

Aula 11

Redes Sem-Fio e Mobilidade

Mobilidade: Conceitos e Mecanismos

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II

ATENÇÃO!

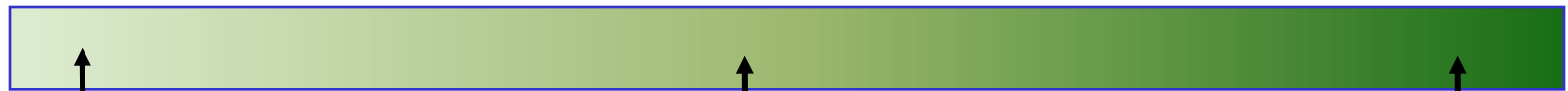
- Este apresentação é contém partes baseadas nos seguintes trabalhos
 - Notas de aula do Prof. Marcelo Rubinstein, disponíveis em <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi>
 - Notas de aula do Prof. José Augusto Suruagy Monteiro, disponíveis em <http://www.nuperc.unifacs.br/Members/jose.suruagy/cursos>
 - Material complementar do livro Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Jim Kurose and Keith Ross, Addison-Wesley, abril de 2009
 - Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, 4a. Edição, Editora Prentice Hall
 - Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. - "Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, p. 47-101, maio de 2010

O Que é Mobilidade?

- Grau de mobilidade
 - Perspectiva de rede

Sem mobilidade

Alta mobilidade



Usuário móvel que
usa o mesmo
ponto de acesso

Usuário móvel que
está conectando/
desconectando da
rede e usa DHCP

Usuário móvel passando
por múltiplos pontos de
acesso enquanto mantém
conexões ativas (como
uma chamada de celular)

O Que é Mobilidade?

- Grau de mobilidade
 - Perspectiva de rede

Sem mobilidade



Um nó é móvel se o seu endereço IP muda durante a troca de pontos de acesso

Usuário móvel que usa o mesmo ponto de acesso

Usuário móvel que está conectando/desconectando da rede e usa DHCP

Usuário móvel passando por múltiplos pontos de acesso enquanto mantém conexões ativas (como uma chamada de celular)

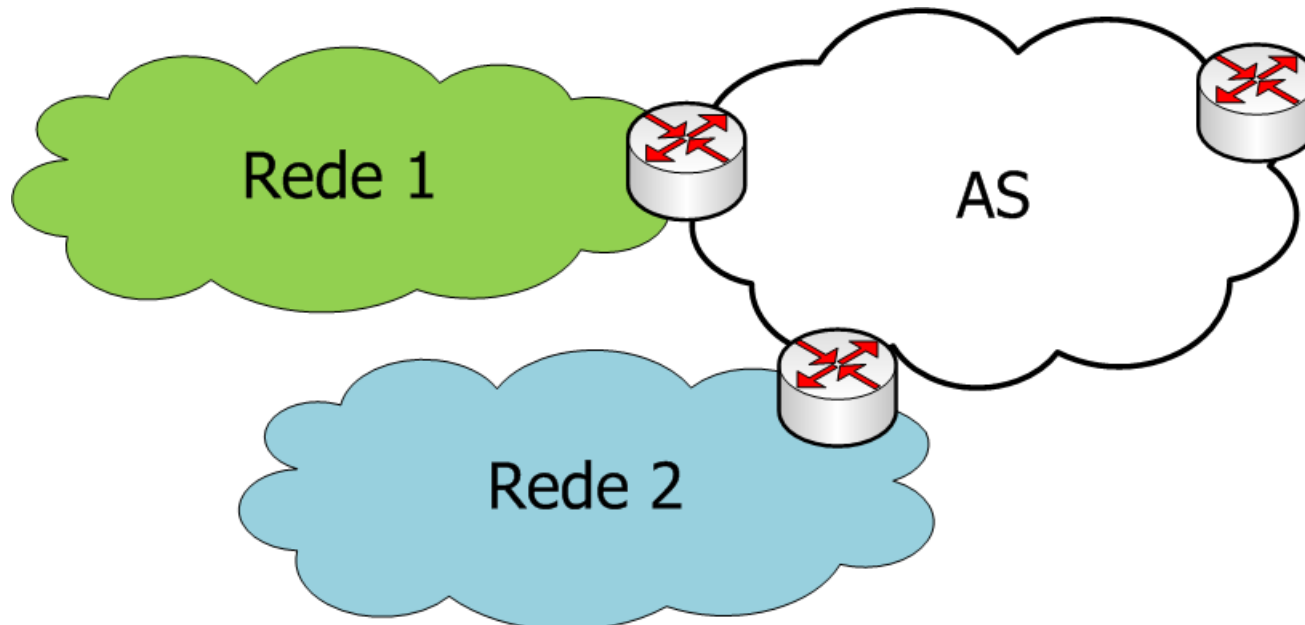
- Requisito das redes sem-fio
 - Principal desafio à arquitetura original da Internet
 - Estações móveis x Estações fixas

Ex.: Operação do protocolo TCP considera que atrasos e perda de pacotes são devido a congestionamentos na rede, já que as perdas são negligenciáveis

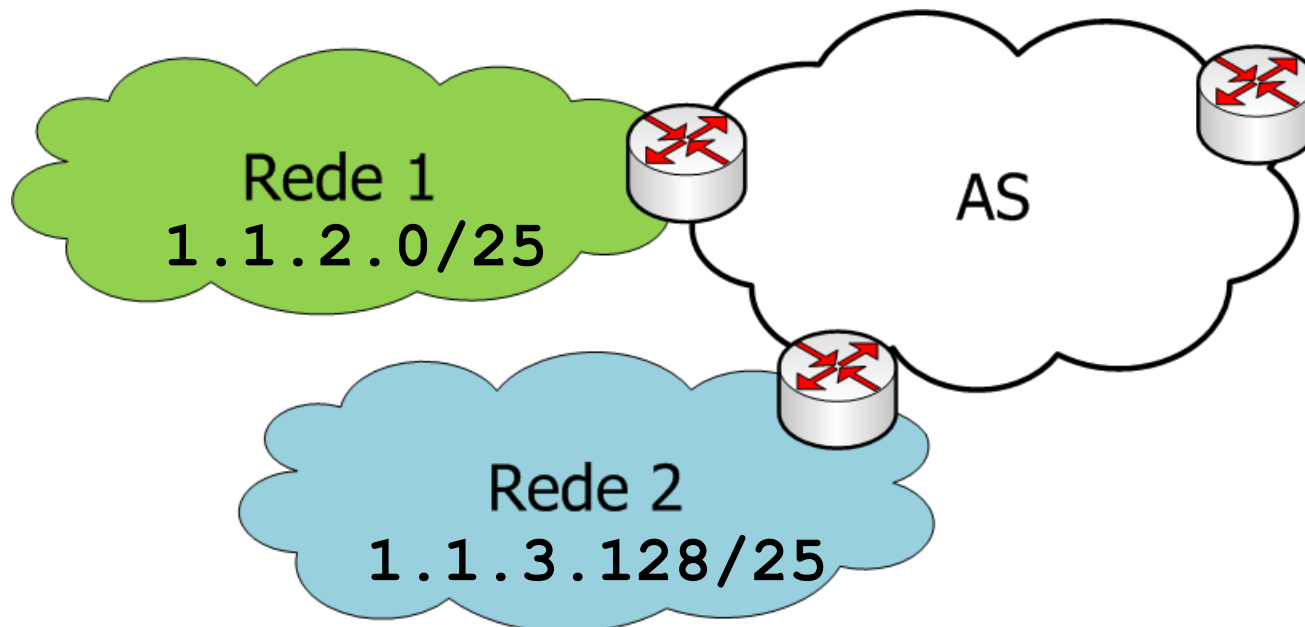


Nas redes sem-fio essa premissa não é verdadeira...

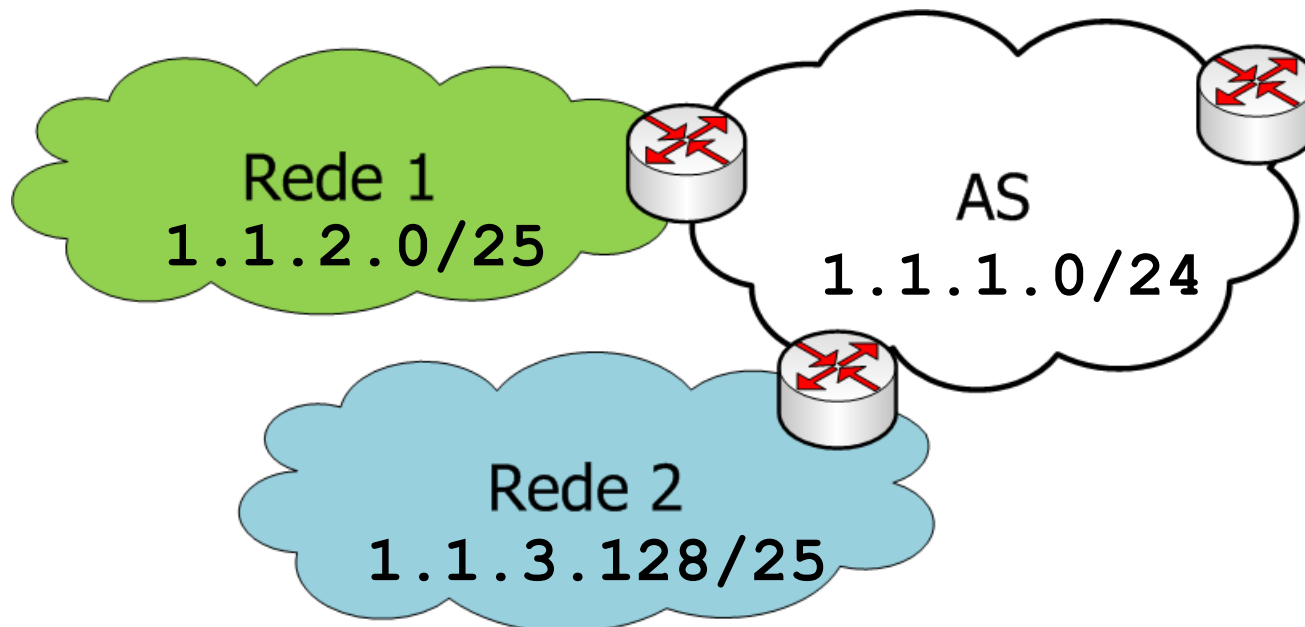
- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



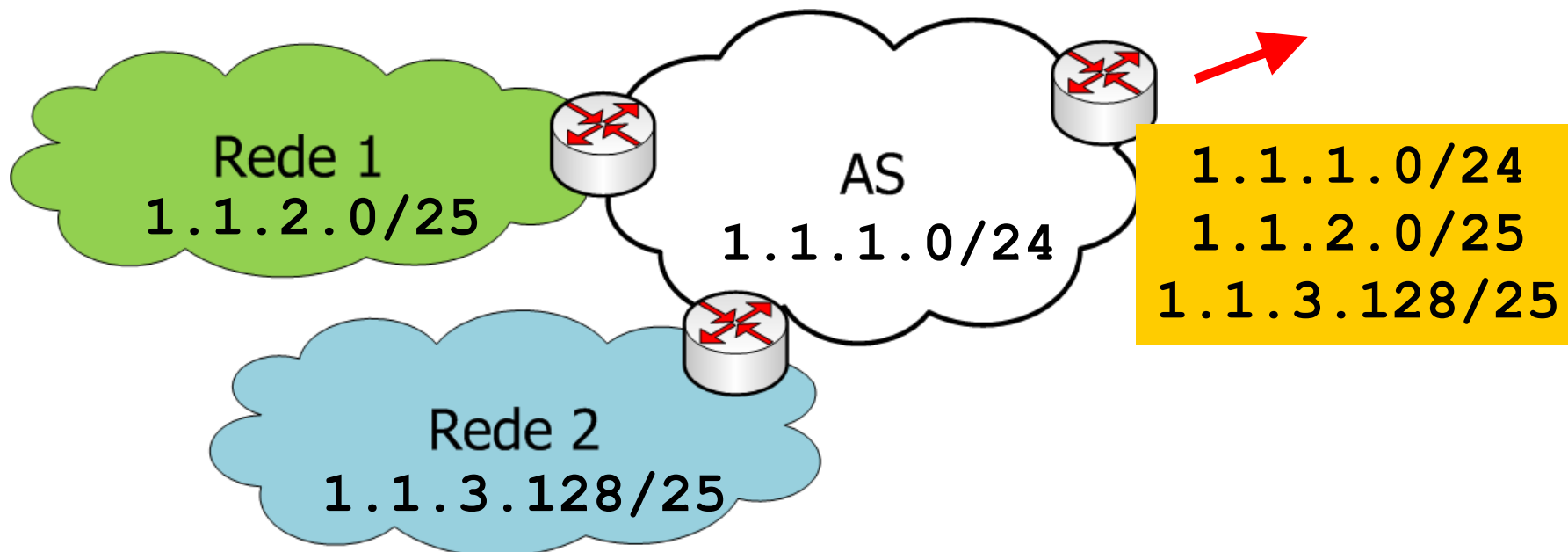
- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



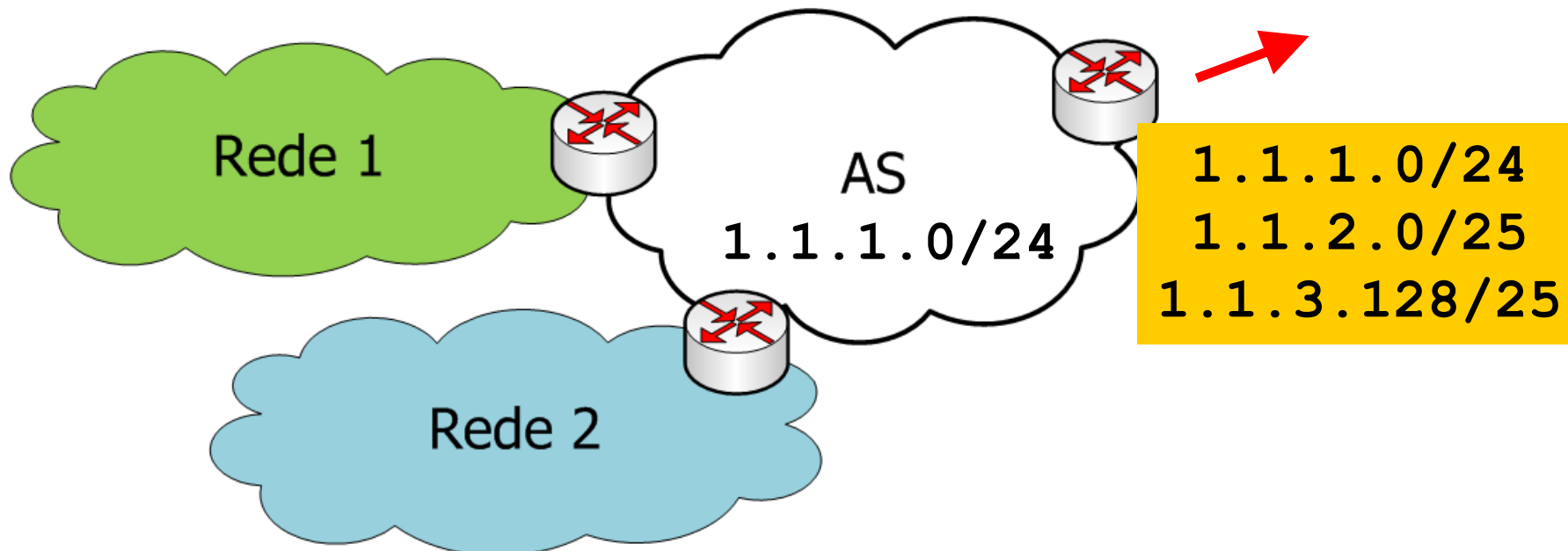
- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



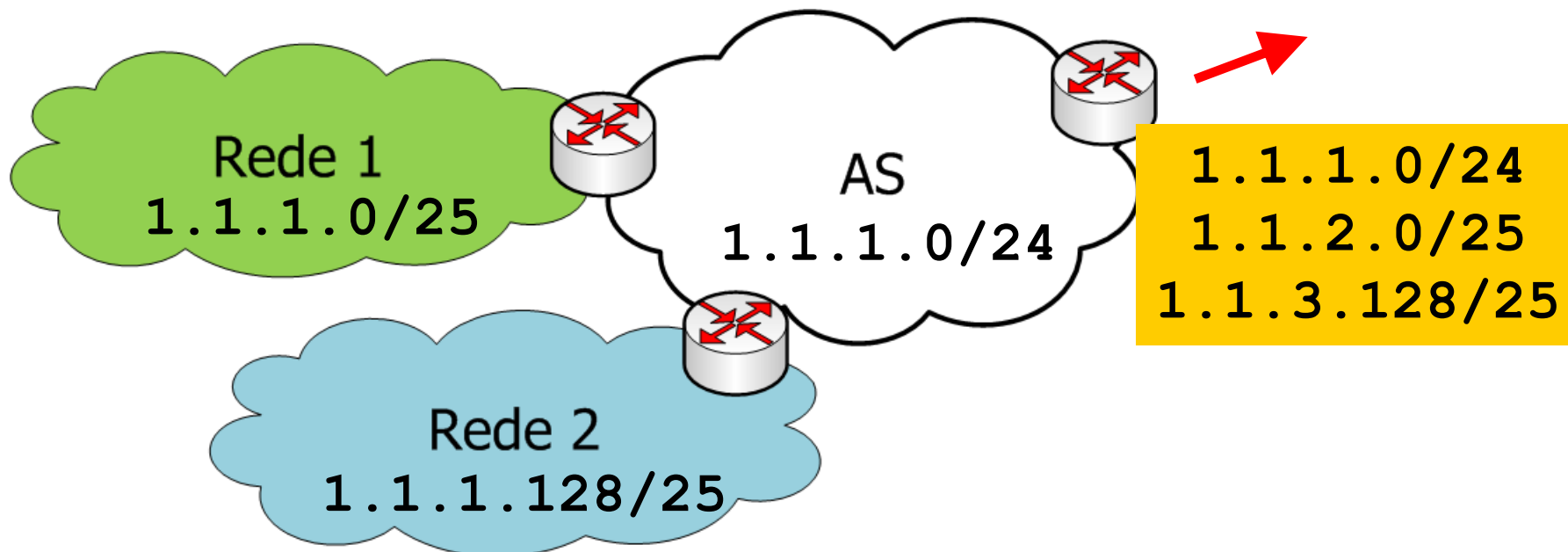
- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



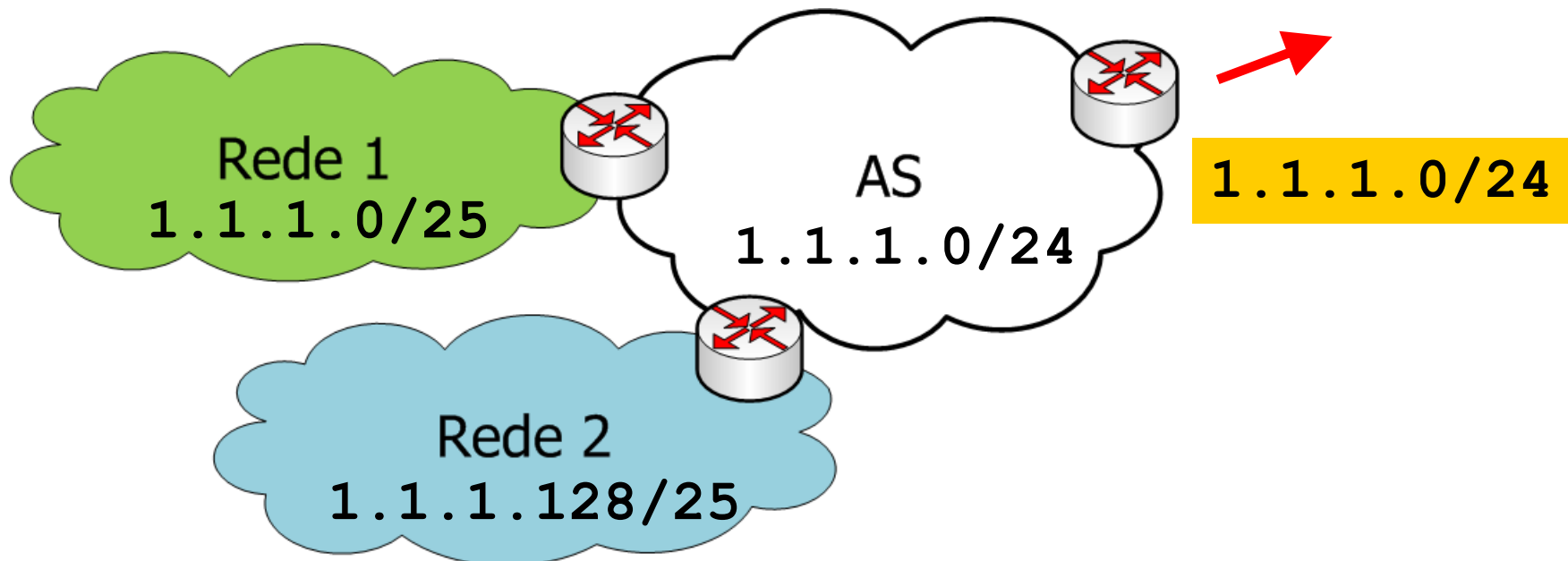
- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



- Desafios na interconexão de redes
 - Relacionados ao endereçamento e roteamento de pacotes
 - Estrutura original de endereços é organizada hierarquicamente
 - Possibilita a agregação de rotas



Estrutura do Endereçamento IP

- Possibilitou a agregação de rotas
 - Aumento da escalabilidade do roteamento
 - Menor número de entradas nas tabelas de roteamento
 - Simplificação da busca de entradas nas tabelas

Entretanto...

- Levou à organização geográfica dos endereços IP
 - Associação do endereço IP com a **localização** da estação
 - Tradução da **identificação** da estação no endereço IP
 - DNS (*Domain Name System*)

Estrutura do Endereçamento IP

- Endereço IP \equiv Identificação + Localização

Problema da
“semântica sobrecarregada”
do endereço IP

- Problema representa um entrave à mobilidade das estações

Movimentação
das estações



Mudança da
localização



Mudança do
endereço IP

Problema

- Na vida real



Qual o seu
nome?

Shrek



Problema

- Na vida real



Qual o seu
nome?

Onde você
mora?

Shrek

No pântano



Problema

- Na Internet



Qual o seu
nome?

Shrek do
pântano



Problema

- Na Internet



Qual o seu
nome?

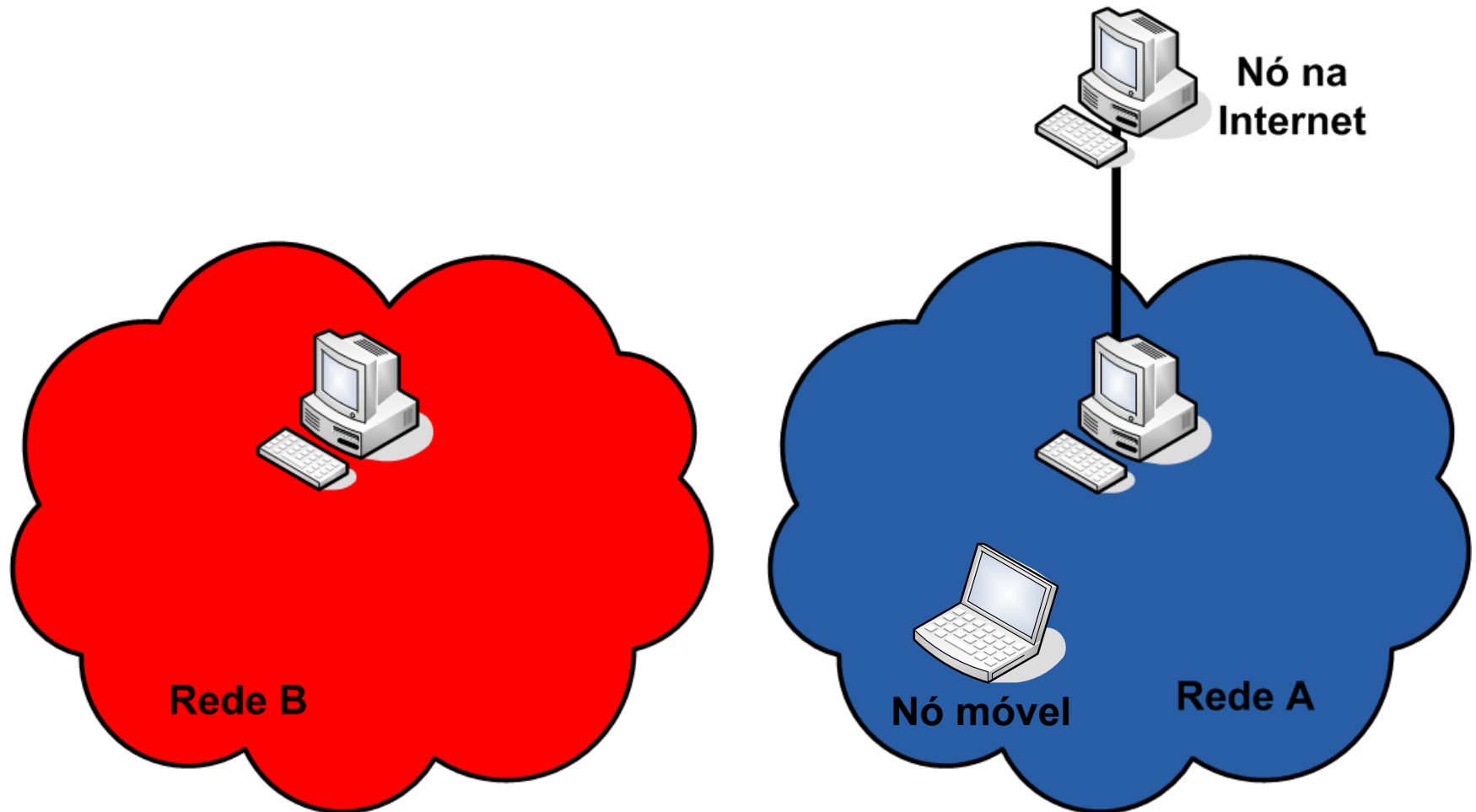
E se você se
mudar?
Como falo com
você?

Shrek do
pântano



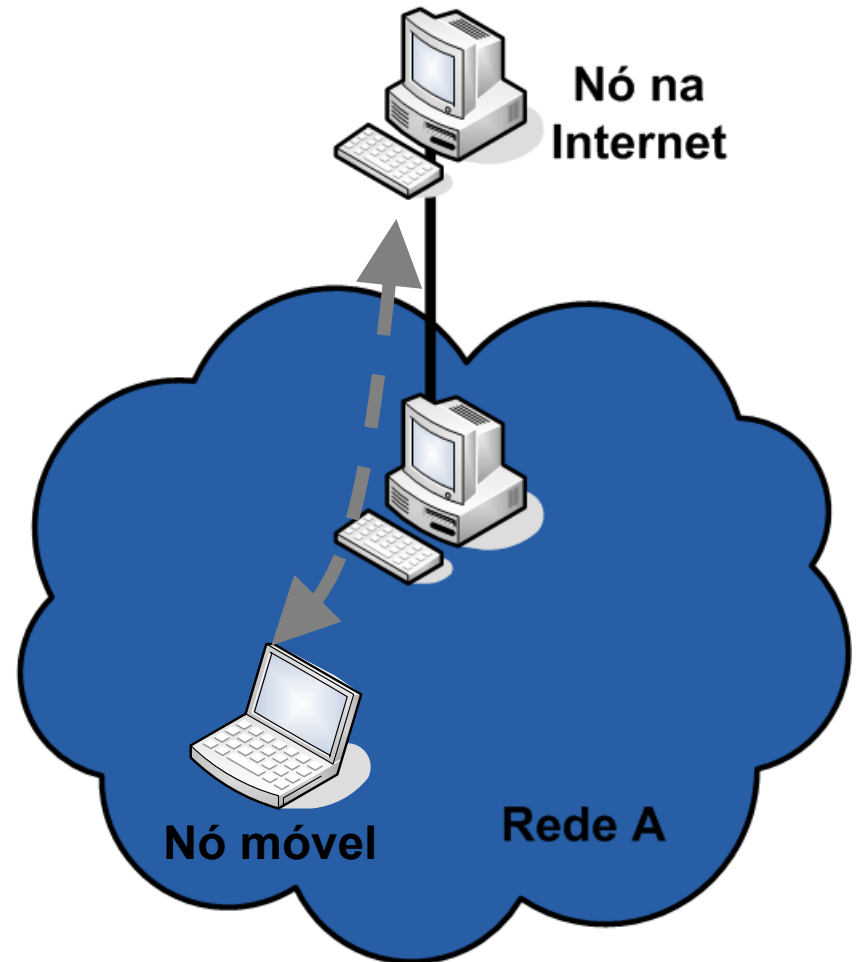
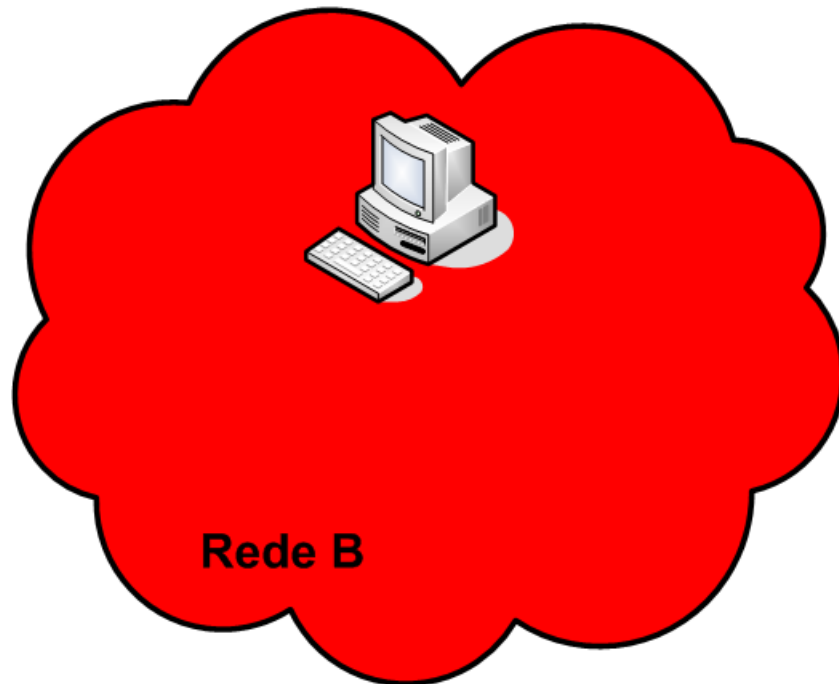
???

Mobilidade das Estações



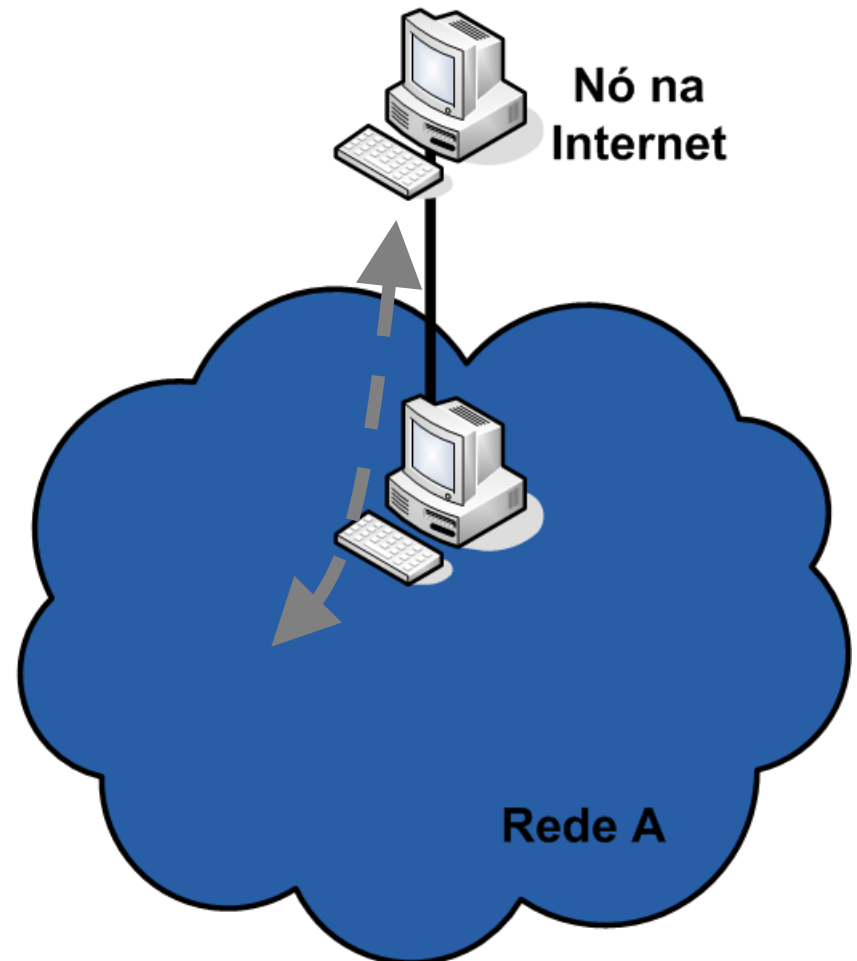
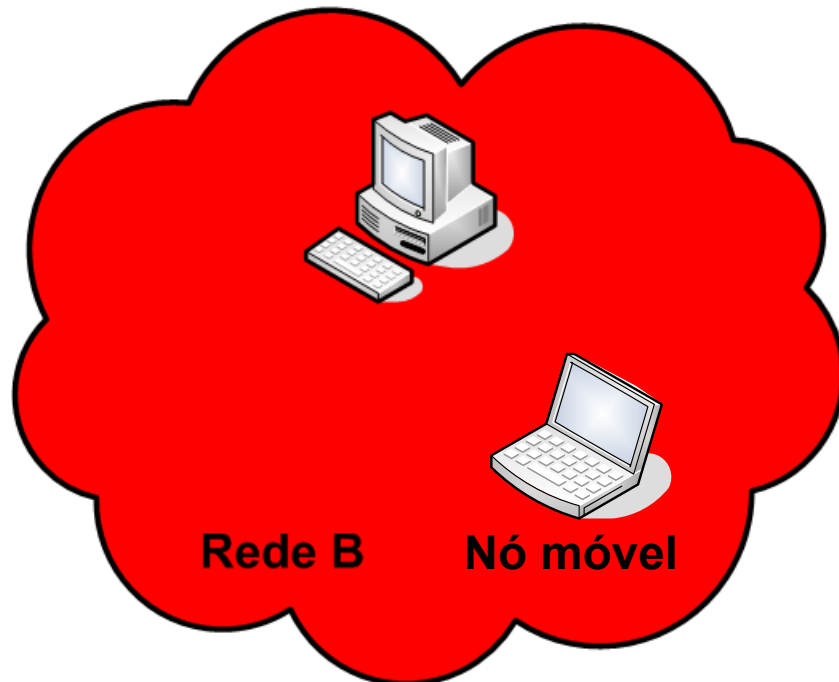
Mobilidade das Estações

Conexão TCP estabelecida:
Nó Móvel: Endereço IP_A , Porta
Nó Internet: Endereço IP_I , Porta



Mobilidade das Estações

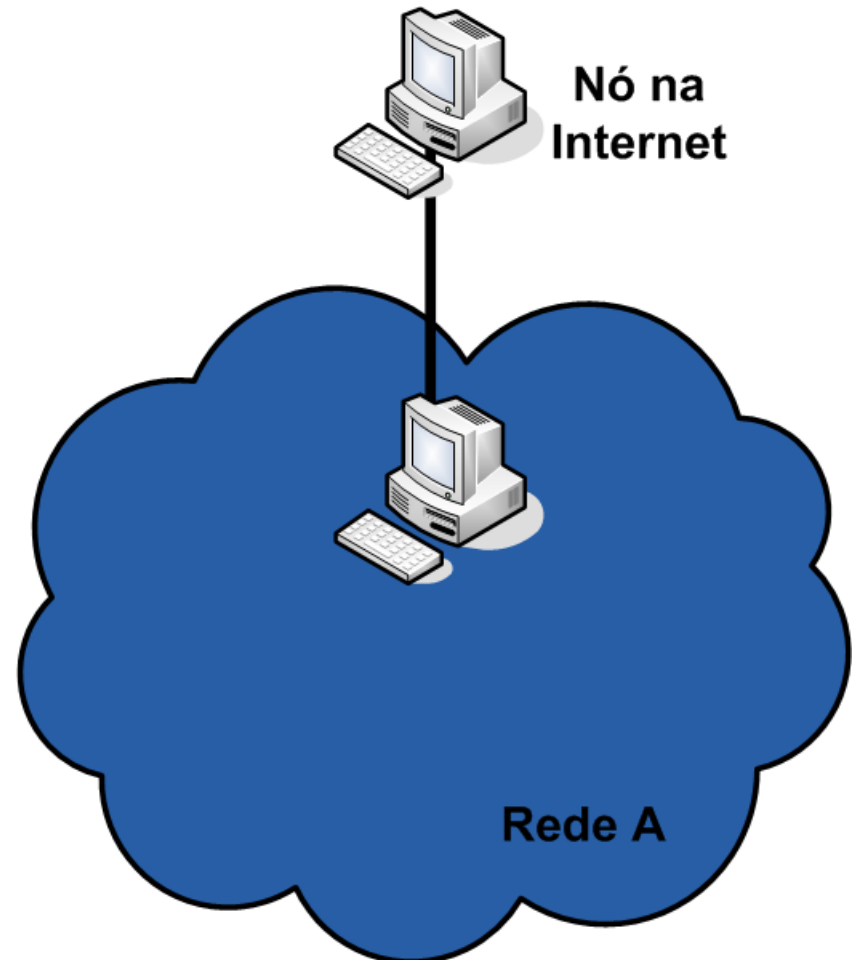
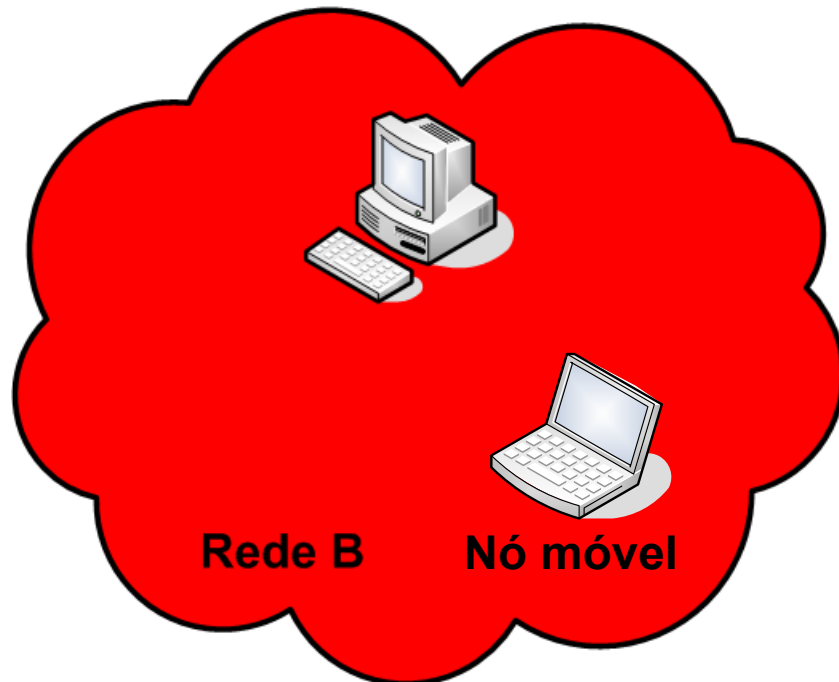
Conexão TCP estabelecida:
Nó Móvel: **Endereço IP_A**, Porta
Nó Internet: **Endereço IP_I**, Porta



Nó Móvel muda de rede e recebe **Endereço IP_B**

Mobilidade das Estações

Conexão TCP estabelecida:
Nó Móvel: ~~Endereço~~ IP_A , Porta
Nó Internet: Endereço IP_I , Porta



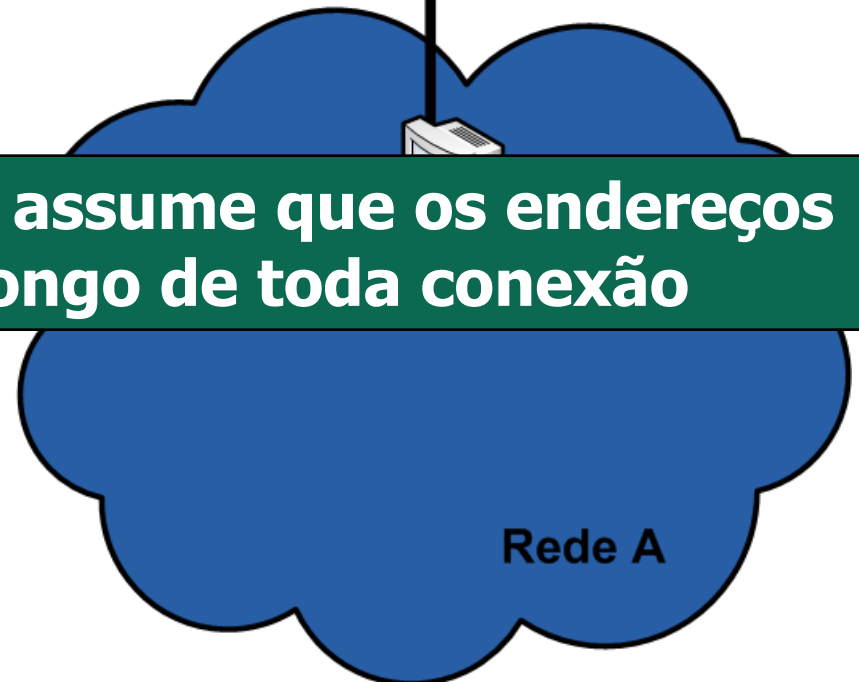
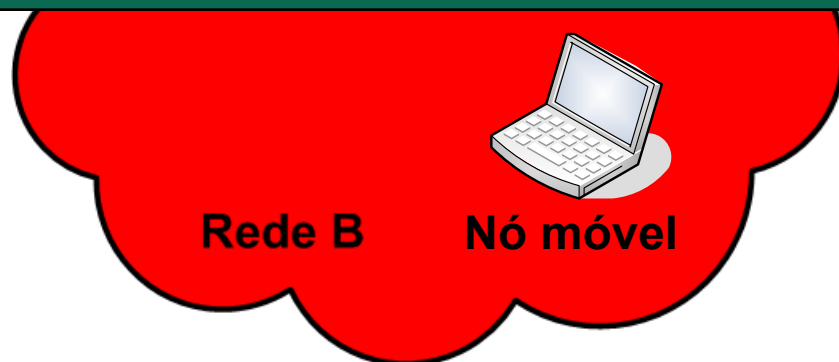
Conexão é terminada já que o Endereço IP do nó móvel muda

Mobilidade das Estações

Conexão TCP estabelecida:
Nó Móvel: ~~Endereço~~ IP_A , Porta
Nó Internet: Endereço IP_I , Porta



O modelo atual da Internet assume que os endereços IP são invariantes ao longo de toda conexão



Conexão é terminada já que o Endereço IP do nó móvel muda

Como solucionar esse problema?

Como Contatar um Nó Móvel?

- Como encontrar uma estação que frequentemente muda o seu endereço?
 - Analogia com a busca por uma amiga
 - Procura em todas a agendas de telefones?
 - Liga para os seus pais?
 - Espera que a sua amiga diga onde ela está?



Mobilidade das Estações

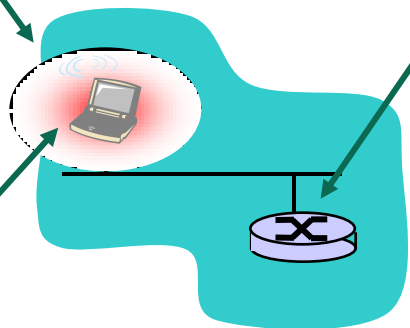
- Possíveis soluções
 - IP Móvel
 - Endereço IP da estação é mantido após mudança de rede
 - Uso de túneis
 - Manutenção das conexões pré-estabelecidas
 - Nomenclatura
 - Nó móvel (*Mobile Node* - MN)
 - Nó correspondente (*Corresponding Node* – CN)
 - Agente estrangeiro (*Foreign Agent* – FA)
 - Agente domiciliar (*Home Agent* – HA)
 - *Care of Address* (CoA)
 - Rede estrangeira e domiciliar

Mobilidade: Conceitos

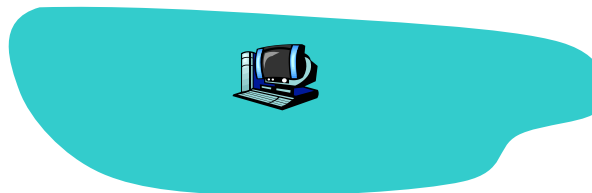
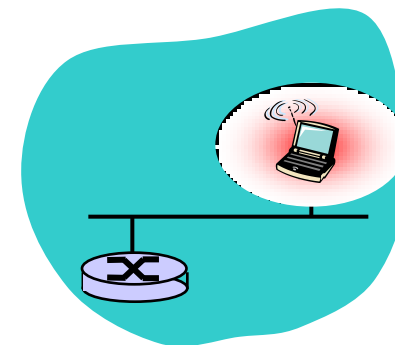
Rede domiciliar: rede permanente do nó móvel
(ex: 128.119.40/24)

Agente domiciliar: entidade que implementa as funções de mobilidade para o nó móvel quando ele está fora da sua rede domiciliar

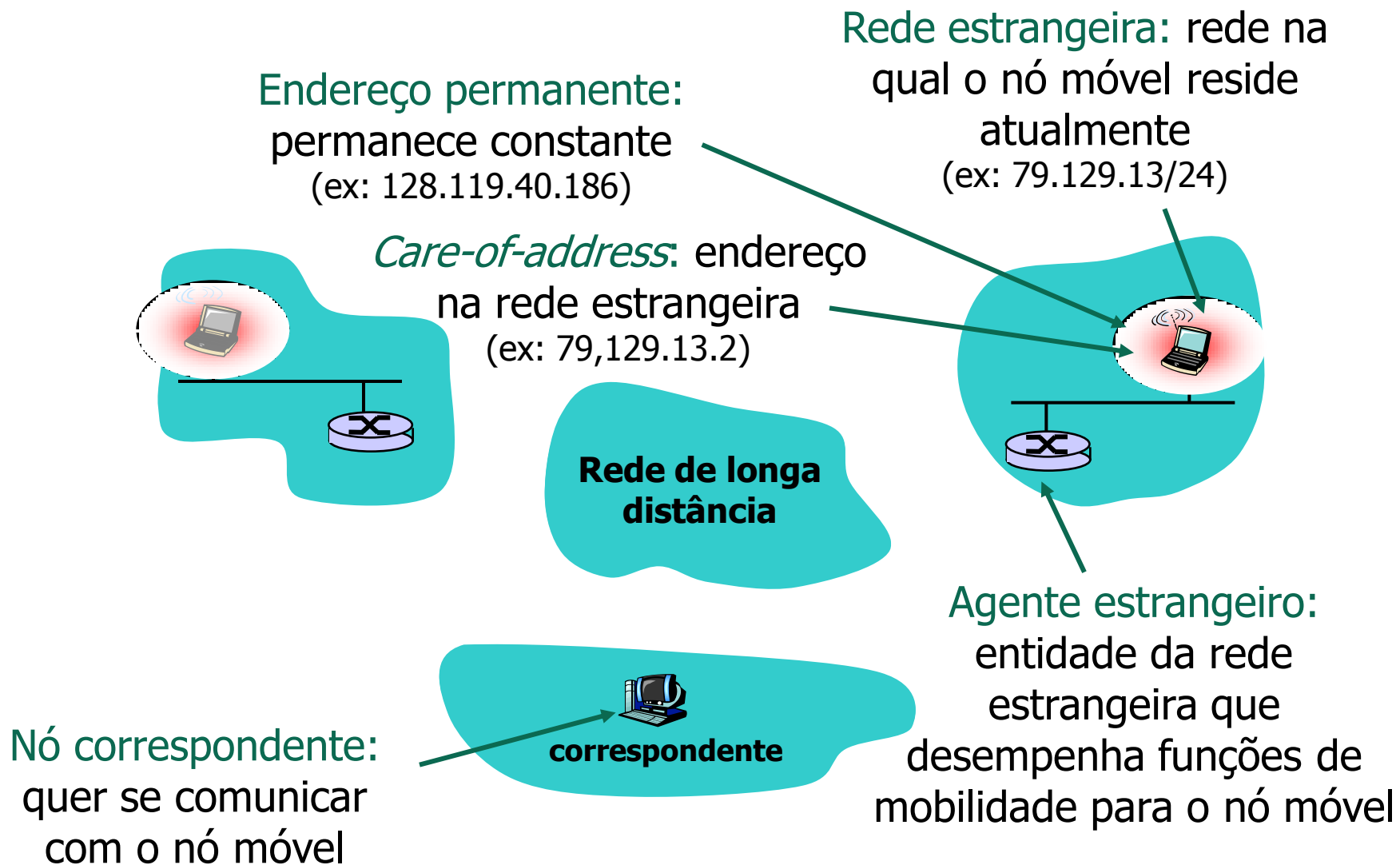
Endereço permanente: endereço na rede domiciliar; sempre pode ser usado para alcançar o nó móvel
ex.: 128.119.40.186



Rede de longa distância



Mobilidade: Conceitos



Mobilidade: Abordagens

1. O **roteamento** trata a mobilidade
 - Roteadores informam os endereços permanentes dos nós móveis residentes na sua sub-rede
 - Através da troca usual de tabelas de roteamento
 - Tabelas de roteamento indicam onde cada nó móvel está localizado
 - Não exige modificações nos sistemas finais

1. O **roteamento** trata a mobilidade
 - Roteadores informam os endereços permanentes dos nós móveis residentes na sua sub-rede
 - Através da troca usual de tabelas de roteamento
 - Tabelas de roteamento indicam onde cada nó móvel está localizado
 - Não exige modificações nos sistemas finais

Problema:
Não é escalável para milhões de nós móveis!

2. Os **sistemas finais** tratam a mobilidade

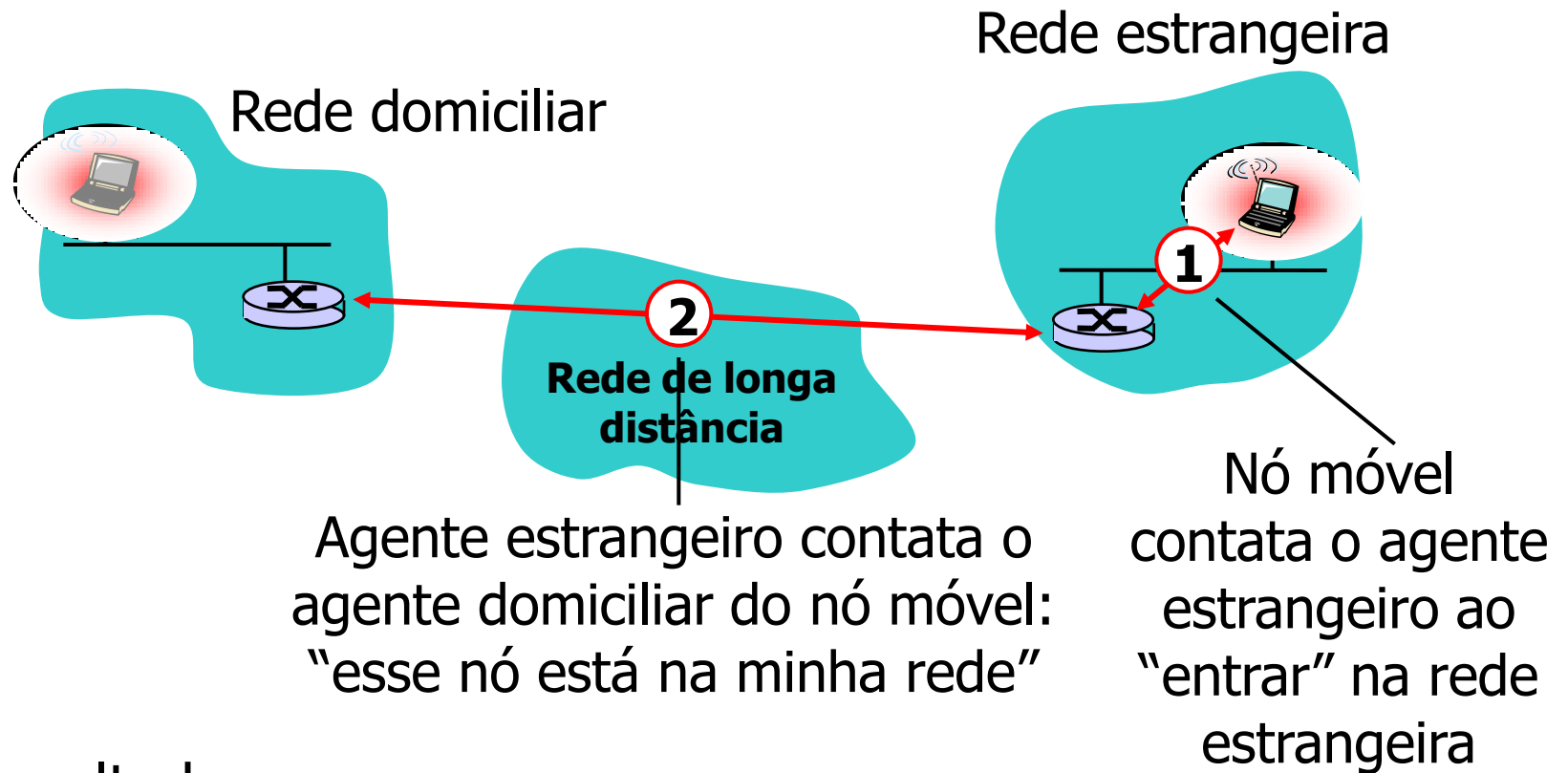
– Roteamento **indireto**

- Comunicação entre o nó correspondente e o nó móvel passa pelo **agente domiciliar**
 - Nó correspondente envia os pacotes para o agente domiciliar que os encaminha para o nó móvel

– Roteamento direto

- Nó correspondente obtém o endereço do nó móvel na rede estrangeira
 - Envia diretamente os pacotes para o nó móvel

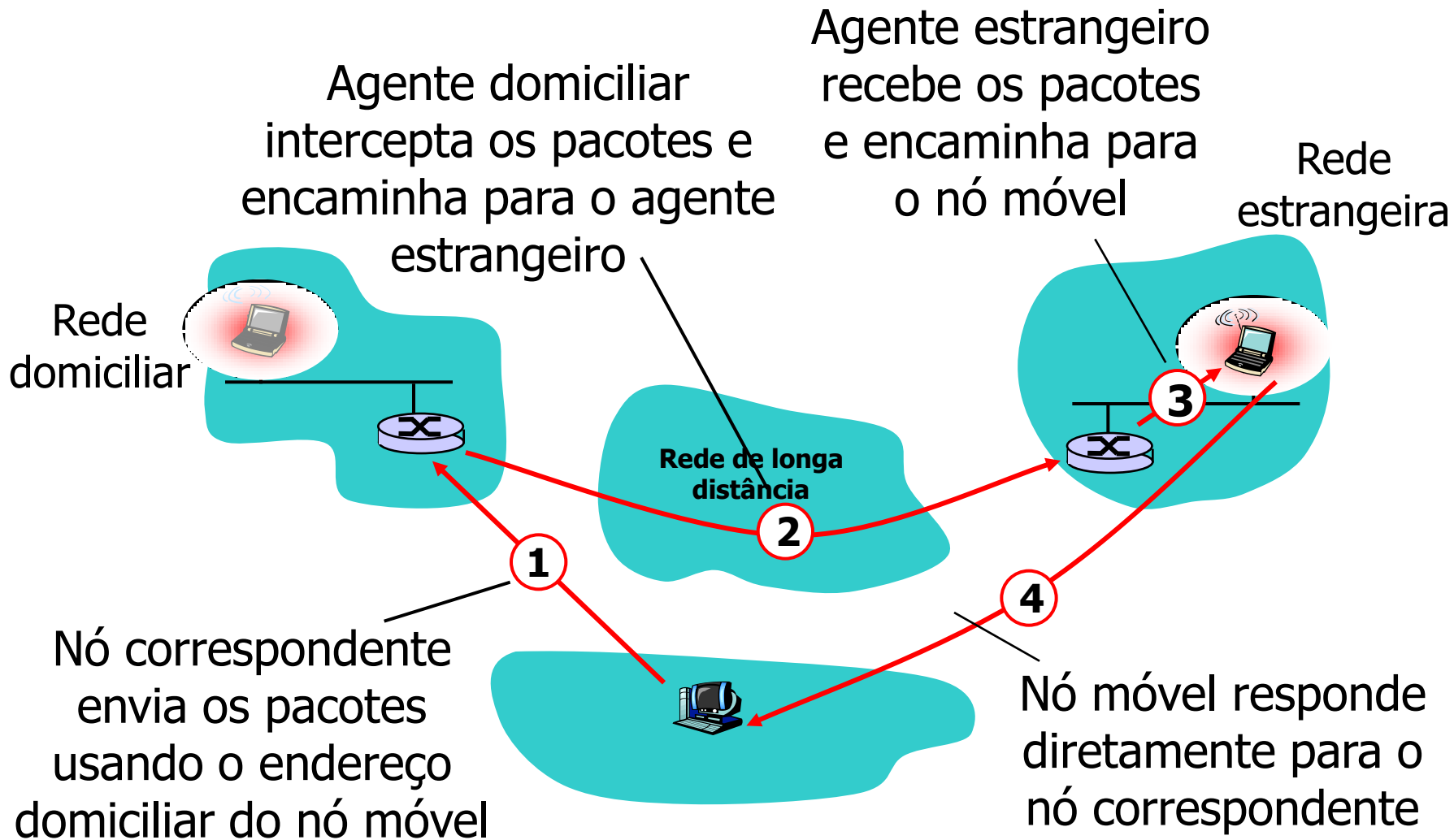
Mobilidade: Registro



Resultado

- Agente estrangeiro sabe sobre a presença do nó móvel na sua rede
- Agente domiciliar sabe a localização do nó móvel

Mobilidade: Roteamento Indireto



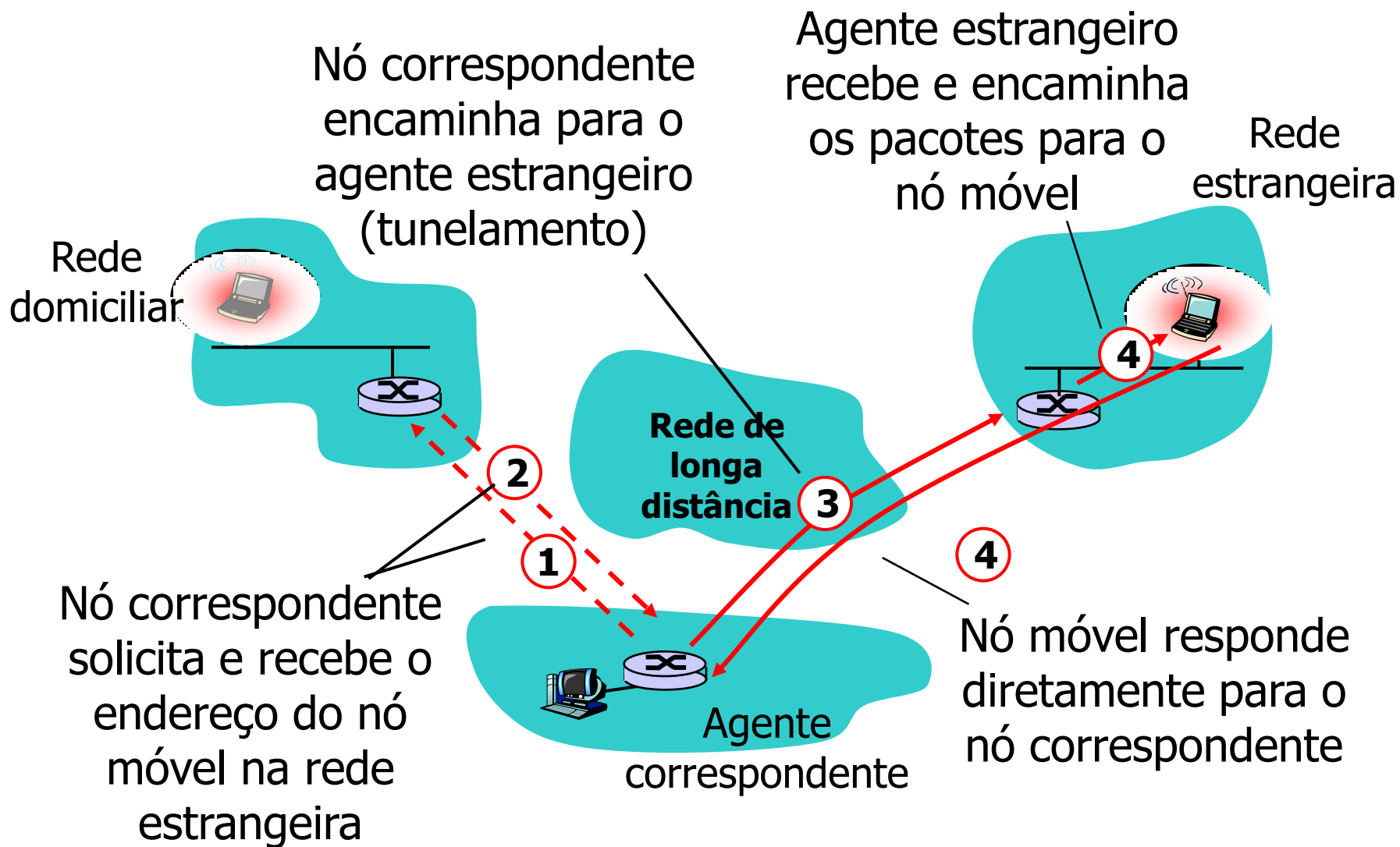
Mobilidade: Roteamento Indireto

- Nó móvel usa **dois endereços**
 - **Endereço permanente** usado pelo nó correspondente
 - A localização do nó móvel é transparente para o nó correspondente
 - *Care-of-address* usado pelo agente domiciliar para encaminhar os pacotes para o nó móvel
- Funções do agente estrangeiro podem ser feitas pelo próprio nó móvel
- **Roteamento triangular**
 - Nó correspondente \leftrightarrow rede domiciliar \leftrightarrow nó móvel
 - Ineficiente quando o nó correspondente e o nó móvel estão na mesma rede

Mobilidade: Roteamento Indireto

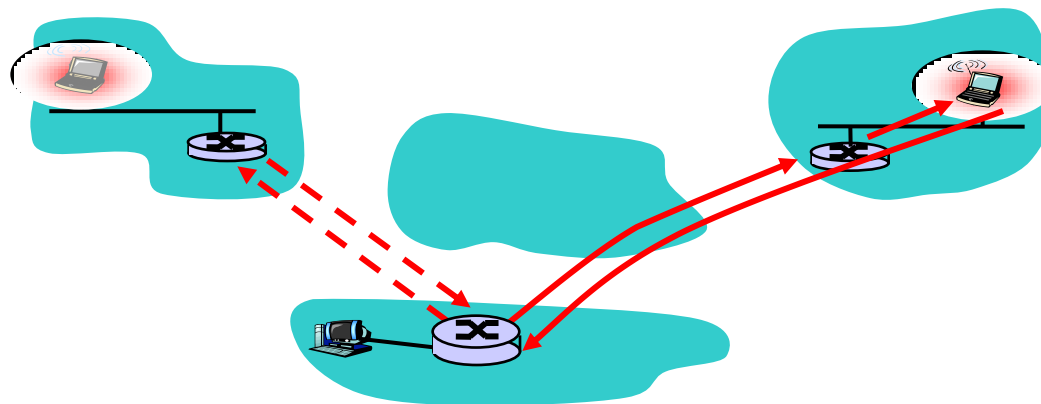
- Assuma que o nó móvel vá para outra rede
 - Se registra com um novo agente estrangeiro
 - O novo agente estrangeiro se registra com o agente domiciliar
 - O agente domiciliar atualiza o *care-of-address* do nó móvel
 - Os pacotes continuam a ser encaminhados para o nó móvel
 - Agora com o novo *care-of-address*
- Mudança de rede estrangeira é transparente
 - Conexões em andamento são mantidas

Mobilidade: Roteamento Direto



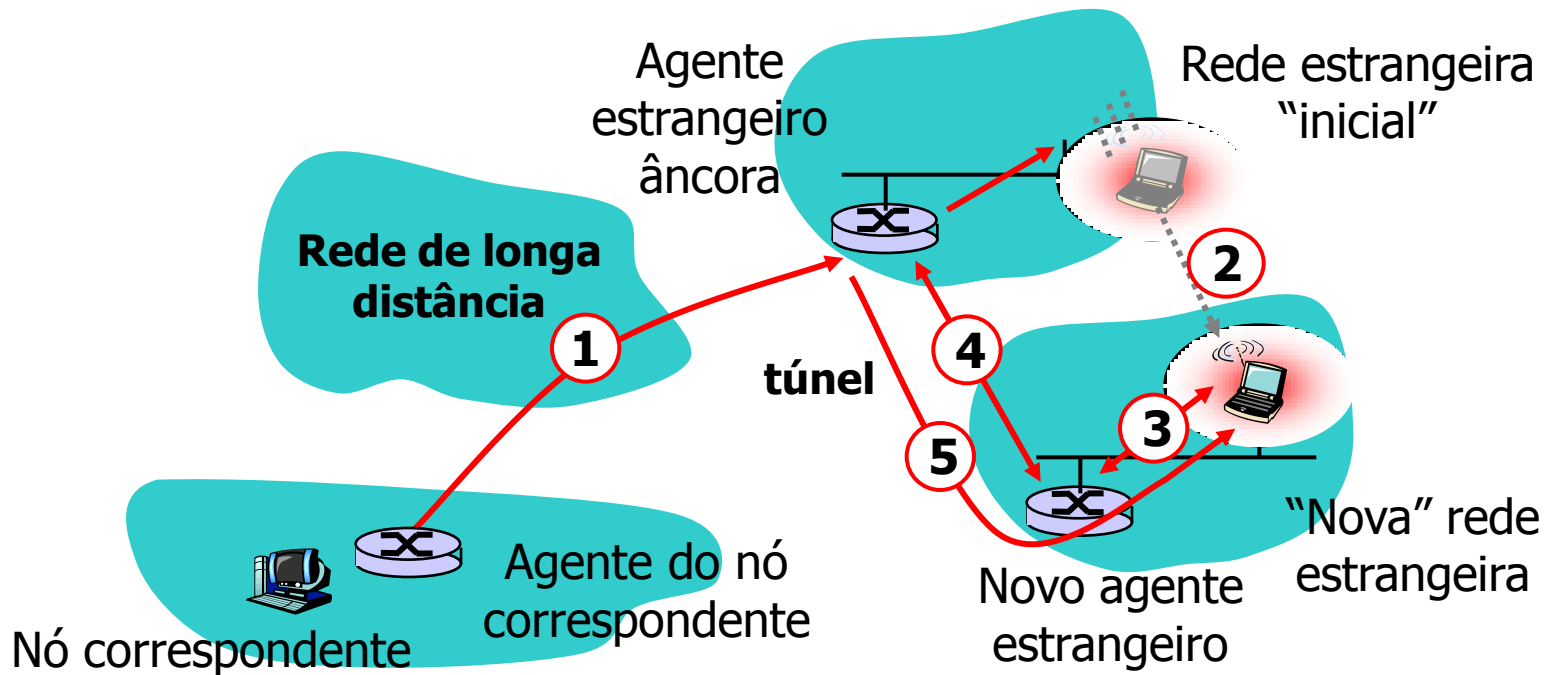
Mobilidade: Roteamento Direto

- Evita o problema da triangulação no roteamento (+)
- Não é transparente para o nó correspondente (-)
 - Nó correspondente deve solicitar e receber o *care-of-address* do agente domiciliar
 - O que acontece quando o nó móvel muda a rede estrangeira?



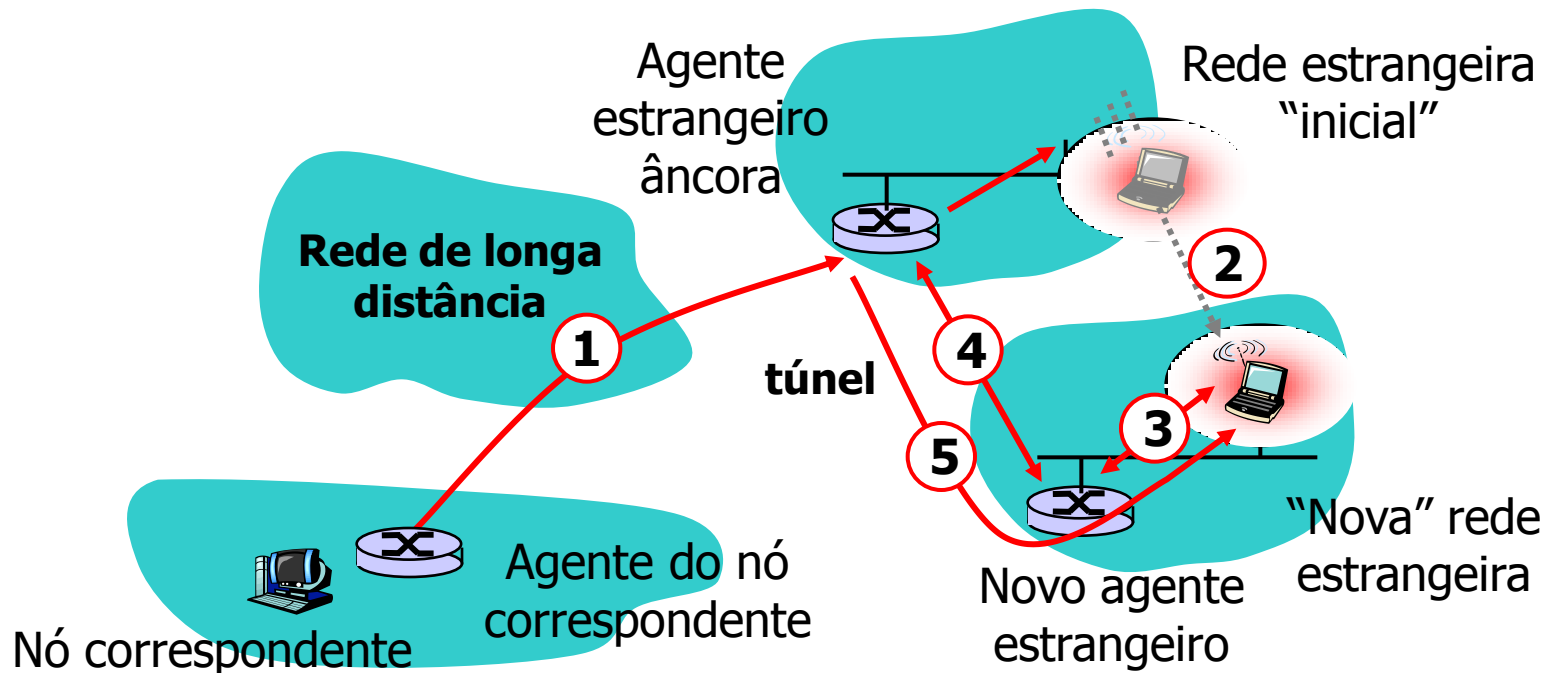
Mobilidade: Roteamento Direto

- Agente estrangeiro âncora
 - Agente estrangeiro na rede estrangeira inicial
 - Pacotes são sempre encaminhados para o âncora



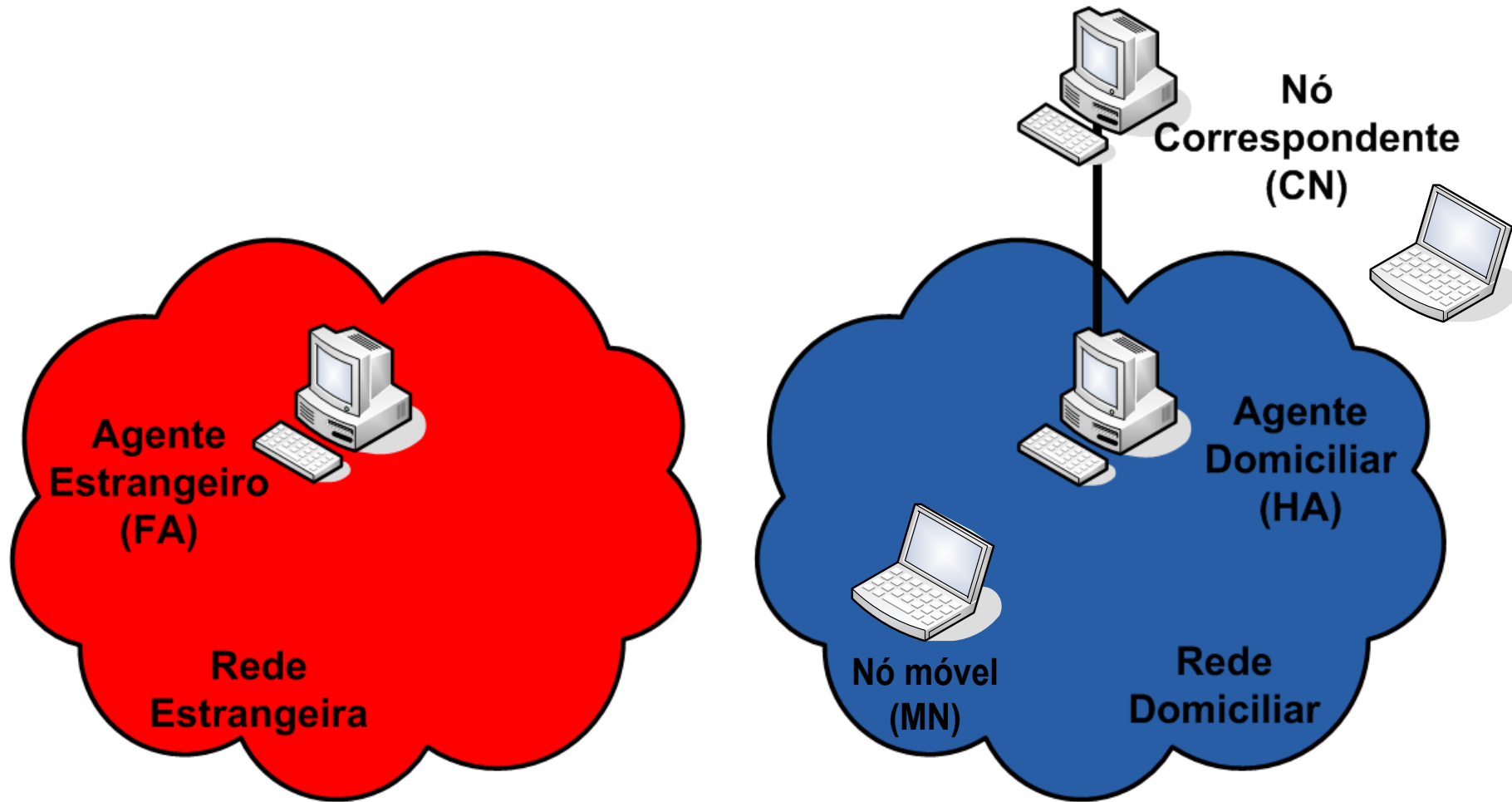
Mobilidade: Roteamento Direto

- Quando nó móvel muda de rede estrangeira
 - O novo agente estrangeiro se comunica com o âncora para que os dados sejam encaminhados pelo velho agente (encadeamento)



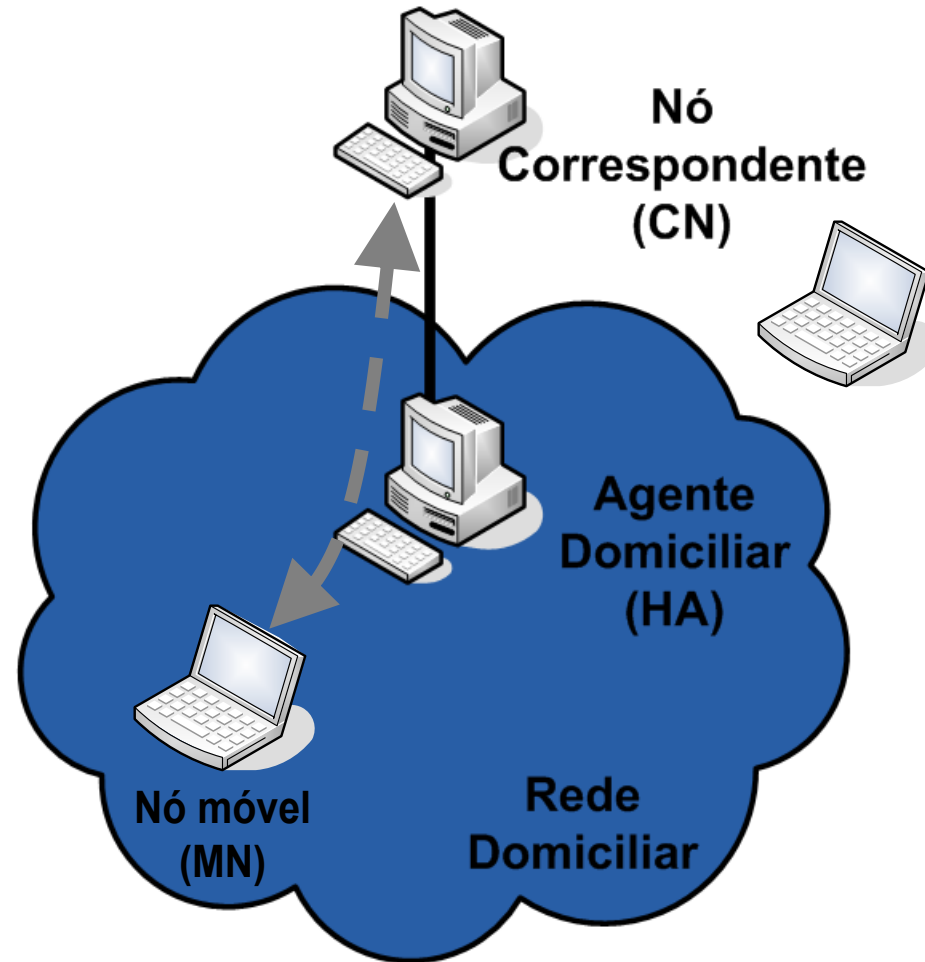
- Definido pela RFC 3344
- Usa muitos dos conceitos vistos anteriormente
 - Agentes domiciliares e estrangeiros, registro, *care-of-addresses*, encapsulamento, etc.
- Três mecanismos básicos
 - Roteamento indireto de pacotes
 - Descoberta de agentes
 - Registro com o agente domiciliar

Funcionamento Básico do IP Móvel



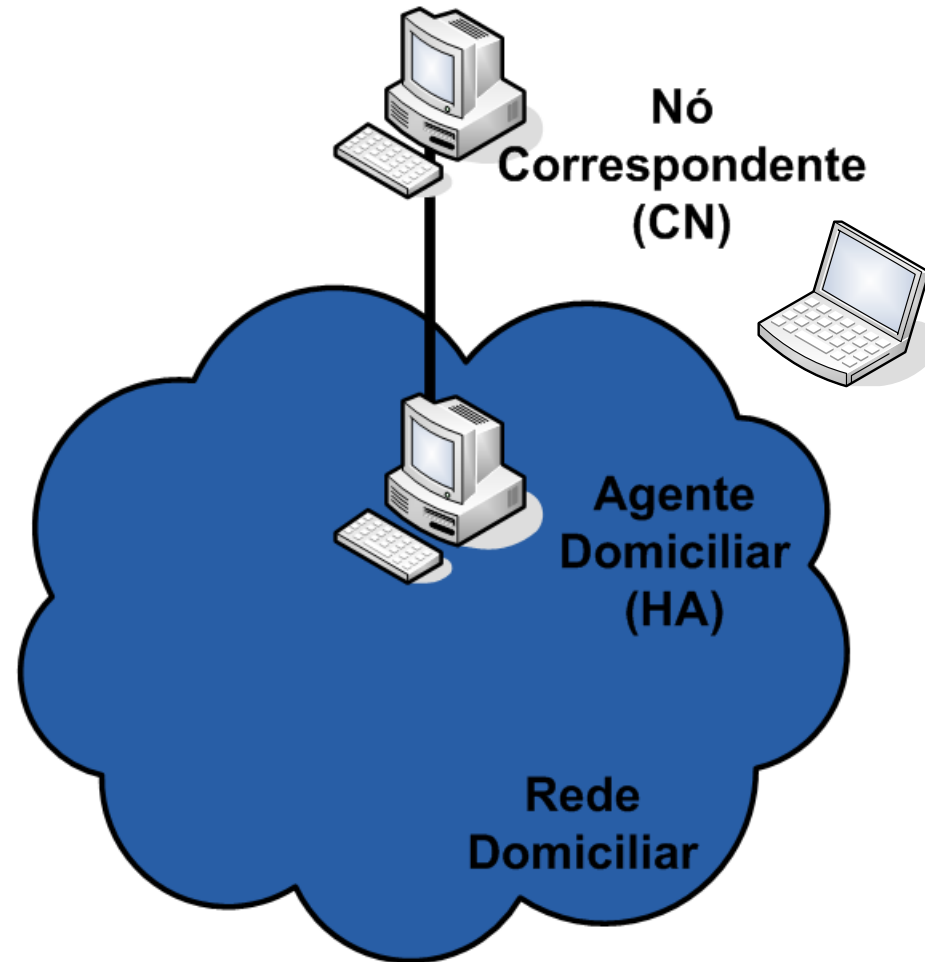
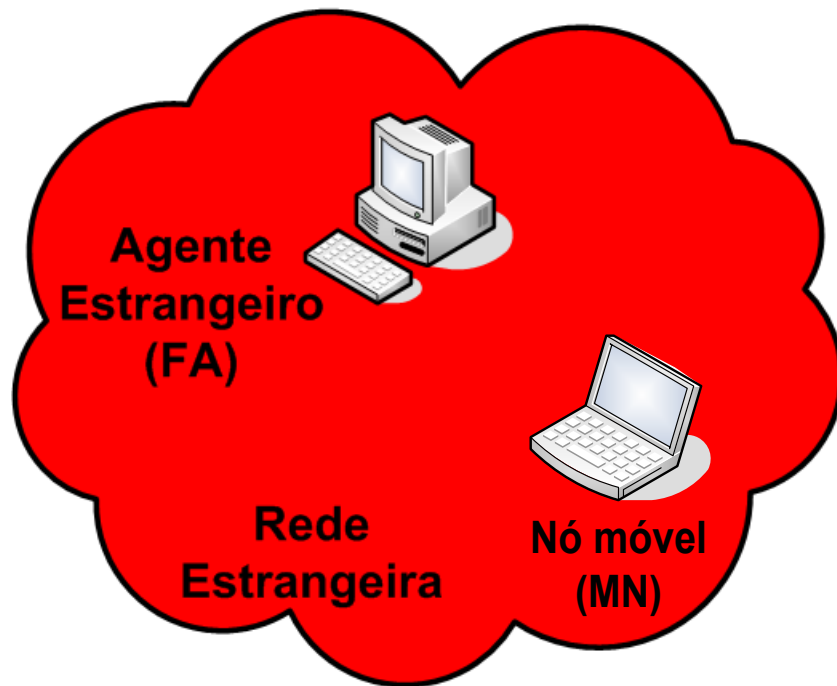
Funcionamento Básico do IP Móvel

Conexão TCP estabelecida:
MN: Endereço IP_{Domiciliar}, Porta
CN: Endereço IP_{Internet}, Porta



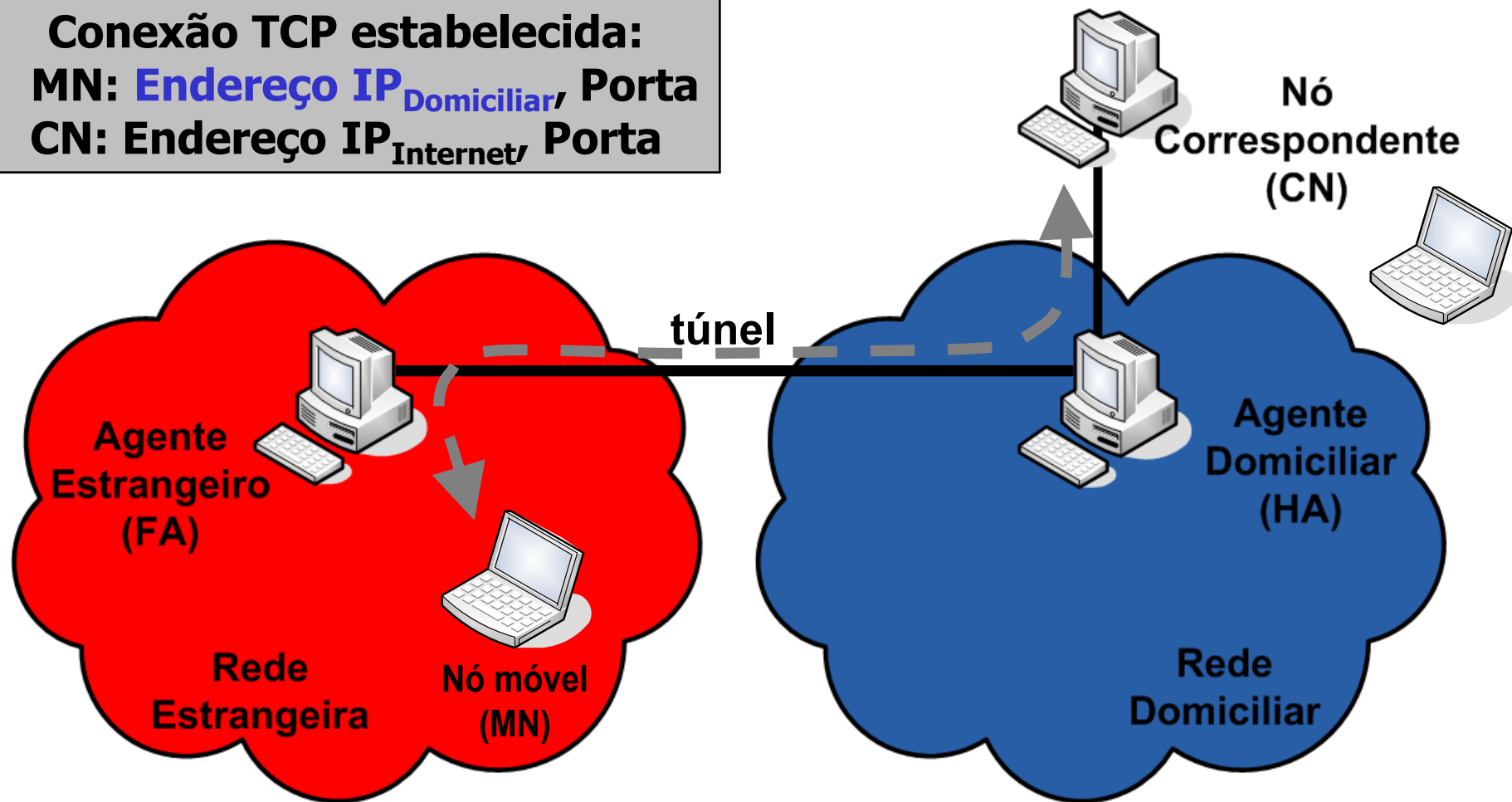
Funcionamento Básico do IP Móvel

Conexão TCP estabelecida:
MN: Endereço IP_{Domiciliar}, Porta
CN: Endereço IP_{Internet}, Porta



Funcionamento Básico do IP Móvel

Conexão TCP estabelecida:
MN: Endereço IP_{Domiciliar}, Porta
CN: Endereço IP_{Internet}, Porta

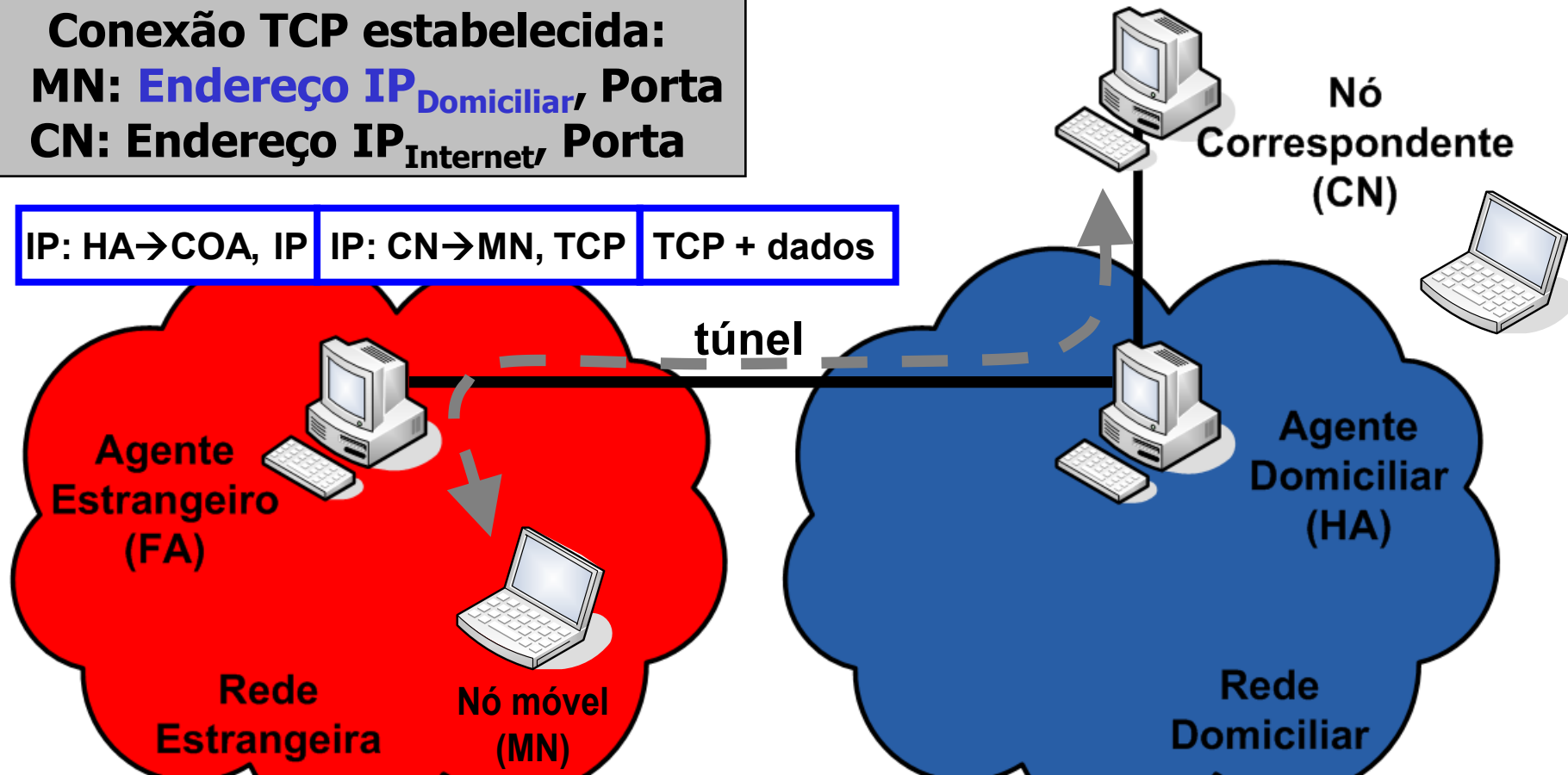


Conexão é mantida através de criação de túnel entre os agentes

Funcionamento Básico do IP Móvel

Conexão TCP estabelecida:
MN: Endereço IP_{Domiciliar}, Porta
CN: Endereço IP_{Internet}, Porta

IP: HA → COA, IP | IP: CN → MN, TCP | TCP + dados

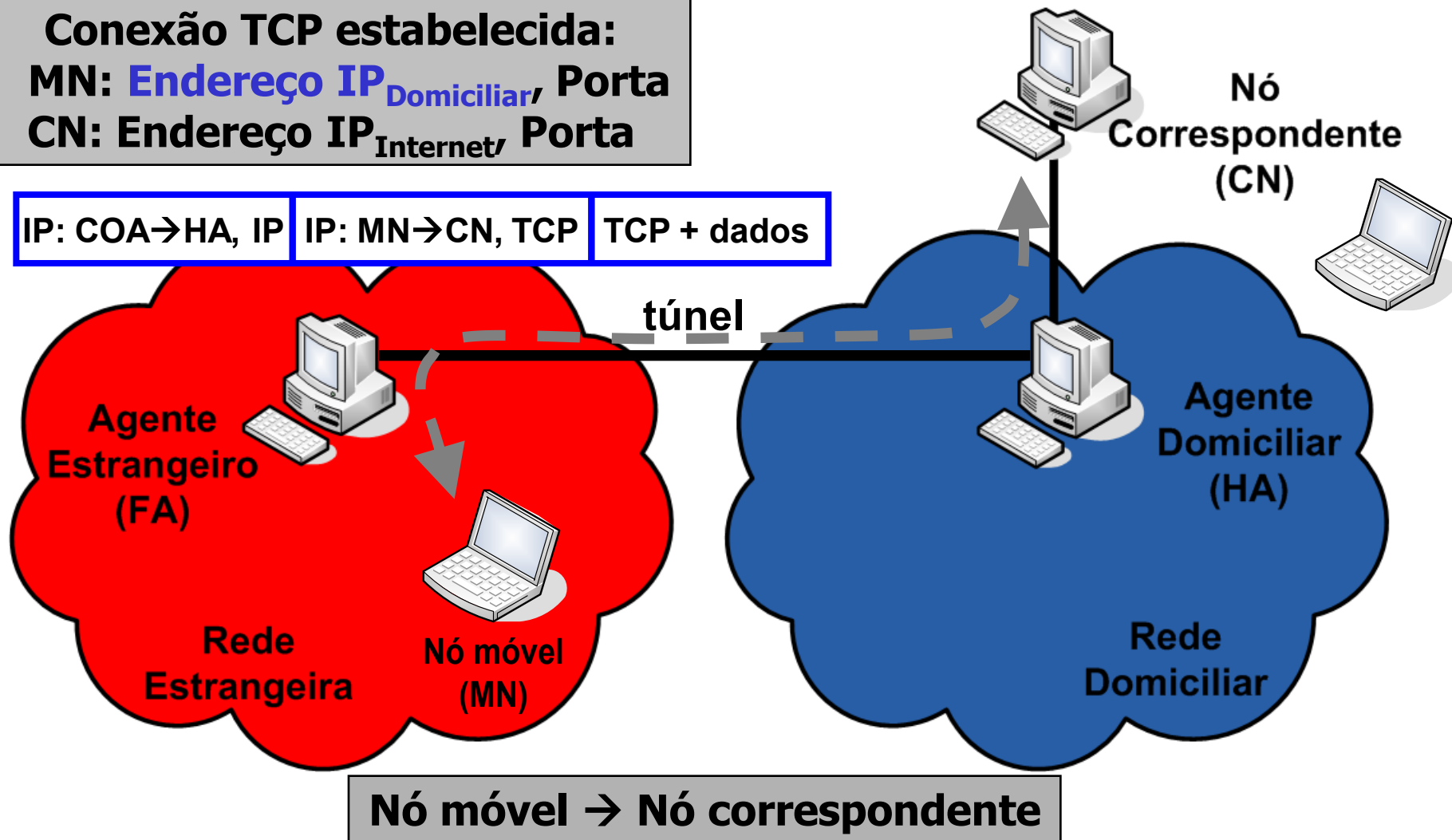


Nó Móvel muda de rede e mantém o Endereço IP_{Domiciliar}
Nó correspondente → Nó móvel

Funcionamento Básico do IP Móvel

Conexão TCP estabelecida:
MN: Endereço IP_{Domiciliar}, Porta
CN: Endereço IP_{Internet}, Porta

IP: COA → HA, IP | IP: MN → CN, TCP | TCP + dados

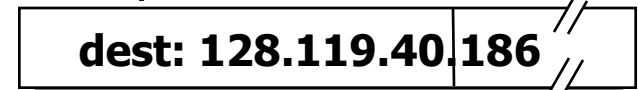


Roteamento Indireto

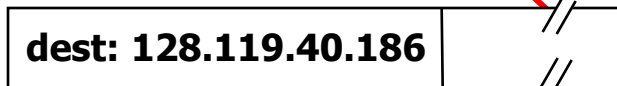
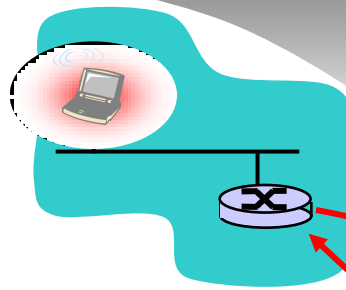
Pacote enviado pelo agente domiciliar para o agente estrangeiro: um pacote dentro de um pacote



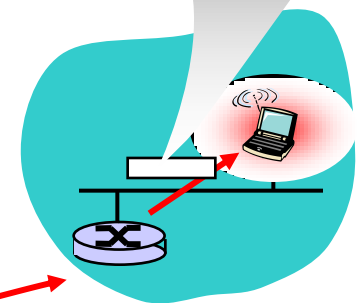
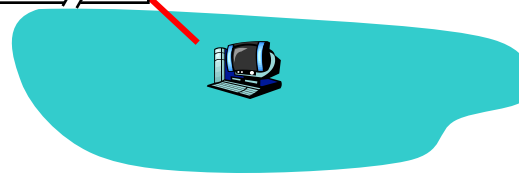
Pacote do agente estrangeiro para o nó móvel



Endereço permanente:
128.119.40.186



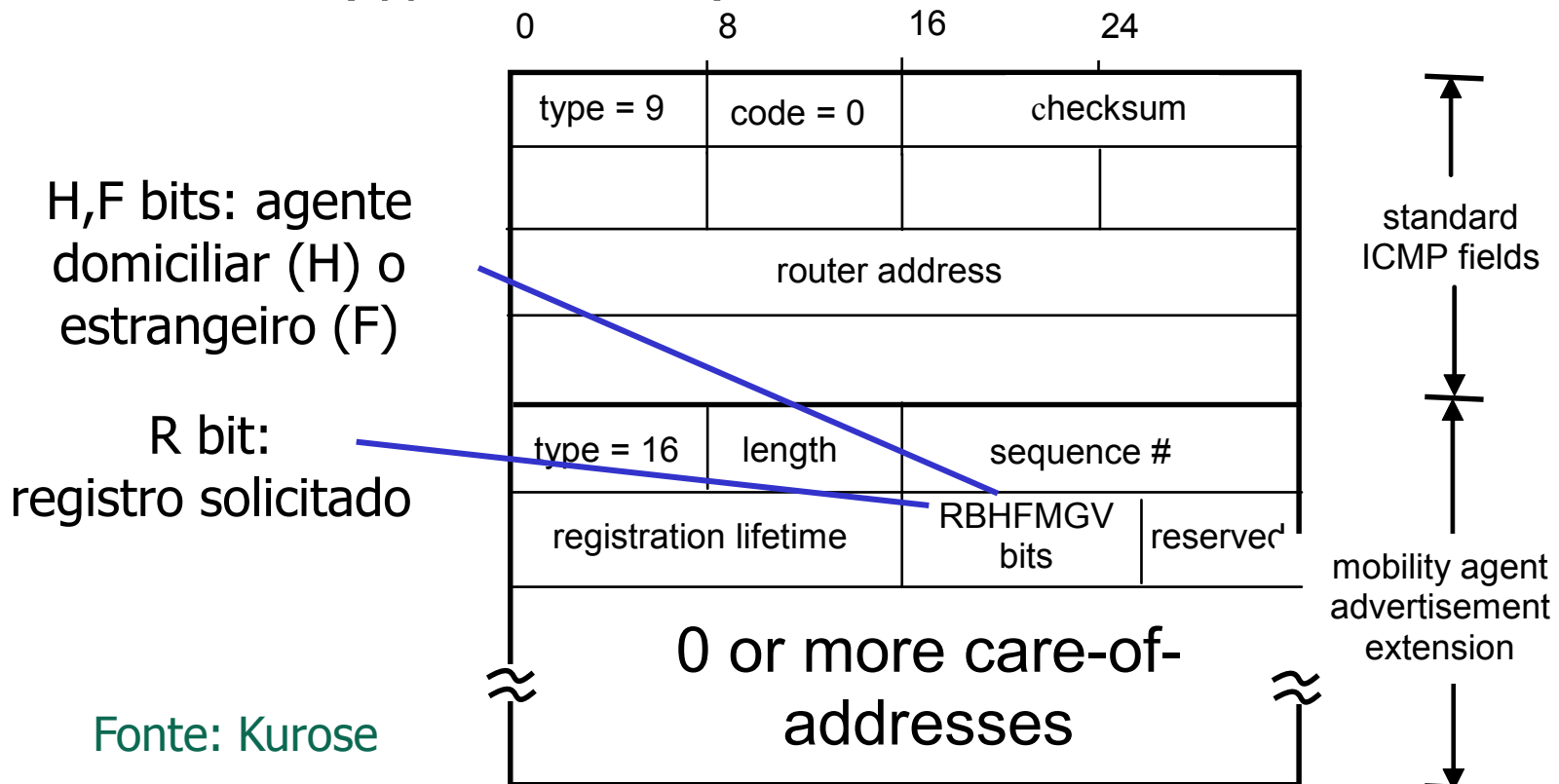
Pacote enviado pelo nó correspondente



Care-of address:
79.129.13.2

Descoberta do Agente

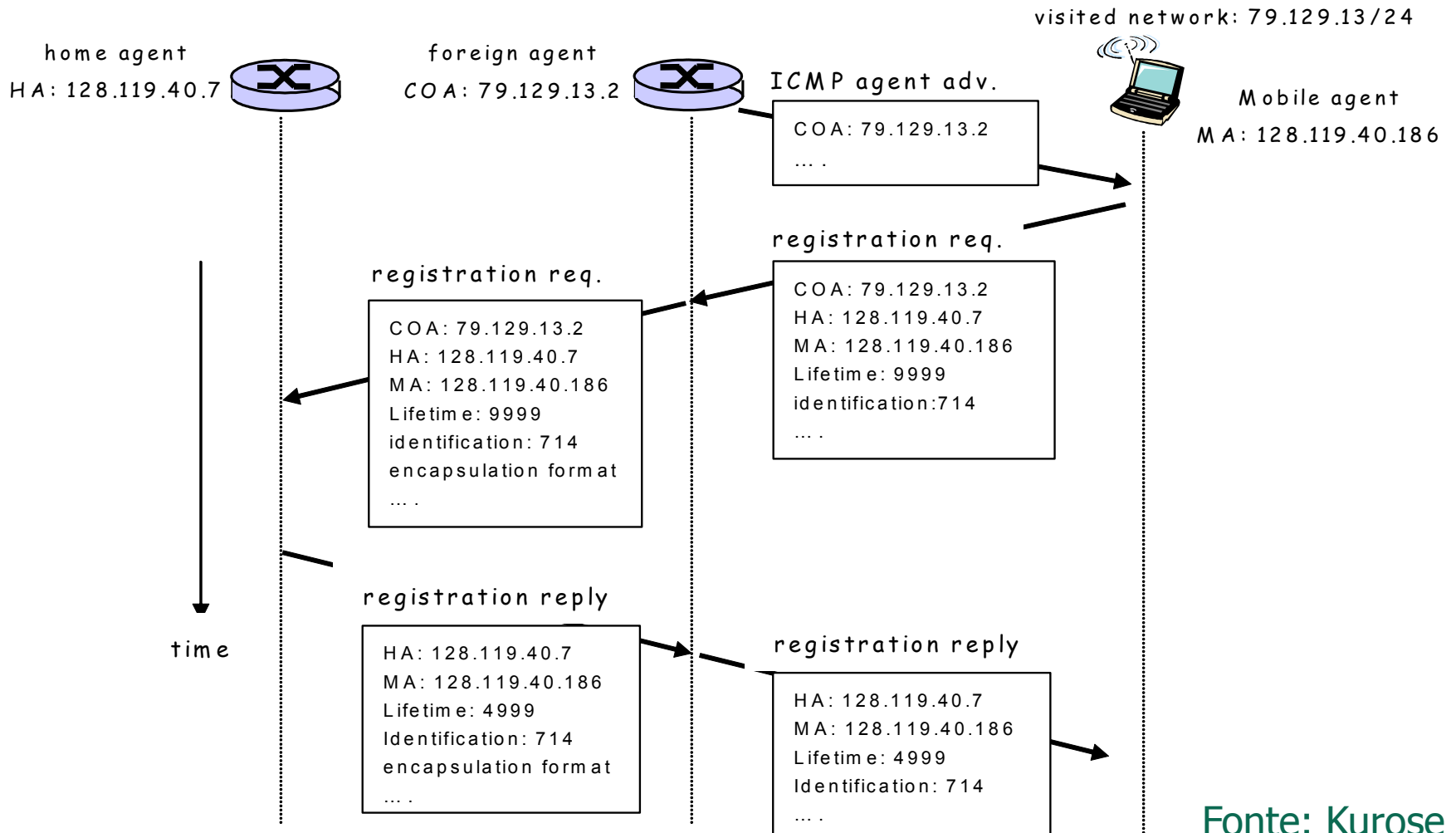
- Divulgação de agentes
 - Domiciliar ou estrangeiro enviam mensagens ICMP em difusão (typefield = 10)



Descoberta do Agente

- Solicitação de agentes
 - Envio de mensagens ICMP em *broadcast*

Registro



Limitações do IP Móvel

- Encaminhamento indireto
 - Caminho percorrido pelos pacotes é mais longo
 - Pacotes são encaminhados através dos agentes domiciliar e estrangeiro
 - “Problema da triangulação”
- Estabelecimento do túnel
 - Possível latência na comunicação entre os agentes domiciliar e estrangeiro

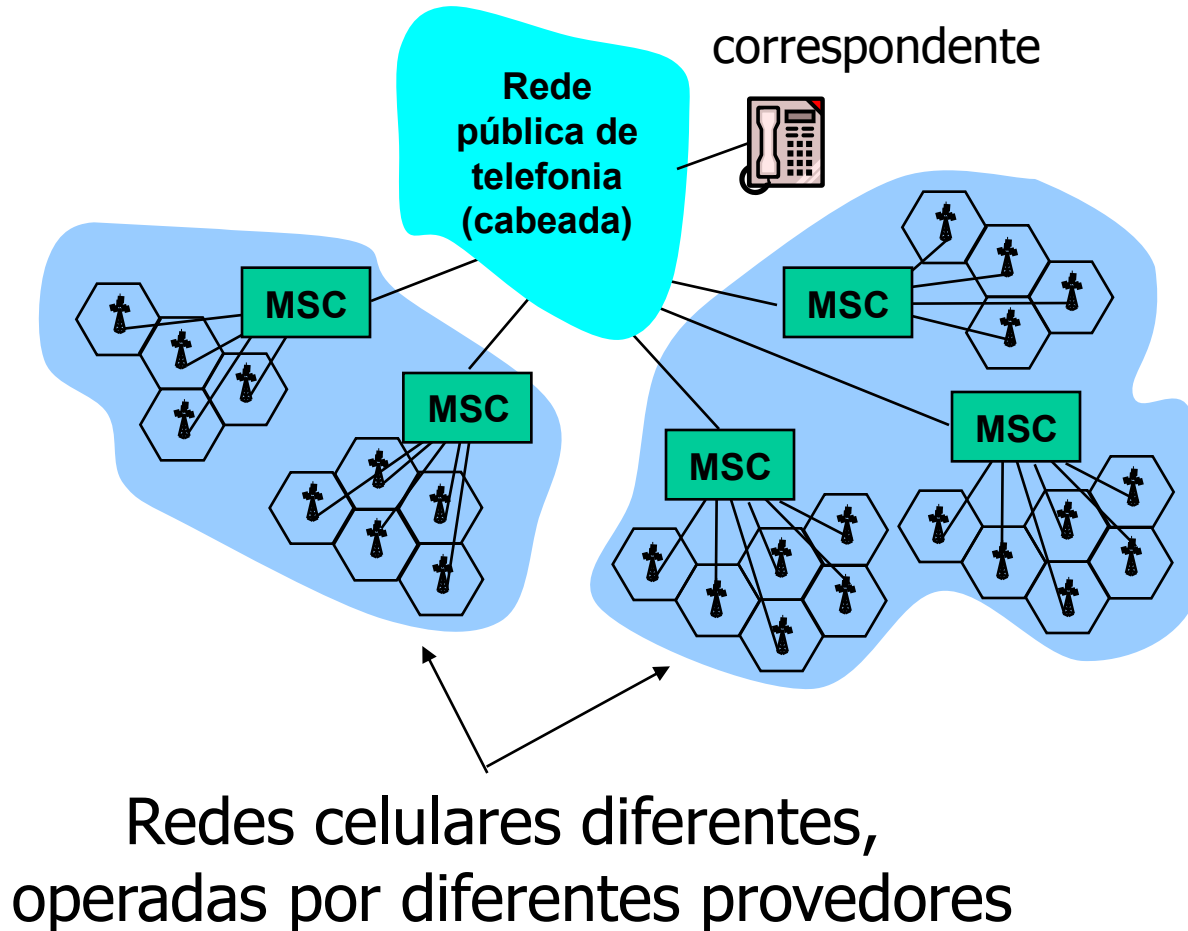
- Dispensa o uso do agente estrangeiro
 - Túnel é estabelecido entre o agente domiciliar e o nó móvel
- Encaminhamento sem passar pelo agente domiciliar
 - Pacotes são enviados das estações na Internet diretamente para o nó móvel
 - Extensão de cabeçalho do IPv6
 - Endereço IP da rede estrangeira é utilizado como origem
 - Endereço da rede domiciliar é listado na extensão



O IPv6 móvel enfrenta problemas de adoção devido ao uso do próprio IPv6 e ainda não resolve plenamente a questão da mobilidade

Mobilidade em Redes Celulares

Arquitetura de uma Rede Celular



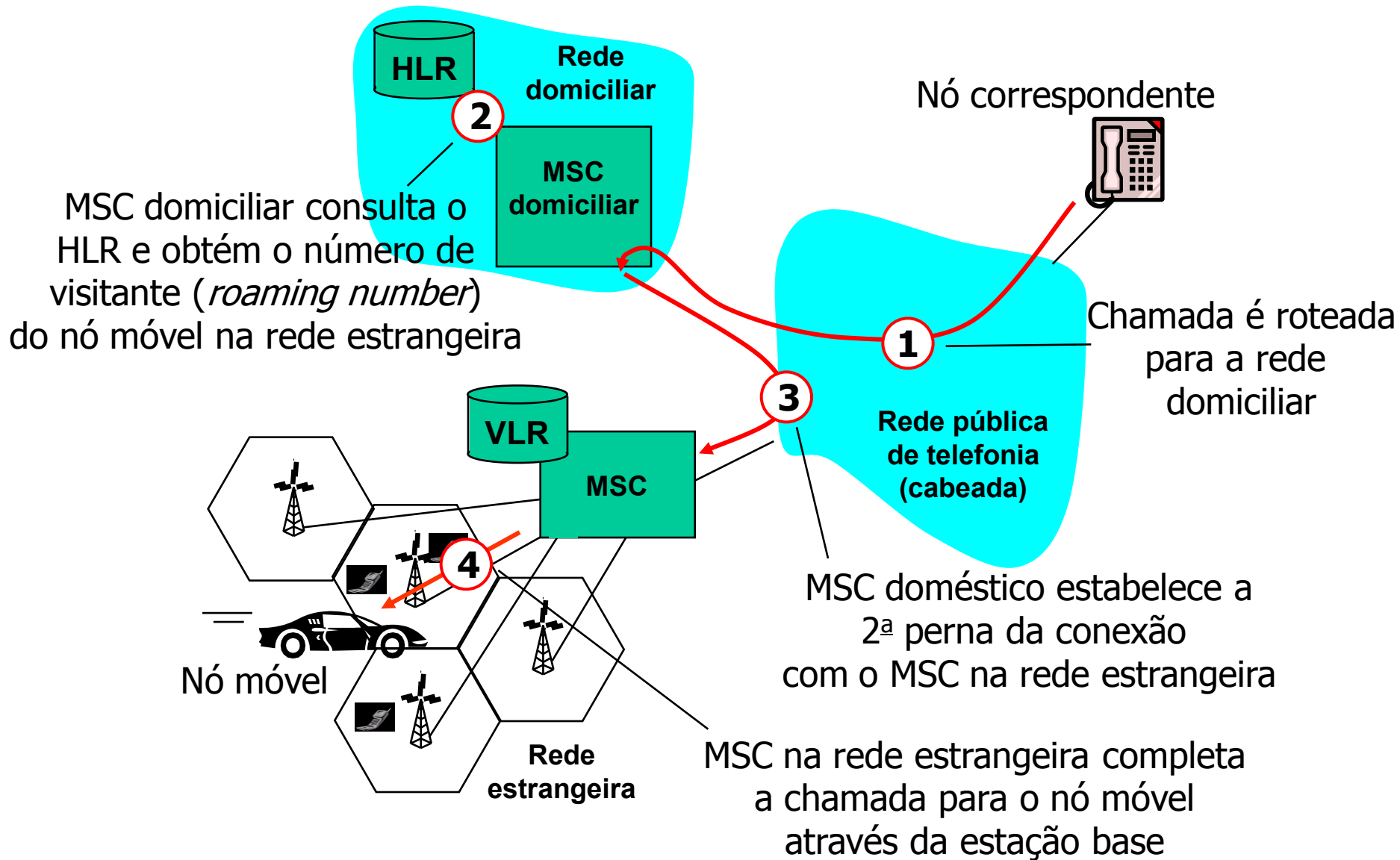
Mobilidade em Redes Celulares

- Rede domiciliar
 - É a rede celular do provedor do assinante
 - Ex.: Vivo, OI, Tim, etc.
 - Registro de localização domiciliar
 - *Home Location Register* (HLR)
 - Banco de dados na rede domiciliar que contém
 - Número permanente do telefone celular
 - Perfil de informações
 - » Serviços, preferências, informações de cobrança, etc.
 - Informação sobre a localização atual do assinante
 - » Pode ser em uma outra rede

Mobilidade em Redes Celulares

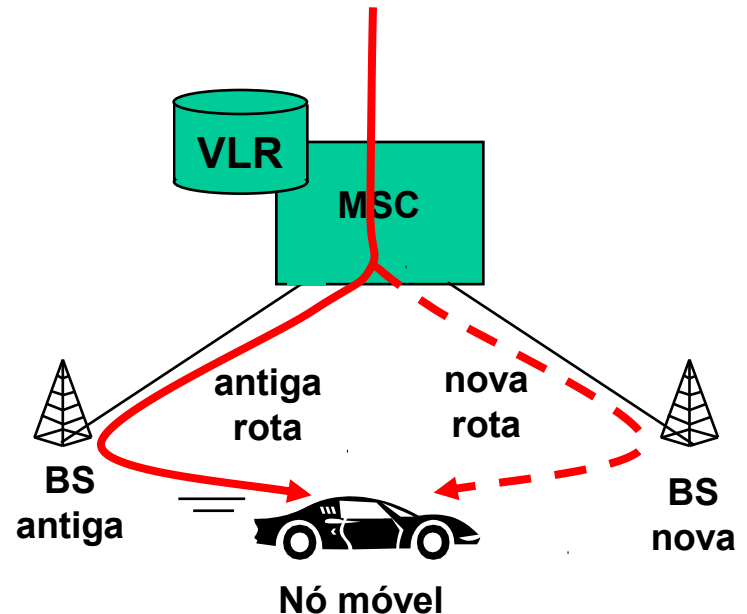
- Rede estrangeira
 - É a rede celular na qual o assinante está atualmente
 - Registro de localização de visitantes
 - *Visitor Location Register* (VLR)
 - Banco de dados com entradas para cada assinante que está atualmente na rede
 - Pode ser a própria rede domiciliar

GSM: Roteamento Indireto



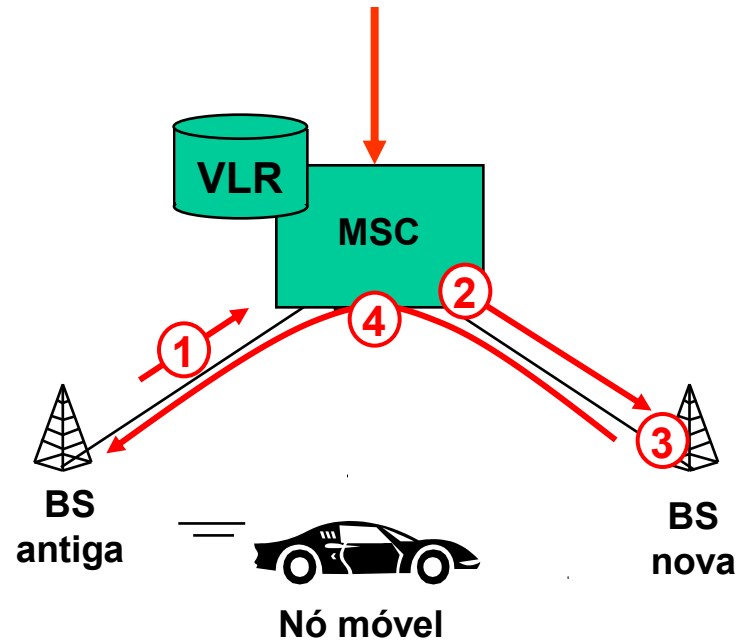
GSM: *Handoff* com MSC Comum

- Objetivo do *handoff*
 - Rotear a chamada por uma nova estação base **sem interrupções**
- Motivos para se fazer o *handoff*
 - Sinal mais forte para/de uma nova BS
 - Conectividade ininterrupta, menos consumo de bateria, etc.
 - Balanceamento de carga
 - Liberar um canal em uma BS
 - GSM não define obrigatoriamente quando o *handoff* deve ser feito
 - Somente **como** deve ser feito
- O *handoff* é iniciado pela BS “antiga”



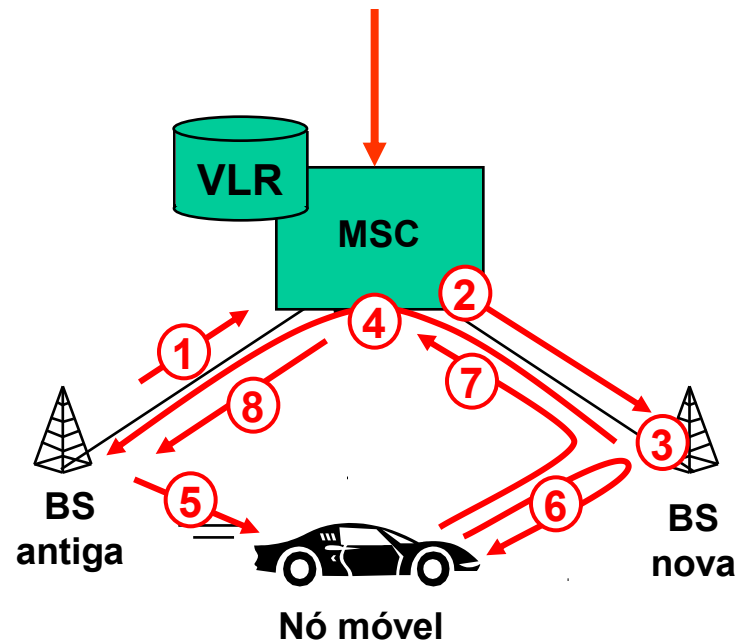
GSM: *Handoff* com MSC Comum

1. A BS antiga informa ao MSC do *handoff* iminente e o MSC fornece uma lista de umas ou mais novas BSs
2. MSC estabelece um caminho (aloca recursos) para a nova BS
3. A nova BS aloca um canal de rádio para uso do nó móvel
4. A nova BSS sinaliza para o MSC, BS antiga está pronta

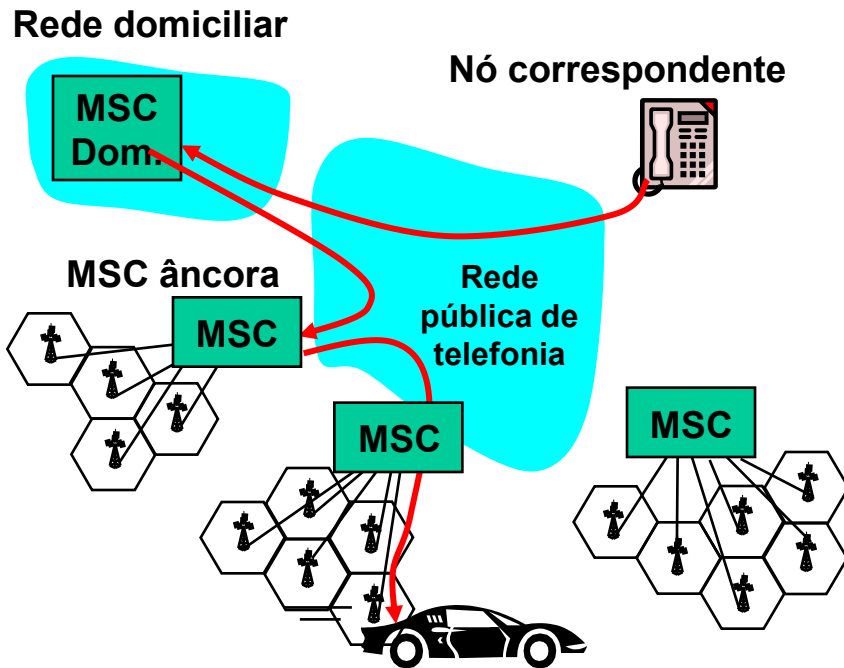


GSM: *Handoff* com MSC Comum

5. A BS antiga avisa ao nó móvel: faça o *handoff* para a nova BS
6. Nó móvel, sinal da nova BS para ativar o novo canal
7. Sinais do nó móvel são enviados ao MSC pela nova BS: *handoff* completo; MSC roteia novamente a chamada
8. MSC informa à BS antiga que ela pode liberar os recursos



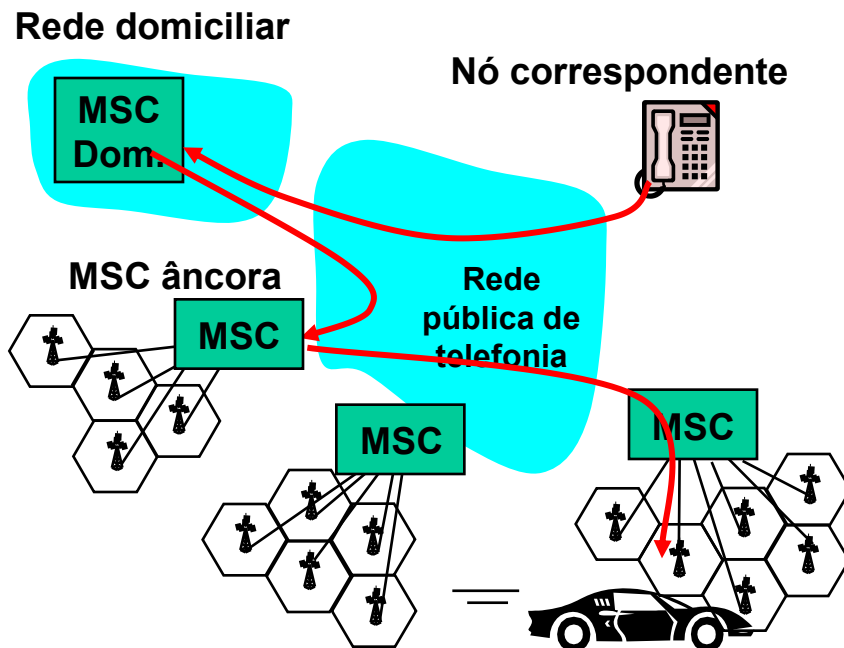
GSM: *Handoff* entre MSCs



(a) Antes do *handoff*

- MSC âncora
 - É o primeiro MSC visitado durante um chamada
 - A chamada continua a ser roteada através do MSC âncora
- Novos MSCs são adicionados ao fim da cadeia de MSCs à medida que o nó se move para um novo MSC
- Protocolo de sinalização IS-41 permite um passo opcional para minimizar o caminho
 - Reduzir a cadeia de múltiplos MSCs

GSM: *Handoff* entre MSCs



(b) Depois do *handoff*

- MSC âncora
 - É o primeiro MSC visitado durante um chamada
 - A chamada continua a ser roteada através do MSC âncora
- Novos MSCs são adicionados ao fim da cadeia de MSCs à medida que o nó se move para um novo MSC
- Protocolo de sinalização IS-41 permite um passo opcional para minimizar o caminho
 - Reduzir a cadeia de múltiplos MSCs

Mobilidade: GSM vs. IP Móvel

Elemento GSM	Comentário sobre o elemento GSM	Elemento IP Móvel
Sistema domiciliar	Rede a qual pertence o número de telefone permanente do usuário móvel	Rede domiciliar
<i>Gateway Mobile Switching Center</i> ou "MSC domiciliar". <i>Home Location Register (HLR)</i>	MSC domiciliar: ponto de contato para se obter um endereço roteável do usuário móvel. HLR: banco de dados no sistema domiciliar que contém o número de telefone permanente perfil de informações, localização atual do usuário, informações de assinatura, etc.	Agente domiciliar
Sistema estrangeiro	Rede diferente da rede domiciliar na qual o usuário móvel está atualmente	Rede estrangeira
<i>Visited Mobile services Switching Center. Visitor Location Record (VLR)</i>	MSC estrangeiro: responsável por estabelecer conexões para e dos usuários móveis em células associadas ao MSC. VLR: entrada na base de dados temporária dos sistema estrangeiro, que contém informações de assinatura de cada usuário móvel visitante.	Agente estrangeiro
<i>Mobile Station Roaming Number (MSRN) ou "roaming number"</i>	Routable address for telephone call segment between home MSC and visited MSC, visible to neither the mobile nor the correspondent.	<i>Care-of-address</i>

Desafios para a Mobilidade na Internet

Comunicação Sem-Fio e Mobilidade

- Impacto nas camadas superiores
 - Logicamente, deve ser mínimo
 - Modelo de melhor esforço se mantém inalterado
 - TCP e UDP podem e rodam sobre redes sem-fio e móveis

Porém, se tornam menos eficientes!

Comunicação Sem-Fio e Mobilidade

- Impacto nas camadas superiores
 - Menos eficientes porque
 - As perdas e atrasos de pacotes são causado por erros de bits e handoffs
 - Pacotes descartados
 - Atrasos por retransmissões da camada de enlace
 - O TCP interpreta perdas como congestionamento
 - Janela de congestionamento é reduzida desnecessariamente
 - Restrições de atraso para tráfego em tempo real
 - A banda dos enlaces sem-fio é limitada
- O NAT também é um problema
 - Usado por muitas redes sem-fio

Separação de Localização e Identificação

- Quebra a “semântica sobrecarregada” do IP
 - Considerada como fundamental para a Internet do Futuro
 - O IP **identifica** e **localiza** uma estação
- Principais objetivos
 - Combater problemas decorrentes dos múltiplos domicílios
 - Reduz problemas de escalabilidade
 - **Combater problemas decorrentes da mobilidade**
 - Permite que os nós móveis **mantenham conexão**

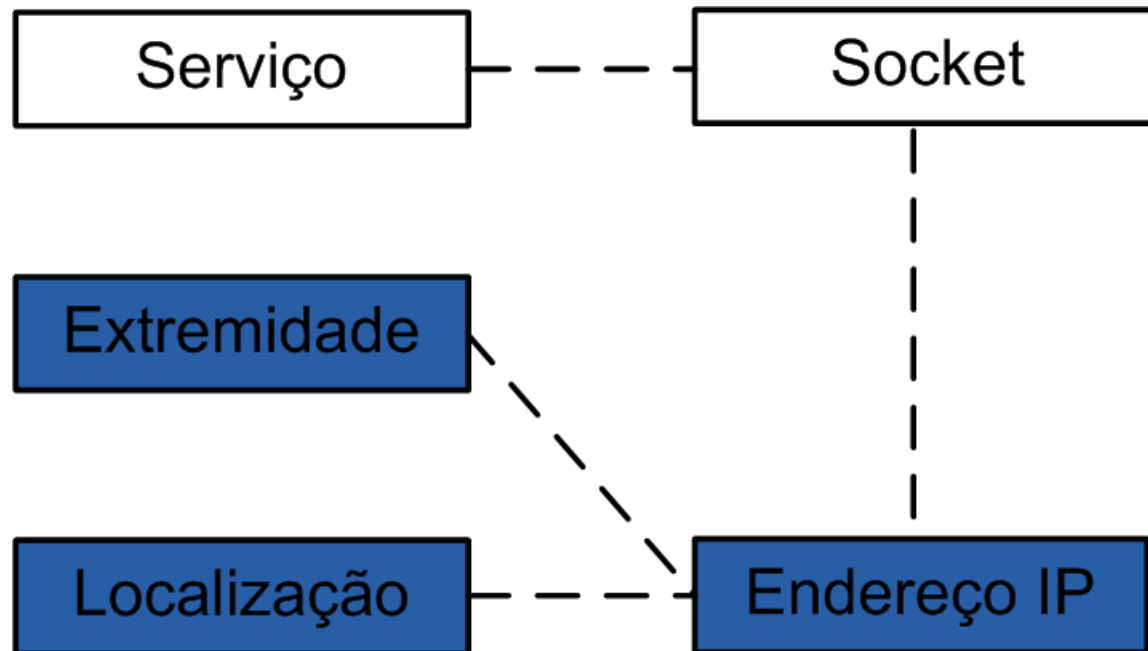
Chamada também de “*Loc/ID split*”

Separação de Localização e Identificação

- Manutenção de conexões é possível com um **identificador invariável**
 - Não varia mesmo com a mudança da localização da estação
- Procedimento semelhante ao DNS
 - Separa o nome de um sítio da Internet do seu endereço IP
 - `www.ic.uff.br` → `200.20.15.208`
- É necessário algum **sistema de mapeamento** para **associar identificador e localizador**
 - Como no caso do DNS

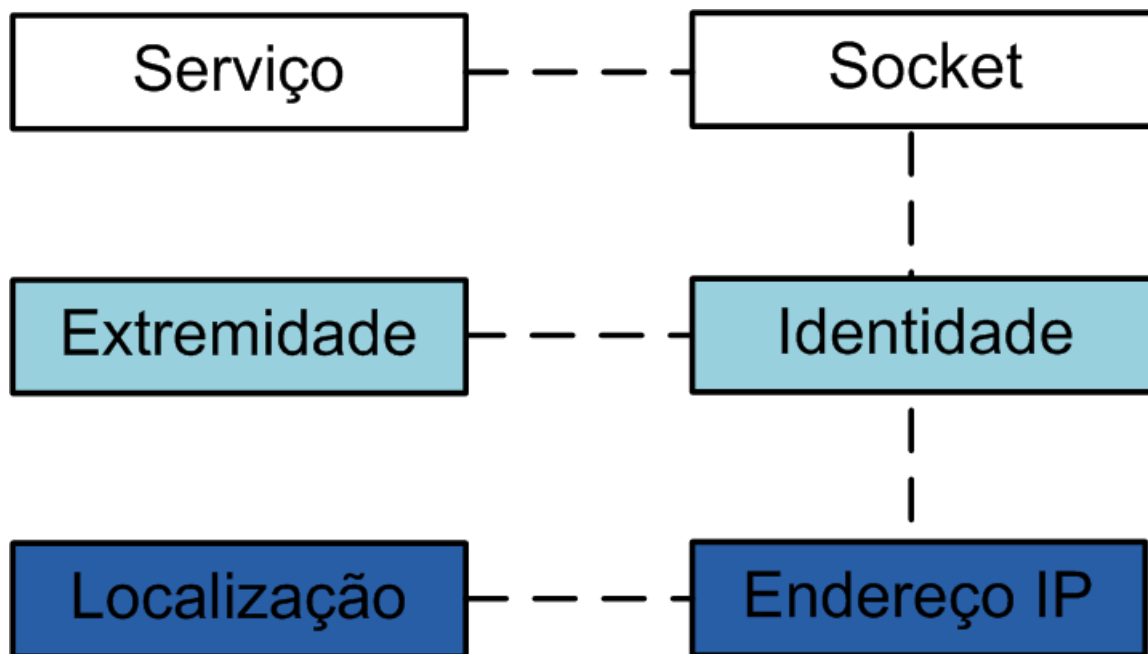
Separação de Localização e Identificação

Modelo atual da Internet



Separação de Localização e Identificação

Separação de identificação e localização



Separação de Localização e Identificação

- *Host Identity Protocol* (HIP), RFC 5201
- *Locator/Id Split Protocol* (LISP), RFC 6830

- Aborda problema da “semântica sobrecarregada” do IP
 - Diferente do *Loc/ID Split...*
 - Roteamento baseado apenas no identificador dos nós
 - Unicidade do identificador é requisito
 - Maior nível de abstração

Roteamento plano remove o conceito de localização e a relação com a topologia da rede

Mais sobre esse assunto...

- Campista, M. E. M., Rubinstein, M. G., Moraes, I. M., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Challenges and Research Directions for the Future Internetworking", in IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 16, no. 2, p. 1050-1079, Second Quarter 2014.
- Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, May 2010.

Aula 11

Redes Sem-Fio e Mobilidade

Mobilidade: Conceitos e Mecanismos

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores II