

Aula 11 – IEEE 802.11

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores II

Na Última 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.

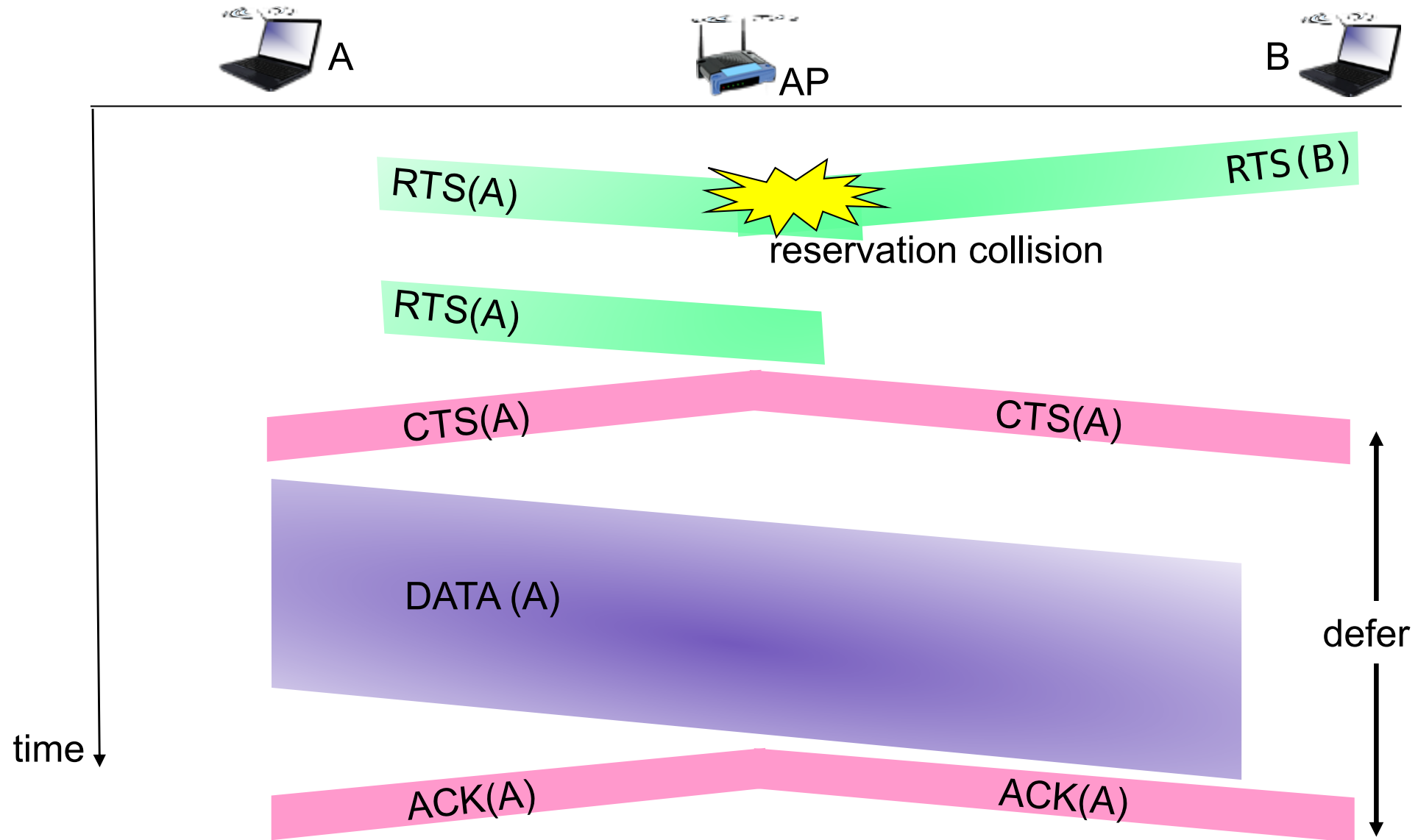
Na Última Aula (II)...

- 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.
 - **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.

Evitando Colisões (Mais): RTS/CTS

- 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.
 - Informado nos quadros RTS/CTS.
- Transmissor envia dados, enquanto outras estações aguardam.
- **Sempre funciona?**

Evitando Colisões: Troca de RTS/CTS



RTS/CTS: Falhas

- Várias possibilidades.
- Um exemplo:
 - **Terminal oculto não ouve/compreende CTS:**
 - Por exemplo, por interferência passageira.
 - Enquanto estação transmite quadro de dados, terminal oculto começa sua transmissão.
 - Dados, RTS, ...
 - **Colisão ocorre, mesmo com a “reserva” prévia do meio.**

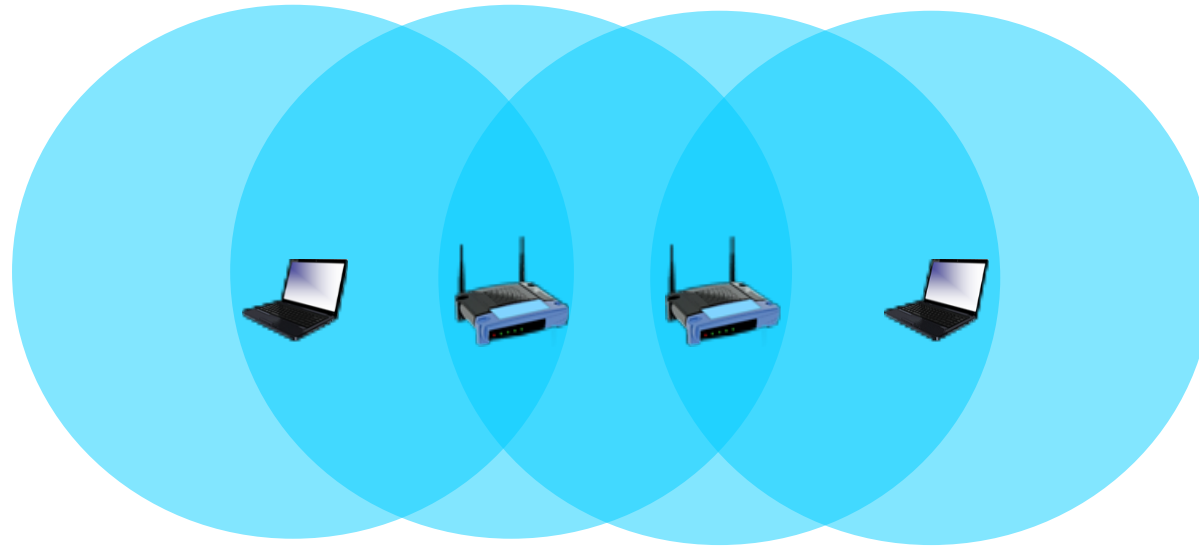
RTS/CTS: Overhead

- RTS/CTS pode reduzir colisões e seus impactos.
 - Principalmente **em presença de terminais escondidos**.
- Mas há um custo:
 - Gasta-se tempo transmitindo quadros RTS/CTS.
 - Aumenta latência total para transmissão de um quadro.
 - **Reduz vazão** efetiva.
- Geralmente, RTS/CTS não vale a pena para quadros “pequenos”.
 - Mais barato transmiti-los e ver o que acontece.
 - Retransmitir, se necessário.
 - **Limiar de RTS/CTS**.

RTS/CTS: Vale a Pena?

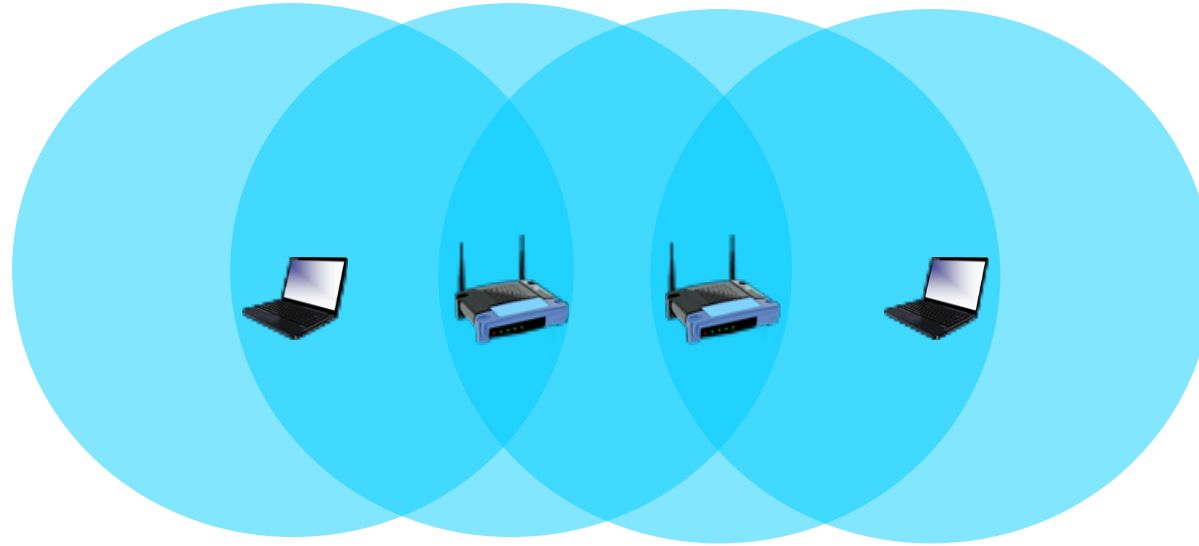
- Mecanismo nem sempre efetivo.
- Mesmo quando efetivo, adiciona *overhead*.
- Vale a pena?
 - Depende!
 - Pode valer se:
 - Se rede sofre muito por colisões.
 - Se pacotes que colidem são tipicamente “grandes”.
 - Se terminais ocultos são tipicamente causa das colisões.
 - No entanto:
 - Equipamentos geralmente vêm, por padrão, com RTS/CTS “desabilitado”.
 - i.e., limiar do RTS/CTS > MTU do IP.

O Problema do Terminal Exposto (I)



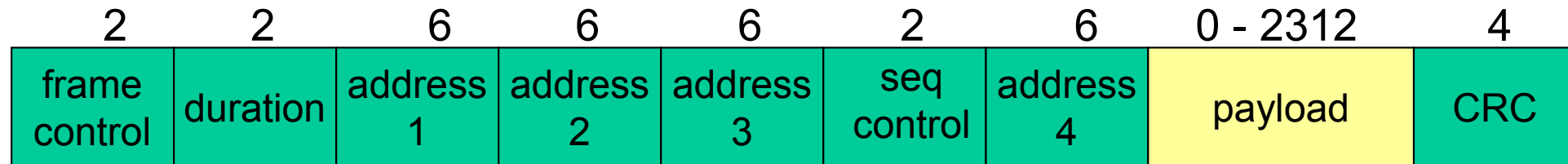
- Cenário:
 - Dois APs, no raio de alcance um do outro.
 - **Mas:** cada AP está fora do raio de alcance do cliente do outro BSS.
- Suponha que ambos os APs tenham quadros para transmitir a seus clientes.
- Transmissões podem ocorrer simultaneamente?

O Problema do Terminal Exposto (II)



- **Não: CSMA/CA (geralmente) não permite.**
 - Suponha que o AP da esquerda comece sua transmissão primeiro.
 - Detecção de portadora fará AP da direita entrar em *backoff*.
- RTS/CTS também não resolve:
 - Ao receber o RTS do AP da esquerda, AP da direita também entra em *backoff*.

Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (I)



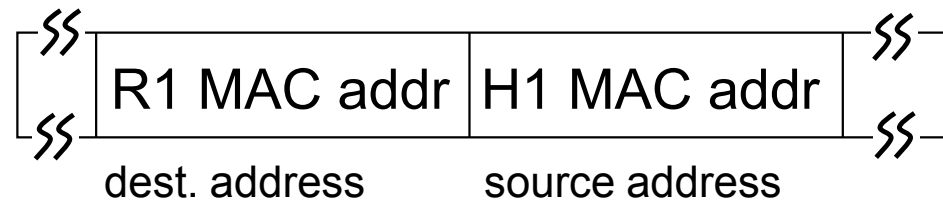
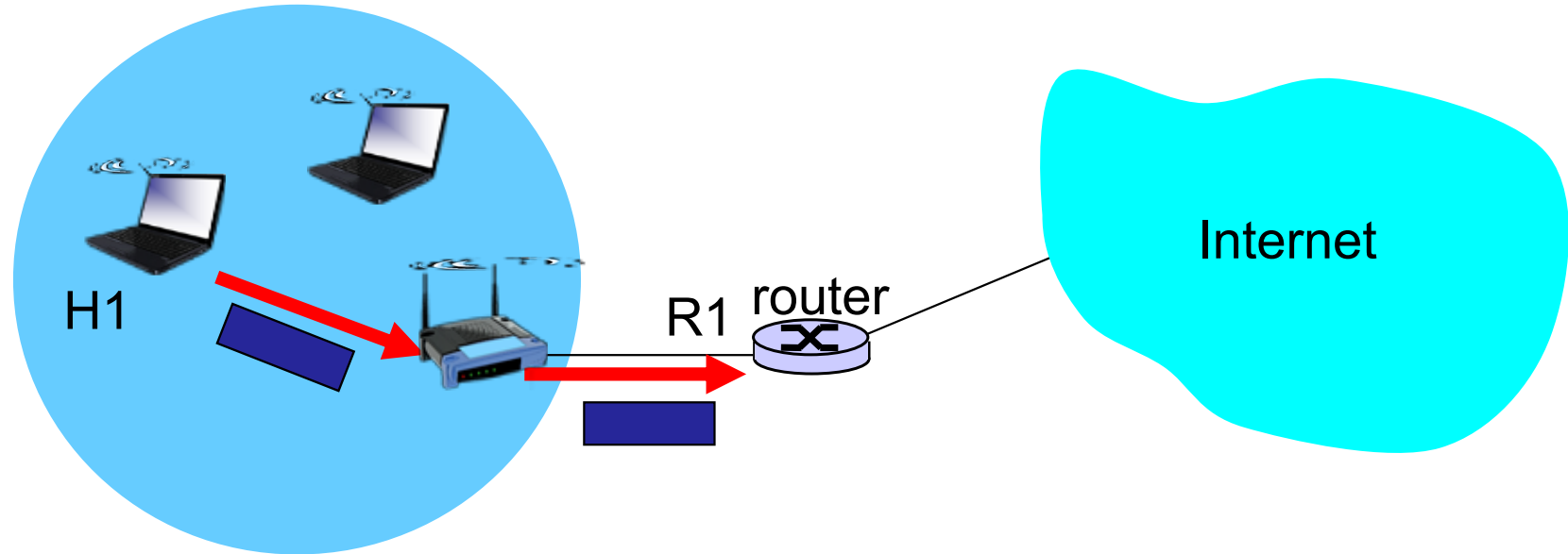
Address 1: endereço MAC do receptor do quadro

Address 2: endereço MAC do transmissor do quadro

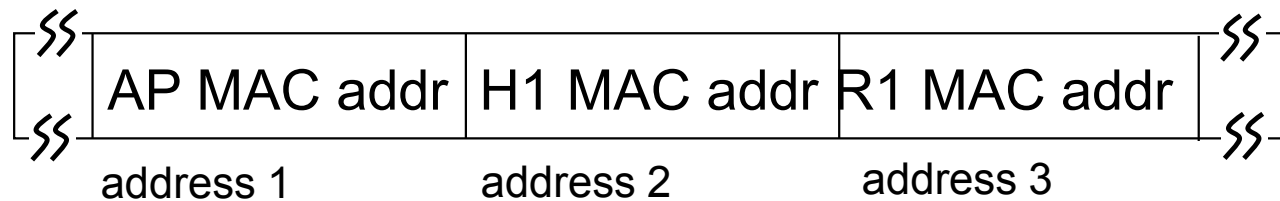
Address 3: BSSID (normalmente, endereço MAC do AP)

Address 4: usado apenas nos modos mesh e DS

Quadros do IEEE 802.11: Endereçamento (II)

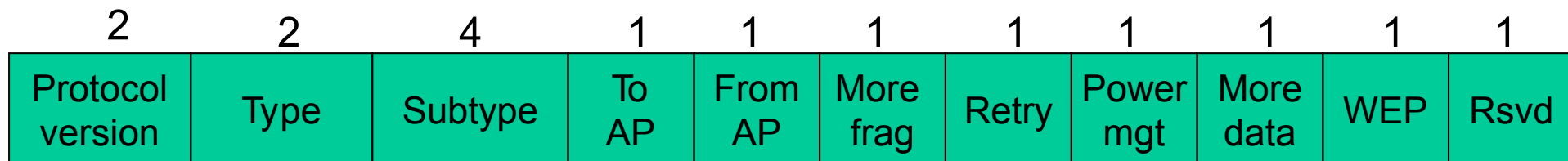
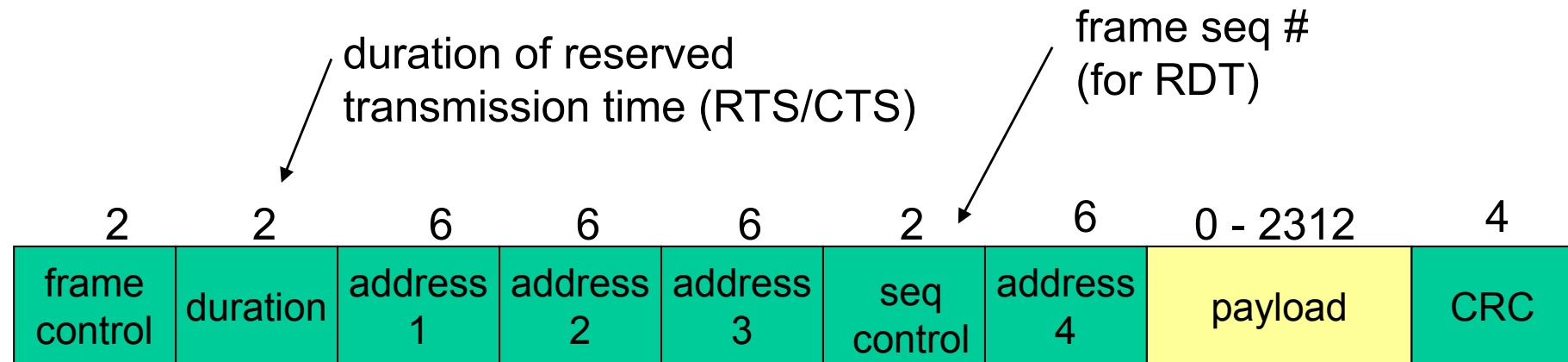


802.3 frame



802.11 frame

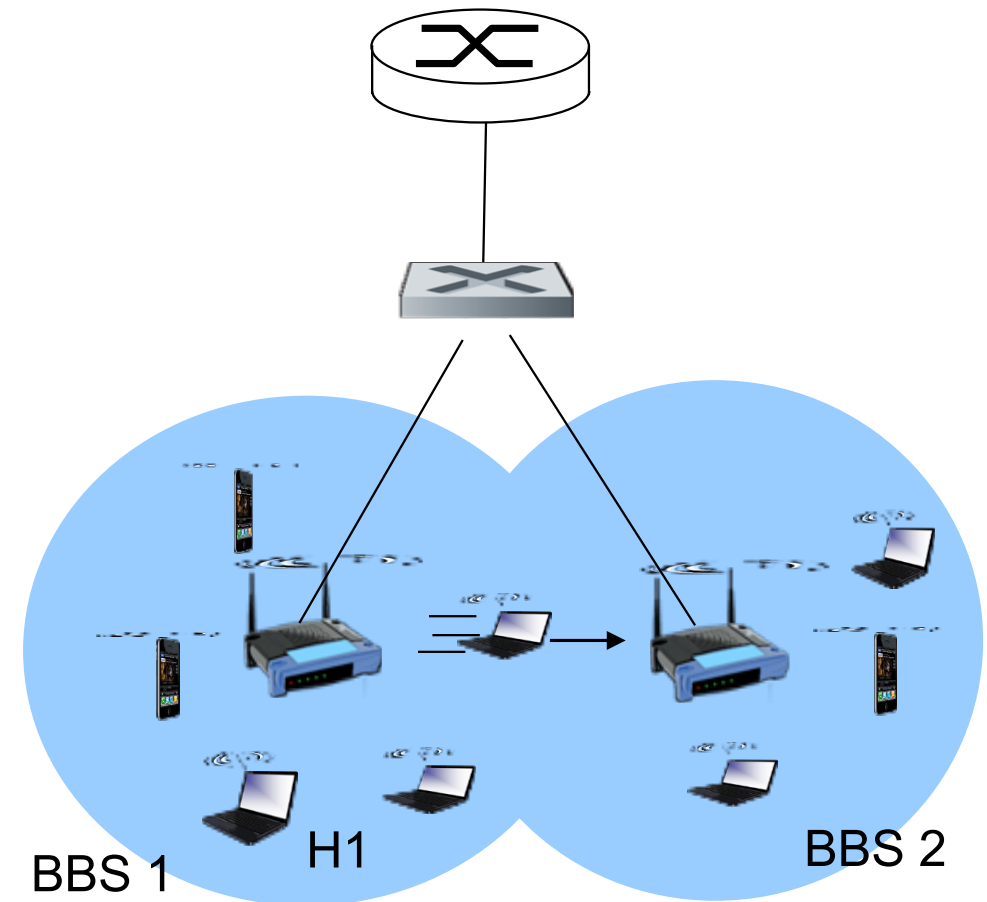
Quadros do IEEE 802.11 (Mais)



frame type
(RTS, CTS, ACK, data)

IEEE 802.11: Mobilidade Dentro da Mesma Sub-rede

- Padrão prevê *handoff* do cliente entre APs de uma mesma rede.
 - Mesmo ESSID.
 - Através de um **quadro de reassociação**.
 - “Estado do cliente” é transferido entre APs.
- 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.
- **Importante: decisão de mobilidade é do cliente!**

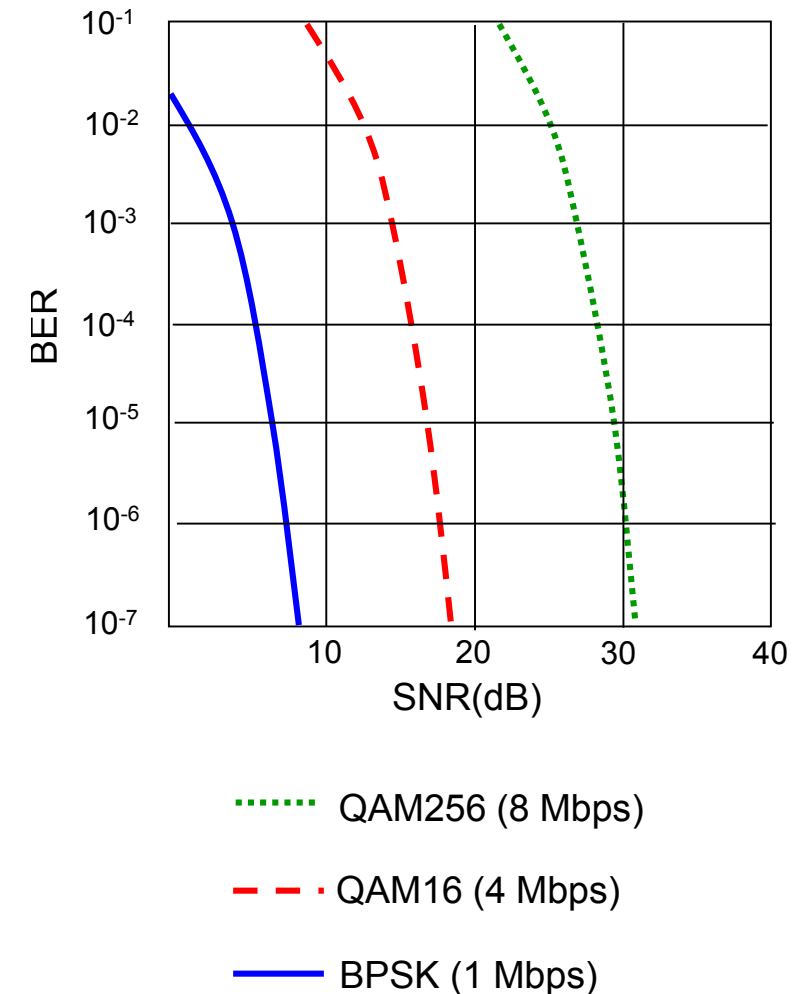


Adaptação Automática de Taxa (I)

- **Adaptação automática de taxa:**

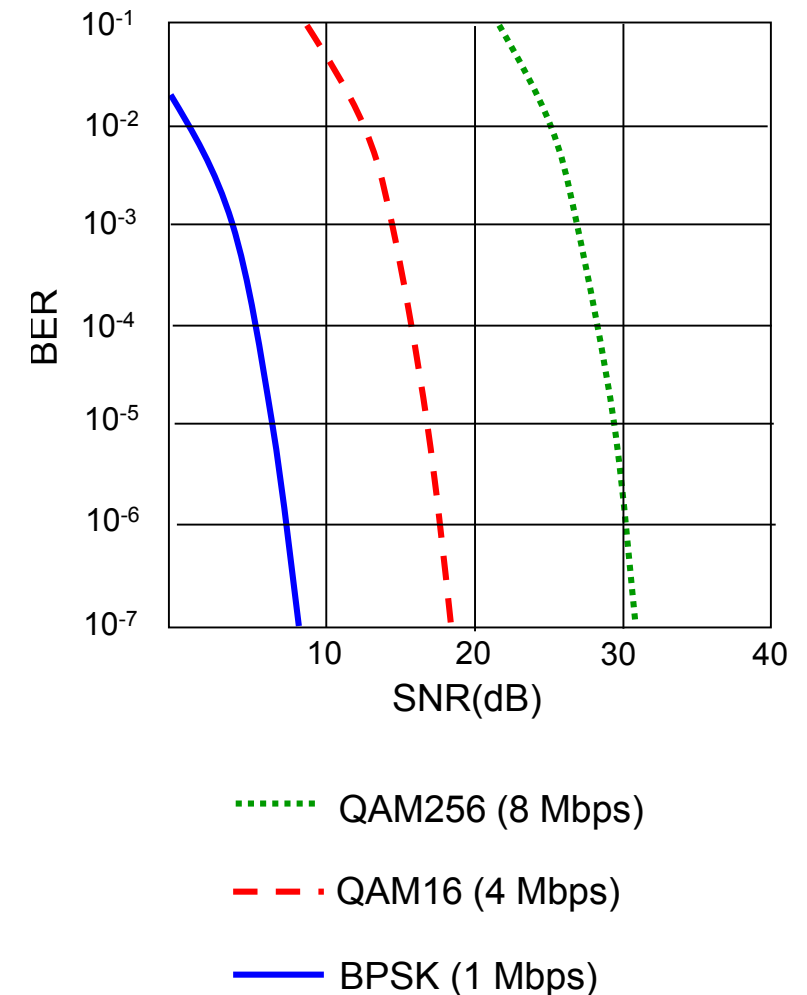
- Estação base e hosts dinamicamente alteram taxa de transmissão.
- Forma de compensar variações no SNR (e.g., devido a mobilidade).

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).



Adaptação Automática de Taxa (II)

- Na prática, mecanismos de adaptação de taxa não medem diretamente SNR.
- SNR é inferido indiretamente através de parâmetros como a **perda de quadros**.
 - Aumento na perda pode indicar redução no SNR.
 - (Mas nem sempre!)
- Exemplo de mecanismo comum: ARF.
 - *Auto-Rate Fallback*.
 - Dez quadros transmitidos com sucesso em sequência: aumente a taxa.
 - Dois quadros perdidos consecutivamente: reduza a taxa.



Economia de Energia no IEEE 802.11 (I)

- Por quê?
 - Dispositivos sem fio são (muitas vezes) alimentados por bateria.
 - Celulares, tables, laptops, ...
 - Baterias têm capacidade limitada.
 - Em certos dispositivos, interface sem fio é um dos componentes que mais consomem energia.
 - Mesmo quando apenas ouvindo o meio.
 - Logo, grande potencial de economia.
- IEEE 802.11 se preocupa com consumo energético em vários contextos.

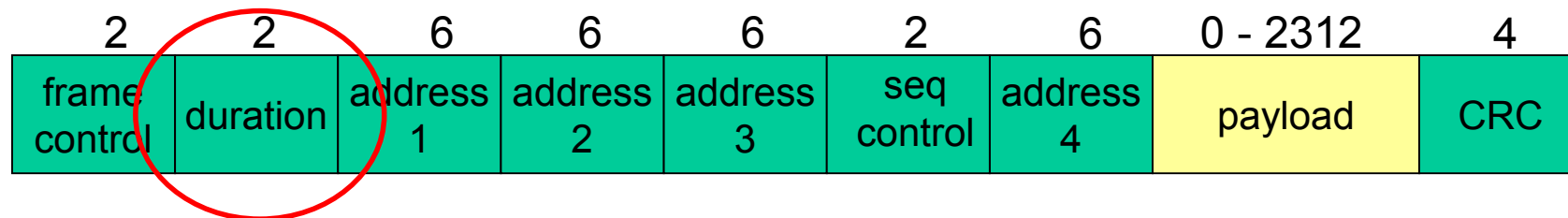
Economia de Energia no IEEE 802.11 (II)

- **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*.

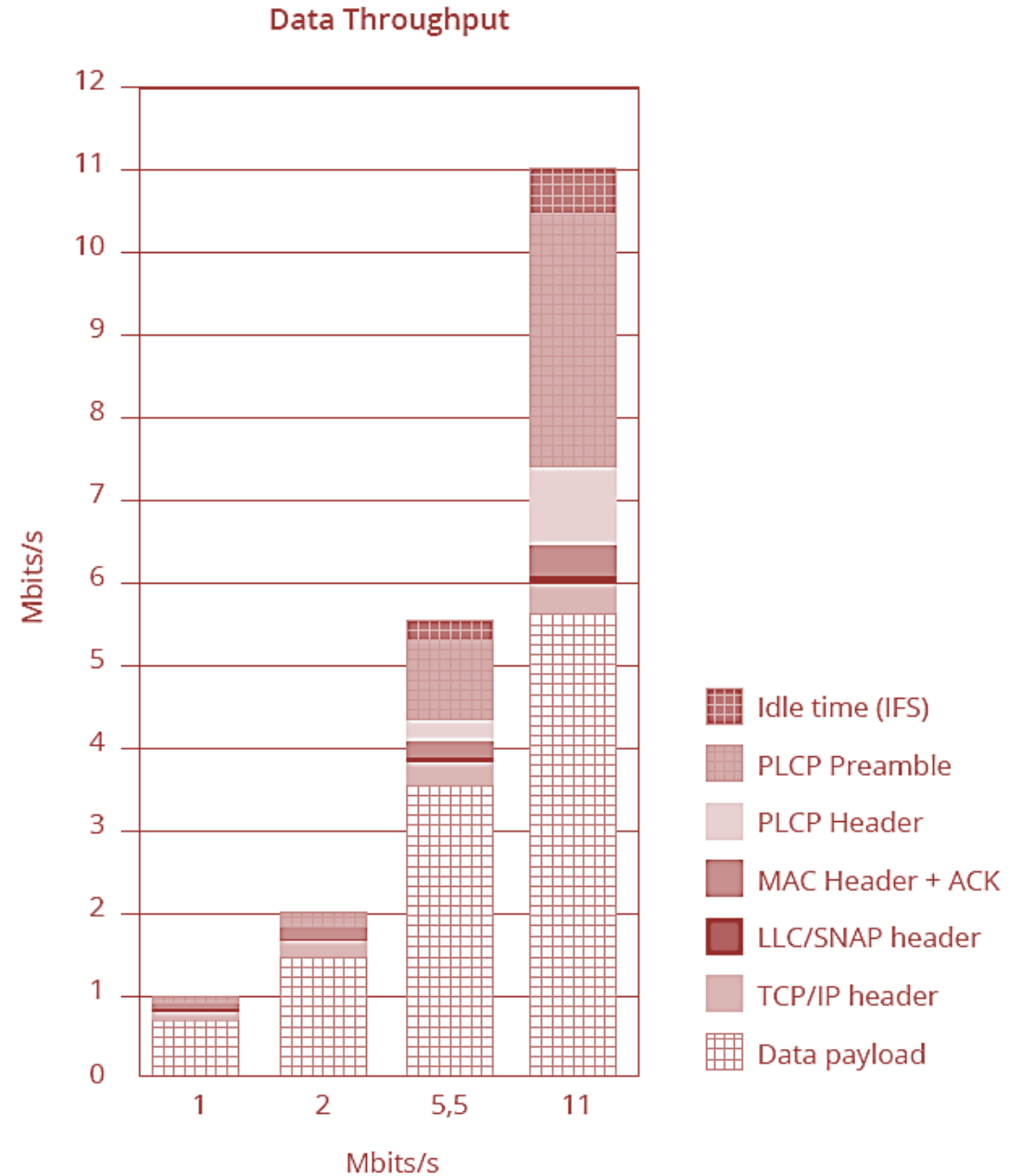
Economia de Energia no IEEE 802.11 (III)

- Detecção Virtual de Portadora:
 - Objetivo: economizar energia durante a detecção de portadora.
 - NAV: *Network Allocation Vector*.
- Funcionamento:
 - Quadros contém campo de duração: tempo necessário para aquela transmissão (incluindo *ack*).
 - Sempre que estação recebe quadro, lê campo de duração.
 - Configura temporizador (NAV) para o valor adequado.
 - Durante aquele período, não há necessidade de realizar a **detecção física da portadora**.
- Também utilizado com RTS/CTS.



IEEE 802.11: Eficiência (I)

- O IEEE 802.11 prevê várias taxas.
 - Possivelmente, escolha de um algoritmo de adaptação de taxa.
- Suponha que uma taxa **nominal** de 11 Mb/s tenha sido escolhida.
 - Qual é a **vazão efetiva** do enlace?
- Protocolo adiciona uma série de *overheads*:
 - Cabeçalhos, preâmbulos.
 - IFS, Acks, RTS/CTS.
- Taxa de transmissão líquida pode ser bem mais baixa.

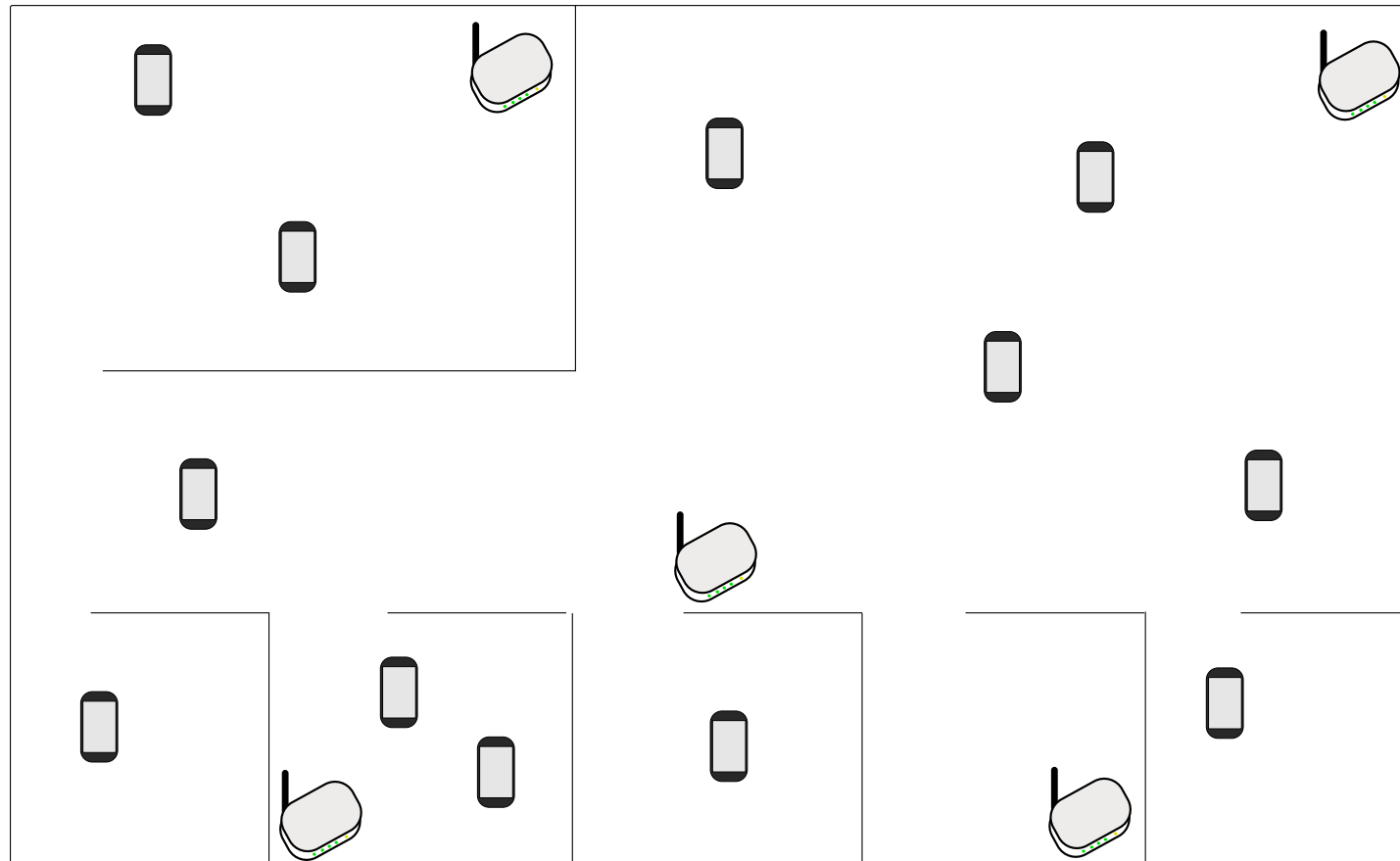


IEEE 802.11: Eficiência (II)

- Outros fatores:
 - Perdas de quadros:
 - Uma parcela **representativa** das transmissões pode falhar.
 - Tempo de transmissão desperdiçado.
 - E completamente, já que não há detecção simultânea de colisões, por exemplo.
 - Pior: quanto maior o número de retransmissões de um quadro, **maiores** os tempos esperados de *backoff*.
 - Exponencialmente!
 - **Taxas de transmissão básicas:**
 - Geralmente baixas.
 - Usadas para transmissão de quadros de controle, gerência.
 - Associação, *beacons*, *probes*, ..., RTS, CTS, muitas vezes Acks.
 - Estes quadros são pequenos, **mas transmitidos a taxas baixas**.
 - Ou seja, consomem muito tempo!
 - Corolário: **quanto mais alta a taxa de transmissão selecionada, menos eficiente é o padrão!**

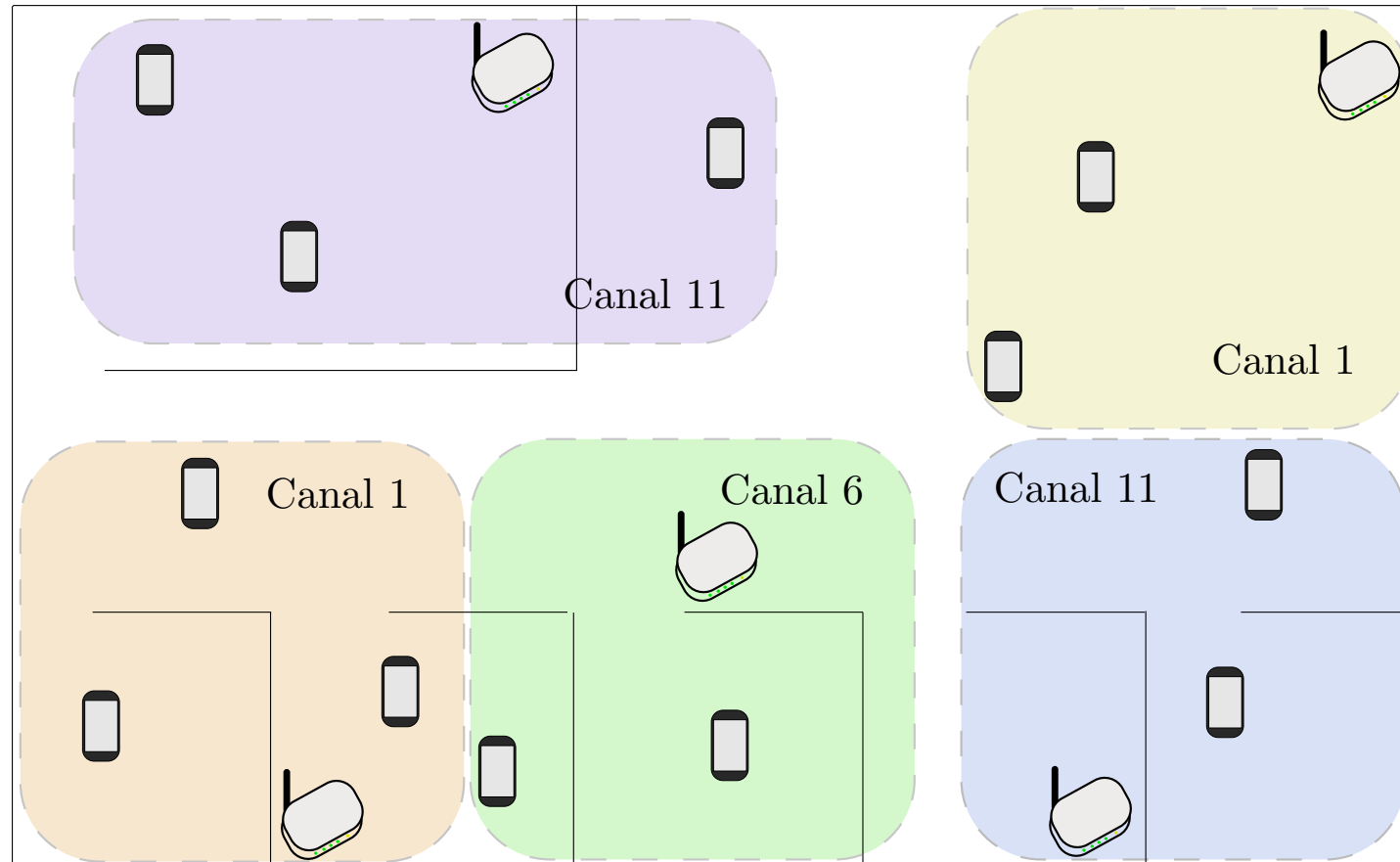
Redes Wi-Fi Densas (I)

- Múltiplos APs espalhados por um ambiente.
 - Conectados por um **sistema de distribuição**.
 - Aumentam **capacidade** da rede.
 - Planejamento com **canais ortogonais**.



Redes Wi-Fi Densas (II)

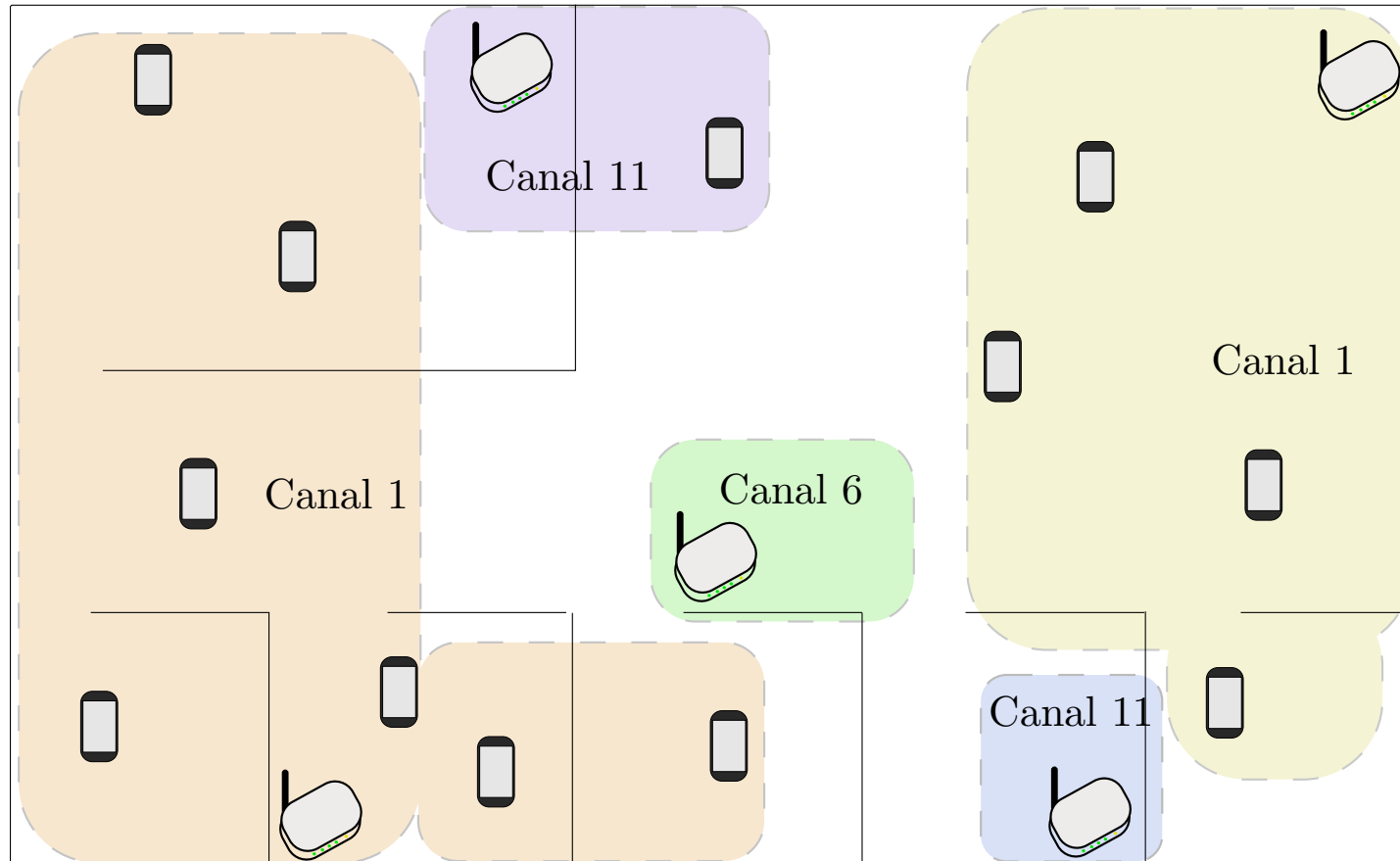
- **Idealmente**, clientes se espalhariam de maneira **uniforme**.
 - Número de clientes **associados** a cada AP seria relativamente equilibrado.
 - **Balanceamento de carga**.



Redes Wi-Fi Densas (III)

- **Mas na prática...**

- Decisão de associação é **prerrogativa do cliente**.
- Associações ocorrem de forma **descoordenada**, desbalanceada.
- Alguns APs quase sem carga, outros **sobrecarregados**.

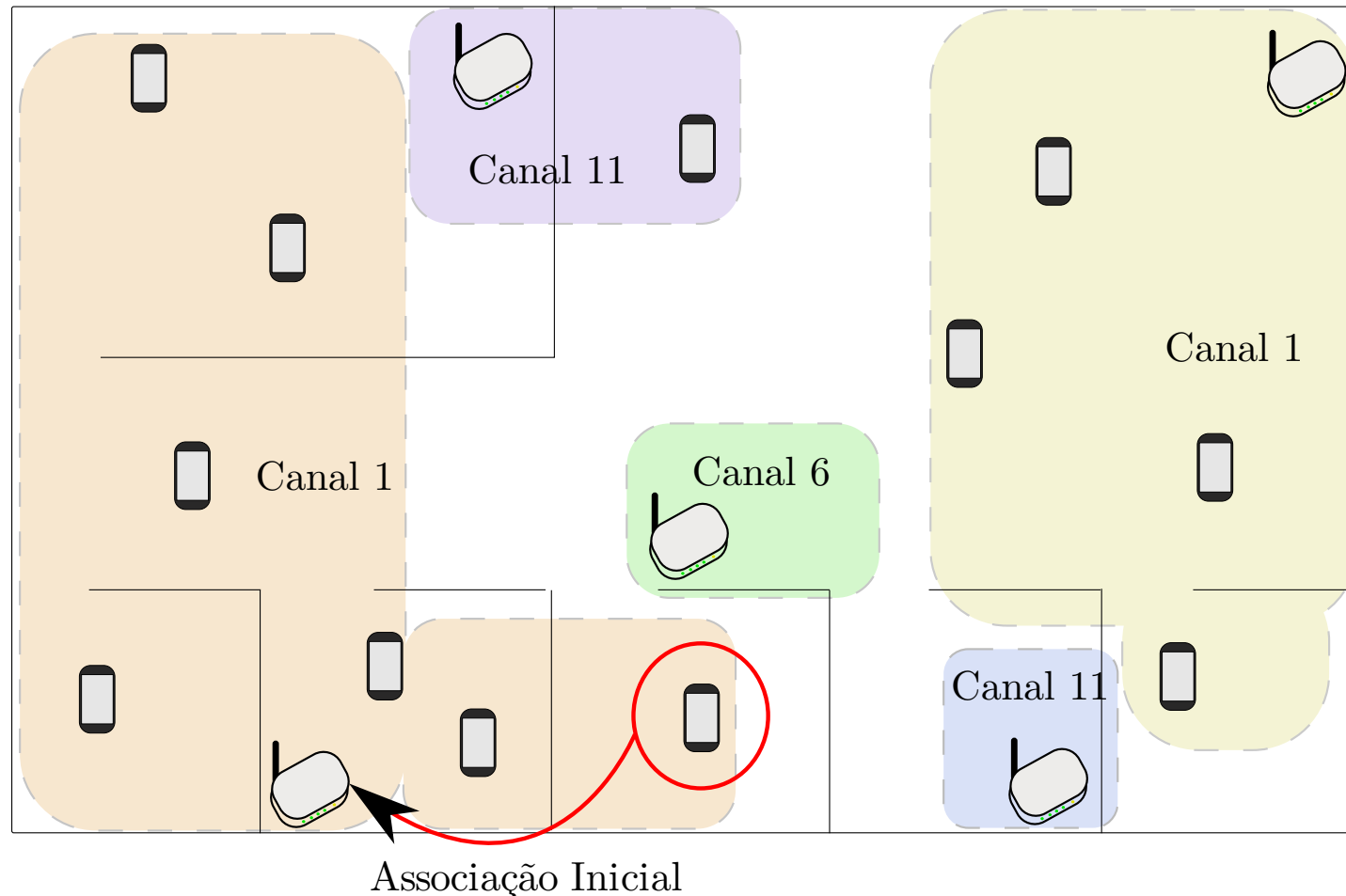


Redes Wi-Fi Densas: Outras Questões

- Além do balanceamento de carga:
 - Seleção (possivelmente dinâmica) de canais.
 - Como atribuir canais ortogonais aos APs vizinhos?
 - Considerando ainda que:
 - Há geralmente outras redes próximas não controladas.
 - Redes diferentes ocupam canais de formas diferentes.
 - Possível uso de um **controlador**.
 - Uso de **micro-células**.
 - Propositamente **reduzir alcance** do AP.
 - Diminuindo potência de transmissão.
 - Aumenta o **reuso espacial**.
 - Mais APs **não interferentes** em uma mesma região.
 - Maior capacidade.
 - Instabilidade na associação dos clientes.
 - Problema do “ping-pong” [Balbi *et al.* 2016].

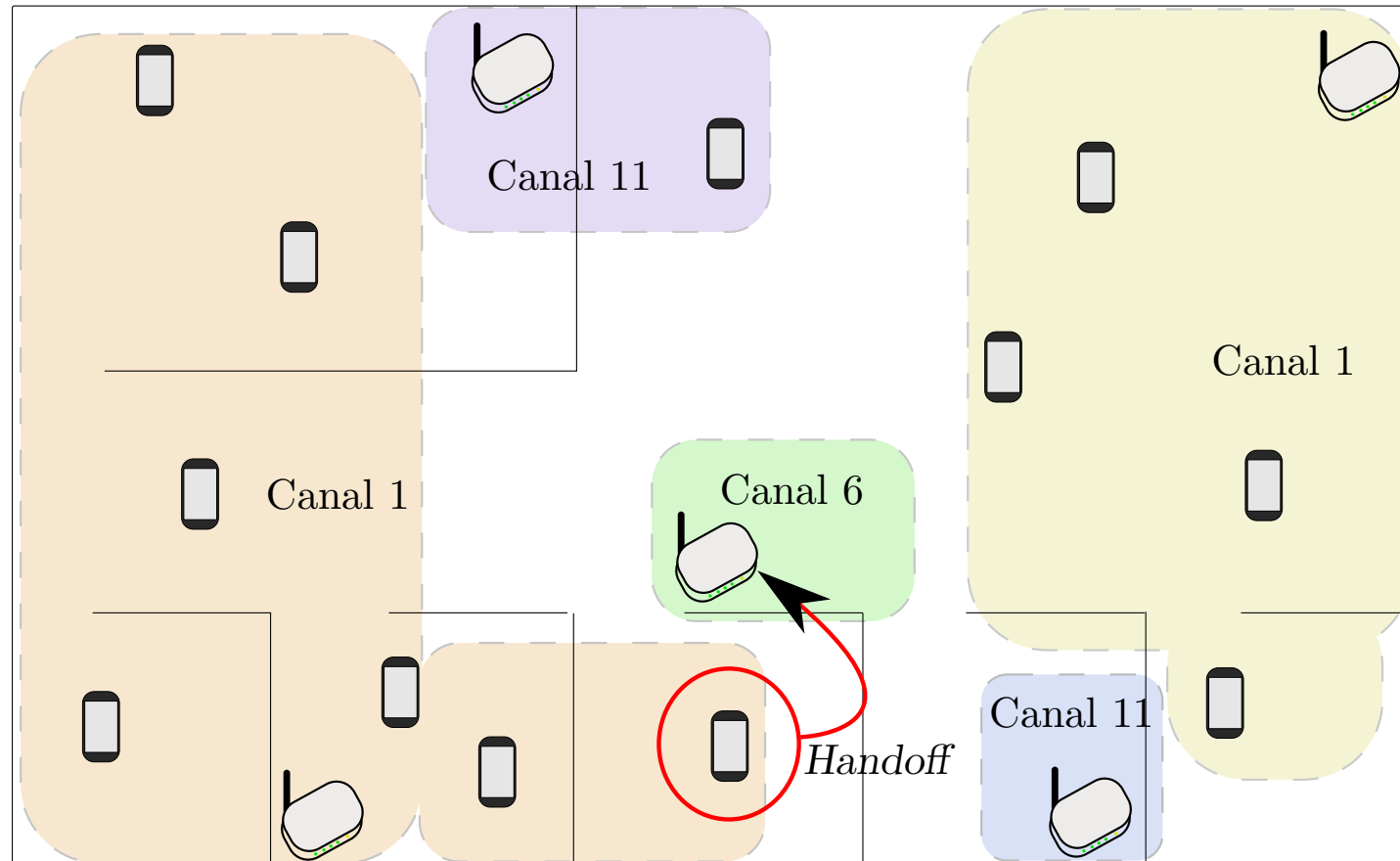
Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (I)

- Cliente pode estar na região de alcance de **múltiplos** APs.
- Critério de seleção do “melhor” AP **não é padronizado**.
 - Deixado a cargo da implementação.



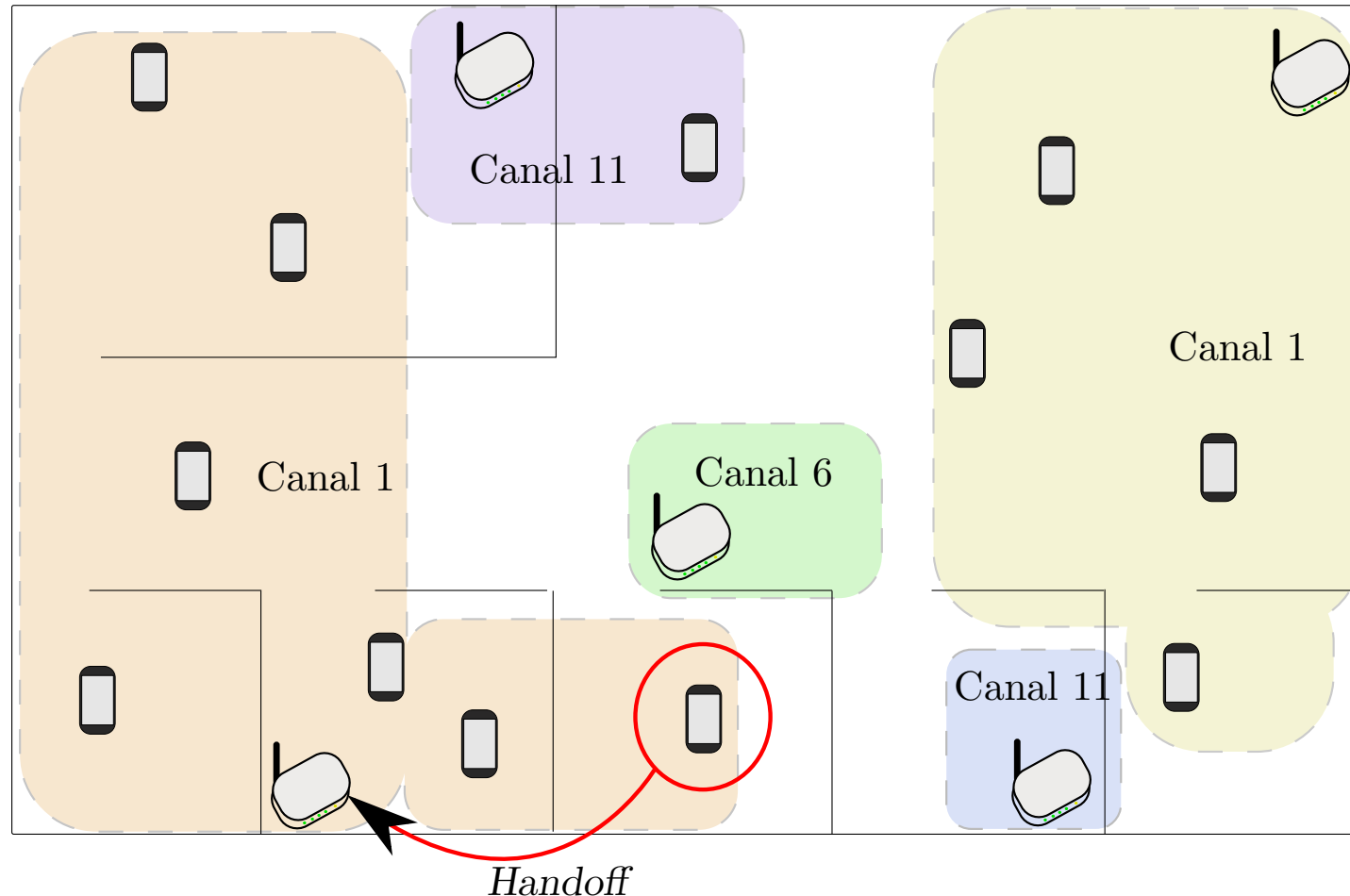
Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (II)

- Mesmo associado, cliente continua avaliando alternativas.
 - Através de *beacons*, anúncios dos APs.
- Meio sem fio sofre de **alta variabilidade**.
 - “Melhor AP” pode variar com o tempo \Rightarrow *handoff*.



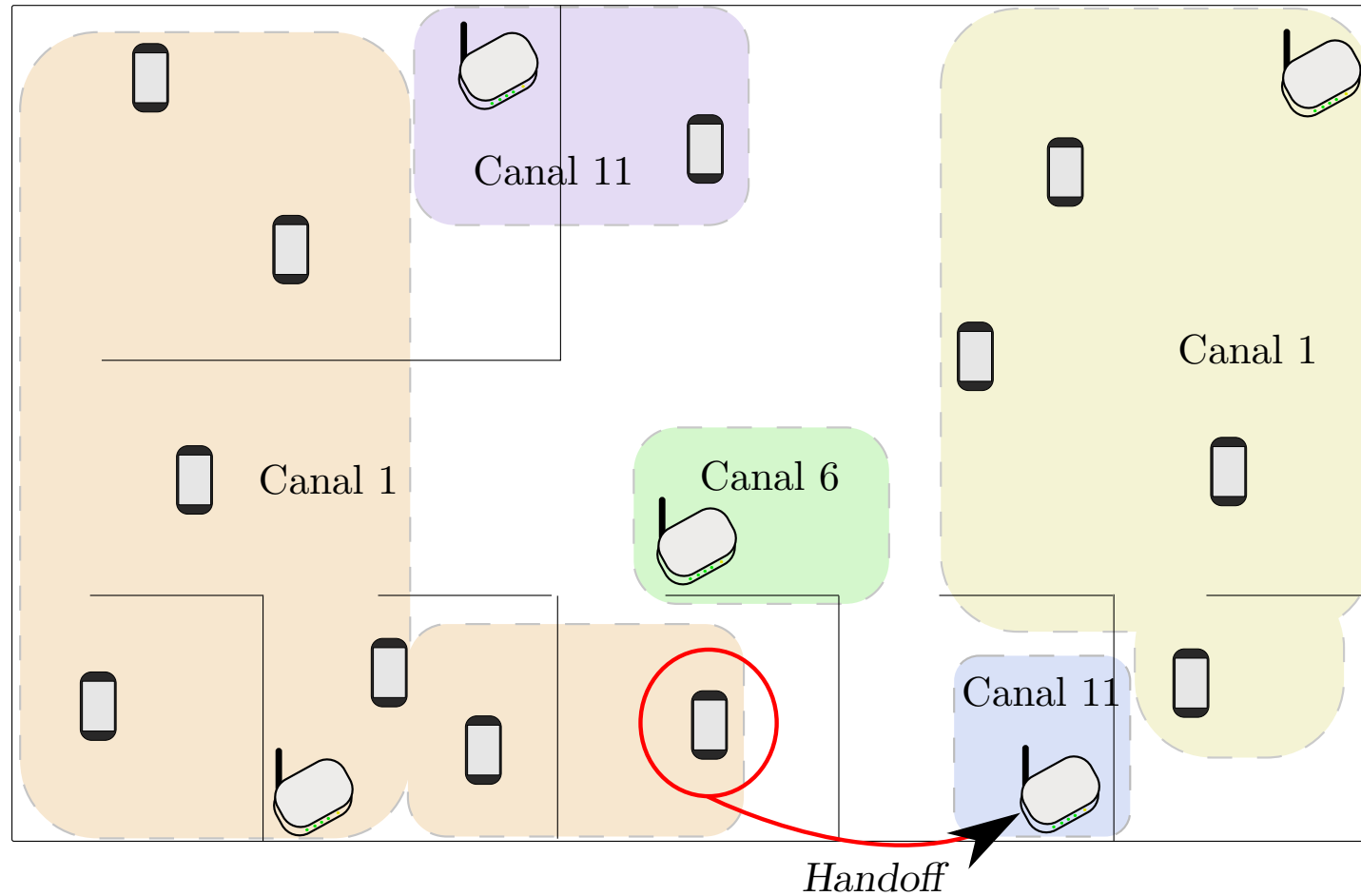
Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (III)

- Processo continua, novas trocas podem ocorrer.
- Devido à variabilidade, pode haver **alternância frequente** de associações.
 - e.g., *handoffs* a cada 30 segundos.



Redes Wi-Fi Densas: Ping-Pong (IV)

- Dependendo do cenário, pode envolver mais que dois APs.



Resumo da Aula (I)...

- RTS/CTS: mecanismo de **reserva virtual**.
 - RTS: *Request-To-Send*.
 - CTS: *Clear-To-Send*.
 - Enviado pelo receptor, autorizando.
 - Pode **reduzir quantidade e efeito** de colisões.
 - Principalmente em casos de terminais escondidos.
 -
 - Nem sempre efetivo.
 - Introduz *overheads*.
 - **Limiar de RTS/CTS**.
- **Problema do terminal exposto:**
 - Transmissões simultâneas que não causariam colisão são suprimidas pelo CSMA/CA.
 - Não resolvido pelo RTS/CTS.
- IEEE 802.11: endereços.
 - Quatro campos previstos no cabeçalho.
 - Origem e destino **daquela transmissão sem fio**.
 - Mas também BSSID, destinatário final, ...
- IEEE 802.11: mobilidade.
 - Suportada pelo padrão entre APs de um mesmo ESSID.
 - **Decisão do cliente**.
- Adaptação automática de taxa.
 - Geralmente baseada em quadros perdidos.
 - Reduz taxas para enlaces “piores”.
- IEEE 802.11: economia de energia.
 - Detecção virtual de portadora.
 - *Duty cycle* entre *beacons*.

Resumo da Aula (II)...

- IEEE 802.11: eficiência.
 - Várias fontes de *overhead*.
 - **Eficiência mais baixa para taxas mais altas.**
 - Perdas de quadros também contribuem.
- Redes densas:
 - Muitos clientes, muitos APs.
 - Balanceamento de carga.
 - Escolha dinâmica de canais.
 - Planejamento.
 - Micro-células.
 - Instabilidade de associação.

Leitura e Exercícios Sugeridos

- IEEE 802.11:
 - 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.

Próxima Aula...

- Mudaremos o foco da nossa discussão para as redes sem fio de múltiplos saltos.
- Veremos alguns tipos e aplicações destas redes:
 - Redes *ad hoc* móveis
 - Redes em malha sem fio.
 - Redes de sensores.
 - Redes Veiculares.
- Também falaremos brevemente sobre alguns desafios nestas redes:
 - Roteamento.
 - Economia de energia.