

# 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

## MOBILIDADE

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

Professor Miguel Campista

## Introdução

- A Internet está se tornando móvel
  - Nos próximos anos, quantos nós serão móveis?
    - Milhares?
    - Milhões?
  - Qual será o impacto da mobilidade nos protocolos atuais?
    - Extensões?
    - Ruptura?

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

Professor Miguel Campista

## História

- Final dos anos 70
  - A Internet engatinhava
    - Computadores eram na maioria pesados e ficavam confinados em salas
    - Dispositivos móveis existiam, mas eram desenvolvidos para aplicações militares específicas
- Década de 90
  - Explosão da telefonia móvel celular e do número de computadores portáteis
    - Necessidade de suporte à mobilidade na Internet

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

Professor Miguel Campista

## Computação Móvel

- Conceito amplo
  - Portabilidade
    - Computadores são transportados e conectados em lugares remotos
  - Mobilidade
    - Computadores permanecem conectados durante o deslocamento
  - Redes Móveis
    - Computadores se deslocam em conjunto e permanecem conectados entre si

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

Professor Miguel Campista

## Computadores Portáteis

- Um dos segmentos com crescimento mais acelerado no mercado de computação
  - Provavelmente perde apenas para o crescimento da Internet
- Possíveis requisições
  - Configuração dinâmica
    - Endereçamento IP dinâmico
  - Presença de conexão em qualquer lugar
    - Modems, telefone celular etc.

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

Professor Miguel Campista

## Computadores Móveis

- O deslocamento dos computadores requer...
  - Manutenção da conectividade
    - Alcance limitado dos computadores
    - Problemas com o TCP
  - Associação com a estação com o sinal mais claro
    - "Roaming"

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

Professor Miguel Campista

## Redes Móveis

- Todos as estações de uma rede se deslocam
  - Estações se deslocam em conjunto
    - Ex.: Redes veiculares → Comunicação intra-veículo
  - Estações se deslocam individualmente
    - Ex.: Redes veiculares → Comunicação inter-veículo
- Além da posição, o caminho até a estação móvel deve estar atualizado
  - Estações móveis podem se conectar a uma outra rede móvel e não somente a um ponto de interconexão



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

Professor Miguel Campista

## Requisições dos Usuários Móveis

- Definidas pelo IETF para o IP móvel
  - Uma estação móvel deve ser capaz de...
    - Manter a conectividade usando o mesmo endereço IP após se desconectar da Internet e se reconectar em um ponto diferente
      - Manutenção de conexões TCP
    - Interoperar com estações existentes, roteadores e serviços
      - Adoção gradual da tecnologia
    - Não oferecer novas vulnerabilidades ao IP, implementar *multicast* e *privacidade de localização*

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

Professor Miguel Campista

## Modelo Básico do IP Móvel

- Nó móvel (*Mobile Node - MN*)
  - Possui um Endereço Domiciliar (*Home Address*) na sua Rede Domiciliar (*Home Network*)
  - Obtém um *Care-of-Address (COA)* quando visita uma Rede Estrangeira (*Foreign Network*)
    - COA é o endereço normalmente do **Agente Estrangeiro**

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

Professor Miguel Campista

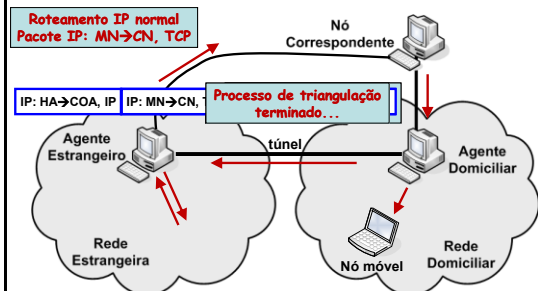
## Modelo Básico do IP Móvel

- Agente Domiciliar (Home Agent)
  - Pertence a Rede Domiciliar e serve o Endereço Domiciliar
- Agente Estrangeiro (*Foreign Agent - FA*)
  - Serve nós móveis visitantes
- Nó correspondente (*Corresponding Node - CN*)
  - Troca dados com o nó móvel e pode ser tanto móvel quanto fixo

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

Professor Miguel Campista

## Modelo Básico do IP Móvel



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

Professor Miguel Campista

## Modelo Básico do IP Móvel

- Processo de triangulação pode ser ineficiente
  - Exemplo:
    - **Nó correspondente e nó móvel no Brasil**
    - **Agente domiciliar no Japão**

**Tráfego do nó correspondente para o nó móvel tem que ir ao Japão antes de ser entregue...**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

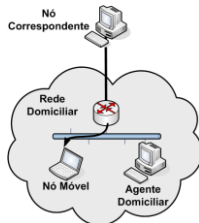
- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Precisa manter a localização do nó móvel
- **Nó móvel**
  - Precisa descobrir o Agente Estrangeiro
  - Precisa se registrar no Agente Estrangeiro
- **Agente Estrangeiro**
  - Precisa concordar em encaminhar o tráfego do nó móvel

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel



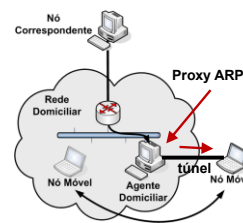
**Quando o nó móvel está na rede: Ele mesmo recebe os pacotes enviados na LAN**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel



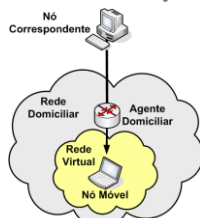
**Quando o nó móvel sai da rede: Agente Domiciliar responde requisições ARP no lugar do nó móvel**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel



**Agente Domiciliar pode atuar como um roteador e anunciar uma "rede virtual" para estações móveis usando o protocolo de roteamento intra-domínio, mesmo se essa rede não existir fisicamente**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel
    - Mensagens de sinalização precisam ser trocadas entre...
      - Agentes Estrangeiro e Domiciliar ou
      - Agente Domiciliar e Nó Móvel

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel
    - Mensagens de sinalização precisam ser trocadas entre...
      - Agentes Estrangeiro e Domiciliar ou
      - Agente Domiciliar e Nó Móvel

**Considerando o último caso, será que existiria algum risco de segurança caso o nó móvel possa atualizar a sua localização ao agente domiciliar?**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Agente Domiciliar**
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Manter a localização do nó móvel
    - Mensagens de sinalização precisam ser trocadas entre...
      - Agentes Estrangeiro e Domiciliar ou
      - Agente Domiciliar e Nó Móvel

**Considerando o último caso, será que existiria algum risco de segurança caso o nó móvel possa atualizar a sua localização ao agente domiciliar?**

**Um nó malicioso poderia se passar por um nó legítimo e "atualizar" a sua posição!  
REQUER USO DE PROTOCOLOS SEGUROS**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Nó móvel**
  - Precisa descobrir o Agente Estrangeiro e se registrar
    - Agente estrangeiro pode se anunciar, iniciando o processo de registro do Nó Móvel com o Agente Estrangeiro
      - Se tudo ocorrer bem, o Nó Móvel envia ao Agente Domiciliar o seu *Care-of-Address* (COA)

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

- **Nó móvel**
  - Precisa descobrir o Agente Estrangeiro e se registrar
    - Agente estrangeiro pode se anunciar, iniciando o processo de registro do Nó Móvel com o Agente Estrangeiro
      - Se tudo ocorrer bem, o Nó Móvel envia ao Agente Domiciliar o seu *Care-of-Address* (COA)

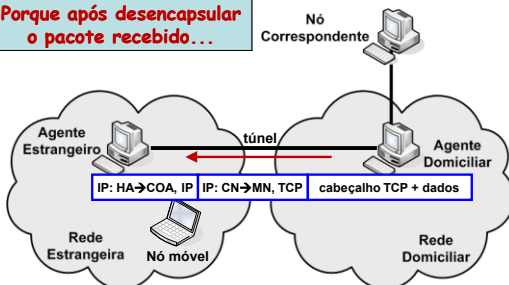
**Mas por que o nó móvel precisa se registrar?**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

**Porque após desencapsular o pacote recebido...**

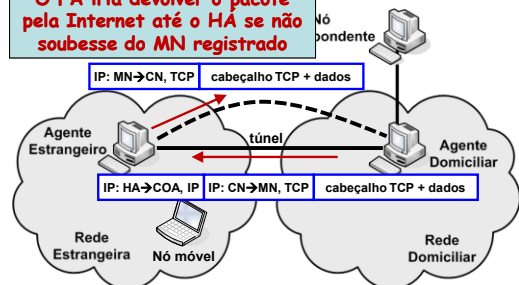


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

**O FA iria devolver o pacote pela Internet até o HA se não soubesse do MN registrado**



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

Professor Miguel Campista

## Movimentação de Rede em Rede

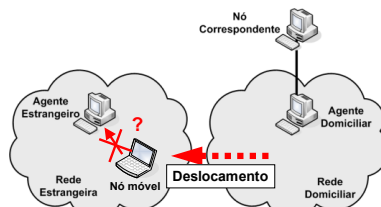
- Distâncias menores
  - Resolvidas por protocolos de camadas mais baixas
    - Grupo de células que se comportam como uma única rede
- Nós móveis não sabem que se deslocam...
  - Descobrem ao receber anúncios de novos Agentes Estrangeiros
    - Anúncios possuem endereço IP e físico do FA
    - Nós móveis se registram no FA e negociam o encaminhamento de pacotes
    - Nós móveis comunicam o novo COA ao Agente Domiciliar para que os pacotes sejam encaminhados através do FA
  - Similarmente, descobrem que voltaram para a Rede Domiciliar ao receber anúncios do Agente Domiciliar

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

Professor Miguel Campista

## E Se Não Houver Agente Estrangeiro?

- Agentes Estrangeiros podem...
  - Não existir
  - Não concordar em encaminhar o tráfego do nó móvel



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

Professor Miguel Campista

## E Se Não Houver Agente Estrangeiro?

- Nó móvel pode obter conectividade via DHCP ou PPP
  - Obtenção de endereço IP temporário na rede visitada
- Consequências...
  - Nó móvel torna-se o próprio FA
    - IP temporário torna-se COA
  - Túnel é estabelecido entre o HA e o Nó Móvel

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

Professor Miguel Campista

## E Se Não Houver Agente Estrangeiro?

- Possíveis problemas...
  - Maior cabeçalho consome mais recursos da rede
    - Caso último salto seja um enlace de banda estreita
  - Consumo maior de endereços IP na rede visitada
  - Perda de pacotes em trânsito
    - Desaparecimento do FA imediatamente após o deslocamento do nó móvel para outra rede
- Possíveis benefícios...
  - Evita desencapsulamento em nó intermediário
    - Caso último salto seja um enlace de banda larga
    - Caso estação móvel permaneça por mais tempo na rede visitada

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

Professor Miguel Campista

## Suporte ao IP Móvel

- Protocolo proposto - RFC 2002
  - Simplicidade
    - Padronização e desenvolvimento mais rápido
  - Divisão em duas fases principais
    - Protocolo de descoberta
    - Procedimento de registro
    - Procedimentos adicionais:
      - Procedimento de encapsulamento

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Agentes Estrangeiros e agentes Domiciliares
  - Implementados como processos especiais em roteadores
    - Protocolo de descoberta é uma extensão do protocolos de descoberta de roteadores em redes locais do ICMP
  - Enviam periodicamente uma mensagem de anúncio de agente
    - Mensagem enviada em multicast

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Mensagens de anúncio de agentes
  - Mensagem ICMP possui além de endereços de roteadores:
    - Número de sequência
    - Tempo de vida do registro
    - Flags
      - Indicam se registro é necessário, se há agentes domiciliares/estrangeiros disponíveis, que tipo de encapsulamento (tunelamento) é suportado etc.
    - Lista com pelo menos um COA
      - Endereço não é necessariamente o anunciado pelo FA normalmente
    - Tamanho dos prefixos anunciados na parte padrão

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Nó móvel escuta anúncio para determinar mudança de rede
  - Nó móvel detecta que mudou quando:
    - Para de receber anúncios do agente selecionado
    - Determina que o endereço IP e o prefixo anunciado pelo agente não é o mesmo conhecido
  - Nó móvel detecta a volta a sua rede domiciliar quando:
    - Recebe anúncios do seu Agente Domiciliar

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Caso o nó detecte que mudou de rede...
  - Deve realizar procedimento de registro
- Caso o nó detecte que voltou à Rede Domiciliar...
  - Nó móvel cancela registro com o Agente Domiciliar
    - Volta a receber tráfego através de roteamento IP normal

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Caso o agente perca o registro (*reboot* do agente)...
  - Nó detecta a partir do número de sequência das mensagens ICMP
    - Incrementado de uma unidade a cada envio
    - Caso o número de sequência seja reinicializado
      - Nó móvel reinicia processo de registro pois o agente não armazena estado

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

Professor Miguel Campista

## Protocolo de Descoberta

- Envio de anúncios
  - Periódicos
    - Frequência de envio deve ser ajustada cuidadosamente
      - Limitações das redes sem-fio
    - Enviado em broadcast
  - Após solicitação explícita da estação móvel
    - Estação móvel detecta mudança de rede sem precisar de anúncios
      - Monitoramento da potência do sinal recebido
    - Estação móvel faz requisição a um endereço IP "all-bases"
    - Enviado em unicast ao nó solicitante

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

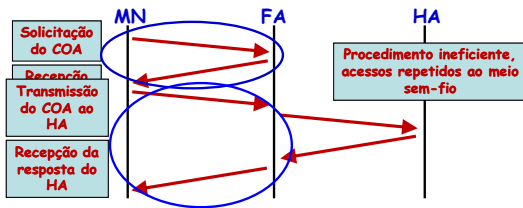
- Após descobrir o novo FA, o nó móvel deve...
  - Registrar com o novo agente
  - Transmitir o COA ao Agente Domiciliar
- Pode ser feito de duas formas
  - Usando seis ou quatro mensagens

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Primeiro procedimento de registro
  - Usando seis mensagens

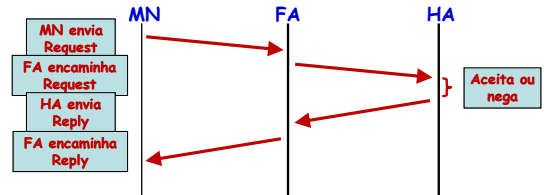


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Segundo procedimento de registro
  - Maneira mais eficiente com quatro mensagens
    - Request MN→FA e FA→HA
    - Reply MN→FA e FA→HA



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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Request e Reply são enviados sobre UDP
- Mensagem de Request contém:
  - Tipo da mensagem (Request, 1)
  - Flags
    - Indica se FA = MN e tipo de encapsulamento preferido
  - Tempo de vida do registro
  - Endereços do MN, HA e COA
  - Identificação da requisição (64 bits)
  - Parâmetros de extensão
    - Inclui extensão para autenticação

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

Professor Miguel Campista

## Problema do Procedimento de Registro

- Problema principal → Segurança
  - Nós maliciosos podem se fazer passar pelo FA
    - Tráfego do Nó Móvel é encaminhado pelo nó malicioso
      - Solucionado através de autenticação das comunicações
        - » Algoritmo MD5
  - Nós maliciosos podem reenviar mensagens de registro
    - Nó Móvel pode ser removido da rede
      - Solucionado através do uso de identificadores por mensagens
        - » Duas mensagens Request não podem ter o mesmo identificador (uso do NTP timestamp como identificador)

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

Professor Miguel Campista

## Problema do Procedimento de Registro

- Confiabilidade
  - Perda de uma mensagem Request ou Reply
    - Dispara novo processo a partir do Nó Móvel
      - Identificador da mensagem diferente
    - Agentes apenas encaminham tráfego
      - Participação passiva no processo

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Encapsulamento

- Procedimento de tunelamento em outras ocasiões...
  - Estabelecimento de circuitos virtuais entre áreas desconectadas de uma mesma rede
  - Estabelecimento de circuitos virtuais entre roteadores *multicast* em uma rede não-*multicast*

**Tunelamento é uma solução genérica para tratar exceções do roteamento**

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Encapsulamento

- IP Móvel oferece três tipos de tunelamento:
  - Encapsulamento genérico de roteamento (*Generic Routing Encapsulation - GRE*)
    - RFC 1701
  - Procedimento básico
    - RFC 2003
  - Encapsulamento mínimo
    - RFC 2004

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Genérico de Roteamento (GRE)

- Procedimento genérico desenvolvido pela CISCO antes do IP Móvel
  - Cabeçalho GRE entre o cabeçalho IP novo ("cabeçalho de entrega") e o cabeçalho IP original



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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Genérico de Roteamento (GRE)

- Cabeçalho GRE
  - Tipo de protocolo do pacote encapsulado
    - GRE pode encapsular qualquer protocolo que pode ser carregado sobre o Ethernet
  - Campos opcionais
    - Checksum (16 bits)
    - Número de sequência (32 bits)
    - Chave para autenticar a fonte dos pacotes (32 bits)
    - Campo de roteamento para implementar roteamento por fonte
  - Conjunto de Flags
    - Identificação de cada um dos campos opcionais presentes

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento Básico

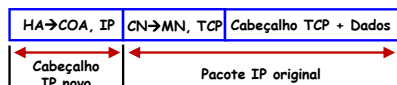
- GRE é útil quando o tunelamento é usado:
  - Em interconexões de redes
  - Em roteamento baseado em políticas
  - No caso do IP Móvel
    - Soluções mais simples podem ser empregadas

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento Básico

- Procedimento básico de encapsulamento
  - Não há cabeçalho intermediário
  - Há apenas o "cabeçalho de entrega" seguido pelo cabeçalho IP original

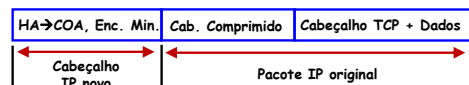


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Mínimo

- Algumas informações do cabeçalho IP original podem ser deduzidas do "cabeçalho de entrega"
  - Ex.: Comprimento do pacote e checksum
- Encapsulamento mínimo substitui cabeçalho IP original por um cabeçalho comprimido
  - Objetivo: Aumentar a eficiência da transmissão



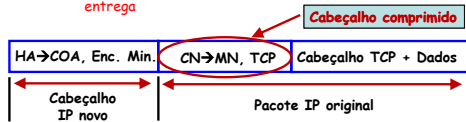
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



## Encapsulamento Mínimo

- Cabeçalho comprimido
  - Tipo do protocolo do pacote encapsulado (Ex.: TCP)
  - Endereço IP de destino do pacote encapsulado
  - Checksum do cabeçalho comprimido (16 bits)
  - Campos opcionais
    - Endereço de origem do pacote encapsulado
      - Se não for igual ao endereço de origem do cabeçalho de entrega



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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Mínimo

- Recepção de uma mensagem comprimida
  - FA reconstitui o cabeçalho original
    - Combina as informações do cabeçalho comprimido com as informações do cabeçalho de entrega
    - Campos como o checksum têm que ser recalculados

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Utilizado

- Negociação entre o MN, FA e HA
  - Processo realizado durante os procedimentos de descoberta e registro
- Disponibilidade de encapsulamento
  - Todos devem suportar Encaps. Básico (IP-sobre-IP)
  - Alguns podem suportar GRE ou Encaps. Mínimo

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Utilizado

- Cuidados ao se utilizar GRE ou Encaps. Básico
  - Decrementar o TTL do pacote antes de encapsulá-lo
    - Evita possíveis loops já que o TTL não é decrementado no túnel (visto como um único salto)
    - Caso o FA não ache o MN, ele envia o pacote por roteamento IP normal e então o pacote pode voltar ao HA que reenvia o pacote ao FA ...

... Mas por que o loop pode acontecer?

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento Utilizado

- Cuidados ao se utilizar GRE ou Encaps. Básico
  - Decrementar o TTL do pacote antes de encapsulá-lo
    - Evita possíveis loops já que o TTL não é decrementado no túnel (visto como um único salto)
    - Caso o FA não ache o MN, ele envia o pacote por roteamento IP normal e então o pacote pode voltar ao HA que reenvia o pacote ao FA ...

... Mas por que o loop pode acontecer?

Porque ao enviar pela Internet, o endereço de destino passa a ser o da rede domiciliar...

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

Professor Miguel Campista

## Broadcast e Multicast

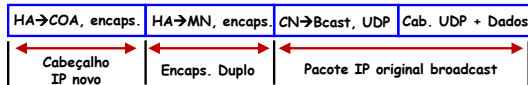
- Uma vez na Rede Domiciliar...
  - Nós Móveis recebem cópias de mensagens enviadas em *broadcast* e *multicast*
- Uma vez na Rede Estrangeira...
  - Nós móveis poderiam receber mensagens enviadas em *broadcast* e *multicast* nas suas Redes Domiciliares
    - HA pode encaminhar as mensagens através do túnel
      - Envio de cópias individuais *multicast* para MN em outras redes é ineficiente
      - Delimitação do escopo *multicast* é perdida
      - *Broadcast* na Rede Domiciliar não deve gerar um novo *broadcast* em uma Rede Estrangeira

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

Professor Miguel Campista

## Broadcast e Multicast

- Como resolver?
  - Durante o procedimento de registro do IP Móvel
    - **Descobre-se se o túnel termina no próprio Nó Móvel**
      - HA pode encaminhar o tráfego *broadcast/multicast* ao Nó Móvel diretamente
    - **Caso contrário (presença de FA)**
      - Agente Domiciliar pode usar Encapsulamento Duplo

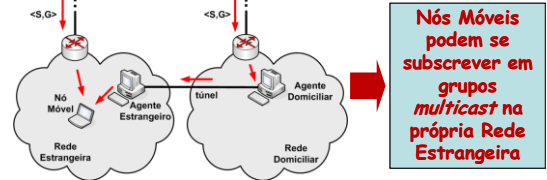


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

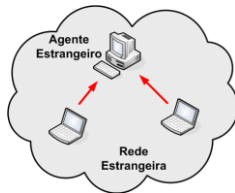
## Encapsulamento Duplo

- Utilizado para mensagens *multicast* e *broadcast*
  - Nós Móveis podem se inscrever remotamente a grupos *multicast* na sua Rede Domiciliar
    - MN envia mensagens IGMP através do túnel até o seu HA
    - Entretanto, forma pouco eficiente...
      - Mensagens duplicadas na Rede Estrangeira



## Redes Móveis

- Até o momento...
  - Mobilidade está restrita a um nó móvel

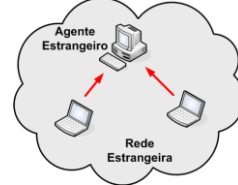


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Redes Móveis

- E se ao invés de um nó fosse uma rede móvel inteira?
  - Um nó móvel poderia assumir o papel de roteador
    - **Múltiplos saltos sem-fio**
      - Redes sem-fio ad hoc, NeMo (*Network Mobility*) etc.



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

Professor Miguel Campista

## Futuras Direções do IP Móvel

- Projeto do IP Móvel
  - Simplicidade para convergir com maior rapidez
- Refinamentos das versões futuras
  - Maior robustez, eficiência e segurança
    - **Múltiplos Agentes Domiciliares**
    - **Aglomerados de Agentes Estrangeiros**
    - **Redes móveis ad hoc**
    - **Eliminação de roteamento não-ótimo**
    - **Verificação do endereço de origem**

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

Professor Miguel Campista

## Múltiplos Agentes Domiciliares

- Modelo com apenas um Agente Domiciliar
  - Simplicidade, porém...
    - Fragilidade
      - **Caso o Agente Domiciliar falhar**
        - Nó Móvel fica inalcançável
- Modelo com múltiplos Agentes Domiciliares
  - Problemas de compatibilidade com o IP Móvel
    - **Mensagens consideram apenas um HA**

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

Professor Miguel Campista

## Múltiplos Agentes Domiciliares

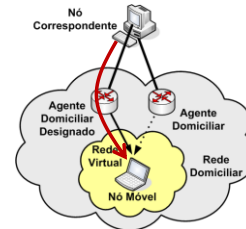
- Possível solução para suporte a múltiplos HA
  - Eleição de HA designado → Semelhante ao OSPF
    - HA designado captura os pacotes enviados ao HA convencional
    - HA mantém os roteadores da mesma área informados sobre a localização do MN por inundação
      - Qualquer HA pode localizar o MN, capturar os pacotes para ele e encaminhar através do túnel

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

Professor Miguel Campista

## Múltiplos Agentes Domiciliares

- Possível solução para suporte a múltiplos HA



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

Professor Miguel Campista

## Aglomerados de Agentes Estrangeiros

- Modelo com apenas um Agente Estrangeiro
  - Simplicidade, porém...
  - Problemas com dinamicidade da rede
    - Caso o Nó Móvel se desloque em alta velocidade
      - Procedimentos de descoberta e registro tornam-se custosos
- Modelo com Agentes Estrangeiros aglomerados
  - COA sempre diferente do endereço IP do FA
    - Endereço do COA = Qualquer endereço de FA nesta área
      - Todos os Agentes Estrangeiros encaminham pacotes ao MN
      - Agentes Estrangeiros não avisam ao HA que o MN se deslocou
        - » MN precisa permanecer na mesma área

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

Professor Miguel Campista

## Redes Móveis Ad Hoc

- Em detalhes na próxima aula...

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

Professor Miguel Campista

## Eliminação do Roteamento Não-ótimo

- Processo de triangulação do IP Móvel
  - Ineficiente se MN e CN estiverem próximos e HA distante
- Possível solução
  - MN envia mensagem de redirecionamento ou com rota pela fonte ao CN
    - CN utiliza mesmo caminho no sentido contrário
  - MN envia mensagens para todos os seus CNs ativos
    - Se a mensagem para um dado CN for perdida, este continua enviando mensagens para o FA antigo
      - Roteamento não-ótimo pode ser melhor nesse caso

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

Professor Miguel Campista

## Eliminação do Roteamento Não-ótimo

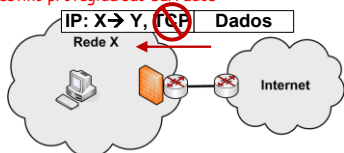
- Problema de segurança
  - Intruso envia um pacote de redirecionamento ao CN
    - Absorção do tráfego entre MN e CN
- Possível solução
  - Autenticação entre todas as possíveis partes
    - MN e seus Nós Correspondentes

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

Professor Miguel Campista

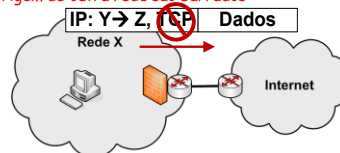
## Verificação do Endereço de Origem

- Facilidade de forjar endereços IP de origem
  - Ocultamento do endereço IP de um atacante
  - Ataque por refletor
- Consequência...
  - Filtragem de pacotes em Firewalls
    - Pacotes com endereço IP de origem igual ao da rede de destino protegida são barrados



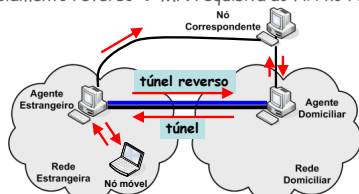
## Verificação do Endereço de Origem

- Facilidade de forjar endereços IP de origem
  - Ocultamento do endereço IP de um atacante
  - Ataque por refletor
- Consequência...
  - Filtragem de pacotes em Firewalls
    - Pacotes originados na rede protegida com endereço IP de origem de outra rede são barrados



## Verificação do Endereço de Origem

- Incompatibilidade com a especificação do IP Móvel
  - MN mantém o endereço IP independente da sua posição
- Solução empregada
  - Tunelamento reverso → MN requisita ao HA no registro



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

Professor Miguel Campista

## Mobilidade e o IPv6

- Requerimentos e arquitetura → Mesmos do IPv4 Móvel
  - Nós Móveis continuam...
    - Usando seus Endereços Domiciliares
    - Comunicando seus COAs aos seus HAs durante o registro

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

Professor Miguel Campista

## Mobilidade e o IPv6

- Implementação → Diferente do IPv4 Móvel
  - Mecanismo de descoberta
    - Realizado pelo procedimento de descoberta de vizinhança e configuração de endereços do IPv6
  - Segurança
    - Permite MNs de notificarem o COA não somente ao HA, mas também ao CN
  - Roteamento por fonte
    - Permite encapsulamento mais eficiente

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

Professor Miguel Campista

## Mecanismos de Descoberta

- Mecanismo de descoberta de vizinhança do IPv6
  - Mecanismo nativo para descoberta das características do enlace local
  - Estações escutam anúncios de rotas
    - Aprendem prefixos e verificam se estão na Rede Domiciliar
  - Não há Agentes Estrangeiros por padrão
    - Estações Móveis recebem endereços da rede visitada

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

Professor Miguel Campista

## Binding Updates

- Mensagens de atualização enviadas aos HAs
  - Carregam um cabeçalho de segurança para autenticação
    - Opção de segurança é utilizada para autenticar a fonte
  - Podem utilizar quatro opções de destino definidas pelo MIPv6
    - Informa ao HA o novo COA
    - Reconhece a recepção do novo COA
    - Requisição do COA atual
    - Identificação do Endereço Domiciliar do MN
      - Endereço na rede domiciliar é o único que não pode obtido através do de origem/destino do pacote

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento

- MIPv6 usa dois endereços para roteamento pela fonte
  - Endereço do COA e endereço do MN na rede domiciliar
- Enquanto o uso do cabeçalho IPv6 é uma pequena mudança comparado com encapsulamento IP-sobre-IP convencional...
  - A opção de endereço domiciliar usado como destino representa um aprimoramento considerável

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

Professor Miguel Campista

## Encapsulamento

- Nó correspondente envia pacotes para o Nó Móvel através do seu COA
  - Procedimento de roteamento por fonte do IPv6
    - CN envia pacote para o endereço domiciliar do MN
    - HA intercepta o pacote e reescreve o cabeçalho, direcionando o pacote até o COA
    - MN recebe o pacote através do seu COA
    - MN envia pacote com endereço IP de origem igual ao do COA e opção de destino com o seu endereço na Rede Domiciliar ao CN
    - CN identifica que o pacote foi enviado pelo MN e envia pacotes destinados ao MN usando roteamento pela fonte passando pelo COA

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

Professor Miguel Campista

## Futuro da Mobilidade

- Computação móvel está em fase inicial
  - Extensões para mobilidade estão sendo padronizadas
  - Serviços para redes sem-fio estão sendo desenvolvidos
- Especialistas consideram que todos computadores serão móveis
- Para isso, avanços precisam ser realizados
  - Protocolos de roteamento devem ser propostos
  - Segurança precisa ser garantida
  - Comunicações baseadas em temporização e controle de congestionamento precisam ser abordadas
    - Exemplo típico → TCP

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

Professor Miguel Campista

## Leitura Recomendada

- Capítulo 13 do livro Christian Huitema, "Routing in the Internet", 2ª. edição, Prentice Hall
- Request For Comments 2002 - IP Mobility Support
  - <http://tools.ietf.org/html/rfc2002>

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

Professor Miguel Campista