

Aula 8 – Redes Sem Fio: Enlaces, CDMA, WLAN, WPAN

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores II

Na Última Aula...

- Conceitos Básicos de Redes Sem fio.
 - Hosts **sem fio** \neq **móveis**.
 - Estação base: interconecta **hosts**.
 - Define uma **área de cobertura**.
 - Também serve de *relay* com a infraestrutura cabeada.
 - Enlaces sem fio têm **grande variabilidade**.
 - Meio sem fio é **compartilhado**.
 - Redes sem fio podem ser **infraestruturadas ou *ad hoc***.
 - Ter ou não estação base.
- Camada física:
 - **Representação** da informação no meio.
 - Através de algum **parâmetro físico** alterável/mensurável.
 - **Transmissor** cria **símbolos**: altera estado do parâmetro físico.
 - **Receptor** mensura o parâmetro: interpreta o símbolo.
 - Símbolos codificam **um ou mais bits** e possuem certa **duração**.
 - **Taxa de transmissão** é função do # de **símbolos/bit** e sua **duração**.
 - Mas taxas maiores \Rightarrow maior probabilidade de erro.

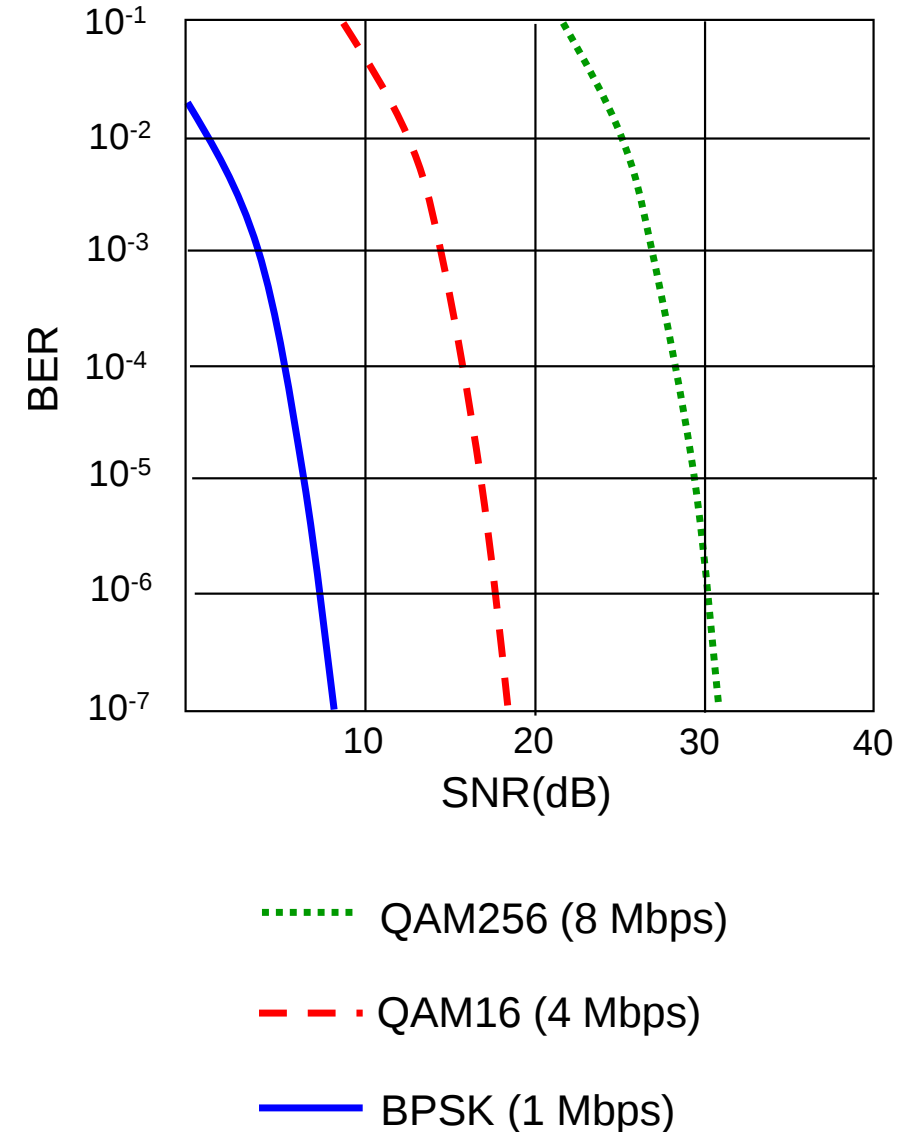
Características dos Enlaces Sem Fio

Características dos Enlaces Sem Fio (I)

- Diferenças importantes em relação a enlaces cabeados.
 - **Sinais recebidos com baixa potência:** sinal de rádio é atenuado a medida que se propaga.
 - **Interferência de outras fontes:** frequências padronizadas para uso de tecnologias sem fio (e.g., 2,4 GHz) compartilhadas com outros dispositivos (e.g., telefones sem fio).
 - Mesmo dispositivos que não são de comunicação podem gerar interferência (e.g., forno de micro-ondas).
 - **Ruídos:** fenômenos naturais no ambiente e na geração e captura do sinal criam ruídos. ▶
 - **Propagação por múltiplos percursos:** sinal de rádio é refletido (objetos, chão), chega ao destino múltiplas vezes.
 - Atrasos e tempos ligeiramente diferentes. ▶
- Tornam comunicação muito mais “difícil”.

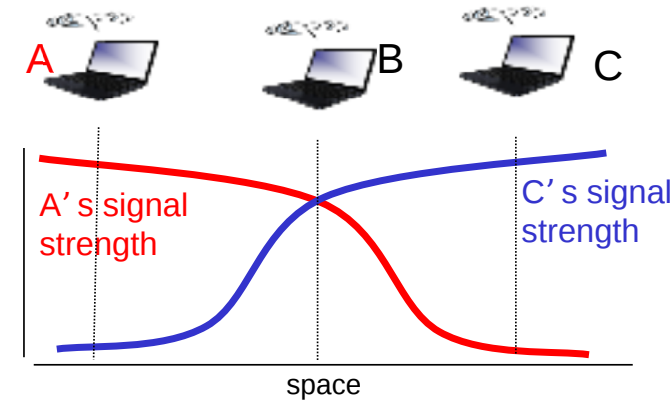
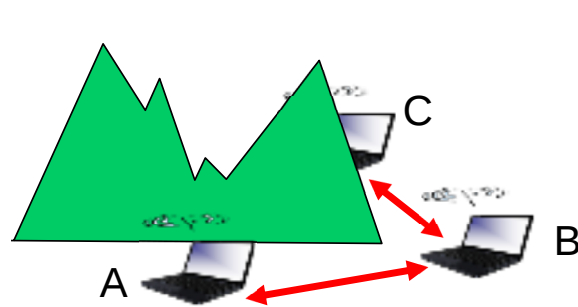
Características dos Enlaces Sem Fio (II)

- SNR: relação sinal-ruído.
 - Quanto maior, mais fácil extrair sinal desejado.
 - Quanto menor, transmissão mais propensa a falhas.
- BER: taxa de erro de bits.
 - Fração de bits interpretados de forma errada pelo receptor.
- **Compromissos entre SNR e BER:**
 - Dada uma camada física (taxa), aumentar SNR \Rightarrow reduzir BER.
 - Dado um SNR, escolher camada física (taxa) para alcançar certo BER e maximizar vazão.
 - SNR pode variar dinamicamente (*e.g.*, mobilidade).
 - Solução: adaptação automática da camada física.



Características dos Enlaces Sem Fio (III)

- Múltiplos transmissores e receptores sem fio criam problemas adicionais.
 - Além dos de acesso múltiplo.



- **Problema do terminal escondido**
 - **B** e **A** se ouvem.
 - **B** e **C** se ouvem.
 - **A** e **C** não se ouvem.
 - **A** não está ciente de que interfere com **C** em **B**.

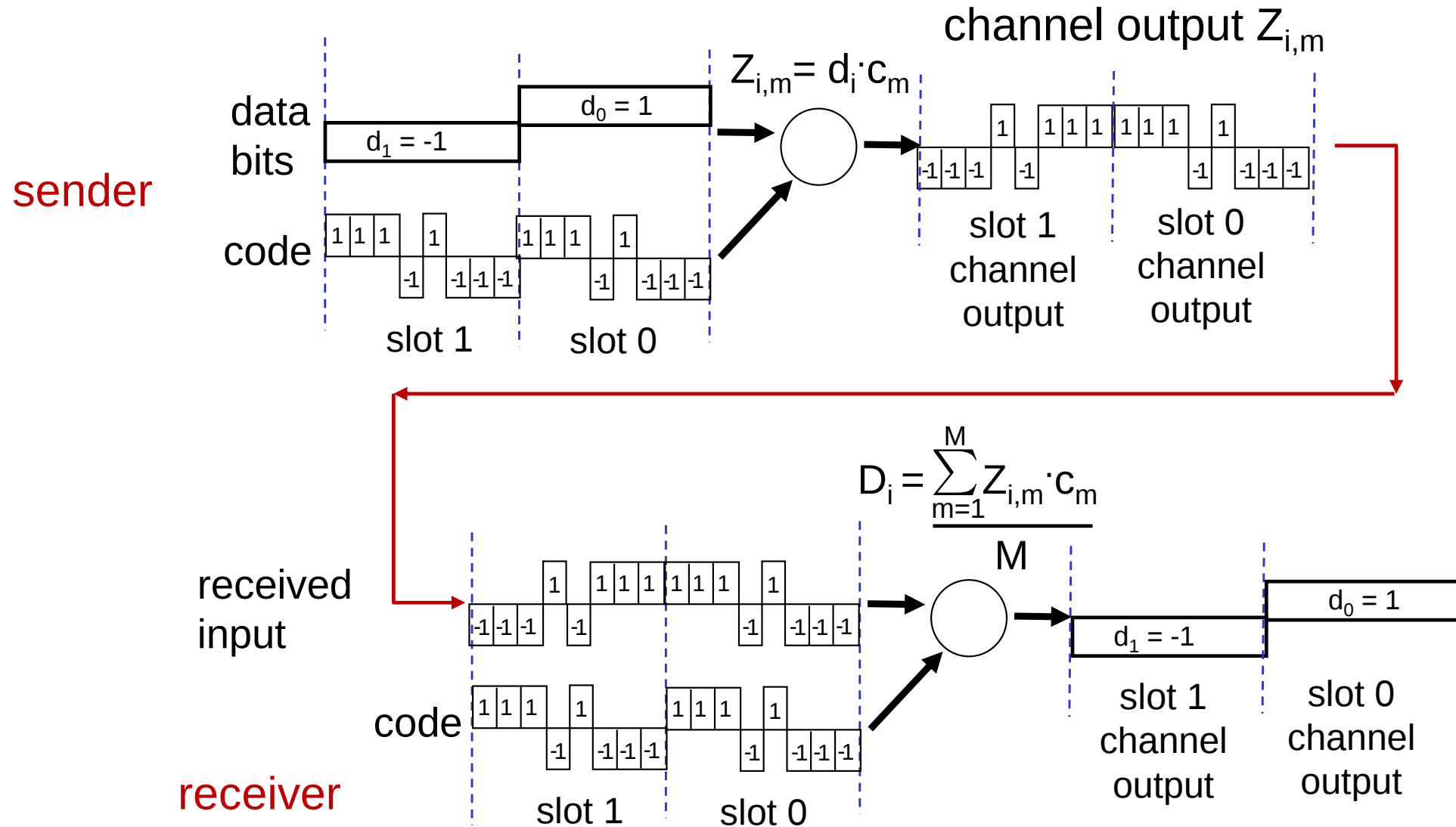
- Atenuação do sinal:
 - Terminais escondidos podem ocorrer mesmo sem obstáculos.
 - Rápida atenuação do sinal pode criar a situação.

CDMA

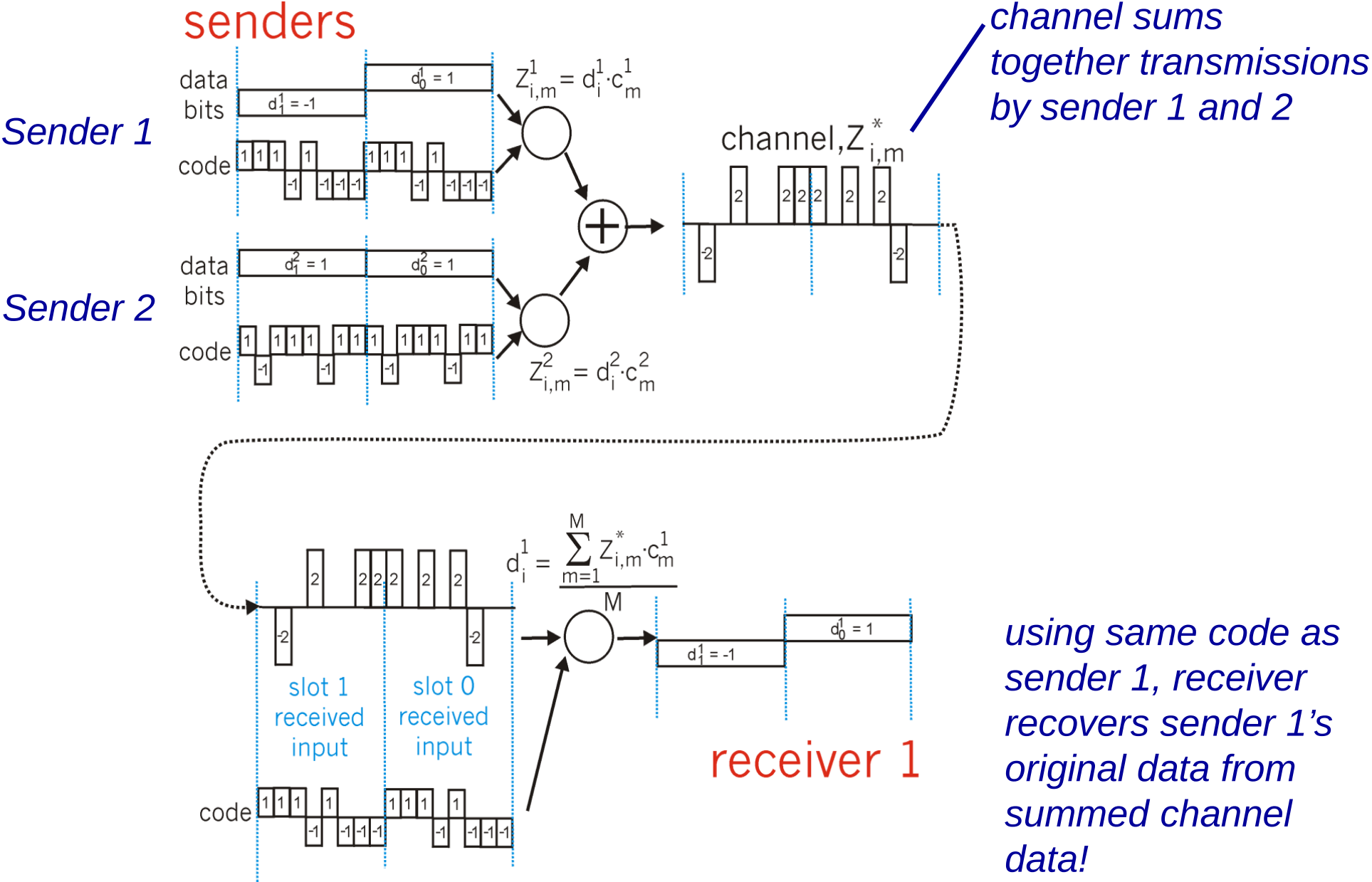
Code Division Multiple Access (CDMA)

- Outra estratégia para permitir acesso múltiplo a canais de difusão.
 - Alternativa ao FDMA, TDMA, CSMA, ...
- “Código” único atribuído a cada usuário.
 - Todos os usuários compartilham a mesma frequência.
 - Mas cada um utiliza um código particular para codificar os dados.
 - Permite **coexistência** e **transmissões simultâneas** com interferência mínima.
 - Se os códigos são “ortogonais”.
 - **Sinal codificado** = (dado original) X (código).
 - **Decodificação**: produto interno entre código e sinal.

CDMA: Codificação/Decodificação



CDMA: Transmissores Interferentes



Redes locais IEEE 802.11 (“Wi-Fi”) e Pessoais IEEE 802.15

Redes Locais IEEE 802.11: Histórico

- 802.11b

- Opera na faixa não licenciada de 2.4 GHz.
- Até 11 Mb/s.
- Camada física com DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).
 - Similar ao CDMA, mas todos os nós usam o mesmo código.

- 802.11a

- Faixa (não licenciada) de 5 GHz.
- Até 54 Mb/s.

- 802.11g

- 2,4 GHz.
- Até 54 Mb/s.

- 802.11n

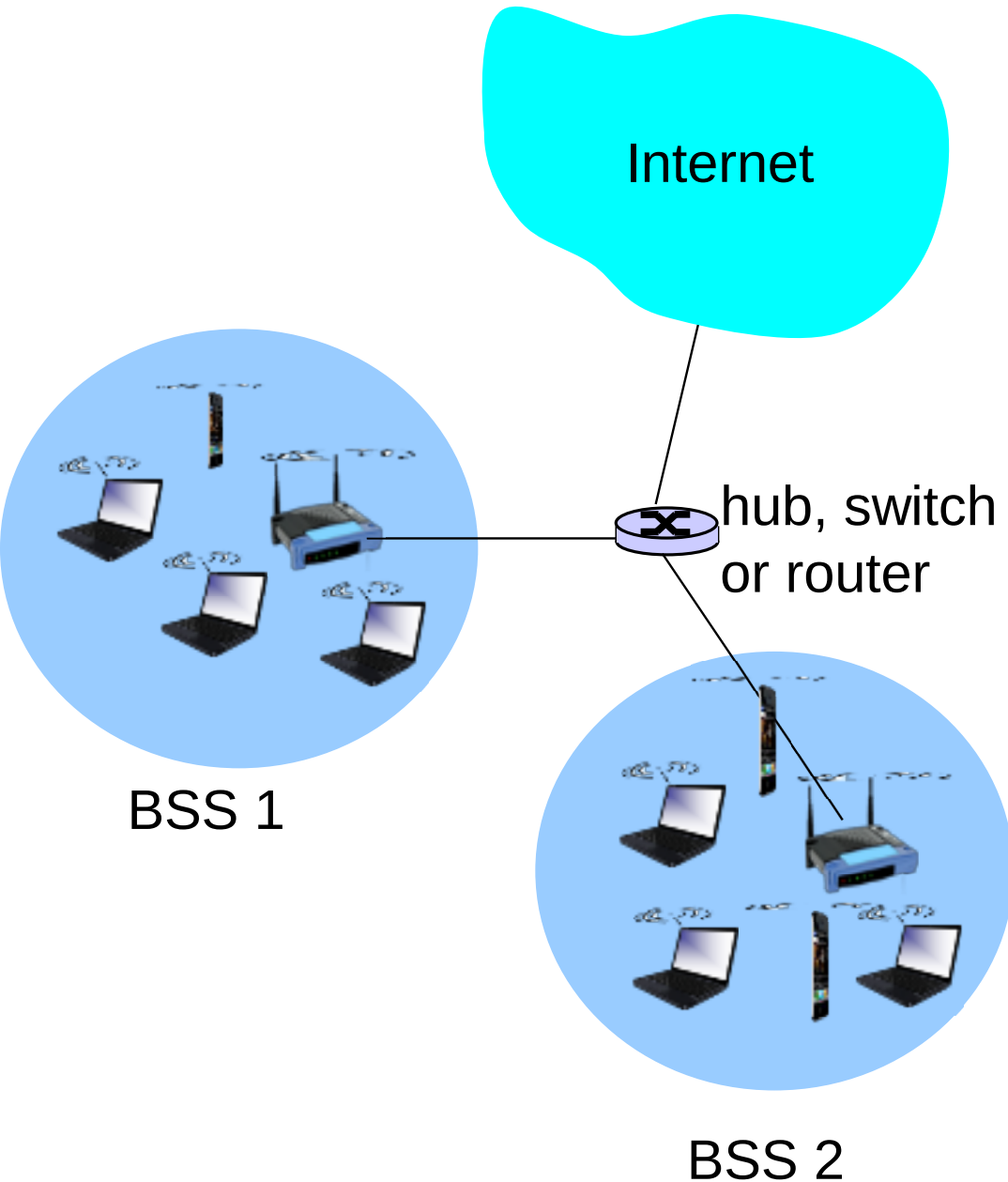
- 2,4 ou 5 GHz.
- Múltiplas antenas, maior largura de banda.
- Até 200 Mb/s.

- 802.11ac

- Faixa (não licenciada) de 5 GHz.
- Largura de banda ainda maior.
- Até gigabits por segundo.

- Todas as emendas usam CSMA/CA para acesso múltiplo.
- Todas preveem modo infraestruturado e *ad hoc*.

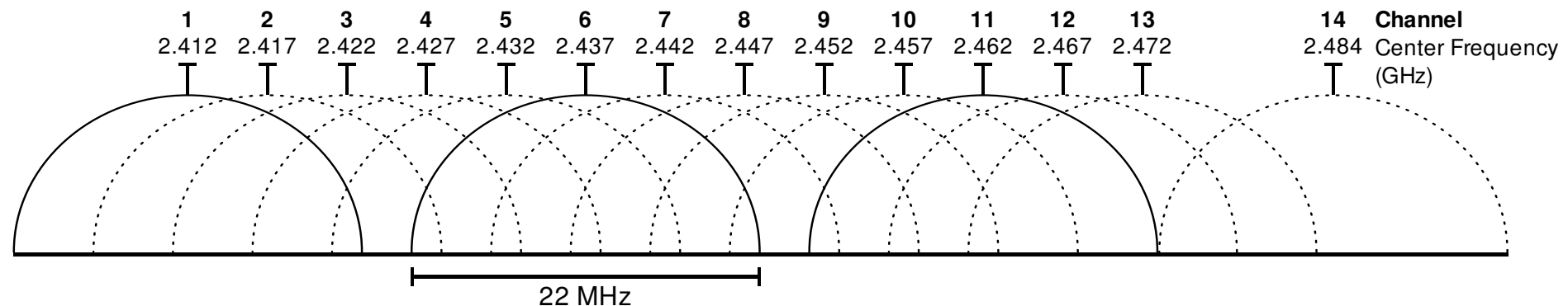
Redes Locais IEEE 802.11: Arquitetura



- Host sem fio se comunica com estação base.
 - Estação base = Ponto de Acesso (AP).
- Basic Service Set
 - Ou “célula”
 - No modo infraestruturado contém:
 - Hosts sem fio.
 - Ponto de acesso.
 - No modo ad hoc:
 - Apenas hosts.

Redes Locais IEEE 802.11: Canais

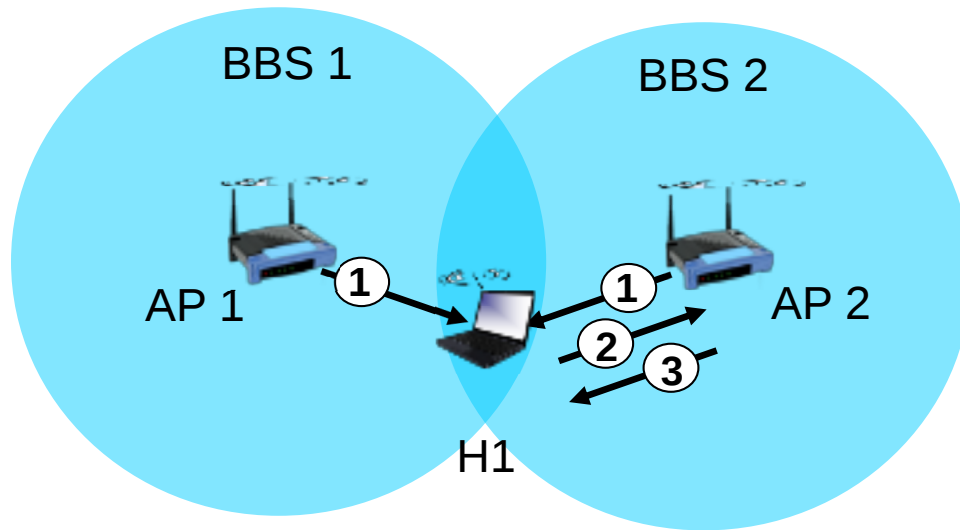
- 802.11b: espectro de 2,4 GHz até 2,485 GHz dividido em 11 canais em frequências diferentes.
 - Em algumas regiões, há mais canais (faixa é mais larga).
 - Canal escolhido pelo administrador.
 - Ou algoritmos automáticos.
 - Possibilidade de interferência: canal escolhido pode ser o mesmo da rede vizinha.
 - Além disso, nem todos os canais são **ortogonais**.



Redes Locais IEEE 802.11: Associação

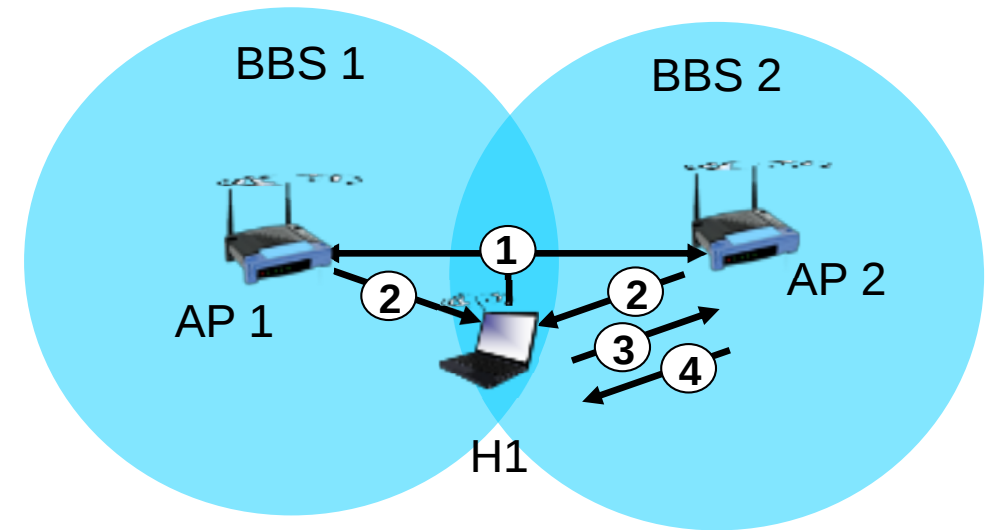
- Host precisa se **associar** com o AP.
 - Varre os canais procurando por quadros de *beacon*
 - Contêm informações básicas sobre o AP/rede: nome (SSID), MAC, ...
 - Seleciona um AP para se associar.
 - Pode realizar **autenticação** (Cap. 8).
 - Normalmente, executa DHCP para obter endereço IP na sub-rede do AP.

Redes Locais IEEE 802.11: Varreduras Passiva e Ativa



- **Varredura Passiva:**

1. AP envia *beacon*.
2. Host envia quadro de *association request*.
3. AP responde com quadro de *association response*.

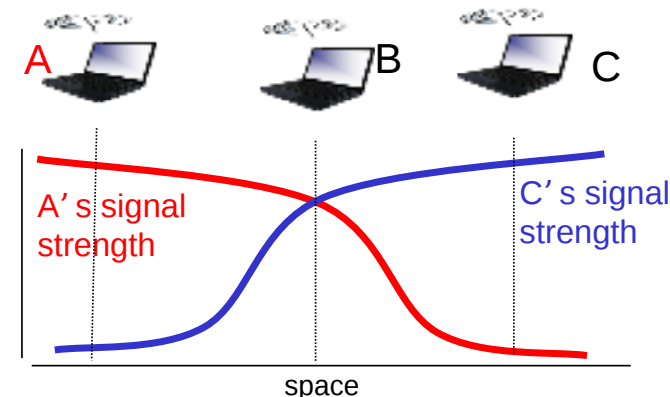
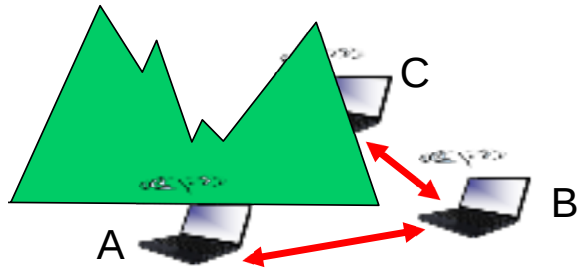


- **Varredura Ativa:**

1. Host envia quadro de *probe request*.
2. AP envia quadro de *probe response*.
3. Host envia quadro de *association request*.
4. AP responde com quadro de *association response*.

Redes Locais IEEE 802.11: Acesso Múltiplo

- Evitar colisões: 2 ou mais nós transmitindo ao mesmo tempo.
- CSMA: ouvir antes de transmitir.
 - Não cause colisões com transmissões em andamento.
- Mas sem detecção de colisão.
 - Ao menos diretamente, como no Ethernet.
 - Dificuldade de recepção (para detectar colisões) enquanto se transmite.
 - Atenuação: sinal recebido é várias ordens de magnitude mais fraco que sinal transmitido.
 - Além disso, ainda há a possibilidade de não ouvir outras transmissões: terminais escondidos.
- Logo, o objetivo é **evitar colisões**: CSMA/CA (Collision Avoidance).



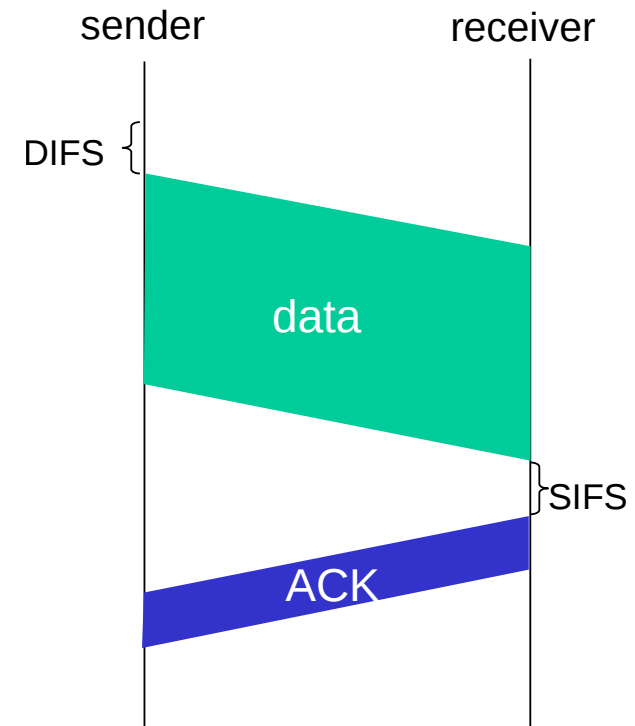
Protocolo MAC do IEEE 802.11: CSMA/CA

● Transmissor:

1. Se o canal fica livre por **DIFS**, então
 - transmite quadro **inteiro** (sem detecção de colisão).
2. Caso contrário
 - Inicia *backoff* aleatório.
 - Temporizador decrementado enquanto **meio está livre**.
 - Transmite quando temporizador expira.
3. Se o ack não é recebido em um tempo determinado, então
 - Se o **limite de retransmissões** não foi excedido, aumenta *backoff* e volta para 2.
 - Caso contrário, pacote é descartado.

● Receptor:

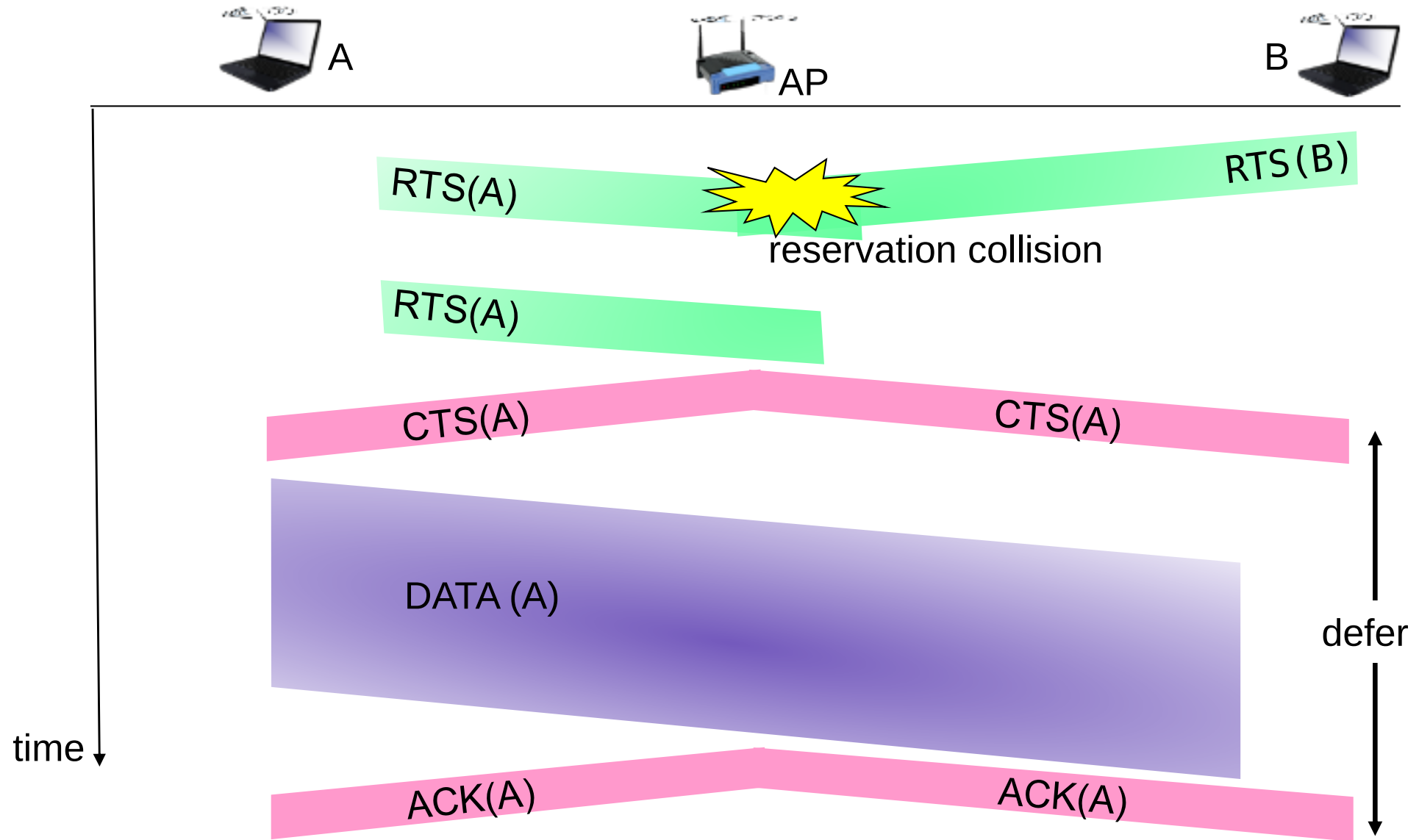
1. Se quadro não está corrompido, então
 - Envie ack após **SIFS**.



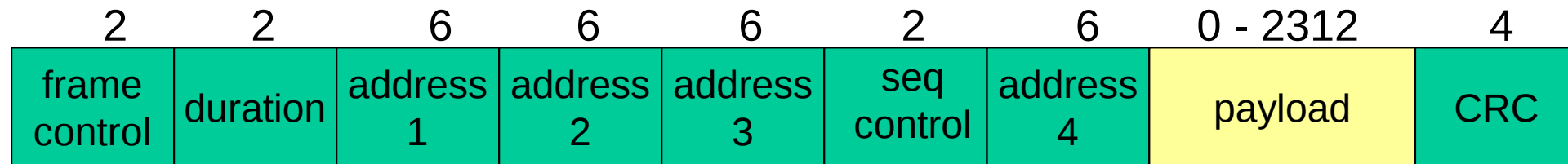
Evitando Colisões (Mais)

- Ideia: permitir que transmissor “reserve” o canal para transmitir **dados**.
 - Ao invés de acessar aleatoriamente.
 - Evita colisões de quadros longos.
- Transmissor começa enviando um quadro **pequeno** de *request-to-send* (RTS).
 - RTSs ainda podem colidir, mas são pequenos (“baratos” para retransmitir).
- AP envia (*broadcast*) um CTS como resposta.
 - *Clear-to-send*.
 - (Idealmente) ouvido por todos os nós.
 - Que passam a saber que o meio está reservado por determinado período.
- Transmissor envia dados, enquanto outras estações aguardam.
- **Sempre funciona?**

Evitando Colisões: Troca de RTS-CTS



Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (I)



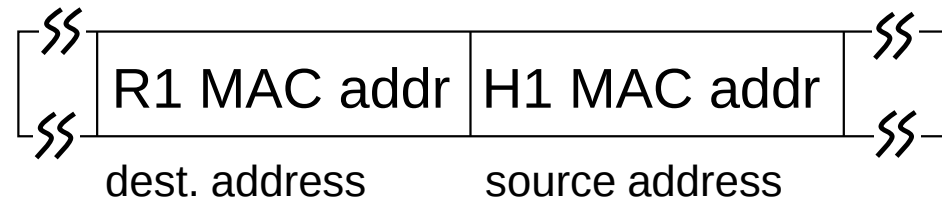
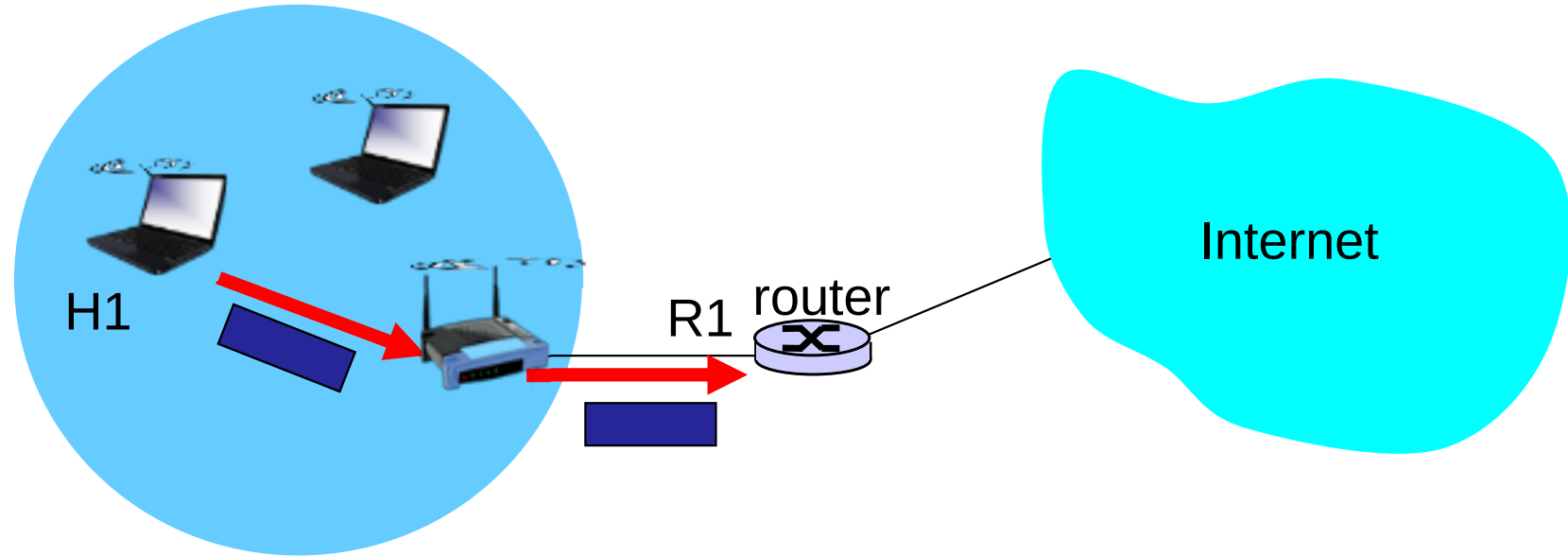
Address 1: endereço MAC do receptor do quadro

Address 2: endereço MAC do transmissor do quadro

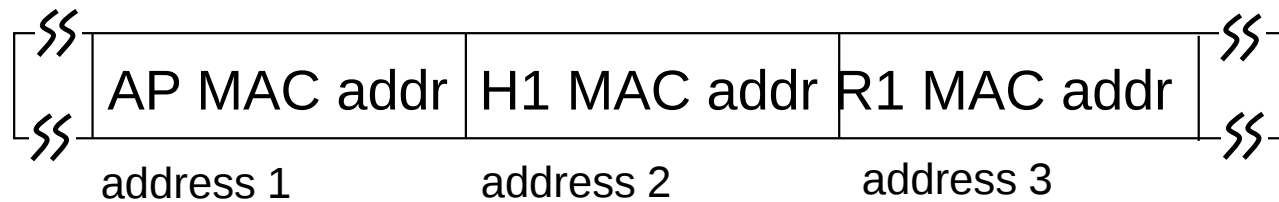
Address 3: BSSID (normalmente, endereço MAC do AP)

Address 4: usado apenas nos modos mesh e DS

Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (II)

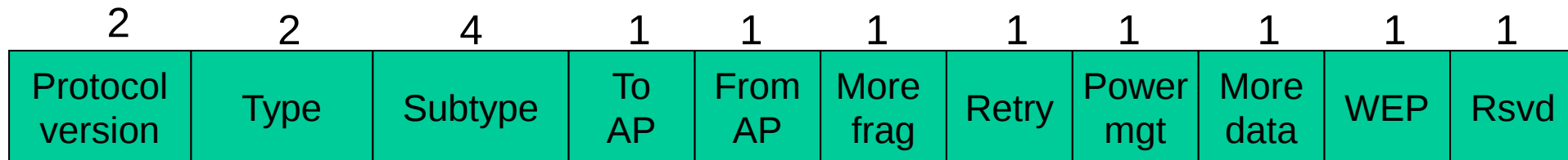
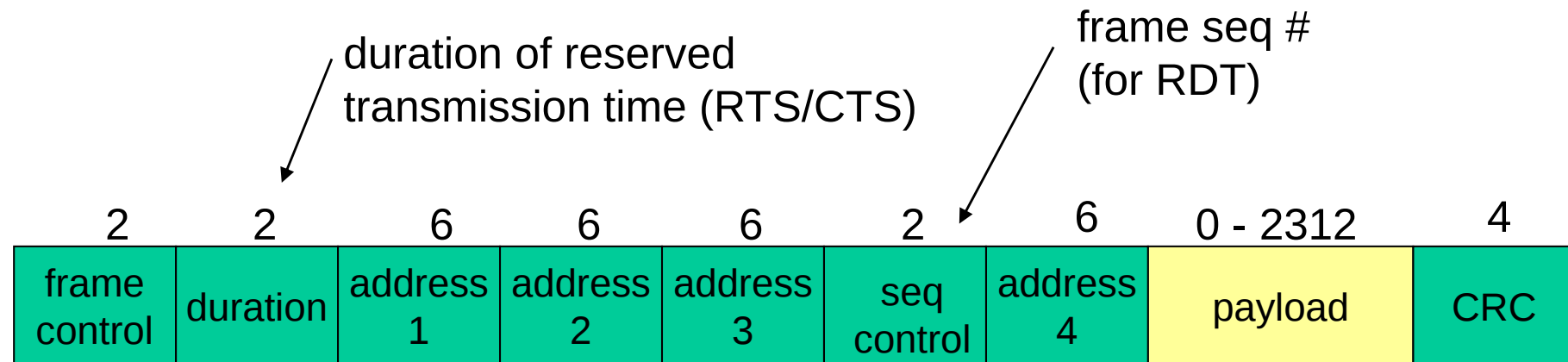


802.**3** frame



802.**11** frame

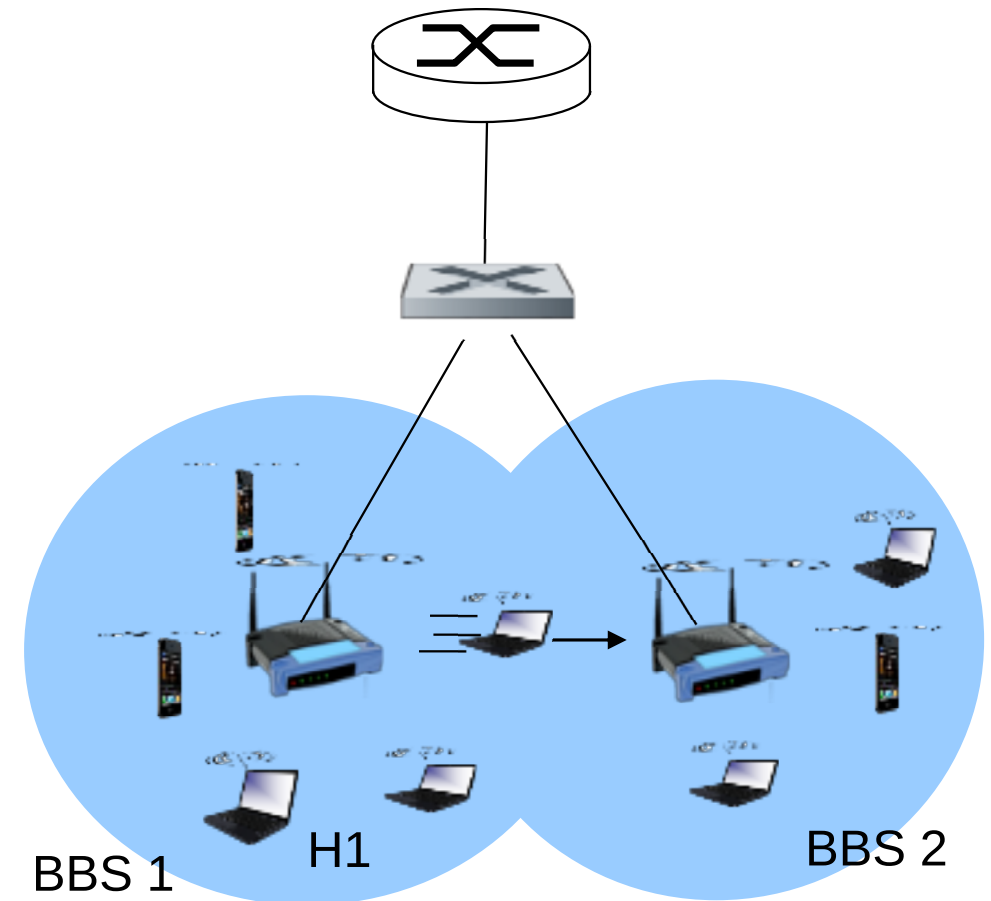
Quadros do IEEE 802.11 (Mais)



frame type
(RTS, CTS, ACK, data)

IEEE 802.11: Mobilidade Dentro da Mesma Sub-rede

- H1 permanece na mesma sub-rede.
 - Endereço IP pode continuar o mesmo.
- Ponto de vista do *switch*: a qual AP H1 está associado?
 - Auto-aprendizado (Capítulo 5).
 - *Switch* recebe quadro originado em H1.
 - Armazena a informação da porta.

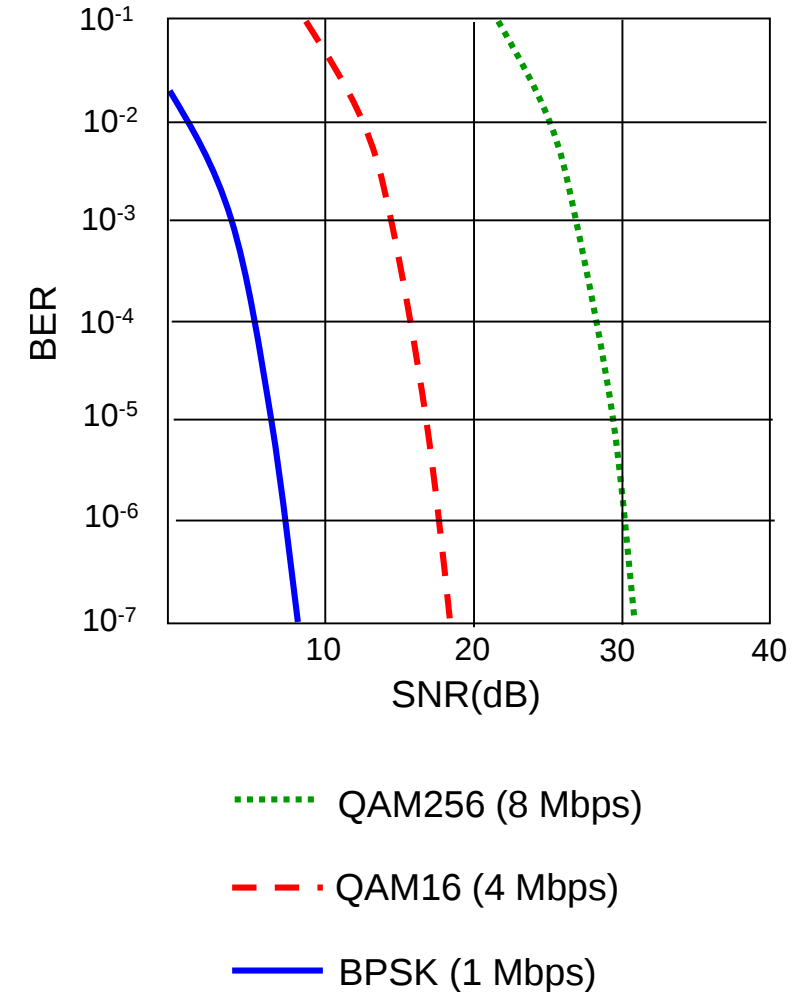


IEEE 802.11: Outras Características (I)

- **Adaptação automática de taxa:**

- Estação base e hosts dinamicamente alteram taxa de transmissão.
- Forma de compensar variações no SNR (e.g., devido a mobilidade).

1. SNR diminui e BER aumenta a medida que host se distancia do AP.
2. Quando o BER se torna muito alto, escolhe-se taxa mais baixa (mas com BER menor).

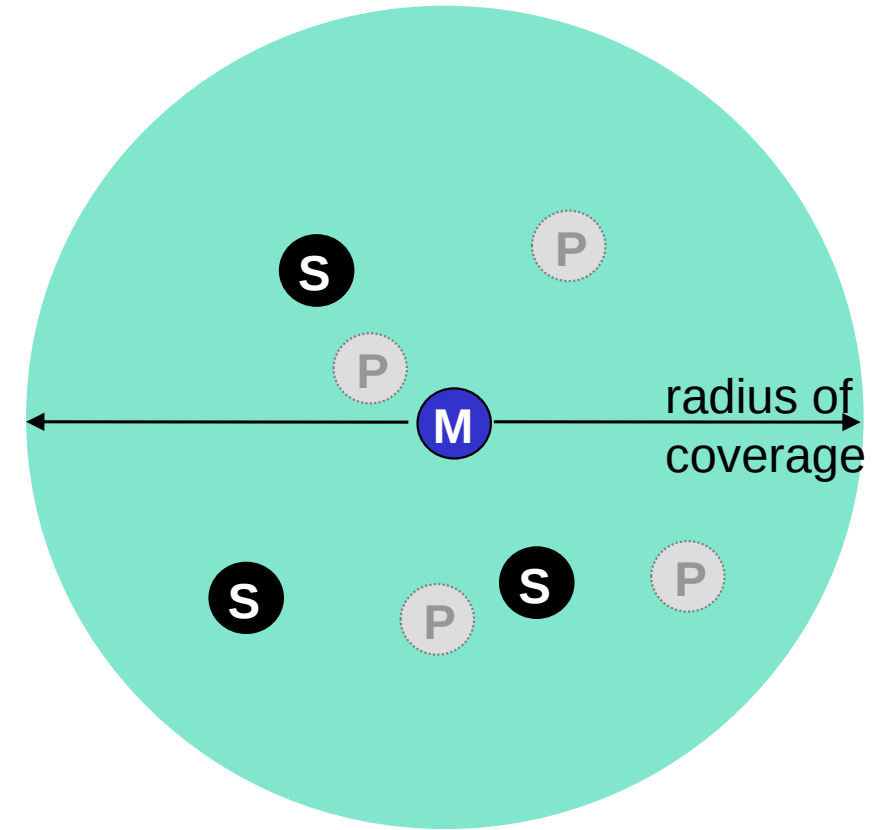


IEEE 802.11: Outras Características (II)

- Gerenciamento de Energia:

- Host informa ao AP: “vou dormir até o próximo *beacon*”.
 - AP sabe que não deve transmitir quadros para o host.
 - Host acorda antes do próximo *beacon*.
- Quadro de *beacon*:
 - Contém lista de hosts para os quais AP possui dados a transmitir.
 - Nó permanece acordado se está lista.
 - Caso contrário, pode voltar a dormir até próximo *beacon*.

- Menos de 10 metros de alcance.
- Substitui cabos em periféricos.
 - Teclado, *mouse*, fones de ouvido.
- Arquitetura *ad hoc* (sem infraestrutura).
- Mestres/escravos:
 - Escravos pedem permissão para transmitir.
 - Mestre atende a pedidos.
- Evoluiu da especificação do Bluetooth.
 - Faixa de 2,4-2,5 GHz.
 - Até 721 kb/s.



- (M) Master device
- (S) Slave device
- (P) Parked device (inactive)

Resumo da Aula (I)...

- Enlaces sem fio: **mais propensos a erros**.
 - Sinais recebidos com **baixa potência**.
 - Altos níveis de **ruído, interferência**.
 - **Múltiplos percursos** de propagação.
 - Tudo isso colabora para queda no **SNR**.
 - Resulta em queda da **BER**.
 - Solução: adaptação automática entre **múltiplas taxas**.
 - Outros problemas: **terminais escondidos**.
- CDMA: outra técnica comum para **acesso múltiplo**.
 - Usuários **podem** transmitir ao mesmo tempo, na mesma frequência.
 - **Códigos ortogonais** garantem que não haverá colisão.

Resumo da Aula (II)...

- IEEE 802.11: padrão para **redes locais sem fio** (WLANs).
 - Evolução através de **emendas**, taxas de transmissão mais altas.
 - **CSMA/CA** para acesso múltiplo.
 - Detecção de colisões é impossível.
 - Solução: **tentar ao máximo** evitá-las.
 - Utilizar *acks* para verificar se transmissão foi bem sucedida.
 - Pode usar **CTS/RTS**: reserva do meio.
 - **Modos** infraestruturado e *ad hoc*.
 - Componentes da arquitetura:
 - **AP** = estação base.
 - **BSS** = área de cobertura do AP, célula.
 - Nem todos os canais são **ortogonais**.
 - **Associação**: entrada do host na rede.
 - **Adaptação automática de taxa**.
 - **Gerenciamento de energia**.

Leitura e Exercícios Sugeridos

- Características dos enlaces sem fio e CDMA.
 - Páginas 380 a 385 do Kurose (Seção 6.2).
 - Exercícios de fixação 3 e 4 do capítulo 6 do Kurose.
 - Problemas 1, 2 e 4 do Kurose.
- IEEE 802.11 e IEEE 802.15.
 - Páginas 385 a 399 do Kurose (Seção 6.3).
 - Exercícios de fixação 5 a 10 do capítulo 6 do Kurose.
 - Problemas 6 e 7 do Kurose.
- (Opcional) WiMAX.
 - Páginas 399 a 401 do Kurose (último tópico da Seção 6.3).

Próxima Aula...

- Dois tópicos diferentes, porém interconectados:
 - Rede Celular.
 - Evolução, arquitetura, funcionamento.
 - Mobilidade:
 - Conceitos básicos.
 - Ideias para soluções.