inundação completa!

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

Vantagens X Desvantagens da Inundação

- Quiz!
 - Quais seriam as alternativas à inundação dos dados?

 - Deve-se sempre evitar a inundação?

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

Professor Miguel Campista

Vantagens X Desvantagens da Inundação

- Quiz!
 - Quais seriam as alternativas à inundação dos dados?
 - **Descobrir caminhos entre pares origem-destino de pacotes de dados**

 - Deve-se sempre evitar a inundação?
 - **Sem saber onde o destino está, a inundação de pacotes de controle torna-se inevitável**

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*)
 - DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*)
- Outros
 - ...

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

Professor Miguel Campista

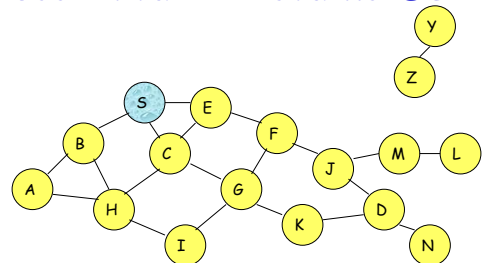
Dynamic Source Routing (DSR)

- 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



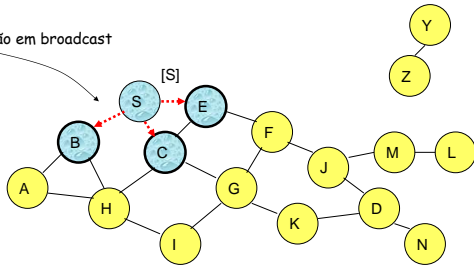
Representa um nó que recebeu RREQ para D vindo de S

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

Professor Miguel Campista

Descoberta de Rota no DSR

Transmissão em broadcast



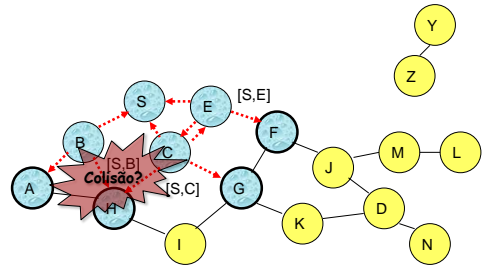
.....> Representa a transmissão do RREQ

[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

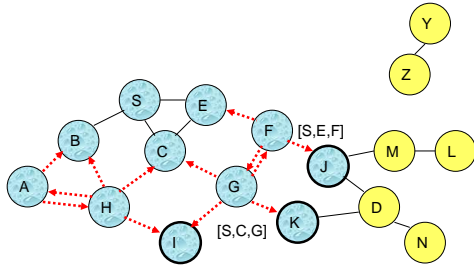


Nó H recebe pacote RREQ de dois vizinhos: **possibilidade de colisão!**

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

Professor Miguel Campista

Descoberta de Rota no DSR

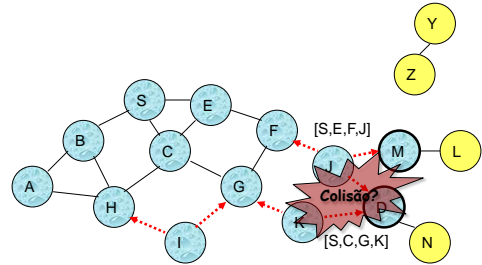


Nó C recebe RREQ de G e H, mas não encaminha novamente porque o nó C já encaminhou o RREQ uma vez

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

Professor Miguel Campista

Descoberta de Rota no DSR



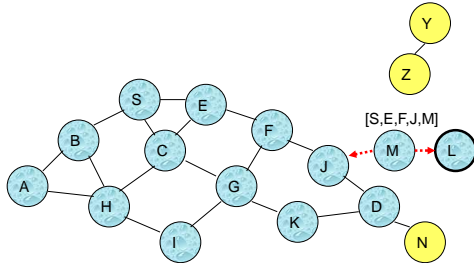
Nós J e K enviam em broadcast o RREQ para o nó D...

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

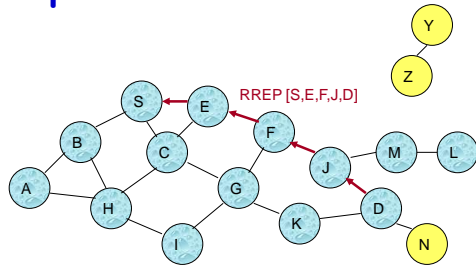
Descoberta de Rota no DSR

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

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

Professor Miguel Campista

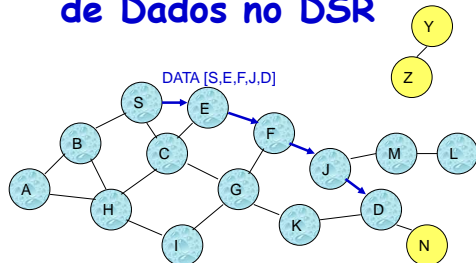
Encaminhamento de Pacotes de Dados no DSR

- 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 Descobrimto de Rota?

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

Professor Miguel Campista

Quando Disparar um Descobrimto 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 descobrimto 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

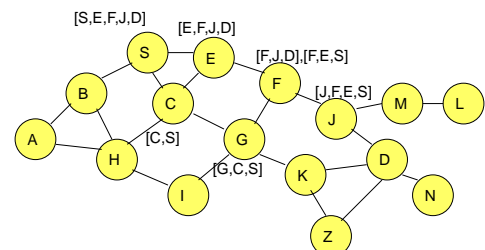
Uso do Cache de Rotas

- 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



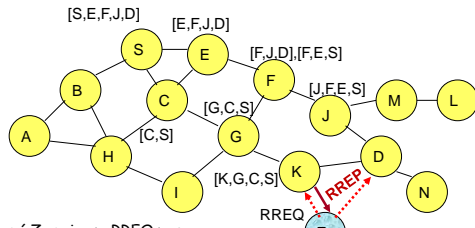
[P,Q,R] Representa a rota em cache de um dado nó (DSR mantém as rotas em cache em um formato em árvore)

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

Professor Miguel Campista

Uso do Cache de Rotas

Acelera o Descobrimto de Rotas



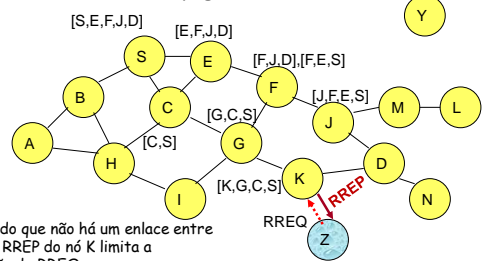
Quando o nó Z envia um RREQ para o nó C, o nó C envia de volta um RREP [Z, K, G, C] para o nó Z usando uma rota do cache local

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

Professor Miguel Campista

Uso do Cache de Rotas

Reduz a Propagação de RREQs



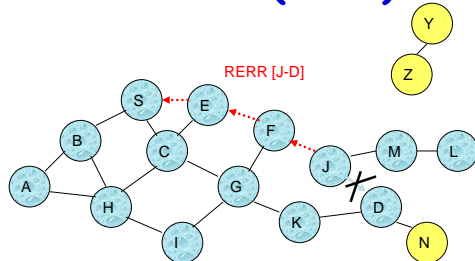
Assumindo que não há um enlace entre D e Z, o RREP do nó K limita a inundaçao de RREQs.

Em geral, a reduçao 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 escutarem 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
 - Sobrecarga de manutenção de rotas é evitada
- Reduz a sobrecarga de descoberta de rotas
 - Cache de rotas é usado para reduzir inundações
- 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
 - Cabeçalho cresce com o comprimento da rota pelo roteamento pela fonte
- Sobrecarga gerada pela inundaçao de RREQs
 - RREQs podem alcançar todos os nós da rede
- Colisões de RREQs encaminhados por nós vizinhos
 - Inserçao 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*)
 - 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 intermediários
 - 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 carregar 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

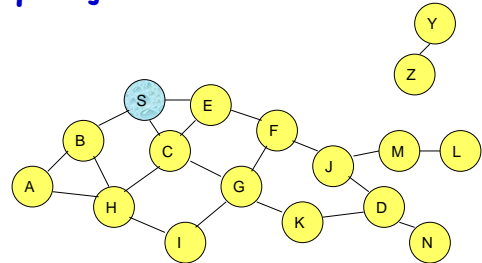
Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV)

- 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

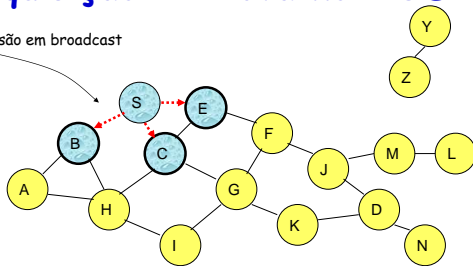
Requisição de Rota no AODV



Representa um nó que recebeu um RREQ para D vindo de S

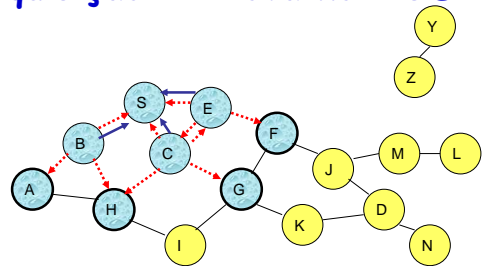
Requisição de Rota no AODV

Transmissão em broadcast



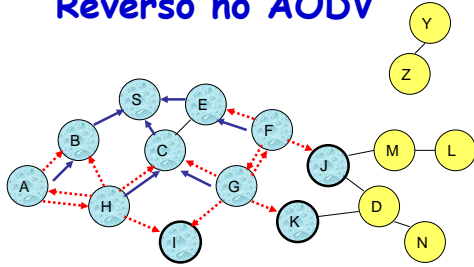
.....> Representa a transmissão de um RREQ

Requisição de Rota no AODV



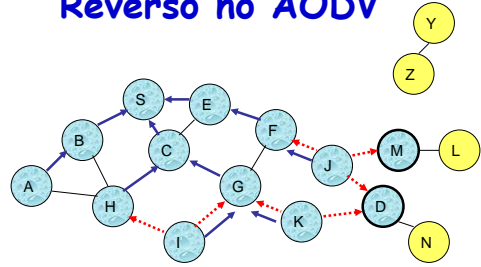
← Representa enlace do Caminho Reverso

Configuração do Caminho Reverso no AODV

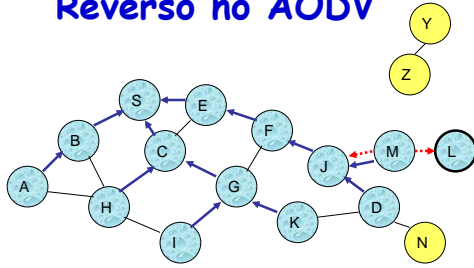


Nó C recebe um RREQ de G e H, mas não encaminha novamente porque o nó C já encaminhou o RREQ uma vez

Configuração do Caminho Reverso no AODV

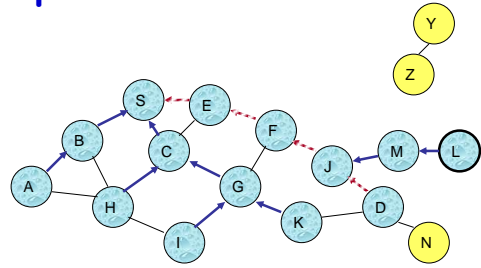


Configuração do Caminho Reverso no AODV



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

Resposta de Rota no AODV

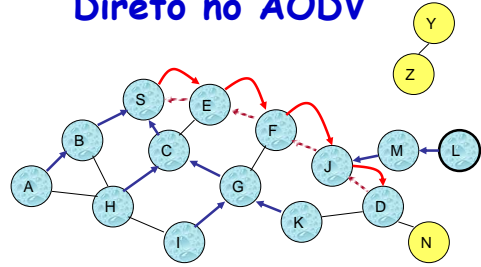


--- Representa enlaces do caminho usado pelo RREP

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

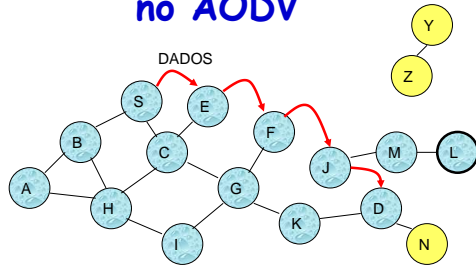
Configuração do Caminho Direto no AODV



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 removida após temporização
 - 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/UFRJ

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 ser usado para encaminhar um pacote, este o faça dentro de um intervalo de tempo pré-definido
- Se um enlace para um vizinho quebrar, todos os vizinhos ativos são informados
 - E posteriormente, os vizinhos informam os seus vizinhos e assim por diante...
- Falha de enlace gera mensagem RERR (*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/UFRJ

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/UFRJ

Professor Miguel Campista

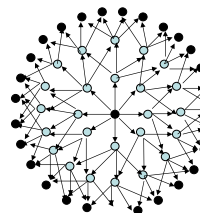
Roteamento por Estado dos Enlaces (ex. OSPF)

- 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/UFRJ

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/UFRJ

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 (mensagens de controle de topologia) pelos MPRs ocorre conforme duas regras:
 - Pacote é encaminhado apenas por MPRs
 - MPRs que reenviam o pacote são MPRs do último nó que encaminhou o pacote

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

Professor Miguel Campista

MultiPoint Relays do OLSR

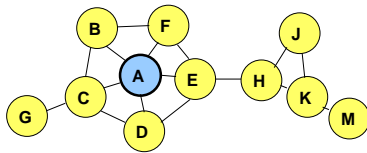
- Heurística simples para calcular os MPRs:
 - Comece com o conjunto de MPRs vazio
 - Adicione ao conjunto de MPRs cada vizinho que seja o único cobrindo algum vizinho de dois saltos (deve ser um MPR de qualquer jeito)
 - Até que todos os vizinhos de dois saltos sejam cobertos repetir:
 - Adicione ao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

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

Professor Miguel Campista

Seleção de MPRs

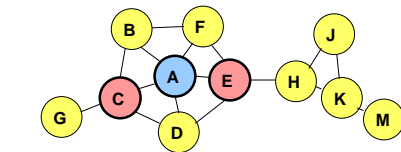
- Quais são os MPRs do nó A?



Source: Nitin Vaidya

Seleção de MPRs

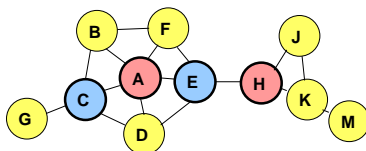
- Nós C e E encaminham as informações recebidas de A
 - Quais são os MPRs do nó E?



Nó que envia em broadcast as informações do nó A

Seleção de MPRs

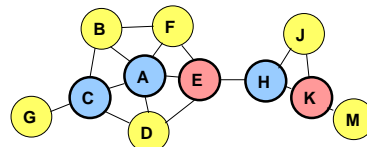
- Nós A e H são MPRs do nó E
 - A já encaminhou os estados dos enlaces



Nó que envia em broadcast as informações do nó A

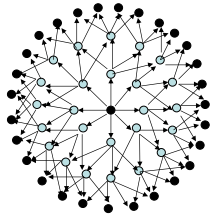
Seleção de MPRs

- 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



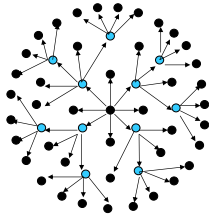
Nó que envia em broadcast as informações do nó A

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
 - Nós que o selecionaram para ser o seu MPR

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

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/UFRJ

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 para cálculo de rotas 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/UFRJ

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/UFRJ

Professor Miguel Campista

Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

- Usa uma versão modificada do algoritmo de Bellman-Ford
 - A ideia é evitar rotas com loops
- Informações na tabela de roteamento
 - Cada entrada contém o próximo salto para um dado destino, o número de saltos até ele e um número de sequência
 - Número de sequência evita loops de roteamento já que o mais recente é usado como critério de escolha
 - Caso mais de um pacote de controle com o mesmo número de sequência exista, aquele com o menor número de saltos é escolhido

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

Professor Miguel Campista

Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

- Propõe dois tipos de pacotes de controle para inundação:
 - "Full dump"
 - Contém todas as informações da tabela de roteamento
 - Incremental
 - Contém apenas as informações que mudaram desde a última transmissão "full dump"

Durante períodos de movimentação ocasional, apenas os pacotes incrementais são usados

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

Professor Miguel Campista

Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

- Mecanismo "incremental" pode reduzir a sobrecarga de controle, porém...
 - Mudanças frequentes de topologia fazem com que o número de pacotes "incrementais" aumente
- Falhas de enlaces podem ser detectadas por protocolo de camada de enlace ou por ausência de HELLO
 - Nesse caso, qualquer roteador pode atualizar o número de sequência e difundir a informação pela rede

DSDV tem problemas de escalabilidade em redes densas que o OLSR combate usando os MPRs

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

Professor Miguel Campista

Outros Protocolos

- Muitos protocolos existem para roteamento em redes ad hoc...
 - Protocolos híbridos
 - Manutenção de rota é feita pró-ativa para destinos mais próximos e com descoberta de rota reativa para destinos mais distantes
 - Protocolos geográficos
 - Nós mantêm as próprias posições e dos outros nós da rede
 - Protocolos com 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/UFRJ

Professor Miguel Campista

Zone Routing Protocol (ZRP)

- Um exemplo híbrido...
 - ZRP é baseado em zonas
 - Zona de nós próximos
 - Zona de nós distantes
- Zona de nós próximos
 - Centrada no próprio nó e composta de vizinhos próximos
 - Vizinhos próximos são aqueles alcançáveis a partir de um determinado número máximo de saltos (Raio da zona)
 - Nós que estiverem a uma distância mínima igual ao raio de cobertura são chamados de periféricos
- Zona de nós distantes são todos os outros nós...

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

Professor Miguel Campista

Zone Routing Protocol (ZRP)

- Para os nós próximos
 - ZRP usa protocolo de roteamento pró-ativo
 - IntraZone Routing Protocol (IARP)
 - Protocolo baseado em estado do enlace ou vetor de distâncias modificado para não ultrapassar o limite da zona
- Para os nós distantes
 - ZRP usa protocolo de roteamento reativo
 - InterZone Routing Protocol (IERP)
 - Usa Route REQuest (RREQ)/Route REPLY (RREP) no descobrimento de rotas

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

Professor Miguel Campista

Zone Routing Protocol (ZRP)

- Funcionamento do IntErzone Routing Protocol (IERP)
 - Nó fonte envia um RREQ aos nós da periferia
 - Contém endereço do nó de origem e destino
 - Cada nó da periferia checa o nó de destino em sua zona próxima
 - Se não for, o nó periférico adiciona o seu próprio endereço no RREQ e encaminha para os seus próprios nós periféricos e assim por diante
 - Se for, o nó periférico envia um RREP no caminho reverso até o nó de origem
 - Nó de origem usa o caminho do RREP para enviar pacotes de dados até o nó de destino

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

Professor Miguel Campista

Zone Routing Protocol (ZRP)

- Funcionamento do IntErzone Routing Protocol (IERP)
 - Nó fonte envia um RREQ aos nós da periferia

ZRP limita a sobrecarga pró-ativa para dentro da zona próxima e a sobrecarga de descobrimento de rotas para a zona distante...

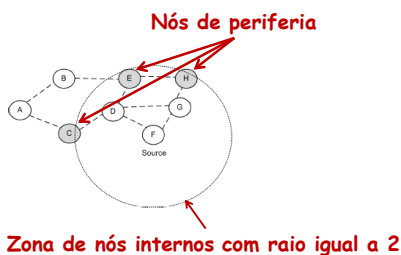
O problema, porém, é que a operação do protocolo é totalmente dependente do valor do "raio da zona" que não possui valor trivial até o nó de origem

- Nó de origem usa o caminho do RREP para enviar pacotes de dados até o nó de destino

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

Professor Miguel Campista

Zone Routing Protocol (ZRP)



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

Professor Miguel Campista

Agradecimentos

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

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

Professor Miguel Campista

Leitura Recomendada

- Capítulo 4 do livro
 - Miguel Elias M. Campista e Marcelo G. Rubinstein, "Advanced Routing Protocols for Wireless Networks", 1ª Edição, Wiley-Inte
- 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

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

Professor Miguel Campista