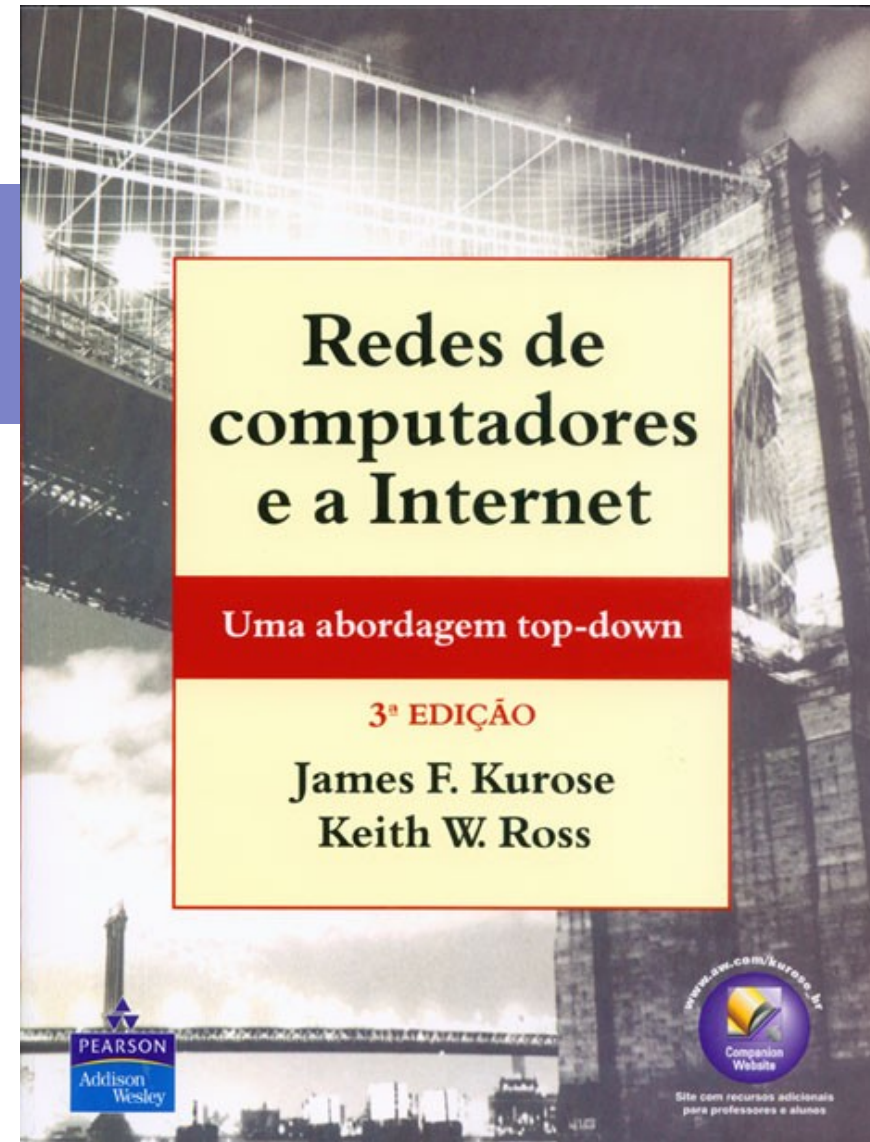


Redes de computadores e a Internet

Capítulo 6

Redes sem fio
e redes móveis



6 Redes sem fio e redes móveis

Informações gerais:

- Número de telefones sem fio (móveis) excede atualmente o número de assinantes de telefones!
- Redes de computadores: laptops, palmtops, PDAs, telefones com habilidades para Internet prometem um acesso generalizado à Internet em qualquer lugar e momento
- Dois importantes (mas diferentes) desafios
 - Comunicação sobre enlaces sem fio
 - Tratamento de usuários móveis que mudam seu ponto de ligação com a rede

6 Resumo

- 6.1 Introdução

Sem fio

- 6.2 Enlaces sem fio, características
 - CDMA
- 6.3 IEEE 802.11 LANs sem fio (“wi-fi”)
- 6.4 Acesso celular à Internet
 - Arquitetura
 - Padrões (ex.: GSM)

Mobilidade

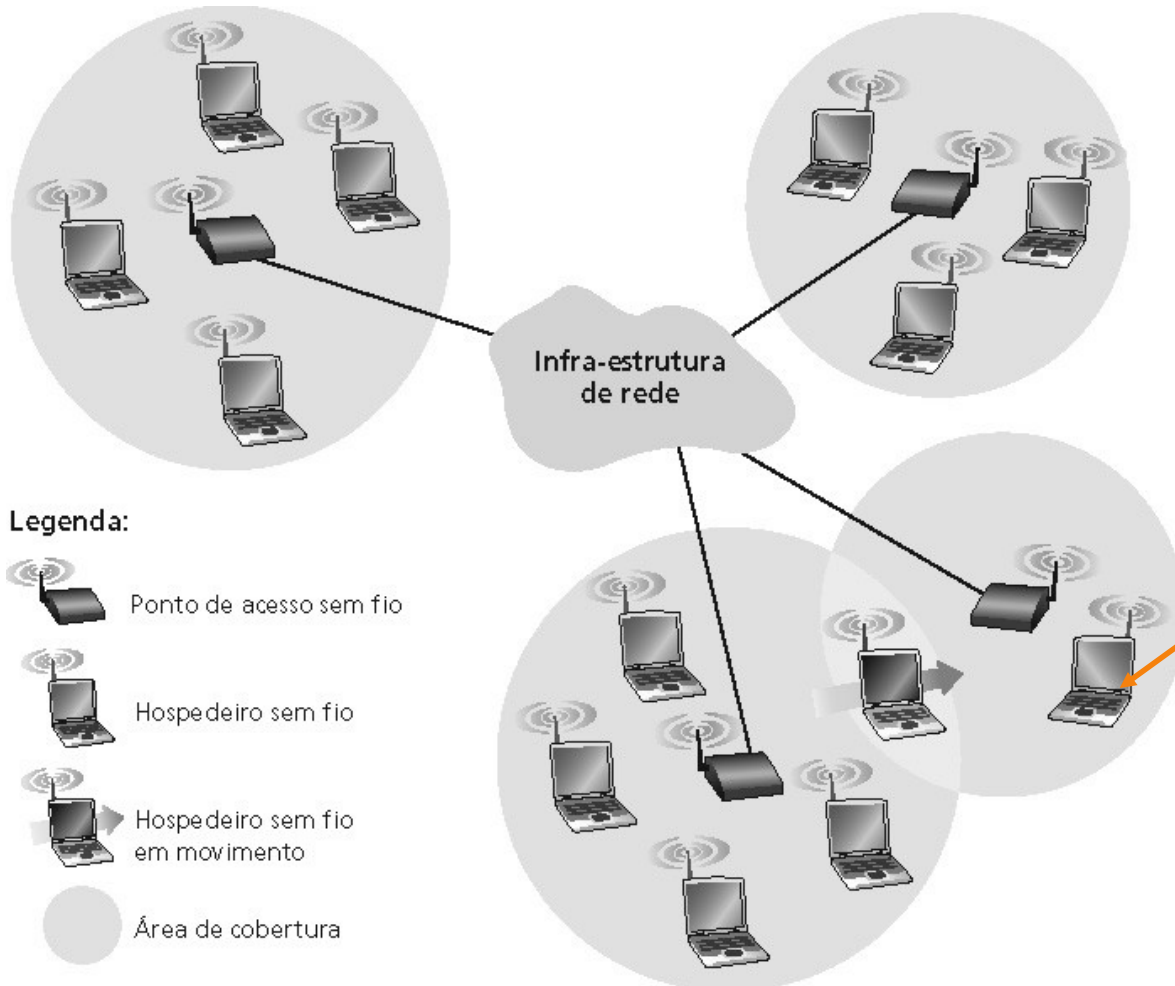
- 6.5 Princípios: endereçamento e roteamento para usuários móveis
- 6.6 IP móvel
- 6.7 Tratando mobilidade em redes celulares
- 6.8 Mobilidade e protocolos de alto nível
- 6.9 Resumo



PEARSON

Addison
Wesley

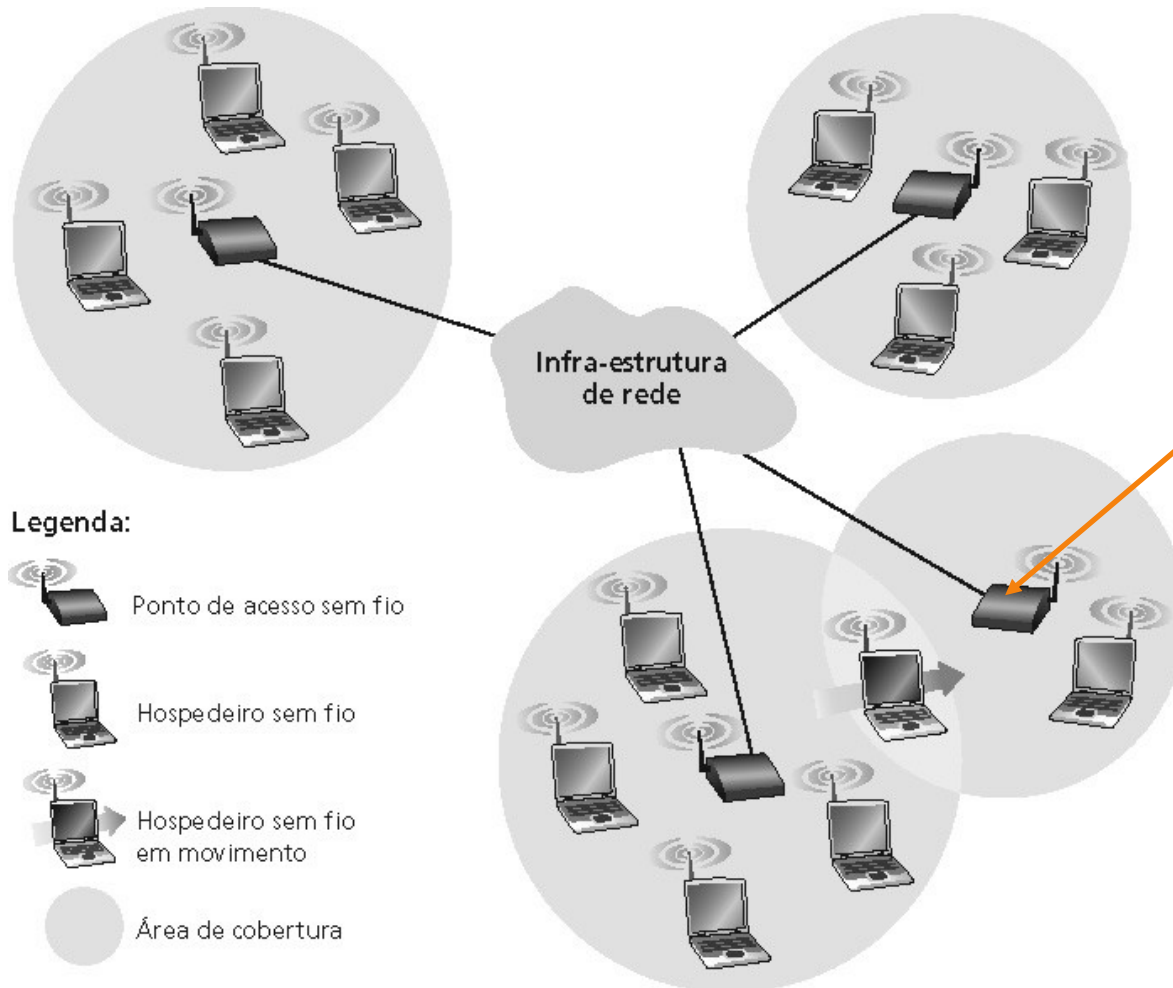
6 Elementos de uma rede sem fio



Hospedeiros sem fio

- Laptop, PDA, IP phone
- Rodam aplicações
- Podem ser fixos ou móveis
 - “Sem fio” nem sempre significa mobilidade

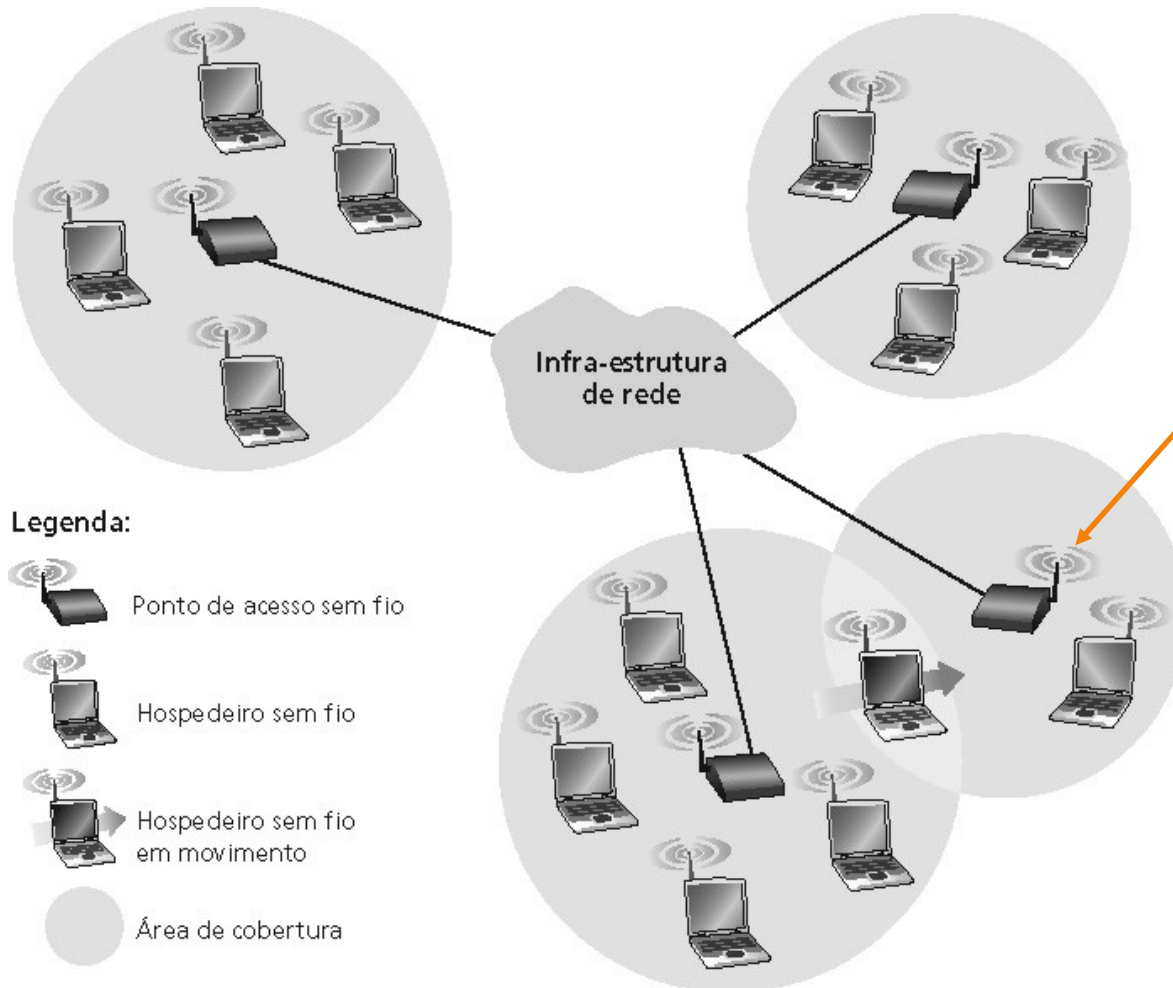
6 Elementos de uma rede sem fio



Estação-base

- Tipicamente se conecta à rede cabeada
- Relay - responsável por enviar pacotes entre a rede cabeada e os hospedeiros sem fio na sua “área”
 - Ex.: torres de celular
 - Pontos de acesso 802.11

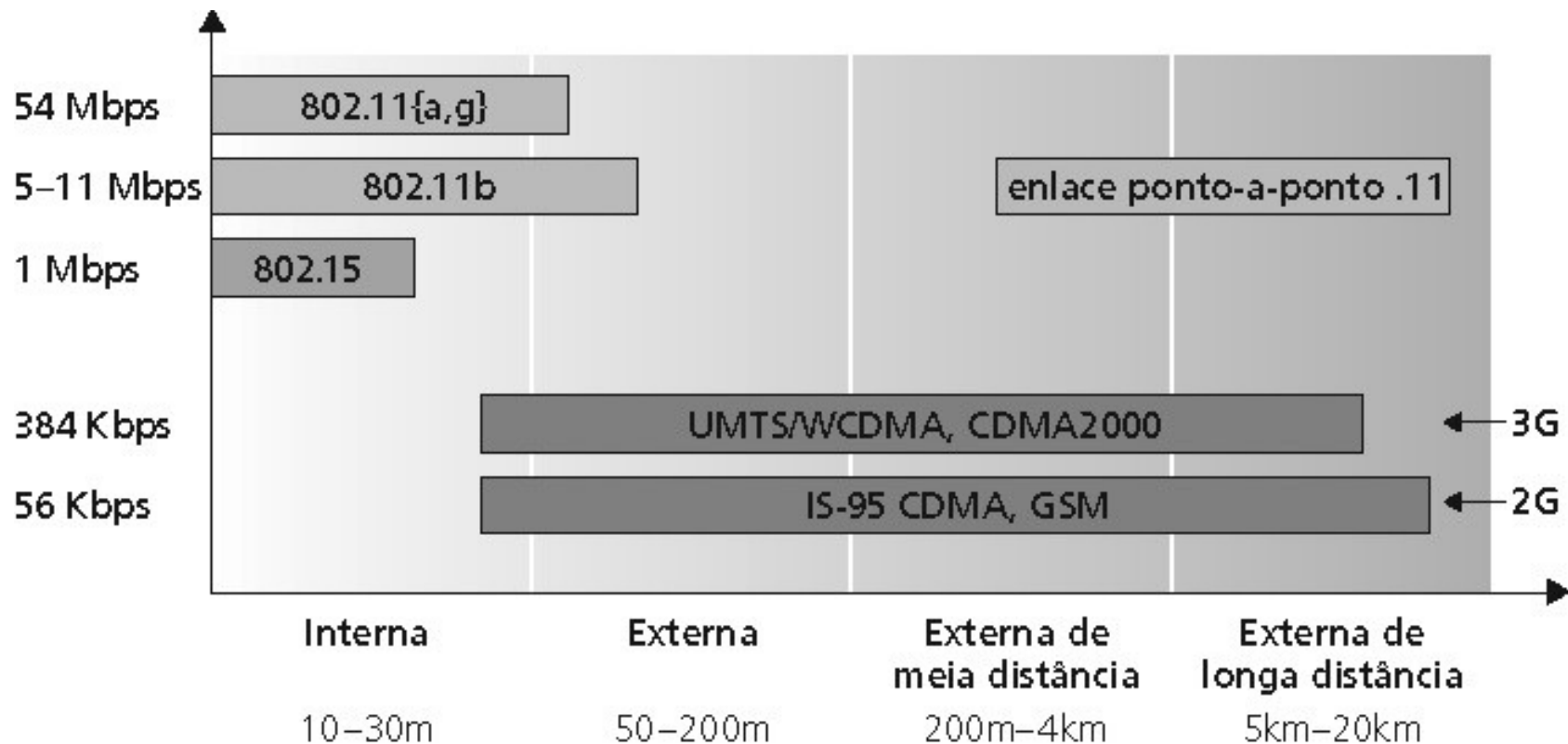
6 Elementos de uma rede sem fio



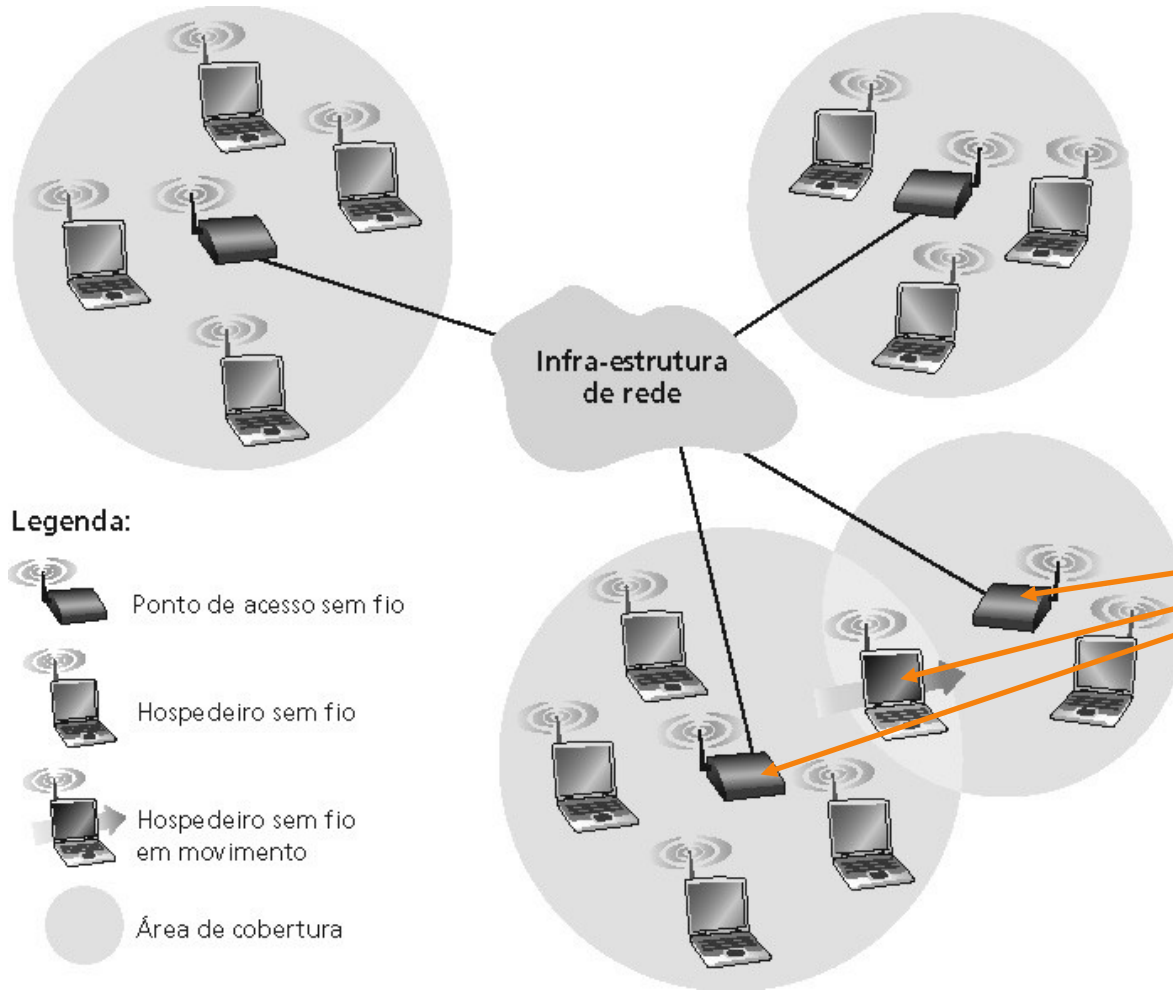
Enlace sem fio

- Tipicamente usado para conectar os hospedeiros móveis à estação-base
- Também usado como enlace de backbone
- Protocolos de acesso múltiplos coordenam o acesso ao enlace
- Várias taxas de dados e distâncias de transmissão

6 Características de padrões de enlaces sem fio selecionados



6 Elementos de uma rede sem fio



Modo infra-estrutura

- A estação-base conecta hospedeiros móveis na rede cabeada
- Handoff: hospedeiro móvel muda de uma estação-base para a outra

6 Elementos de uma rede sem fio

Modo Ad hoc

- Não há estações-base
- Nós podem transmitir somente para outros nós dentro do alcance do enlace
- Nós se organizam numa rede: roteiam entre eles próprios



6 Características do enlace sem fio

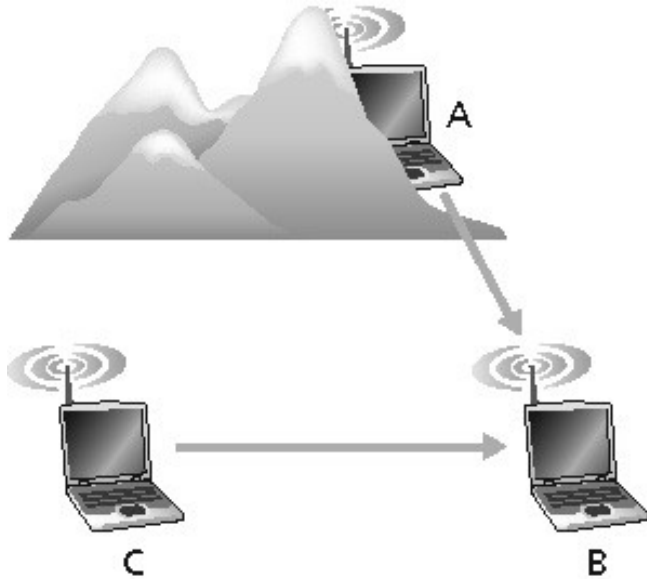
Diferenças do enlace cabeado...

- **Força reduzida do sinal:** os sinais de rádio se atenuam à medida que eles se propagam através da matéria (path loss)
- **Interferência de outras fontes:** as frequências padronizadas para redes sem fio (ex., 2,4 GHz) são compartilhadas por outros equipamentos (ex., telefone sem fio); motores também produzem interferência
- **Propagação de múltiplos caminhos:** o sinal de rádio se reflete no solo e em objetos. O sinal principal e os refletidos chegam ao destino em instantes ligeiramente diferentes

... tornam a comunicação através (mesmo no caso ponto-a-ponto) de enlaces sem fio muito mais “difícil”

6 Características das redes sem fio

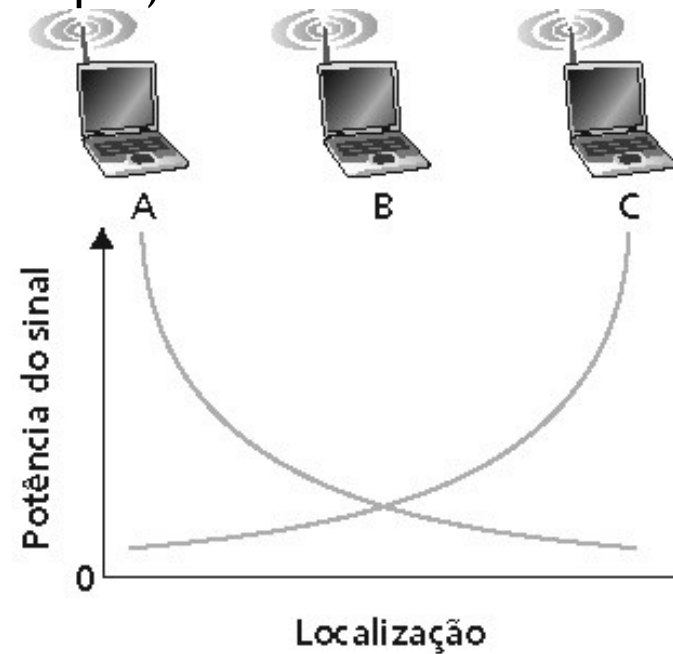
Múltiplos remetentes sem fio e receptores criam problemas adicionais (além do acesso múltiplo):



a.

Problema do terminal oculto

- B, A ouvem um ao outro
- B, C ouvem um ao outro
- A, C, quando não podem ouvir um ao outro, implica que não se dão conta da sua interferência em B



b.

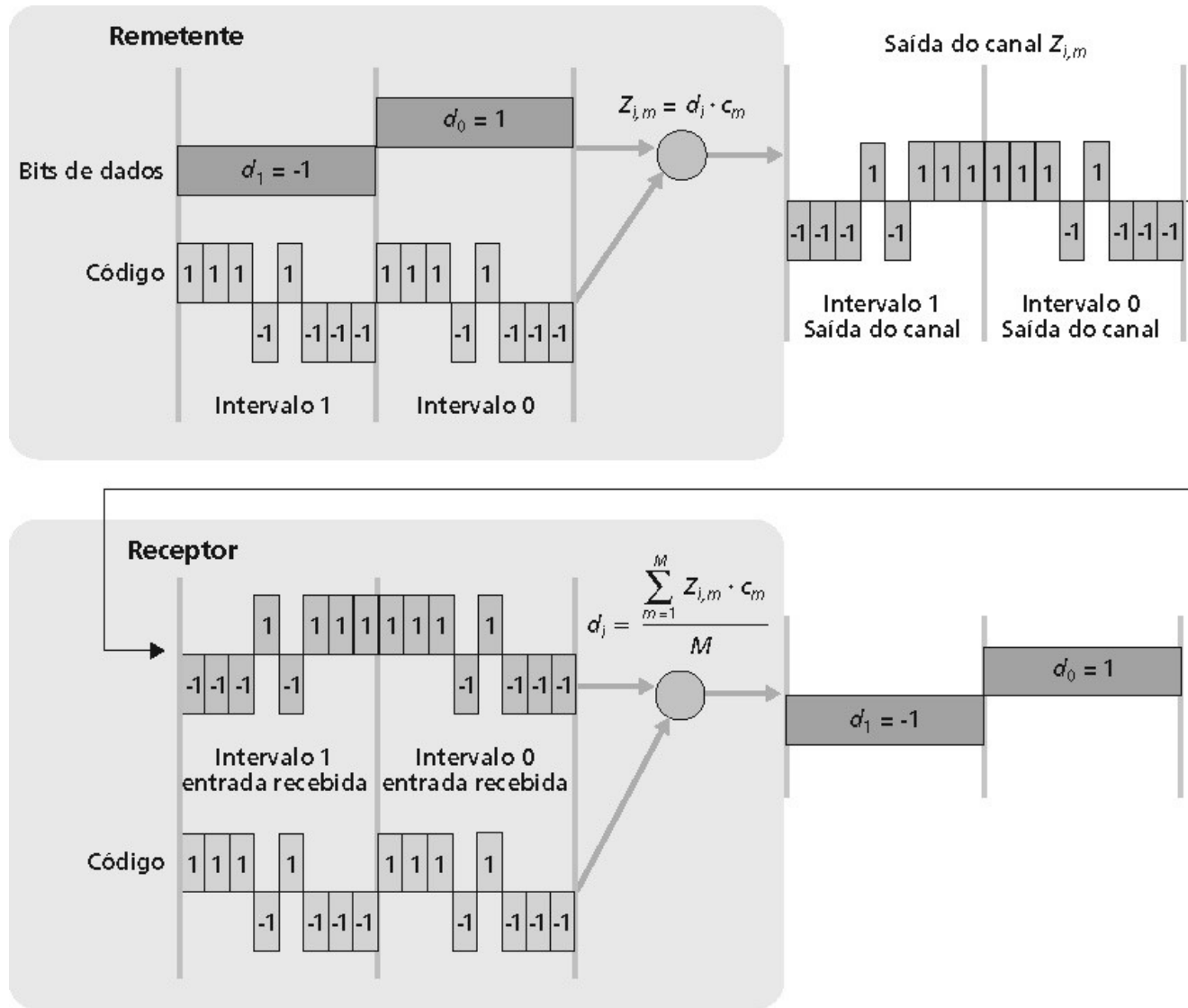
Desvanecimento (fading):

- B, A ouvem um ao outro
- B, C ouvem um ao outro
- A, C não podem ouvir um ao outro, interferindo em B

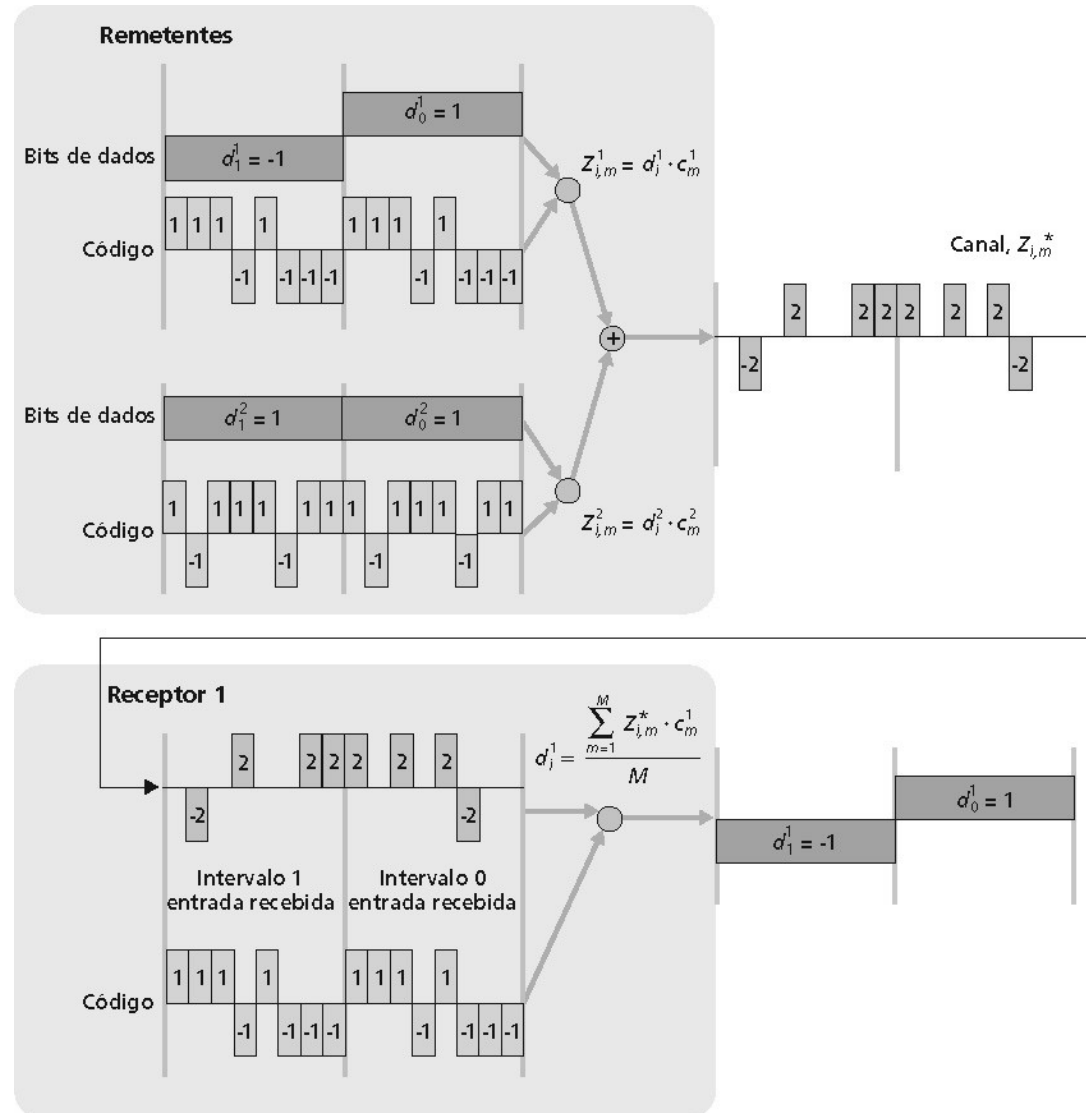
6 Acesso múltiplo por divisão de código (CDMA)

- Usado em vários padrões de canal broadcast (celular, satélite etc.)
- Um código único é atribuído a cada usuário; isto é, ocorre um particionamento do conjunto de códigos
- Todos os usuários compartilham a mesma frequência, mas cada usuário tem a sua própria sequência de “chipping” (por exemplo, código) para codificar os dados
- *Sinal codificado* = (dados originais) X (sequência de chipping)
- *Decodificação*: produto interno do sinal codificado e da sequência de chipping
- Permite a coexistência de múltiplos usuários e a transmissão simultânea com um mínimo de interferência (se os códigos forem “ortogonais”)

6 CDMA codificação/decodificação



6 CDMA: interferência de dois transmissores



6 Redes sem fio e redes móveis

- 6.1 Introdução

Sem fio

- 6.2 Enlaces sem fio, características
 - CDMA
- 6.3 IEEE 802.11 LANs sem fio (“wi-fi”)
- 6.4 Acesso celular à Internet
 - Arquitetura
 - Padrões (ex.: GSM)

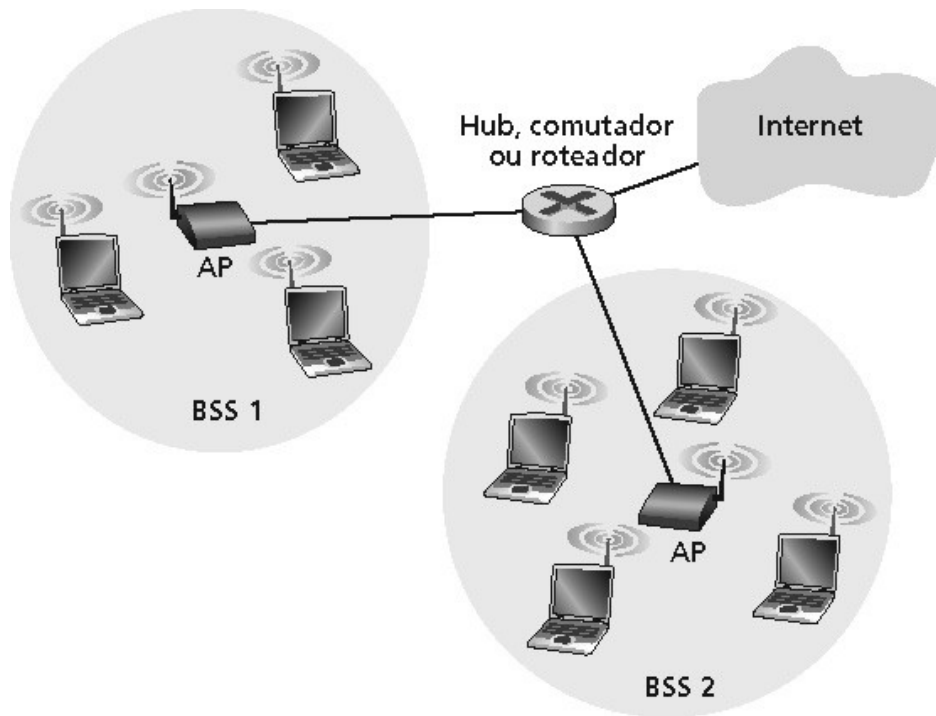
Mobilidade

- 6.5 Princípios: endereçamento e roteamento para usuários móveis
- 6.6 IP móvel
- 6.7 Tratando mobilidade em redes celulares
- 6.8 Mobilidade e protocolos de alto nível
- 6.9 Resumo

6 IEEE 802.11 LAN sem fio

- **802.11b**
 - 2,4-5 GHz faixa de rádio sem licença
 - Até 11 Mbps
 - Direct sequence spread spectrum (DSSS) na camada física
 - Todos os hospedeiros usam a mesma sequência de código
 - Largamente empregado, usando estações-base (pontos de acesso)
- **802.11a**
 - Faixa 5-6 GHz
 - Até 54 Mbps
- **802.11g**
 - Faixa 2,4-5 GHz
 - Até 54 Mbps
- Todos usam CSMA/CA para acesso múltiplo
- Todos têm estações-base e versão para redes ad hoc

6 802.11 arquitetura de LAN



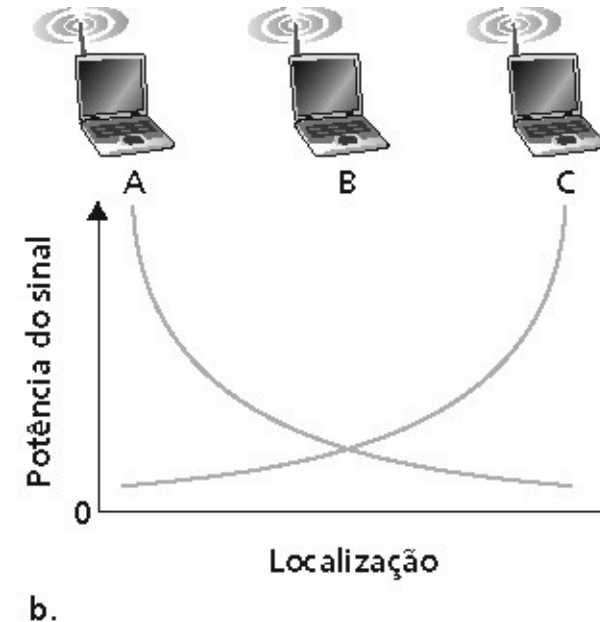
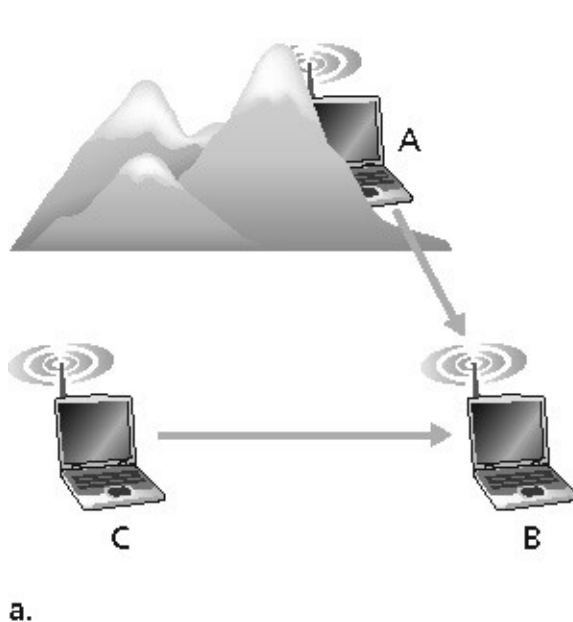
- Hospedeiro sem fio se comunica com a estação-base
 - Estação-base = ponto de acesso (AP)
- Basic Service Set (BSS) (ou “célula”) no modo infra-estrutura contém:
 - Hospedeiros sem fio
 - Ponto de acesso (AP): estação-base
 - Modo ad hoc: somente hospedeiros

6 802.11: Canais, associação

- 802.11b: o espectro de 2,4 GHz-2,485 GHz é dividido em 11 canais de diferentes frequências
 - O administrador do AP escolhe a frequência para o AP
 - Possível interferência: canal pode ser o mesmo que aquele escolhido por um AP vizinho!
- Hospedeiro: deve se **associar** com um AP
 - Percorre canais, buscando quadros *beacon* que contêm o nome do AP (SSID) e o endereço MAC
 - Escolhe um AP para se associar
 - Pode realizar autenticação [Capítulo 8]
 - Usa tipicamente DHCP para obter um endereço IP na sub-rede do AP

6 IEEE 802.11: acesso múltiplo

- Evita colisões: 2 ou mais nós transmitindo ao mesmo tempo
- 802.11: CSMA - escuta antes de transmitir
 - Não colide com transmissões em curso de outros nós
- 802.11: não faz detecção de colisão!
 - Difícil de receber (sentir as colisões) quando transmitindo devido ao fraco sinal recebido (desvanecimento)
 - Pode não perceber as colisões: terminal oculto, fading
 - Meta: **evitar colisões**: CSMA/C(collision)A(voidance)



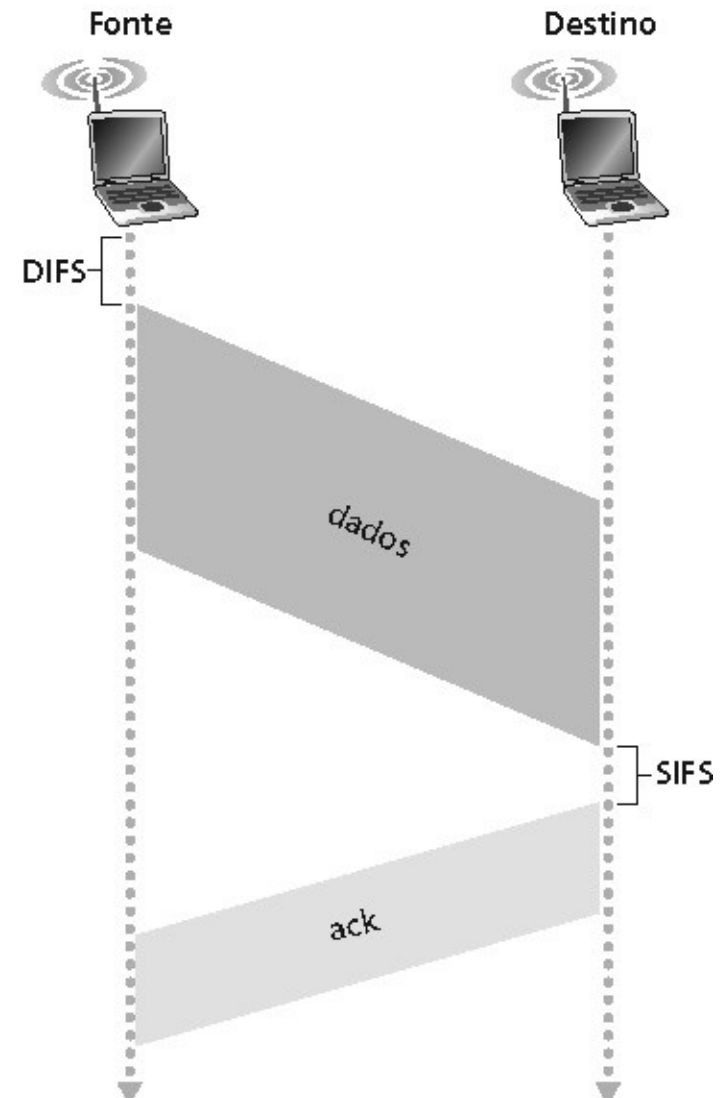
6 IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

Transmissor 802.11

1. Se o canal é percebido quieto (idle) por **DIFS**, então
 - Transmite o quadro inteiro (sem CD)
2. Se o canal é percebido ocupado, então
 - Inicia um tempo de backoff aleatório
 - Temporizador conta para baixo enquanto o canal está quieto
 - Transmite quando temporizador expira. Se não vem ACK, aumenta o intervalo de backoff aleatório, repete 2

Receptor 802.11

- Se o quadro é recebido OK retorna ACK depois de **SIFS** (ACK é necessário devido ao problema do terminal oculto)



6 Evitando colisões

Idéia: permite ao transmissor “reservar” o canal em vez de acessar aleatoriamente ao enviar quadros de dados: evita colisões de quadros grandes

- Transmissor envia primeiro um pequeno quadro chamado request to send (RTS) à estação-base usando CSMA
 - RTSs podem ainda colidir uns com os outros, mas são pequenos
- BS envia em broadcast clear to send CTS em resposta ao RTS
 - RTS é ouvido por todos os nós
 - Transmissor envia o quadro de dados
 - Outras estações deferem suas transmissões

**Evita completamente colisões de quadros de dados
usando pequenos quadros de reserva!**

6 Quadro 802.11: endereçamento



Endereço 1: endereço MAC do Hospedeiro sem fio ou AP que deve receber o quadro

Endereço 2: endereço MAC do hospedeiro sem fio ou AP transmitindo este quadro

Endereço 3: endereço MAC da interface do roteador à qual o AP é ligado

Endereço 4: usado apenas no modo ad hoc



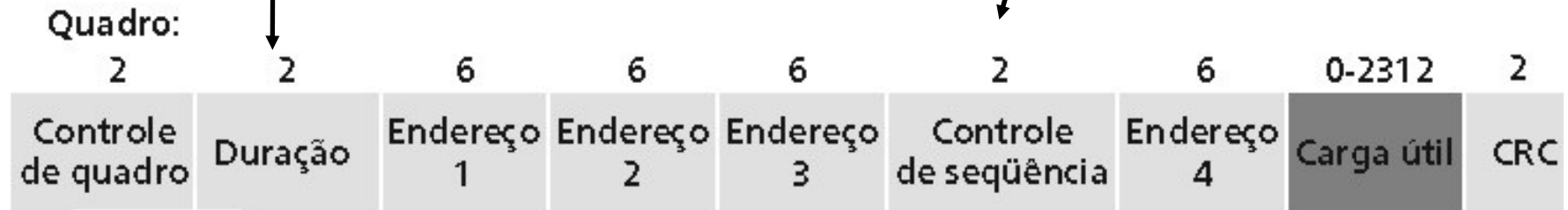
PEARSON

Addison
Wesley

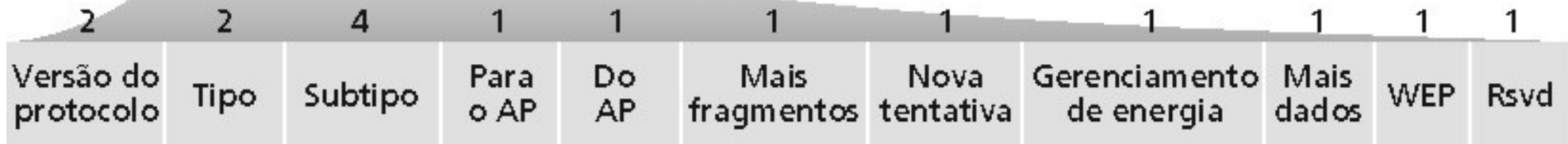
6 Quadro 802.11

Duração do tempo de transmissão reservada (RTS/CTS)

seg do quadro (para ARQ confiável)



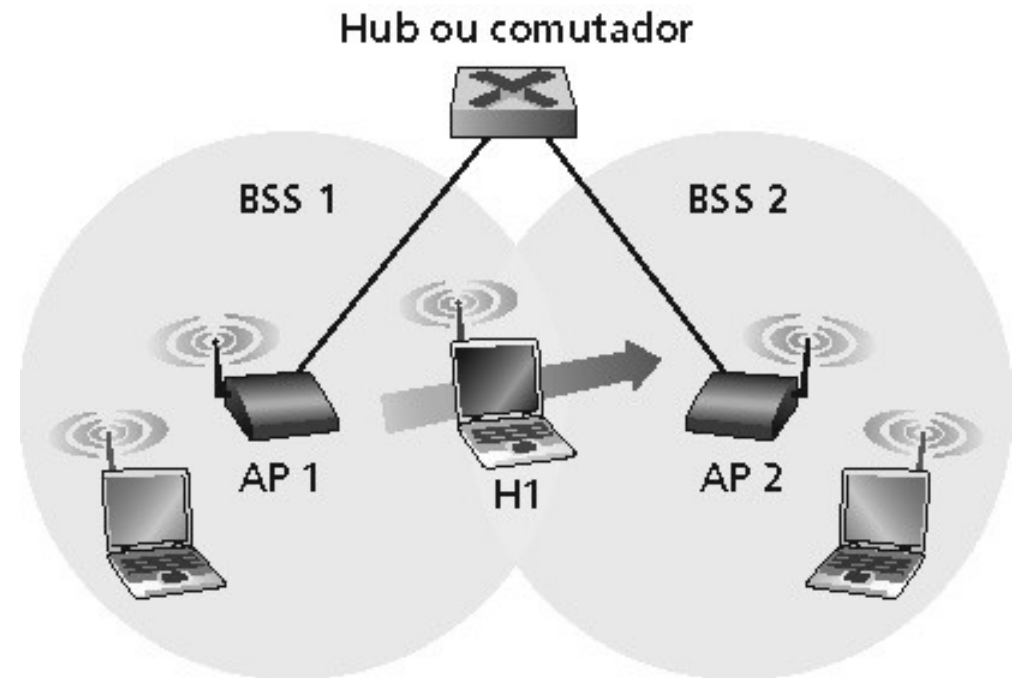
Detalhamento do campo de controle do quadro:



Tipo de quadro (RTS, CTS, ACK, dados)

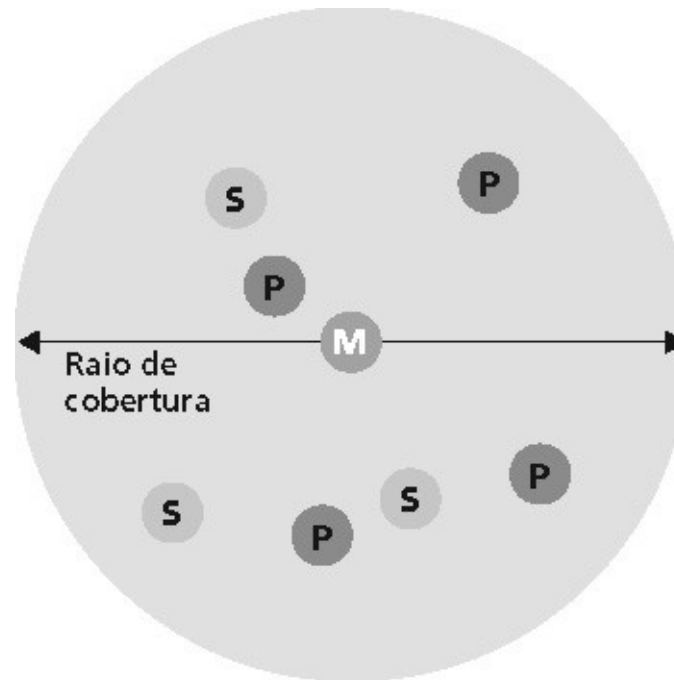
6 802.11: mobilidade na mesma sub-rede

- H1 permanece na mesma sub-rede IP; endereço pode ficar o mesmo
- Switch: qual AP está associado com H1?
 - Aprendizado (Cap. 5): switch vê quadro de H1 e “lembra” qual porta do switch deve ser usada para chegar a H1



6 802.15: rede de área pessoal

- Diâmetro inferior a 10m
- Substituição de cabos (mouse, teclado, fones)
- ad hoc: sem infra-estrutura
- Mestre/escravo:
 - Escravo solicita permissão para enviar (ao mestre)
 - Mestre atende a pedidos
- 802.15: evolução da especificação do Bluetooth
 - Faixa de 2,4-2,5 GHz
 - Até 721 kbps



Legenda:

- M** Dispositivo mestre
- S** Dispositivo escravo
- P** Dispositivo estacionado

6 Redes sem fio e redes móveis

- 6.1 Introdução

Sem fio

- 6.2 Enlaces sem fio, características
 - CDMA
- 6.3 IEEE 802.11 LANs sem fio (“wi-fi”)
- 6.4 Acesso celular à Internet
 - Arquitetura
 - Padrões (ex.: GSM)

Mobilidade

- 6.5 Princípios: endereçamento e roteamento para usuários móveis
- 6.6 IP móvel
- 6.7 Tratando mobilidade em redes celulares
- 6.8 Mobilidade e protocolos de alto nível
- 6.9 Resumo

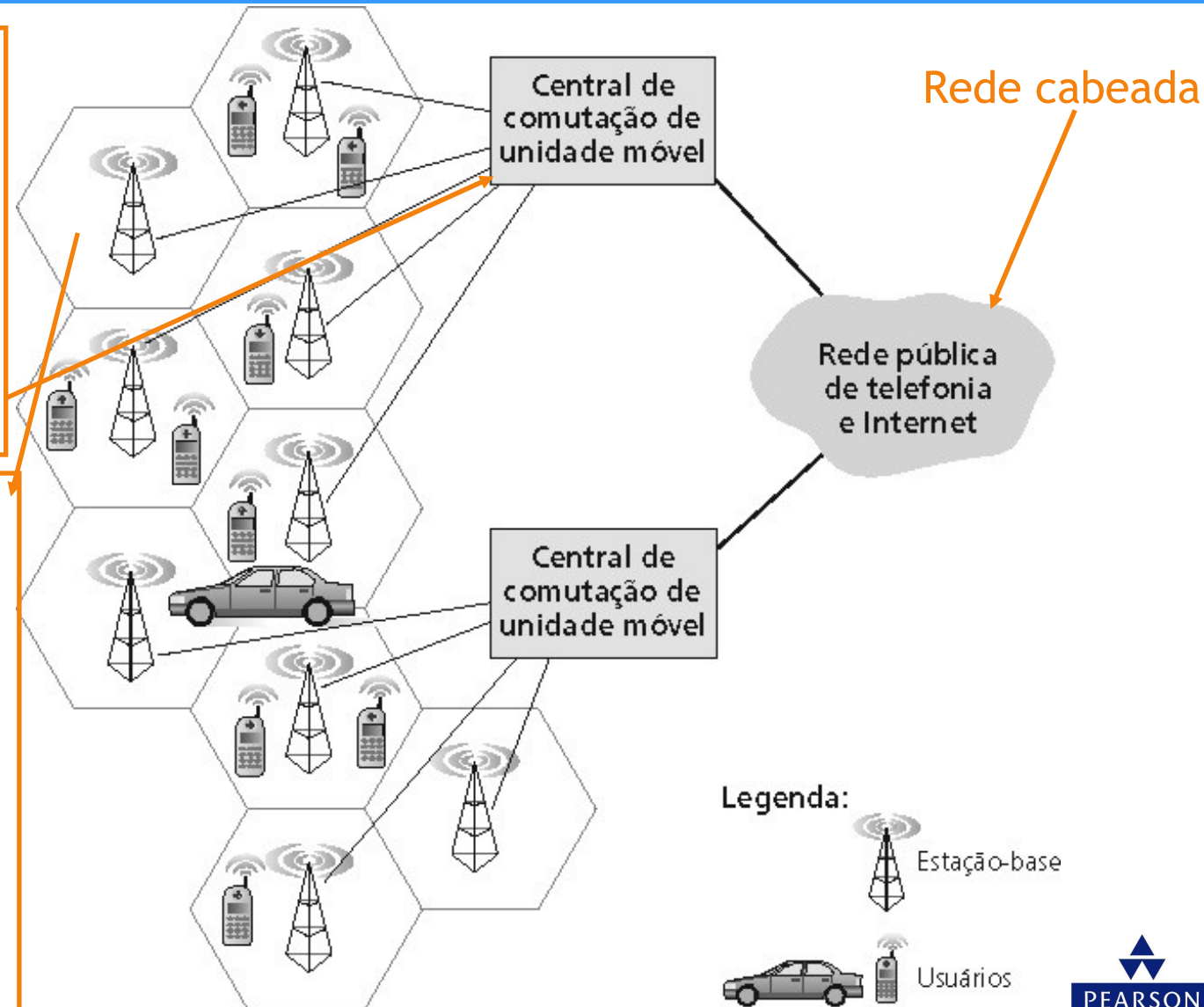
6 Componentes de uma rede com arquitetura celular

MSC (Mobile Switching Center)

- ❑ conecta a célula na rede WAN
- ❑ gerencia call setup (depois)
- ❑ trata mobilidade (depois)

Célula

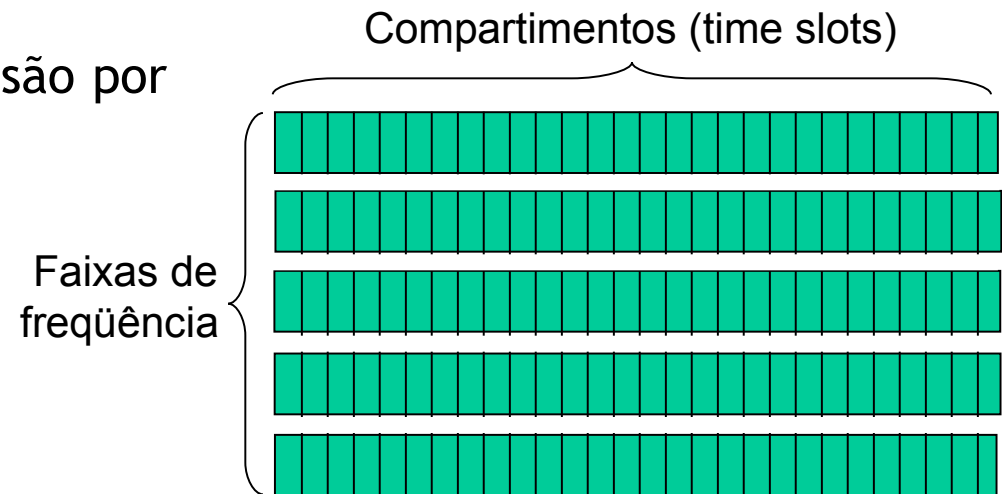
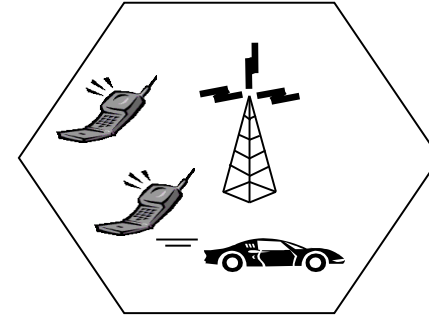
- ❑ cobre uma região geográfica
- ❑ *estação-base* (BS) análoga ao 802.11 AP
- ❑ *usuários móveis* ligam-se à rede através do BS
- ❑ *interface aérea*: protocolo de camada física e de enlace entre o usuário móvel e o BS



6 Redes celulares: o primeiro salto

Duas técnicas para compartilhamento do espectro na interface aérea:

- **FDMA/TDMA combinado:** divide o espectro em canais de frequência, divide cada canal em compartimentos temporais
- **CDMA:** acesso múltiplo com divisão por códigos



6 Padrões celulares: breve resumo

Sistemas 2G: canais de voz

- IS-136 TDMA: FDMA/TDMA combinado (América do Norte)
- GSM (global system for mobile communications): FDMA/TDMA combinado
 - Empregado de forma mais ampla
- IS-95 CDMA: acesso múltiplo por divisão de códigos

6 Padrões celulares: breve resumo

Sistemas 2,5 G: canais de dados e de voz

- Para aqueles que não podem esperar por serviços 3G: 2G extensões
- General packet radio service (GPRS)
 - Evolução do GSM
 - Dados enviados em múltiplos canais (se disponíveis)
- Enhanced data rates for global evolution (EDGE)
 - Também evolução do GSM, usa modulação aperfeiçoada
 - Taxa de dados até 384 K
- CDMA-2000 (fase 1)
 - Taxa de dados até 144 K
 - Evolução do IS-95

6 Padrões celulares: breve resumo

Sistemas 3G: voz e dados

- Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)
 - Evolução do GSM, mas usando CDMA
- CDMA-2000

...mais (e mais interessantes) tópicos sobre celular para mobilidade
(fique ligado para detalhes)

6 Redes sem fio e redes móveis

- 6.1 Introdução

Sem fio

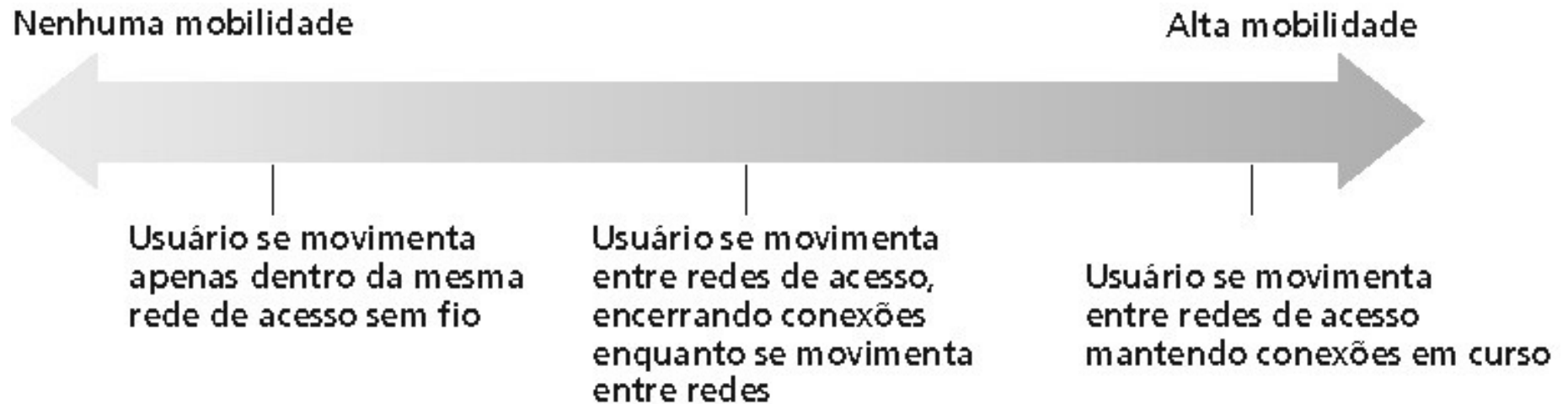
- 6.2 Enlaces sem fio, características
 - CDMA
- 6.3 IEEE 802.11 LANs sem fio (“wi-fi”)
- 6.4 Acesso celular à Internet
 - Arquitetura
 - Padrões (ex.: GSM)

Mobilidade

- 6.5 Princípios: endereçamento e roteamento para usuários móveis
- 6.6 IP móvel
- 6.7 Tratando mobilidade em redes celulares
- 6.8 Mobilidade e protocolos de alto nível
- 6.9 Resumo

6 O que é mobilidade?

- Espectro da mobilidade, do ponto de vista da rede:

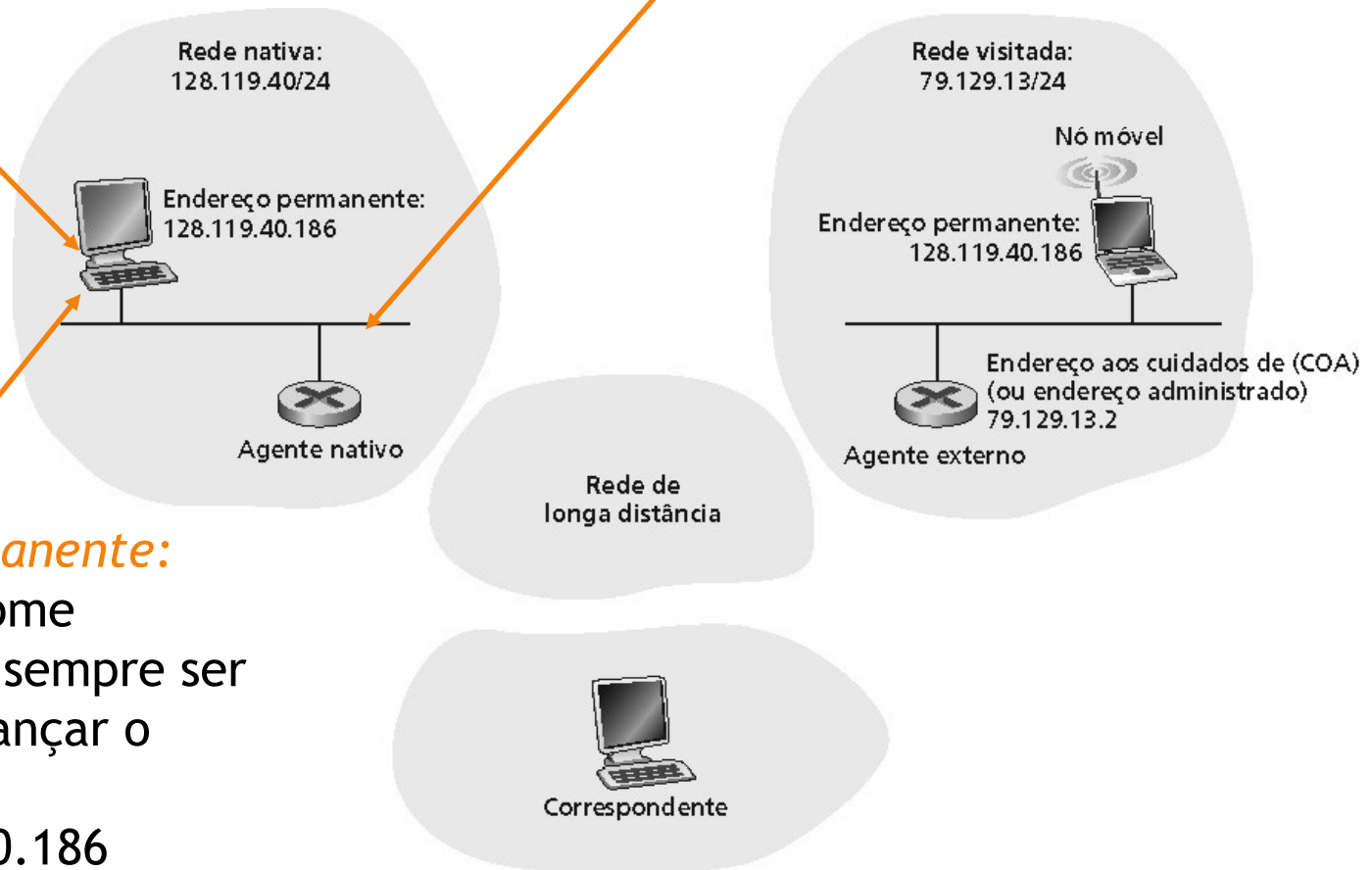


6 Mobilidade: vocabulário

Home network: “lar”
permanente do usuário
(ex., 128.119.40/24)

Agente nativo: entidade que
implementa as funções de
mobilidade em benefício do usuário
móvel quando ele está remoto

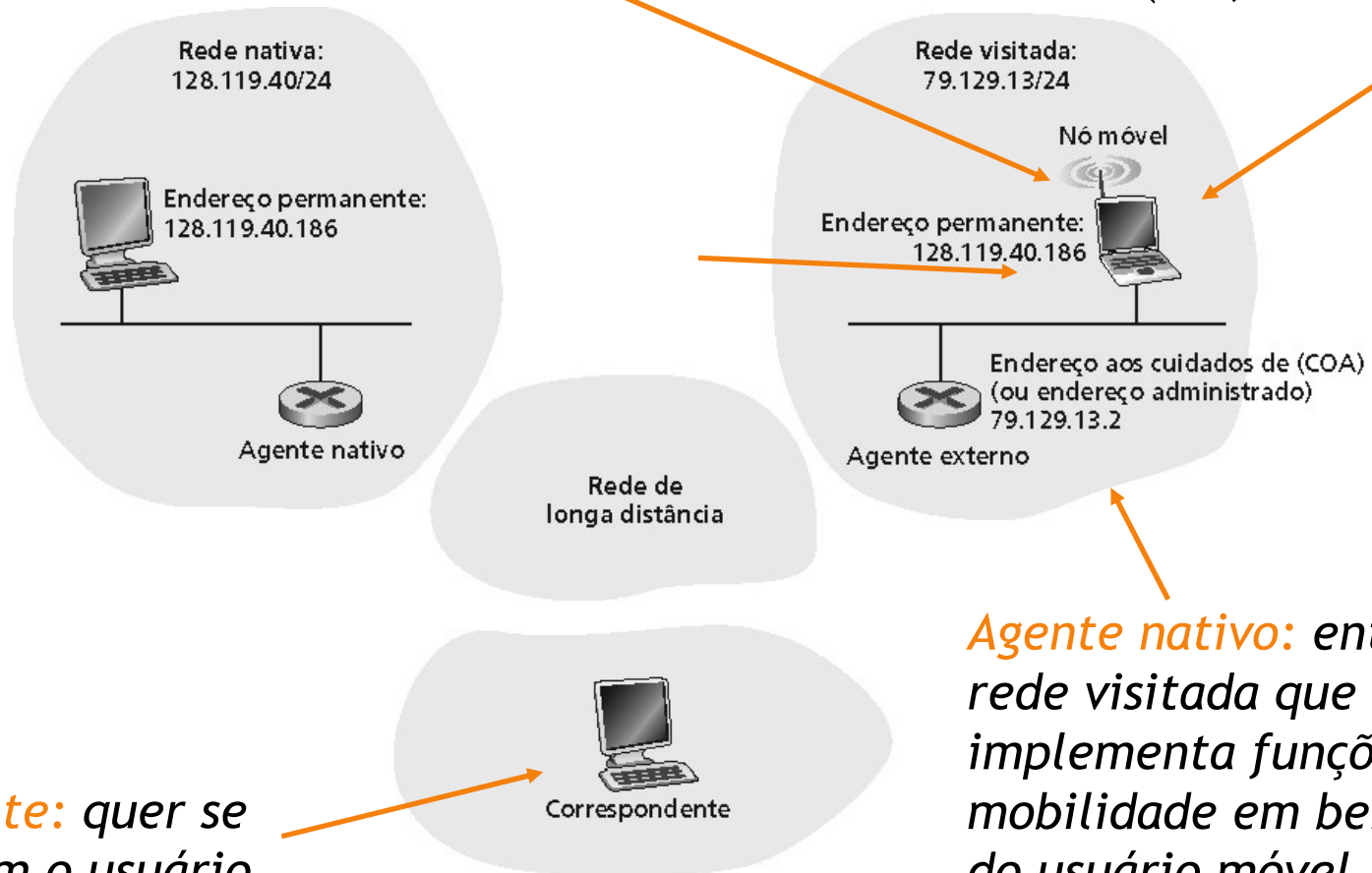
Endereço permanente:
endereço na home
network; pode sempre ser
usado para alcançar o
usuário móvel
ex., 128.119.40.186



6 Mobilidade: mais vocabulário

Endereço permanente: fica constante (ex., 128.119.40.186)

Rede visitada: rede na qual o usuário móvel se encontra num certo momento (ex., 79.129.13/24)



Correspondente: quer se comunicar com o usuário móvel

Agente nativo: entidade na rede visitada que implementa funções de mobilidade em benefício do usuário móvel

6 Como contatar um amigo móvel

Considere uma amiga que muda freqüentemente de endereço.
Como encontrá-la?

- Procurar todos os endereços?
- Ligar para os seus pais?
- Esperar que ela lhe conte onde está?

6 Mobilidade: abordagens

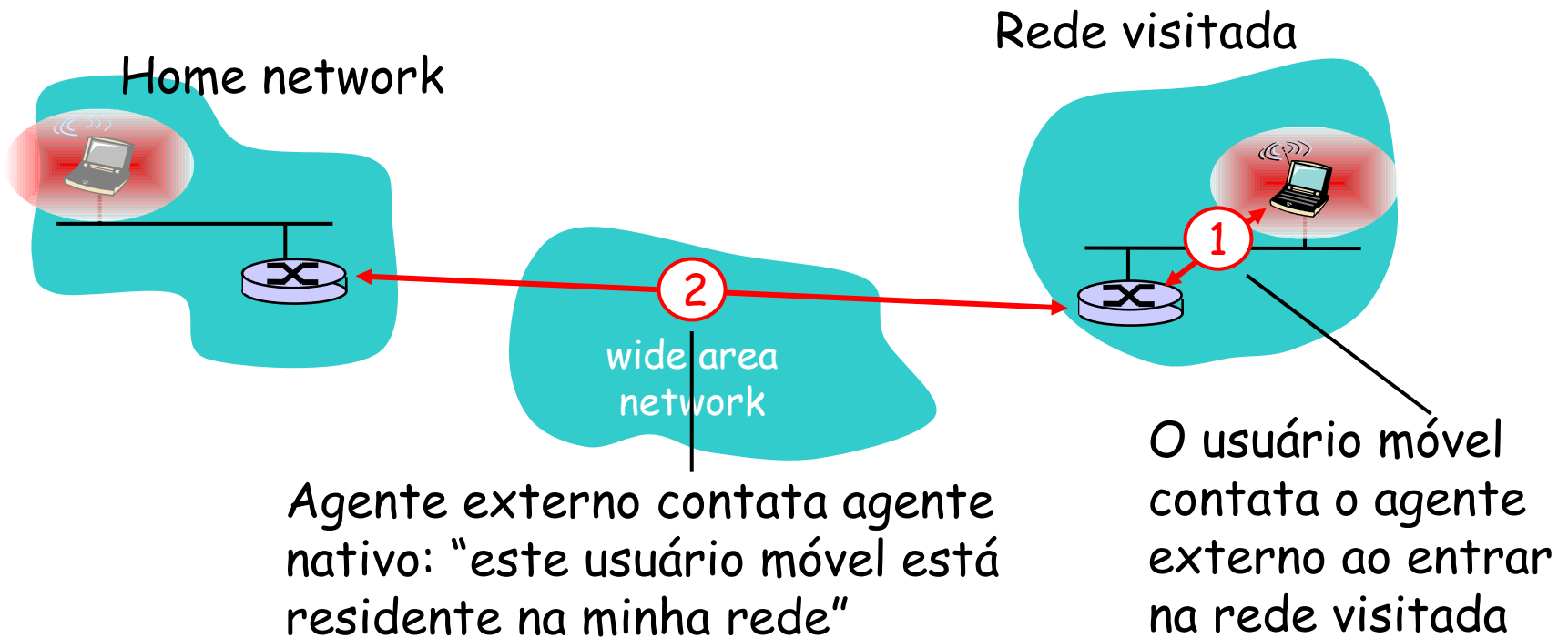
- *Deixe o roteamento tratar disso:* roteadores informam endereços permanentes de nós móveis residentes por meio de suas trocas de tabelas de roteamento
 - As tabelas de roteamento indicam a localização de cada nó móvel
 - Não exige mudanças nos sistemas finais
- *Deixe os sistemas finais tratarem disso:*
 - *Roteamento indireto:* comunicação do correspondente ao usuário móvel passa pelo agente nativo; então é enviada ao remoto
 - *Roteamento direto:* correspondente obtém o endereço “care-of-address” do usuário móvel e transmite diretamente para ele

6 Mobilidade: abordagens

- *Deixe o roteamento tratar disso:* roteadores informam endereços permanentes de nós móveis residentes por meio de suas trocas de tabelas de roteamento
 - As tabelas de roteamento indicam a localização de cada nó móvel
 - Não exige mudanças nos sistemas finais
- *Deixe os sistemas finais tratarem disso:*
 - *Roteamento indireto:* comunicação do correspondente ao usuário móvel passa pelo agente nativo; então é enviada ao remoto
 - *Roteamento direto:* correspondente obtém o endereço “care-of-address” do usuário móvel e transmite diretamente para ele



6 Mobilidade: registro



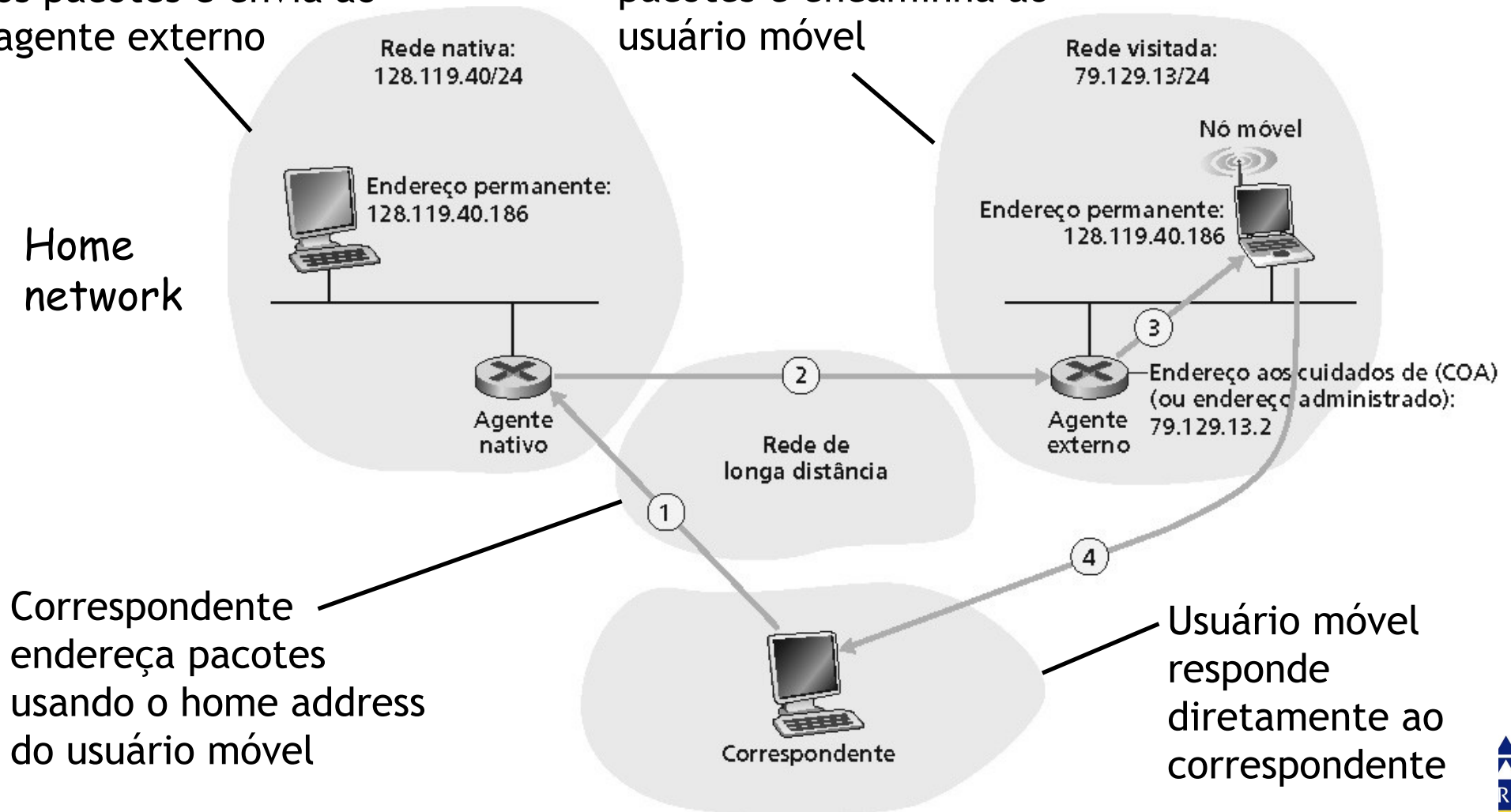
Resultado final:

- Agente externo sabe sobre o usuário móvel
- Agente nativo conhece a localização do usuário móvel

6 Mobilidade via roteamento indireto

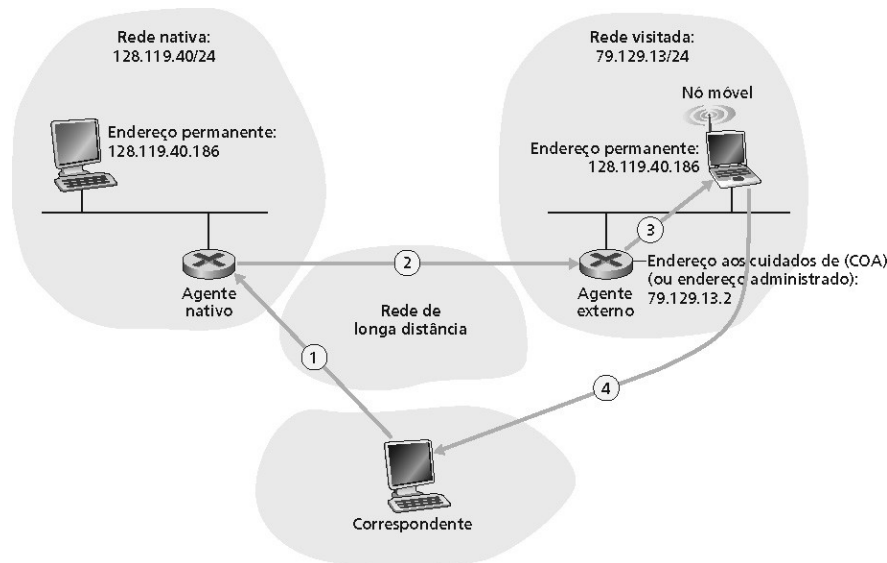
Agente nativo intercepta os pacotes e envia ao agente externo

Agente externo recebe pacotes e encaminha ao usuário móvel



6 Roteamento indireto: comentários

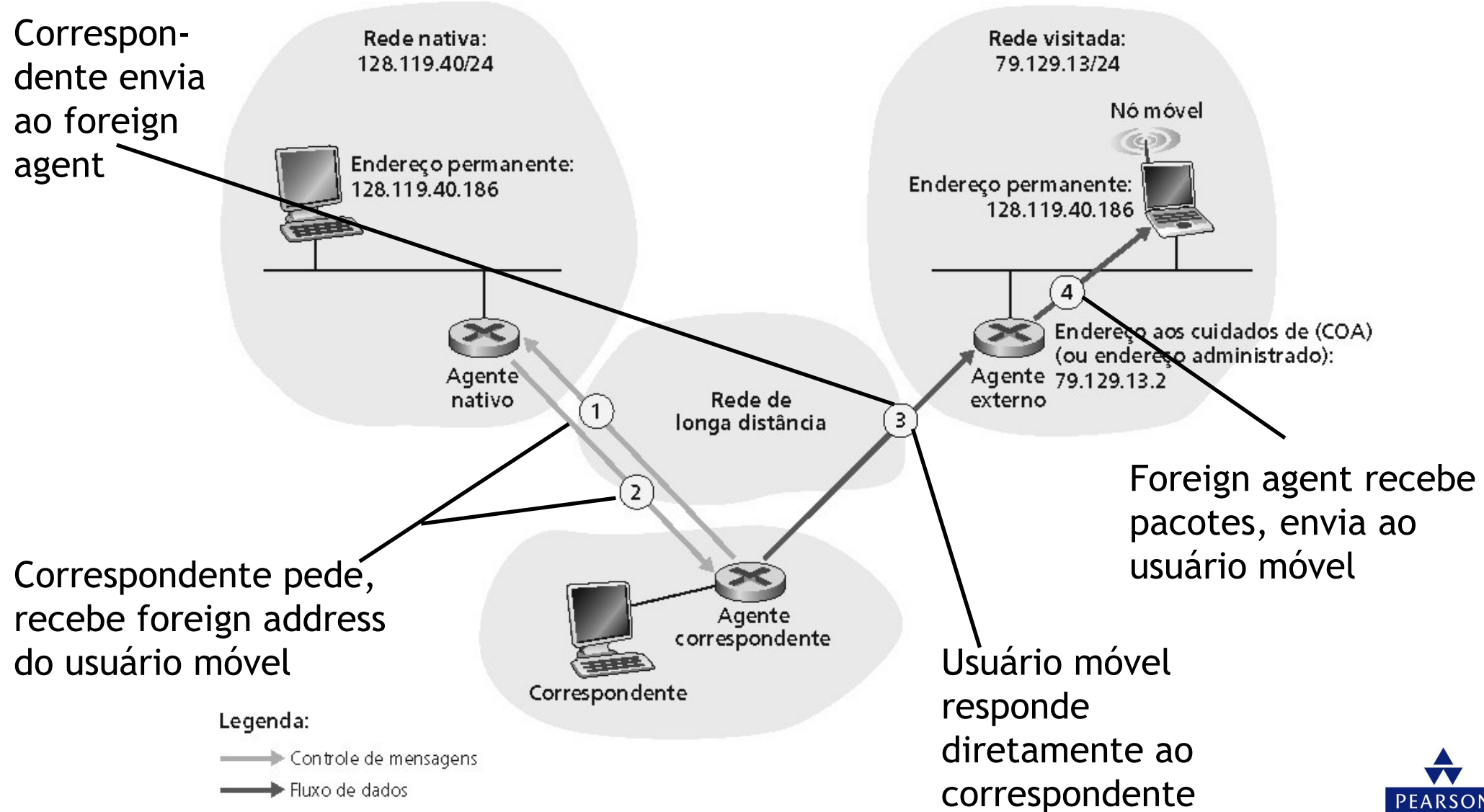
- Usuário móvel usa dois endereços:
 - **Endereço permanente:** usado pelo correspondente (assim, a localização do usuário móvel é **transparente** para o correspondente)
 - **Care-of-address:** usado pelo agente nativo para enviar datagramas ao usuário móvel
- As funções do foreign agent podem ser feitas pelo próprio usuário móvel
- **Roteamento triangular:** correspondente-home network-usuário móvel
 - Ineficiente quando correspondente e usuário móvel estão na mesma rede



6 Roteamento indireto: movendo-se entre redes

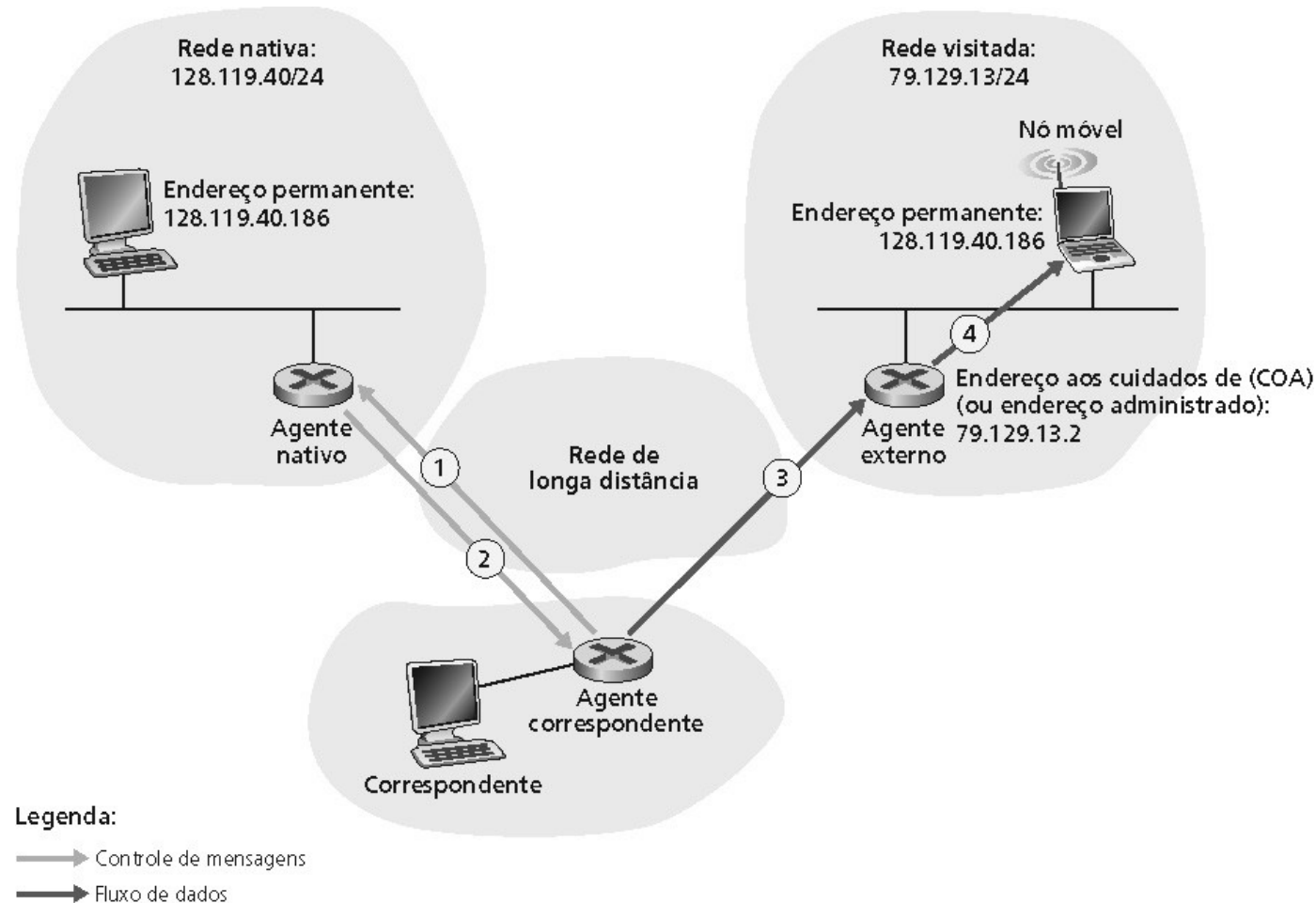
- Suponha que o usuário móvel se mova para outra rede
 - Registra com novo agente
 - Novo agente externo registra com agente nativo
 - Agente nativo atualiza care-of-address para o usuário móvel
 - Pacotes continuam a ser enviados ao usuário móvel (mas com novo care-of-address)
- Mobilidade; a mudança de rede remota é transparente: *conexões em curso podem ser mantidas!*

6 Mobilidade via roteamento direto



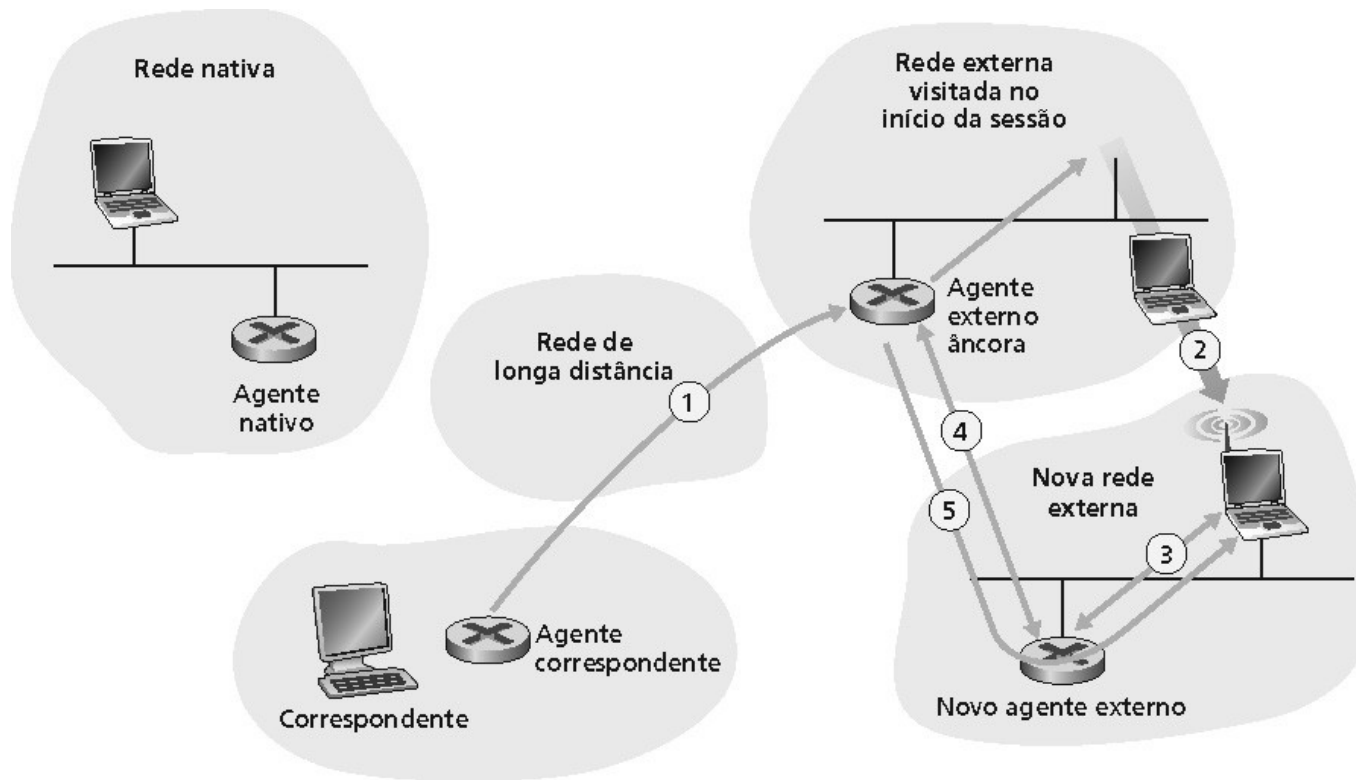
6 Mobilidade via roteamento direto: comentários

- Resolve problema do roteamento triangular
- Não é transparente para o correspondente: correspondente deve obter o care-of-address do agente nativo
 - O que ocorre se o usuário móvel muda de rede visitada?



6 Acomodando mobilidade com roteamento direto

- Agente externo âncora: FA na primeira rede visitada
- Dados sempre são roteados primeiro para o FA âncora
- Quando o usuário móvel muda: novo FA toma medidas para ter os dados enviados pelo FA anterior (encadeamento)



6 Redes sem fio e redes móveis

- 6.1 Introdução

Sem fio

- 6.2 Enlaces sem fio, características
 - CDMA
- 6.3 IEEE 802.11 LANs sem fio (“wi-fi”)
- 6.4 Acesso celular à Internet
 - Arquitetura
 - Padrões (ex.: GSM)

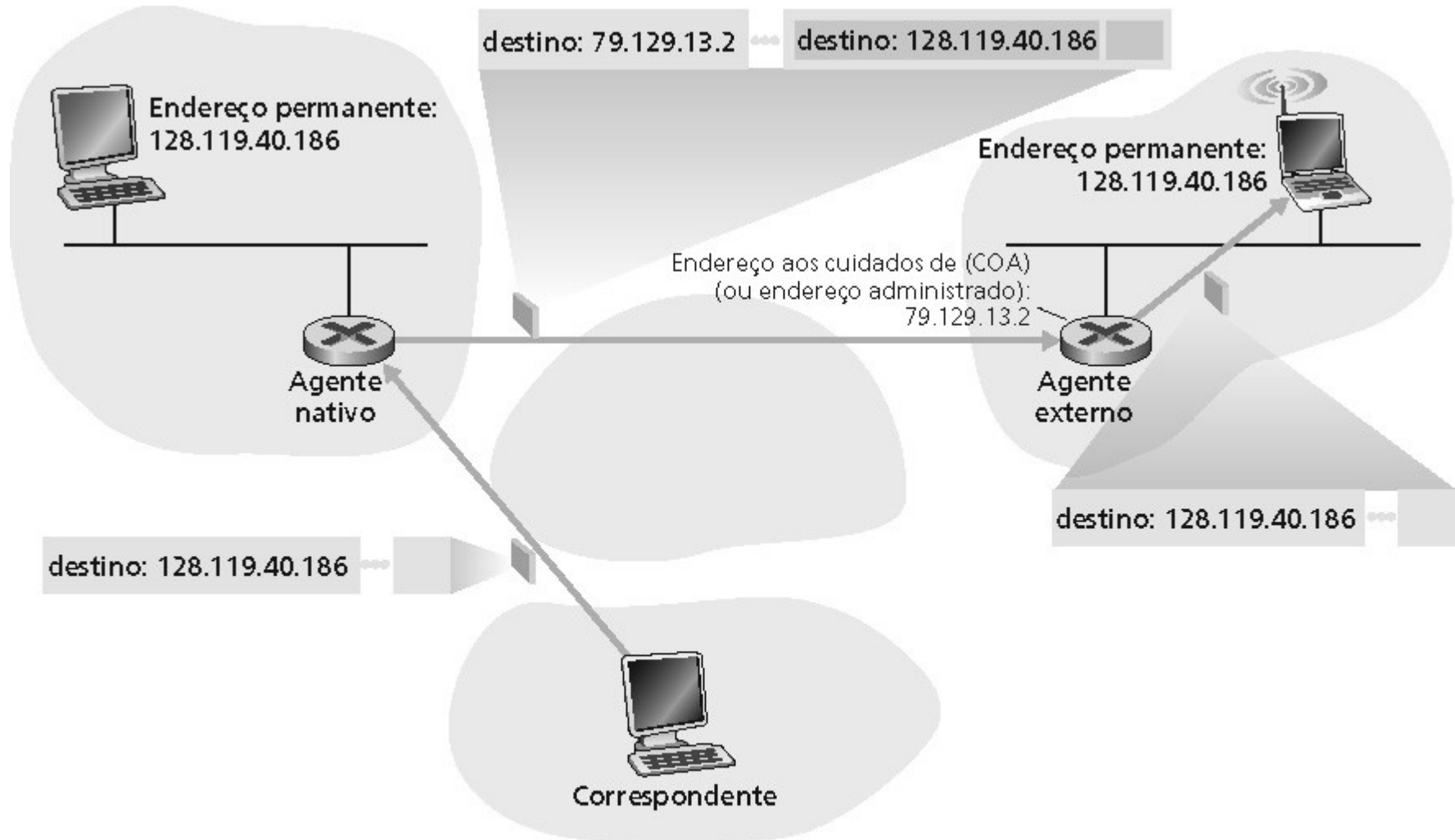
Mobilidade

- 6.5 Princípios: endereçamento e roteamento para usuários móveis
- 6.6 IP móvel
- 6.7 Tratando mobilidade em redes celulares
- 6.8 Mobilidade e protocolos de alto nível
- 6.9 Resumo

6 IP móvel

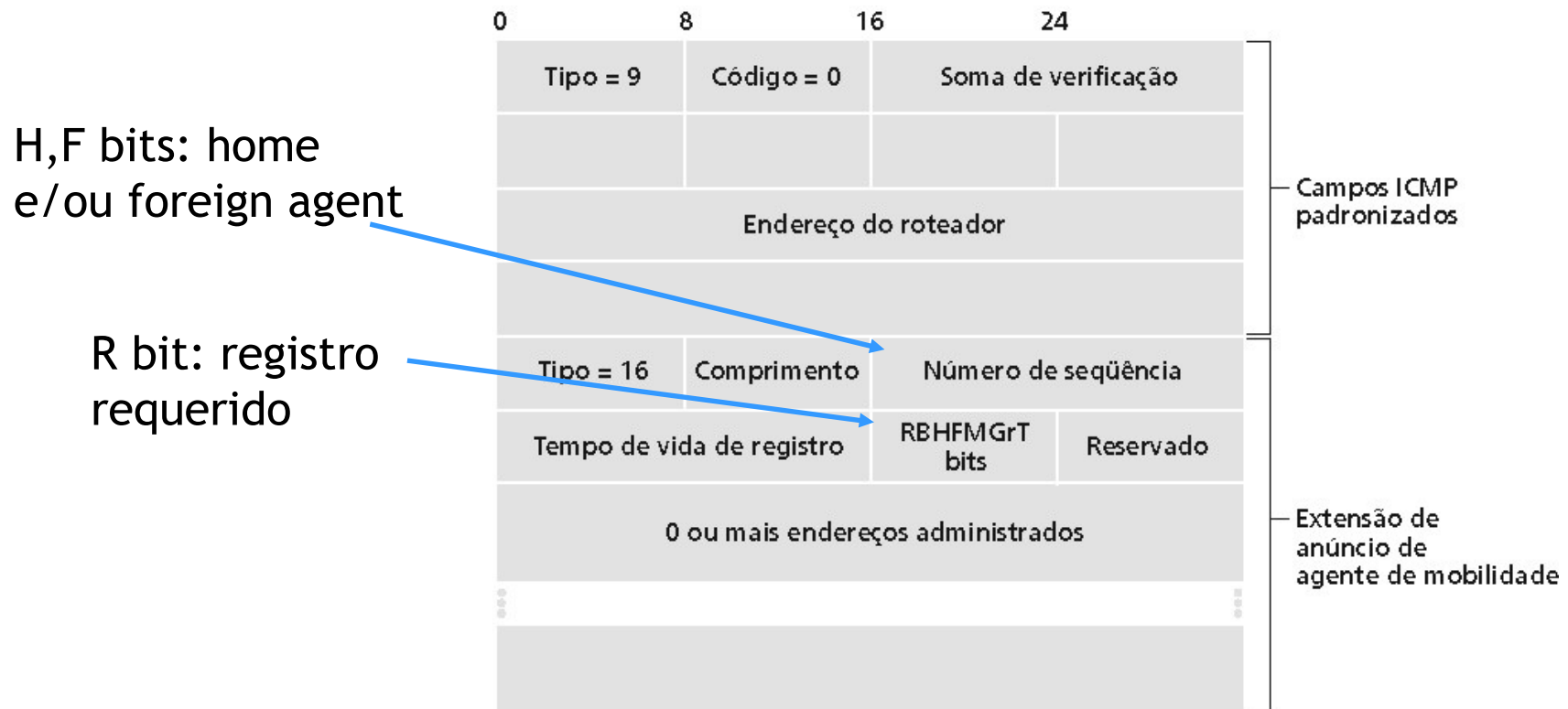
- RFC 3220
- Tem muitas das características já vistas:
 - Agentes nativos, agentes externos, registro de agente externo, care-of addresses, encapsulamento (pacote-dentro-de-pacote)
- Três componentes do padrão:
 - Roteamento indireto de datagramas
 - Descoberta de agentes
 - Registro com o agente nativo

6 IP móvel: roteamento indireto

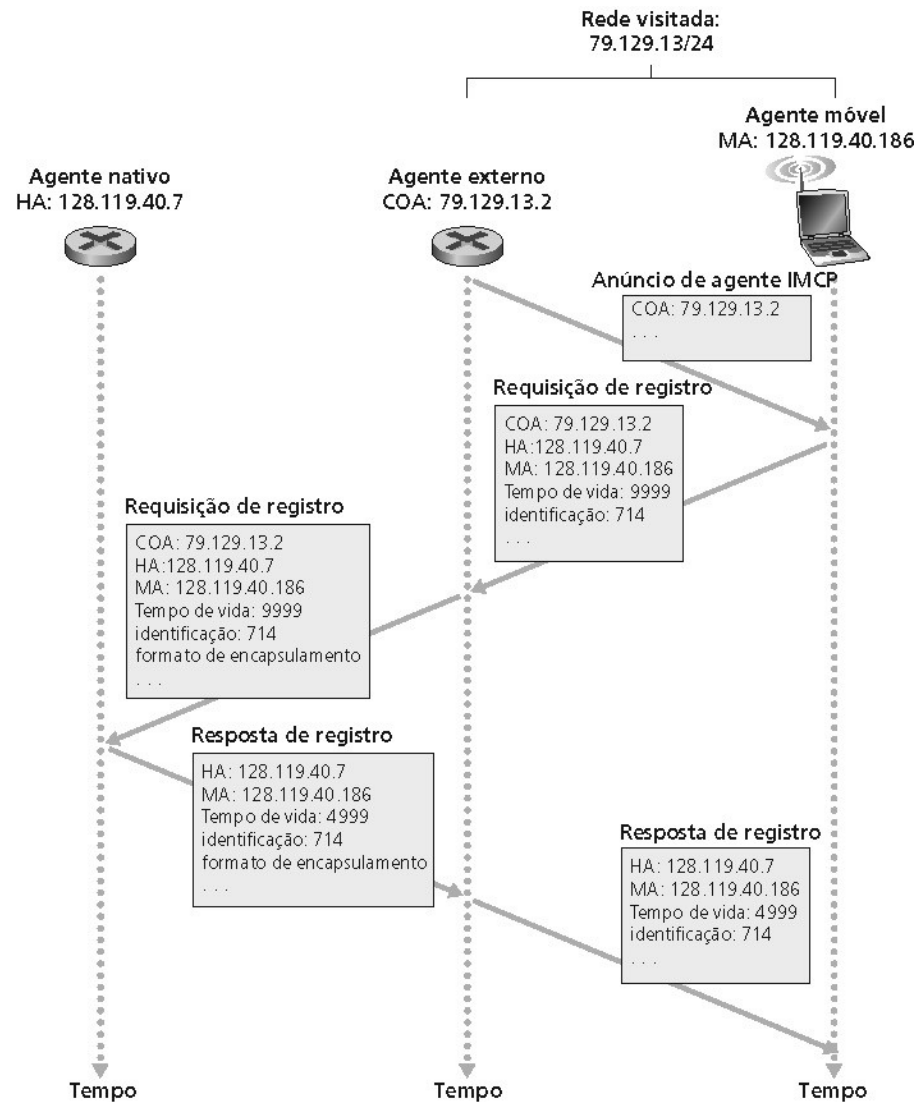


6 IP móvel: descoberta de agentes

- **Anúncio de agente:** agente externos/nativos anunciam serviços enviando pacotes ICMP em broadcast (typefield = 9)

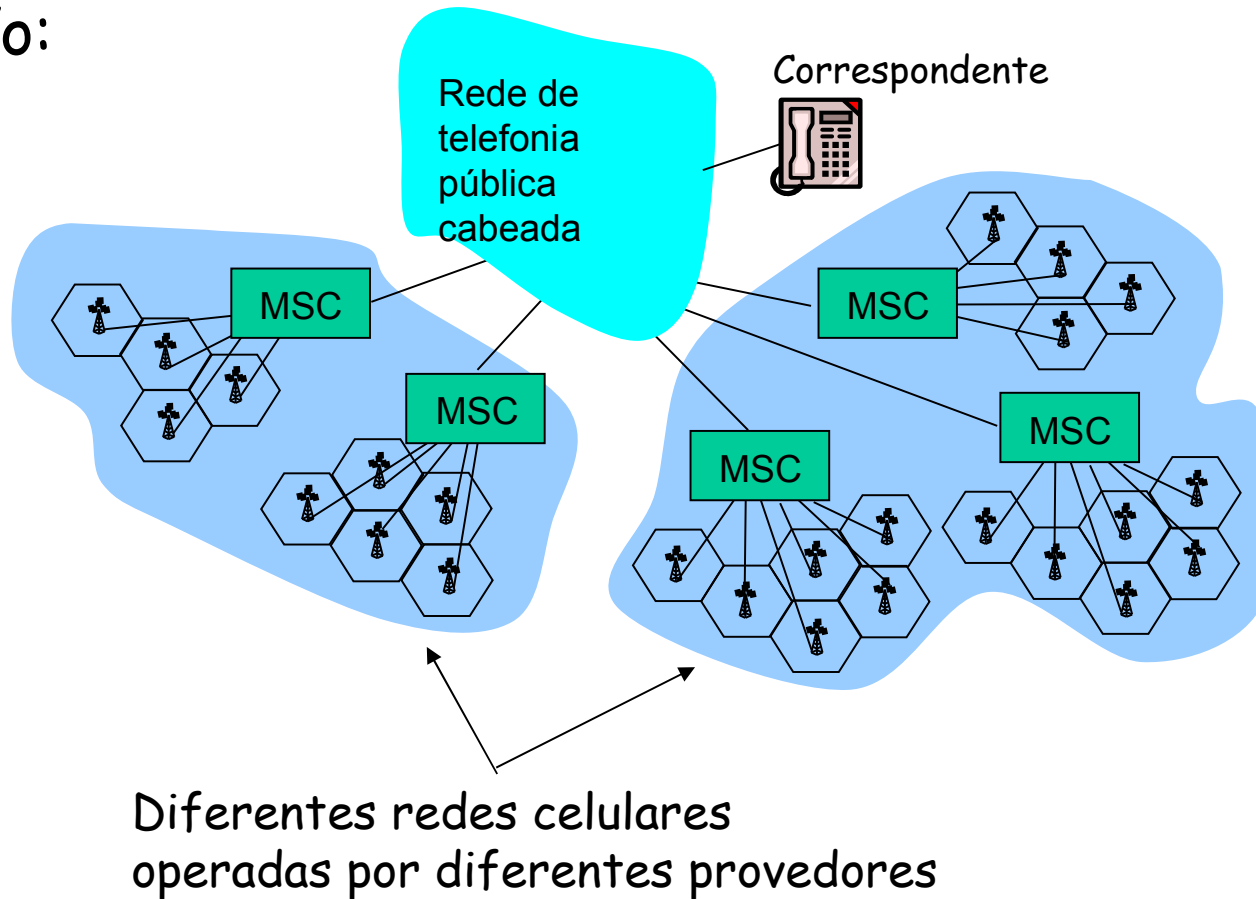


6 IP móvel: exemplo de registros



6 Componentes da arquitetura de uma rede celular

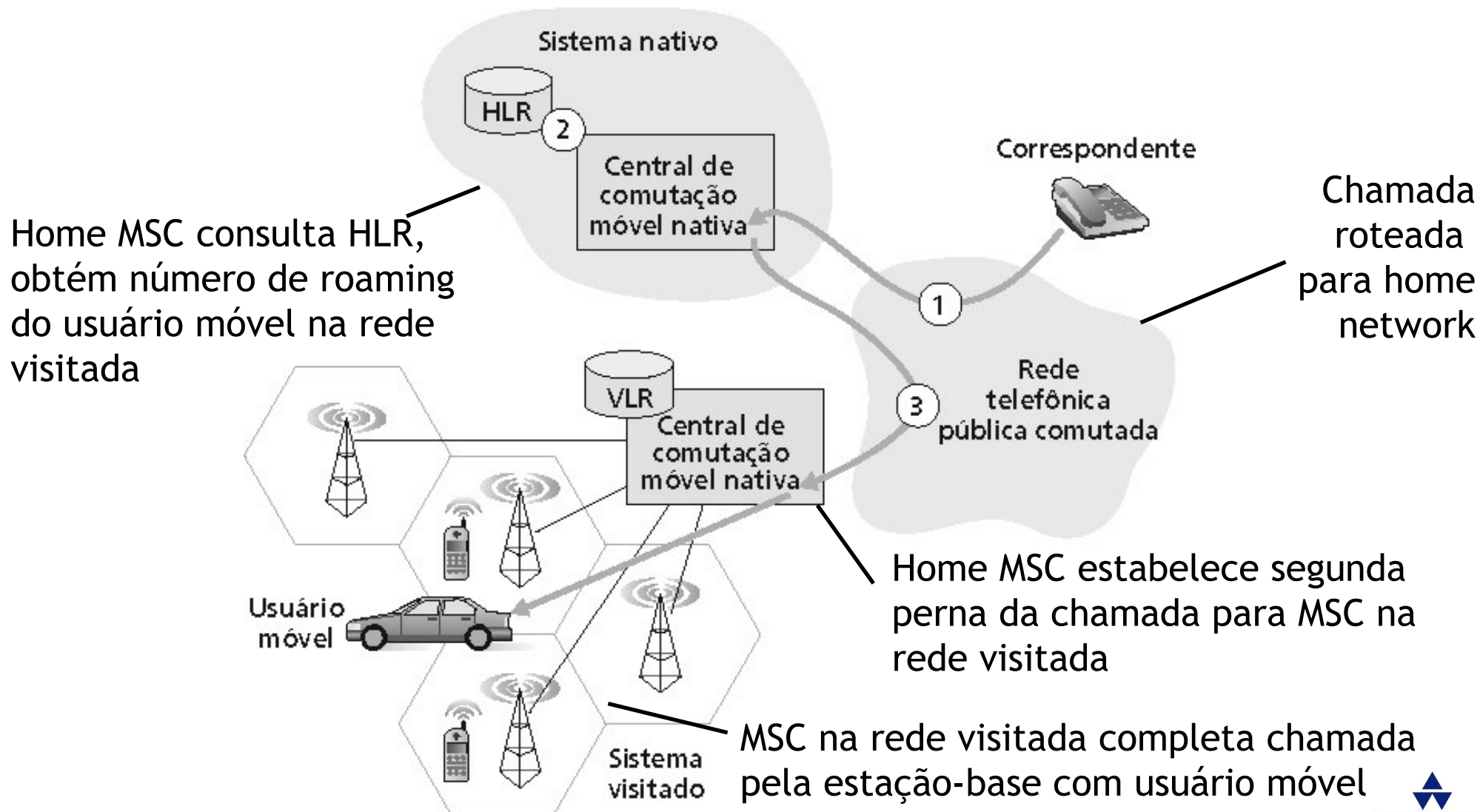
Recordação:



6 Tratando mobilidade em redes celulares

- **Home network:** rede do provedor de serviço celular que você assina (ex.: Sprint PCS, Verizon)
 - **Home location register (HLR):** base de dados na home network contendo o número permanente do telefone celular, informações de perfil de usuário (serviços, preferências, tarifação), informação sobre a localização atual (pode estar em outra rede)
- **Rede visitada:** rede na qual o usuário móvel se encontra atualmente
 - **Visitor location register (VLR):** base de dados com registro de cada usuário atualmente na rede
 - Pode ser um centro de comutação móvel (MSC)

6 GSM: roteamento indireto para usuários móveis

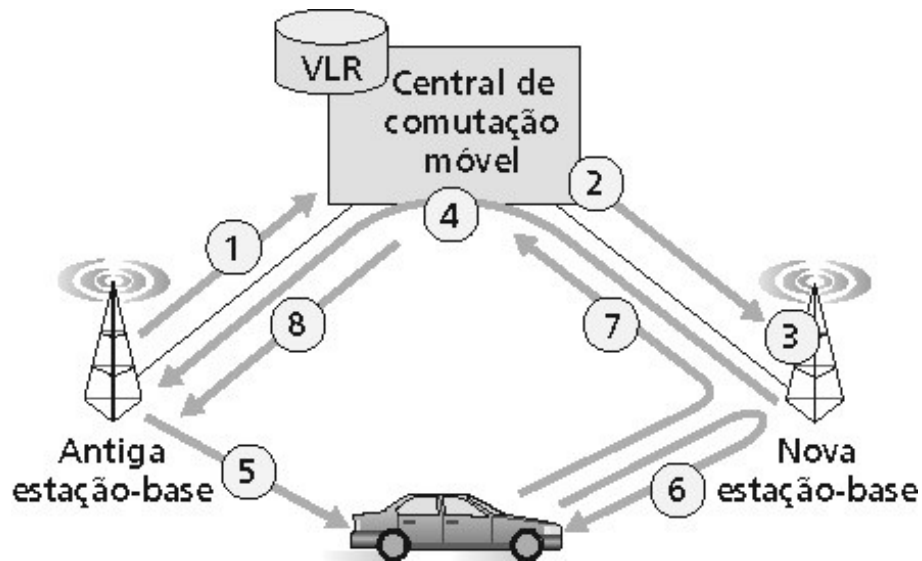


6 GSM: handoff com MSC comum



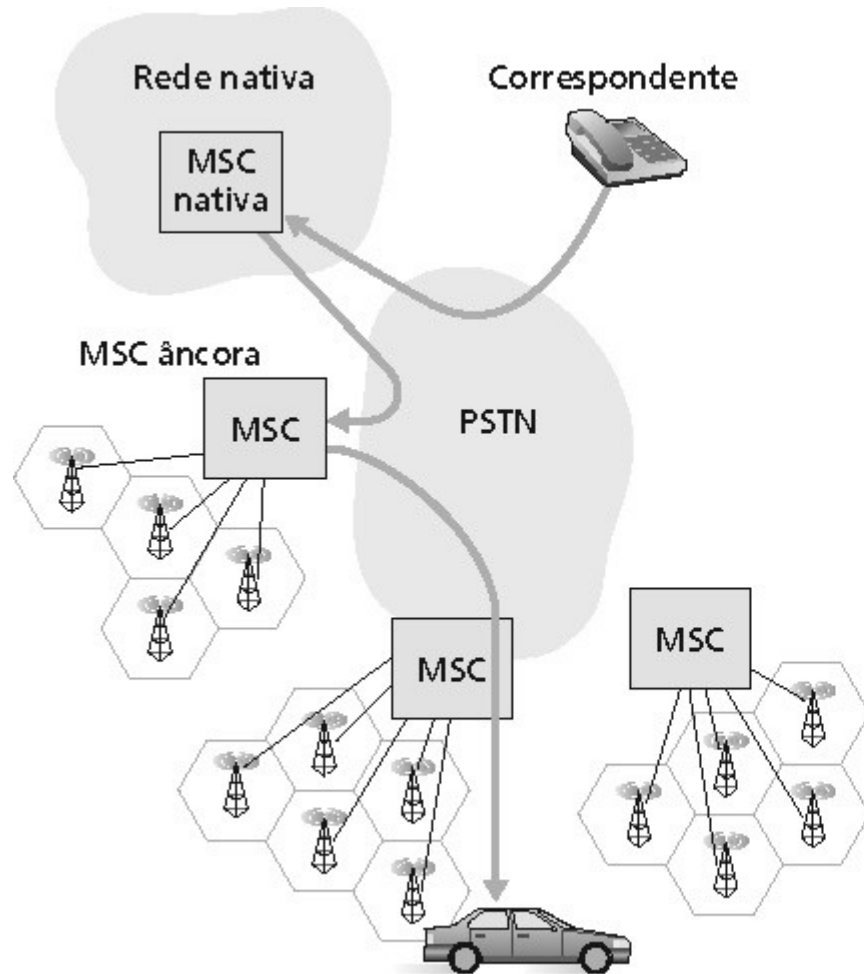
- Objetivo do handoff: rotear chamada via nova estação-base (sem interrupção)
- Razões para handoff:
 - Sinal mais forte de/para o novo BSS (conectividade contínua, menor consumo de bateria)
 - Balanceamento de carga: libera um canal no BSS atual
 - GSM não padroniza quando realizar o handoff (política), apenas como (mecanismo)
- Handoff iniciado pelo BSS antigo

6 GSM: handoff com MSC comum



1. Velho BSS informa MSC sobre o handoff possível, fornece lista de 1 ou mais novos BSSs
2. MSC estabelece caminho (aloca recurso) ao novo BSS
3. Novo BSS aloca canal de rádio para uso pelo usuário móvel
4. Novo BSS avisa MSC, velho BSS: pronto
5. Velho BSS avisa usuário móvel: realiza handoff para novo BSS
6. O usuário móvel avisa o novo BSS para ativar novo canal
7. O usuário móvel avisa via novo BSS o MSC: handoff completo. MSC redireciona a chamada
8. MSC avisa velho BSS para liberar recursos

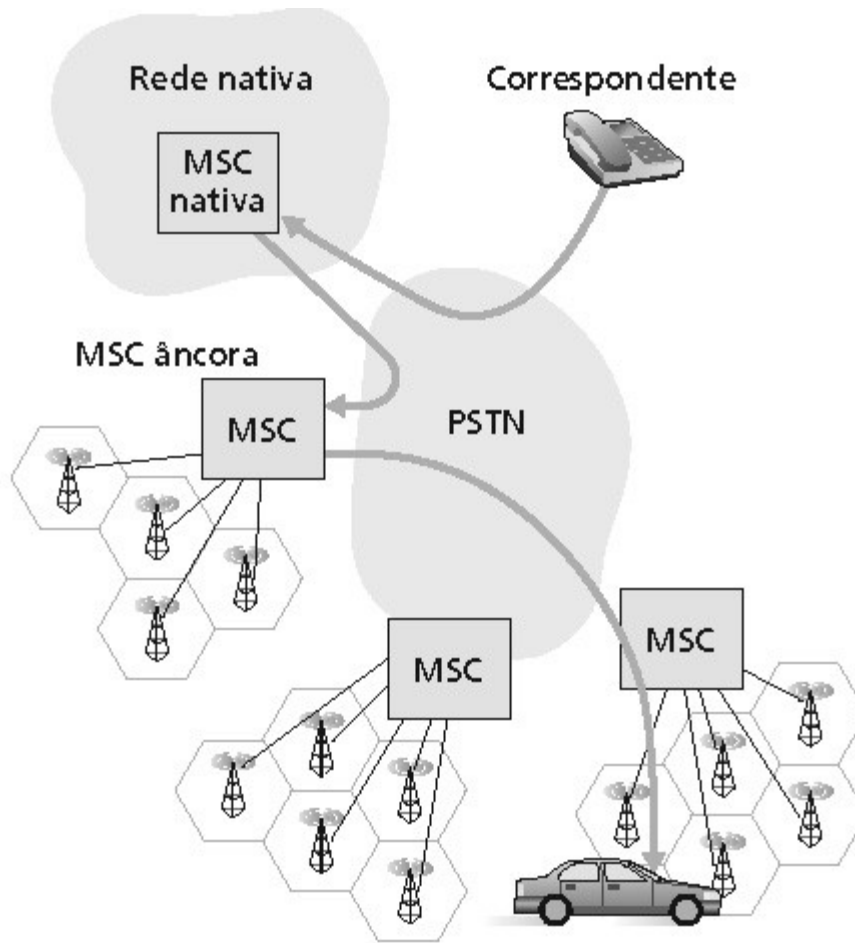
6 GSM: handoff entre MSCs



a. Antes da transferência

- **MSC âncora:** primeiro MSC visitado durante chamada
 - Chamada permanece roteada por intermédio do MSC âncora
- Novos MSCs são adicionados no final da cadeia de MSCs, quando o usuário móvel se movimenta para novos MSCs
- IS-41 permite uma etapa de minimização de caminho para encurtar uma cadeia com muitos MSCs

6 GSM: handoff entre MSCs



b. Após a transferência

- **MSC âncora:** primeiro MSC visitado durante chamada
 - Chamada permanece roteada por intermédio do MSC âncora
- Novos MSCs são adicionados no final da cadeia de MSCs, quando o usuário móvel se movimenta para novos MSCs
- IS-41 permite uma etapa de minimização de caminho para encurtar uma cadeia com muitos MSCs

6 Mobilidade: GSM versus IP móvel

Elemento GSM	Comentário sobre elemento GSM	Elemento IP móvel
Home system	Rede à qual o número de telefone permanente do usuário móvel pertence	Home network
Gateway Mobile Switching Center, ou “home MSC”. Home Location Register (HLR)	Home MSC: ponto de contato para obter um endereço roteável do usuário móvel. HLR: base de dados no sistema local contendo o número de telefone permanente, informações de perfil, localização atual do usuário móvel e informações de assinatura	Agente nativo
Sistema visitado	Rede que não seja o sistema local na qual o usuário móvel se encontra atualmente	Rede visitada
Visited Mobile services Switching Center. Visitor Location Record (VLR)	MSC visitado: responsável por estabelecer chamadas de/para nós móveis em células associadas com o MSC. VLR: base de dados temporária no sistema visitado, contendo informação de assinatura para cada usuário móvel visitante	Agente externo
Mobile Station Roaming Number (MSRN), ou “roaming number”	Endereço roteável para chamadas telefônicas entre o home MSC e o MSC visitado, não é visível nem para o móvel nem para o correspondente	Care-of-address

6 Sem fio, mobilidade: impactos nos protocolos de alto nível

- Logicamente, o impacto deveria ser mínimo...
 - Serviço de melhor esforço permanece inalterado
 - TCP e UDP podem (e de fato fazem) rodar sobre redes móveis, sem fio
- ... mas para melhorar o desempenho:
 - Perda de pacotes/atraso devido a erros (pacotes descartados, atrasos para retransmissões) e handoff
 - TCP interpreta perda como congestão; reduzirá a janela de congestão desnecessariamente
 - Problemas de atraso para tráfego de tempo real
 - Banda passante limitada para enlaces sem fio

6 Resumo

- Sem fio
- Enlaces sem fio:
 - Capacidade, distância
 - Limitações do canal
 - CDMA
- IEEE 802.11 (“wi-fi”)
 - CSMA/CA reflete características do canal sem fio
- Acesso celular
 - Arquitetura
 - Padrões (ex., GSM, CDMA-2000, UMTS)

Mobilidade

- Princípios: endereçamento, roteamento para usuários móveis
 - Home, redes visitadas
 - Roteamento direto e indireto
 - Care-of-addresses
- Estudos de caso
 - IP móvel
 - Mobilidade em GSM
- Impacto nos protocolos de alto nível