

# 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 de qualquer rede
      - Adoção gradual da tecnologia

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

Professor Miguel Campista

## Requisições dos Usuários Móveis

- Definidas pelo IETF para o IP móvel
  - Além dos dois requisitos anteriores, uma estação móvel deve ser capaz de...
    - Não oferecer novas vulnerabilidades ao IP
    - Implementar multicast
    - Manter 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

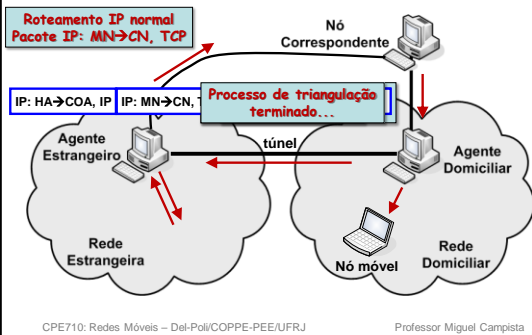
## Modelo Básico do IP Móvel

- 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



## Modelo Básico do IP Móvel

- Processo de triangulação ("dogleg routing") pode ser ineficiente
  - Exemplo:
    - Nó correspondente e nó móvel no Brasil
    - Agente domiciliar no Japão

**Pacote 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

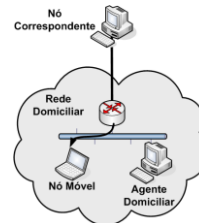
- Agente Domiciliar
  - Precisa se "anunciar" como o roteador do nó móvel
  - Precisa manter a localização do nó móvel
- Nó móvel
  - Precisa descobrir o Agente Domiciliar/Estrangeiro
  - Precisa se registrar no Agente Domiciliar/Estrangeiro para que este concorde em encaminhar seus pacotes
- Agente Domiciliar/Estrangeiro
  - Precisa concordar em encaminhar os pacotes 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...**

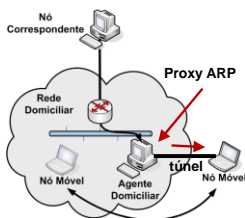
**O próprio nó móvel recebe os pacotes enviados na LAN**

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...**

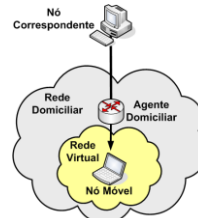
**Agente Domiciliar responde requisições ARP no lugar do nó móvel**

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 pudesse 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 pudesse 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**

## Requisitos do Modelo Básico

- Agente Estrangeiro
  - Precisa se "anunciar" para que o nó móvel possa se registrar
    - Nó móvel descobre a existência do Agente Estrangeiro e inicia o processo de registro
      - 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

- Agente Estrangeiro
  - Precisa se "anunciar" para que o nó móvel possa se registrar
    - Nó móvel descobre a existência do Agente Estrangeiro e inicia o processo de registro
      - Se tudo ocorrer bem, o Nó Móvel envia ao Agente Domiciliar o seu Care-of-Address (COA)

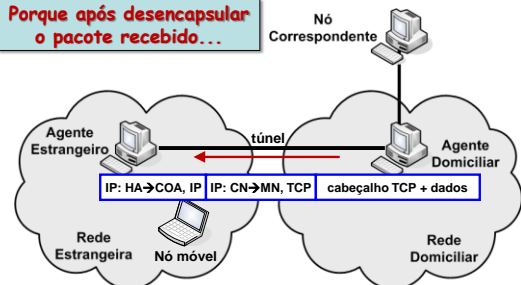
**Mas por que o nó móvel precisa se registrar no Agente Estrangeiro?**

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

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

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

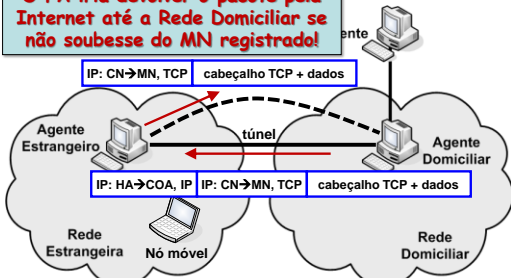


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

O FA iria devolver o pacote pela Internet até a Rede Domiciliar se não soubesse do MN registrado!

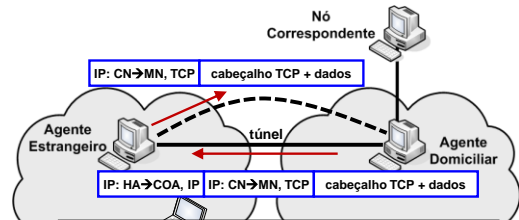


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Requisitos do Modelo Básico

É necessário, portanto, uma "exceção", já que o FA deve saber que o MN está conectado a ele, mesmo com endereço da Rede Domiciliar



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

## Movimentação de Rede em Rede

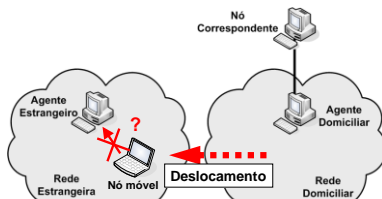
- Se a movimentação for muito rápida...
  - Pacotes em trânsito podem ser perdidos caso o CoA fique desatualizado
    - Nesse caso, os pacotes em trânsito são perdidos!

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

Professor Miguel Campista

## E Se Não Houver Agente Estrangeiro?

- Agente 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 como aconteceria com um nó qualquer
- 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
    - Um CoA Vs. N MNs
  - Perda de pacotes em trânsito
    - Desaparecimento do FA imediatamente após o deslocamento do nó móvel para outra rede

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

Professor Miguel Campista

## E Se Não Houver Agente Estrangeiro?

- 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
    - Descoberta e Registro
  - Definição de procedimentos adicionais
    - Por exemplo, 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 protocolo de descoberta de roteadores em redes locais
  - Envia 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
  - Extensão das mensagens ICMP para anúncio de roteadores
  - Mensagem possui, além do endereço do roteador:
    - Número de sequência
    - Tempo de vida do registro
    - Flags
      - Indicam se registro é necessário, se o roteador pode cumprir o papel de agente domiciliar/estrangeiro, que tipo de encapsulamento (tunelamento) é suportado etc.
    - Lista com pelo menos um CoA
    - Tamanho dos prefixos anunciados na parte padrão da mensagem de anúncio de roteadores

Tópicos Especiais em Roteamento na Internet – TET/UFF

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 mensagens de anúncios de agentes
  - Periódico
    - 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

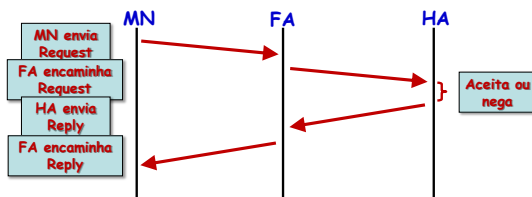
- Após descobrir o novo FA, o nó móvel deve...
  - Registrar com o novo agente
  - Transmitir o CoA ao Agente Domiciliar
- Pode ser feito de duas formas
  - Usando quatro ou seis mensagens

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Primeiro procedimento de registro (4 mensagens)
  - 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
    - CoA conhecido nas mensagens de anúncio de agentes
  - Identificação da request (64 bits)
  - Parâmetros de extensão
    - Inclui extensão para autenticação

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Request e Reply são enviados sobre UDP
- Mensagem de Reply contém:**
  - Tipo da mensagem (Reply, 3)
  - Flags
    - Indica se a requisição foi aceita ou não e, caso negada, quem negou (FA ou HA?) e o porquê
  - Tempo de vida do registro concedido
  - Endereços do MN e HA
  - Identificação do request associado (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

- 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
- É necessário, portanto, que a identificação e a autenticação estejam corretas para que o HA aceite a requisição**
- 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

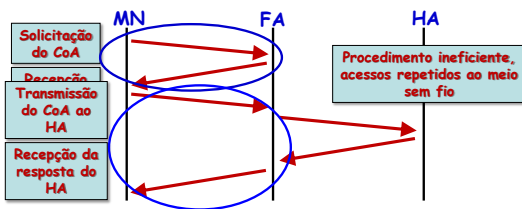
- Confiabilidade
  - Perda de uma mensagem Request ou Reply
    - Nó Móvel dispara novo processo de registro
      - Mensagem de request usa novo identificador
    - Agentes apenas encaminham tráfego
      - Nunca iniciam ou repetem mensagens por conta própria
        - Participação totalmente passiva no processo

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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Registro

- Segundo procedimento de registro
  - Usando seis mensagens



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

Professor Miguel Campista

## Procedimento de Encapsulamento

- Procedimento de tunelamento é comum em outros cenários, por exemplo...
  - Estabelecimento de túneis entre áreas desconectadas de uma mesma rede
  - Estabelecimento de túneis 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

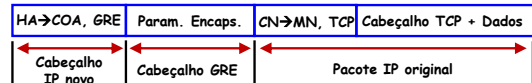
- IP Móvel oferece três tipos de tunelamento:
  - Encapsulamento genérico de roteamento (*Generic Routing Encapsulation - GRE*)
    - RFC 1701
  - Procedimento básico
    - RFC 2003
  - Encapsulamento mínimo
    - RFC 2004

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

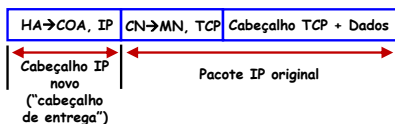
- A generalidade do GRE é útil quando o tunelamento é usado:
  - Em interconexões de redes
  - Em roteamento baseado em políticas
- No caso do IP Móvel...
  - Soluções mais simples podem ser empregadas

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

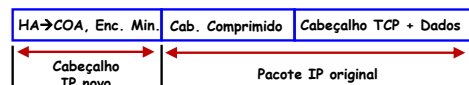


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

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

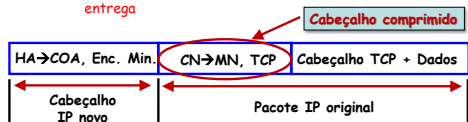


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

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

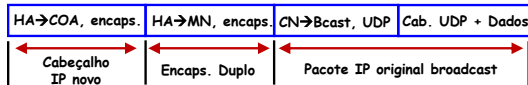
- Uma vez na Rede Domiciliar...
  - Nós Móveis recebem cópias de mensagens enviadas em broadcast e multicast
- Uma vez na Rede Estrangeira...
  - Nós móveis poderiam receber mensagens enviadas em broadcast e multicast nas suas Redes Domiciliares
    - HA pode encaminhar as mensagens através do túnel
      - 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 Domiciliário pode usar Encapsulamento Duplo

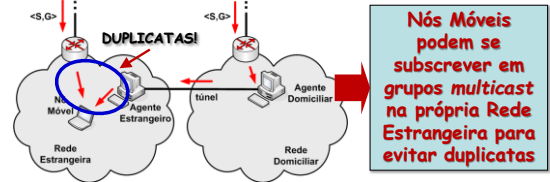


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

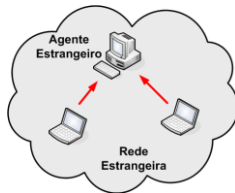
## Encapsulamento Duplo

- Utilizado para mensagens *multicast* e *broadcast*
  - Nós Móveis podem se inscrever remotamente a grupos *multicast* na sua Rede Domiciliária
    - 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

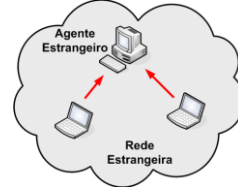


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

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 Domiciliário
  - Simplicidade, porém...
    - Fragilidade
      - Caso o Agente Domiciliário falhe
        - 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

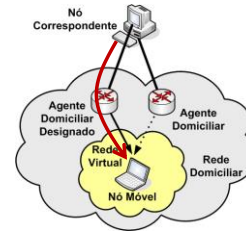
- Possível solução para suporte a múltiplos HA
  - Eleição de HA designado → Semelhante ao OSPF
  - HA designado captura os pacotes enviados ao HA convencional
  - HA mantém os roteadores da mesma área informados sobre a localização do MN por inundação
    - Qualquer HA pode localizar o MN, capturar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

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

Professor Miguel Campista

## Aglomerados de Agentes Estrangeiros

- Modelo com Agentes Estrangeiros aglomerados
  - CoA sempre diferente do endereço IP do FA
  - Endereço do CoA = Qualquer endereço de FA nesta área que possa ser mantido pelo MN
    - Todos os Agentes Estrangeiros podem encaminhar pacotes ao MN
      - » Posição do MN deve ser mantida apenas dentro da área
    - 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

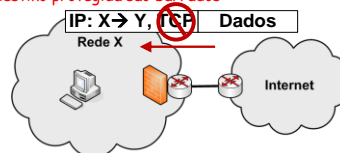
- Problema de segurança
  - Intruso envia um pacote de redirecionamento ao CN
    - Captura do tráfego enviado pelo CN ao MN
- Possível solução
  - Autenticação entre todas as possíveis partes
    - MN e seus Nós Correspondentes

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

Professor Miguel Campista

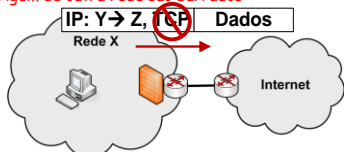
## Verificação do Endereço de Origem

- 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



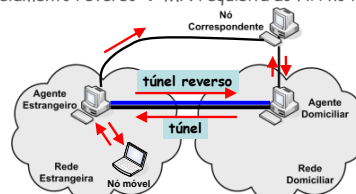
## Verificação do Endereço de Origem

- 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 ou na Estrangeira**
  - 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 ser obtido através do endereço 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