

30-764

# Redes de Computadores I

MSc. Fernando Schubert

# REDES SEM FIO (WIRELESS)

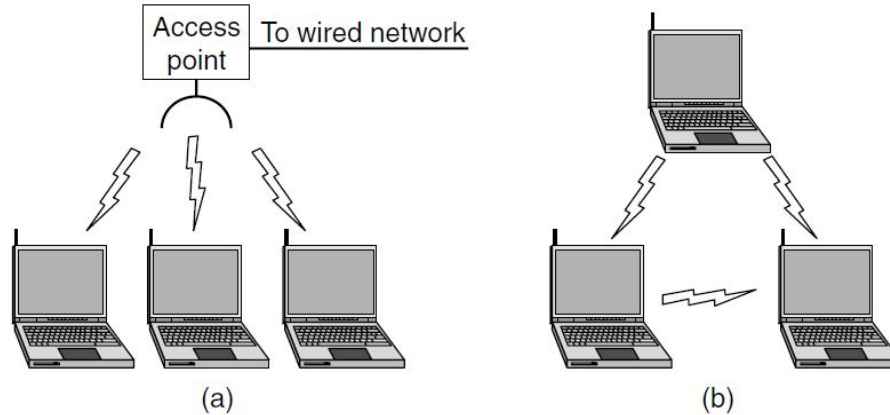
- Surge no final dos anos 90
- Definida pela norma IEEE 802.11
- Utiliza frequências de rádio entre 2.4 e 6 GHz (2.4 e 5 mais comuns)

| Generation | IEEE standard | Adopted             | Maximum link rate (Mbit/s) | Radio frequency (GHz)                 |
|------------|---------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Wi-Fi 8    | 802.11bn      | 2028 <sup>[1]</sup> | 100,000 <sup>[2]</sup>     | 2.4, 5, 6, 7, 42.5, 71 <sup>[3]</sup> |
| Wi-Fi 7    | 802.11be      | 2024                | 1376–46,120                | 2.4, 5, 6 <sup>[4]</sup>              |
| Wi-Fi 6E   | 802.11ax      | 2020                | 574–9608 <sup>[5]</sup>    | 6 <sup>[a]</sup>                      |
| Wi-Fi 6    |               | 2019                |                            | 2.4, 5                                |
| Wi-Fi 5    | 802.11ac      | 2014                | 433–6933                   | 5 <sup>[b]</sup>                      |
| Wi-Fi 4    | 802.11n       | 2008                | 72–600                     | 2.4, 5                                |
| (Wi-Fi 3)* | 802.11g       | 2003                | 6–54                       | 2.4                                   |
| (Wi-Fi 2)* | 802.11a       | 1999                |                            | 5                                     |
| (Wi-Fi 1)* | 802.11b       | 1999                | 1–11                       | 2.4                                   |
| (Wi-Fi 0)* | 802.11        | 1997                | 1–2                        | 2.4                                   |

\*Wi-Fi 0, 1, 2, and 3 are named by retroactive inference. They do not exist in the official nomenclature.<sup>[6][7][8]</sup>

# REDES SEM FIO (WIRELESS)

- Utiliza dispositivos chamados access points onde os clientes se conectam
- Pode também ser constituída entre dispositivos com adaptadores wireless, no formado ad-hoc

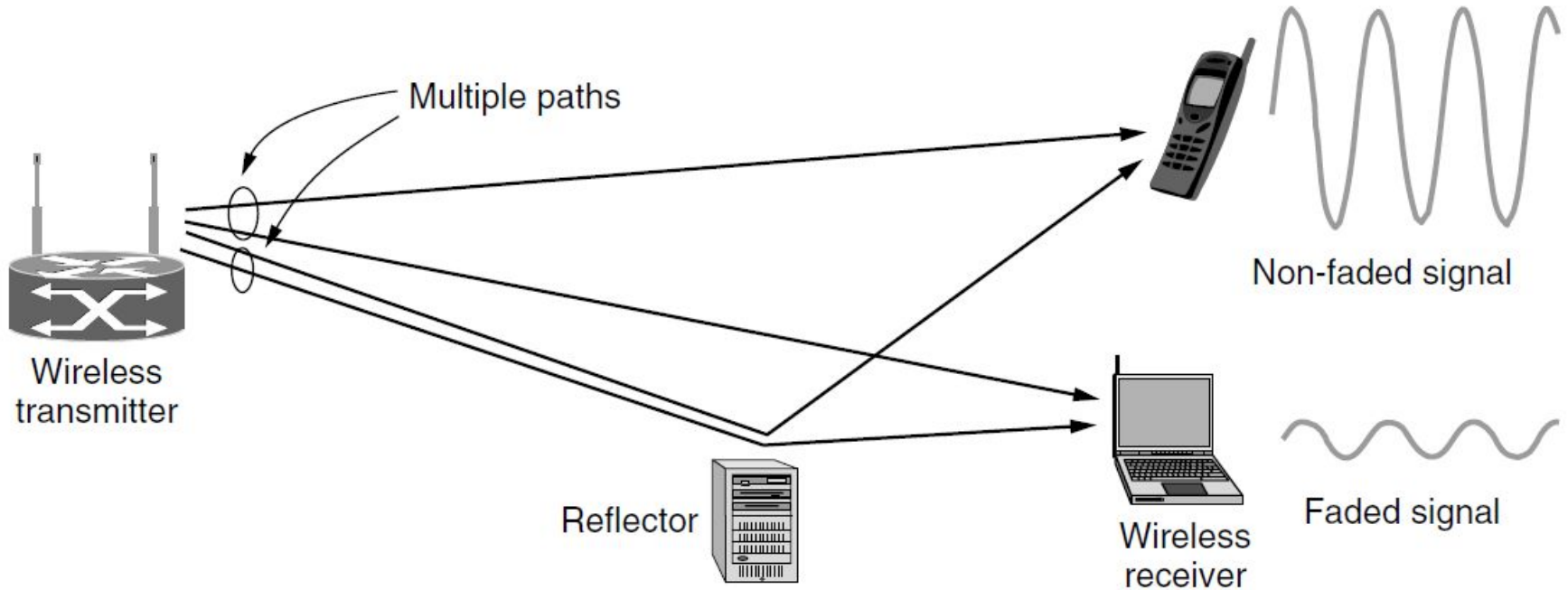


**Figure 1-33.** (a) Wireless network with an access point. (b) Ad hoc network.

# REDES SEM FIO (WIRELESS)

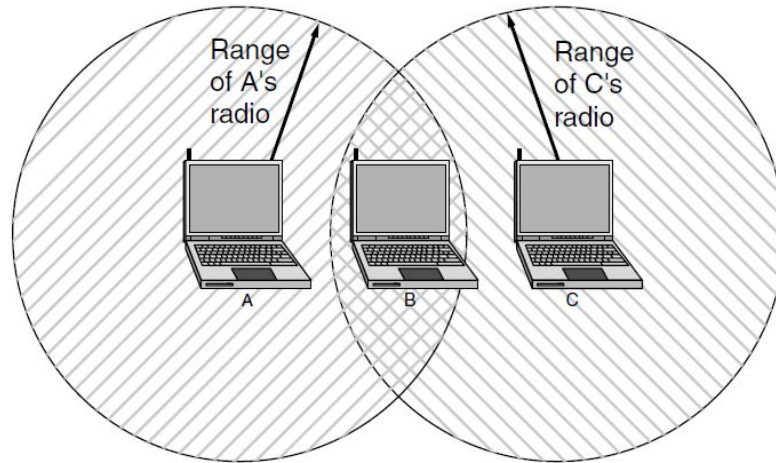
- Multipath fading (desvanecimento): Em sistemas de comunicação sem fio o sinal transmitido sofre várias perdas devido as características intrínsecas do canal móvel.
- Efeitos de propagação, distorções, ruído e interferência são características do canal, que de forma aleatória trás a ocorrência da variação da potência do sinal transmitido, causando conseqüentemente atenuações no sinal.
- Essas variações de intensidade do sinal são denominadas de desvanecimento, característica presente nos canais sem fio.
- Para atenuar este problema se utiliza uma diversidade de caminhos ou canais, dividindo a banda em um espectro com múltiplos canais de transmissão.

# REDES SEM FIO (WIRELESS)



# REDES SEM FIO (WIRELESS) - COLISÕES

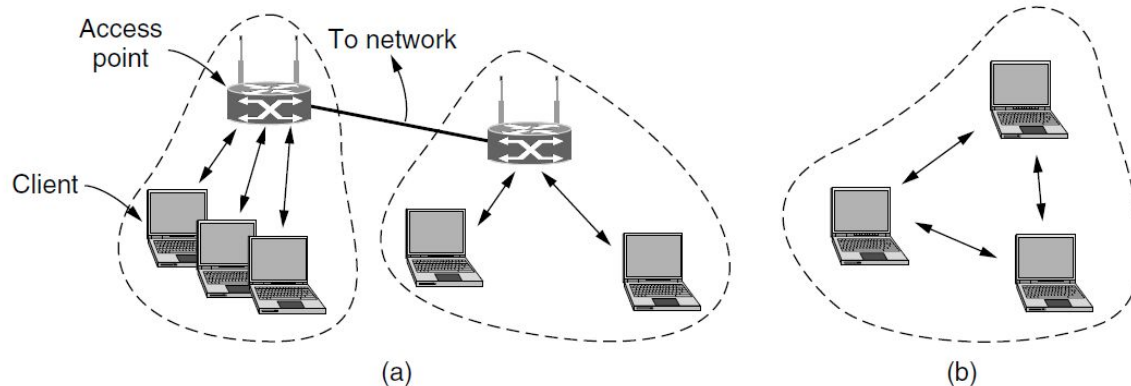
- Por ser um meio intrinsecamente de broadcast WiFi utiliza CSMA
  - Inspirado no Ethernet
  - Menos eficiente por causa da natureza do meio



**Figure 1-35.** The range of a single radio may not cover the entire system.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - MUDANÇAS FÍSICAS

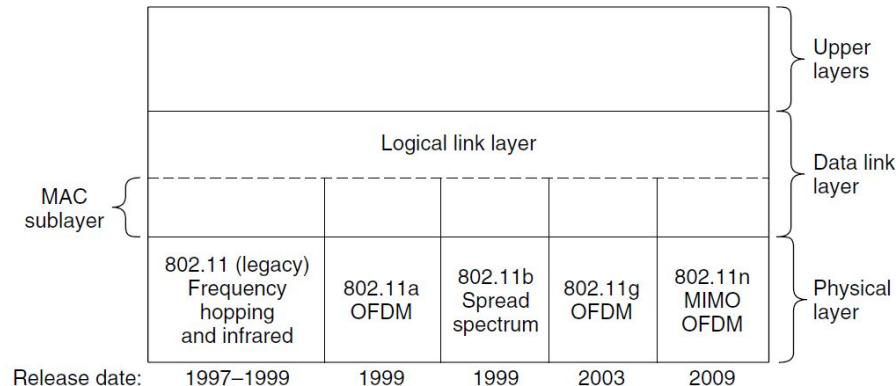
- Clientes móveis tendem a se afastar ou aproximar do seu ponto de acesso mais próximo
  - Para resolver isso uma rede wireless deve ter vários access points interconectados por Ethernet ou por um sistema distribuído wireless (WDS)



**Figure 4-23.** 802.11 architecture. (a) Infrastructure mode. (b) Ad-hoc mode.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADAS

- A camada física se assemelha à camada física do modelo OSI
- Já a camada de enlace é dividida em duas camadas:
  - A subcamada MAC define como o meio é alocado
  - Já a subcamada LLC abstrai das camadas superiores a complexidade do meio físico.



**Figure 4-24.** Part of the 802.11 protocol stack.



# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- Todos os métodos de transmissão utilizam ondas curtas nas bandas de frequência de 2.4 e 5GHz.
  - Estas frequências disponíveis livremente sem licenciamento desde que certos requisitos sejam cumpridos pelos fabricantes, como, por exemplo, limitar a potência da radiação emitida a no máximo 1W.
  - Frequência compartilhada por portões de garagem, micro-ondas, e outros dispositivos.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- Modulação e codificação:
  - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): Utilizado em 802.11b.
  - OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing): Utilizado em 802.11a/g/n/ac/ax.
  - QAM (Quadrature Amplitude Modulation): Diferentes níveis de QAM (64-QAM, 256-QAM, etc.) são utilizados para aumentar a eficiência espectral.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- Modulação e codificação:
  - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum):
    - Utilizado principalmente no padrão 802.11b, o DSSS espalha o sinal de dados sobre uma ampla faixa de frequências usando uma sequência de código pseudoaleatório.
    - Proporciona resistência a interferências e multipercursos, melhorando a confiabilidade da transmissão em ambientes ruidosos.
    - A taxa de dados no DSSS para 802.11b é de 1, 2, 5.5 e 11 Mbps.
  -

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- 802.11b
  - Primeiro padrão wireless amplamente utilizado
  - Velocidades (taxas de transferência) de 1, 2, 5.5 e 11 Mbps..
  - Semelhante ao CDMA

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- 802.11a
  - 5GHz
  - Até 54Mbps de banda

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

- 802.11n
  - Até 100Mbps

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - CAMADA FÍSICA

| Padrão 802.11 | Ano de Lançamento | Frequência      | Velocidade Máxima de Transmissão |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|
| 802.11        | 1997              | 2.4 GHz         | 2 Mbps                           |
| 802.11a       | 1999              | 5 GHz           | 54 Mbps                          |
| 802.11b       | 1999              | 2.4 GHz         | 11 Mbps                          |
| 802.11g       | 2003              | 2.4 GHz         | 54 Mbps                          |
| 802.11n       | 2009              | 2.4 GHz / 5 GHz | 600 Mbps                         |
| 802.11ac      | 2013              | 5 GHz           | 1.3 Gbps (1300 Mbps)             |
| 802.11ad      | 2012              | 60 GHz          | 7 Gbps                           |
| 802.11ax      | 2019              | 2.4 GHz / 5 GHz | 9.6 Gbps                         |
| 802.11ay      | 2021              | 60 GHz          | 20-40 Gbps                       |

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC

- Transmissão via rádio é geralmente half-duplex
- Utiliza:
  - CSMA/CA
  - CSMA/CD



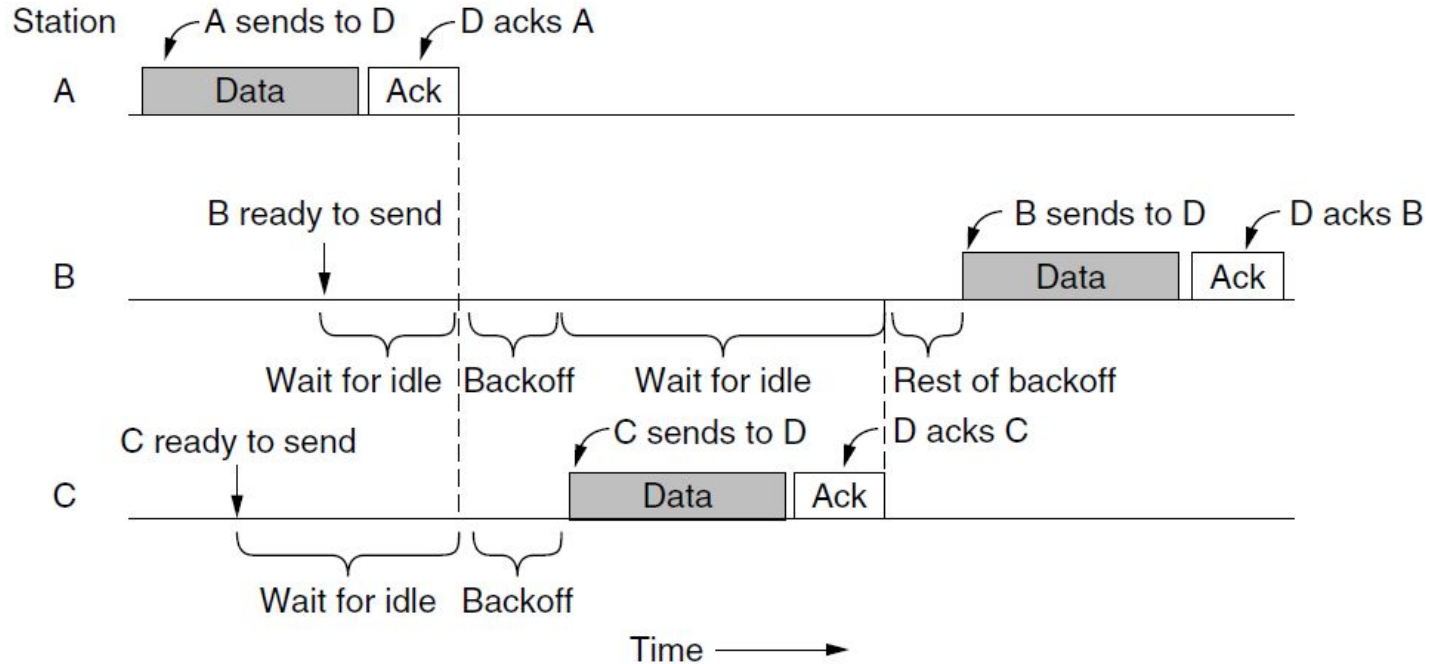
# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC

- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
  - Escuta do Canal: Antes de transmitir, o dispositivo verifica se o canal está livre. Se o canal estiver ocupado, o dispositivo espera por um tempo aleatório antes de verificar novamente, ajudando a evitar colisões.
  - Backoff Aleatório: Se o canal estiver livre, o dispositivo espera um período de tempo aleatório (backoff) antes de transmitir. Isso reduz a probabilidade de que dois dispositivos transmitam ao mesmo tempo.
  - Confirmação de Recebimento: Após a transmissão, o dispositivo espera por um ACK (acknowledgment) do receptor para confirmar que a mensagem foi recebida. Se o ACK não for recebido, o dispositivo assume que ocorreu uma colisão e tenta retransmitir.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)
  - Escuta do Canal: O dispositivo monitora o canal antes de transmitir. Se detectar que o canal está ocupado, espera até que esteja livre para iniciar a transmissão.
  - Transmissão e Detecção de Colisão: Durante a transmissão, o dispositivo continua a monitorar o canal para detectar colisões. Se uma colisão for detectada, a transmissão é interrompida imediatamente.
  - Retransmissão após Backoff: Após detectar uma colisão, o dispositivo espera um período de tempo aleatório antes de tentar retransmitir. Este tempo aumenta exponencialmente com cada colisão subsequente, reduzindo a probabilidade de colisões futuras.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC



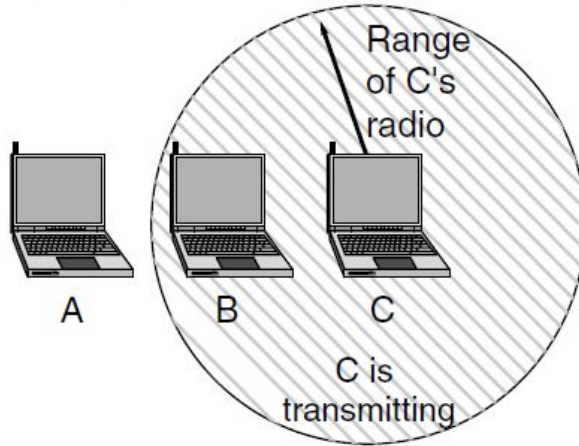
**Figure 4-25.** Sending a frame with CSMA/CA.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC

- Função de Coordenação Distribuída (DCF):
  - DCF utiliza CSMA/CA como método de acesso, pois a LAN sem fio não pode implementar CSMA/CD.
  - Oferece apenas serviço assíncrono.
- Função de Coordenação por Ponto (PCF)
  - PCF é implementada sobre DCF e é principalmente usada para transmissão de serviços de tempo.
  - Utiliza um método de acesso centralizado, sem contenção, baseado em sondagem.
  - Oferece tanto serviços assíncronos quanto serviços com restrições de tempo.

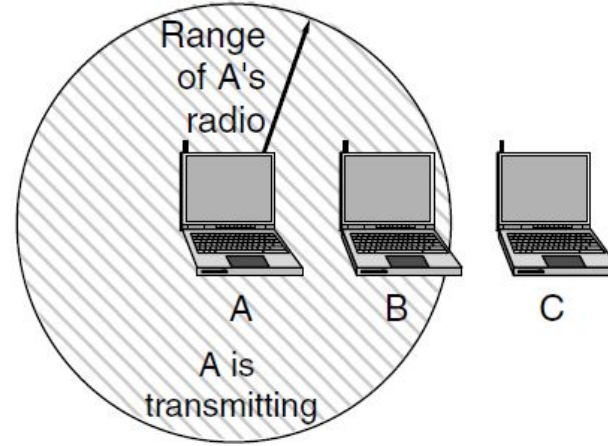
# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SUBCAMADA MAC

A wants to send to B  
but cannot hear that  
B is busy



(a)

B wants to send to C  
but mistakenly thinks  
the transmission will fail



(b)

**Figure 4-26.** (a) The hidden terminal problem. (b) The exposed terminal problem.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - FORMATO DO QUADRO

- Três tipos de quadros são definidos:
  - Dados
  - Controle
  - Gerenciamento
- Cada tipo de quadro possui cabeçalhos utilizados pela camada física

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - FORMATO DO QUADRO

- Três tipos de quadros são definidos:
  - Dados
  - Controle
  - Gerenciamento
- Cada tipo de quadro possui cabeçalhos utilizados pela camada física

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - FORMATO DO QUADRO

- Controle

**FIGURE 5.1** Control frame: Frame Control fields

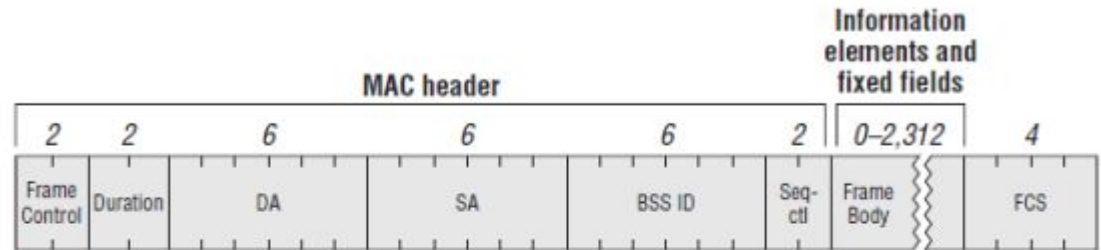
[illegible]



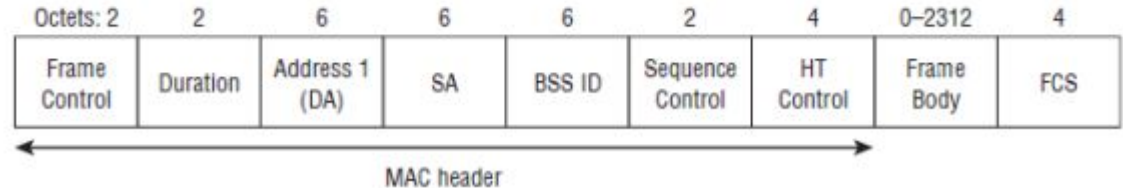
# REDES SEM FIO (WIRELESS) - FORMATO DO QUADRO

- Gerenciamento

**FIGURE 4.1** Management frame structure

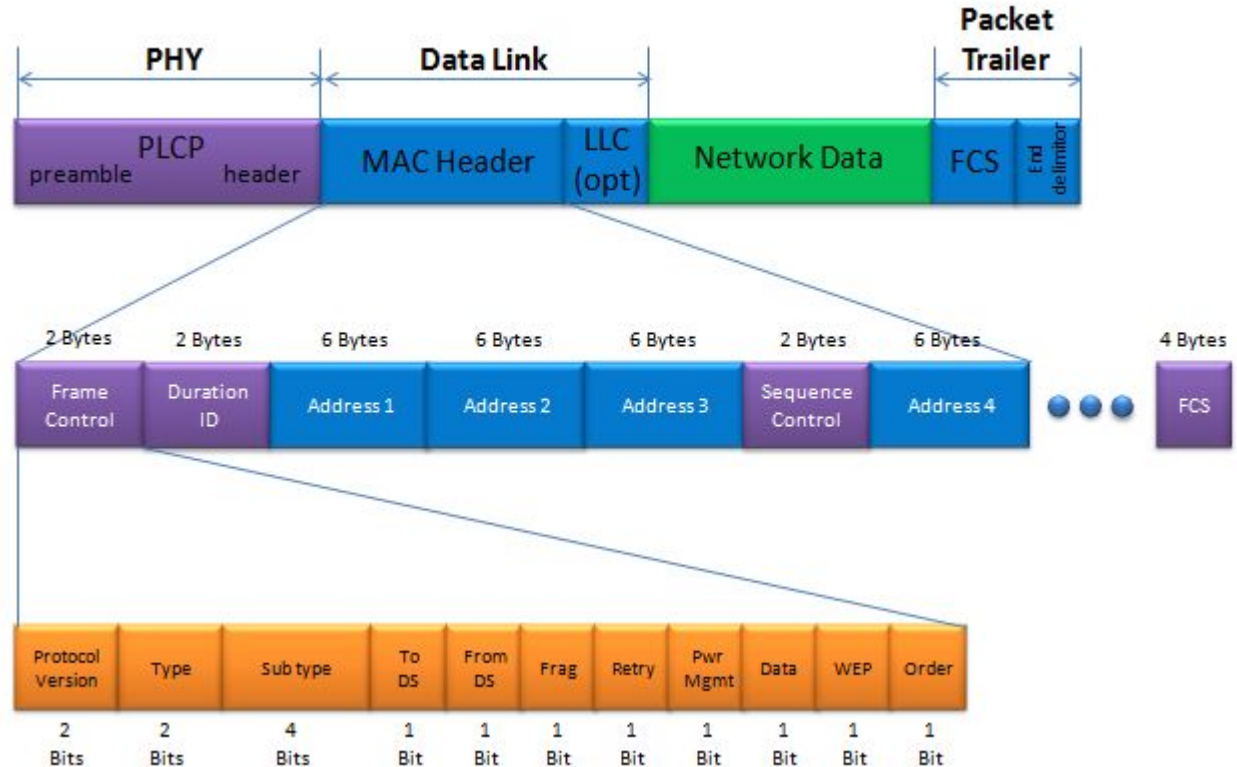


**FIGURE 4.2** Management frame structure: 802.11n



# REDES SEM FIO (WIRELESS) - FORMATO DO QUADRO

- Dados



# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SEGURANÇA

- WEP (Wired Equivalent Privacy): Um protocolo mais antigo com vulnerabilidades conhecidas.
- WPA (Wi-Fi Protected Access): Melhora a segurança em relação ao WEP com TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).
- WPA2: Utiliza AES (Advanced Encryption Standard) para melhor segurança que o WPA.
- WPA3: O protocolo mais recente que oferece recursos de segurança aprimorados, incluindo melhor criptografia.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SEGURANÇA

- Uma LAN sem fio 802.11 consiste nos seguintes componentes e comportamentos básicos:
  - Beacons—Usados para indicar a presença de uma rede LAN sem fio.
  - Probe—Usado por clientes de LAN sem fio para encontrar suas redes.
  - Autenticação—Um recurso definido nos padrões originais 802.11.
  - Associação—O processo de estabelecer um link entre um ponto de acesso e um cliente de LAN sem fio.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SEGURANÇA

- Uma LAN sem fio 802.11 consiste nos seguintes componentes e comportamentos básicos:
  - Beacons—Usados para indicar a presença de uma rede LAN sem fio.
  - Probe—Usado por clientes de LAN sem fio para encontrar suas redes.
  - Autenticação—Um recurso definido nos padrões originais 802.11.
  - Associação—O processo de estabelecer um link entre um ponto de acesso e um cliente de LAN sem fio.

# REDES SEM FIO (WIRELESS) - SEGURANÇA

- Processo de Associação
  - Sonda e Descoberta de Rede: Inicia enviando solicitações de sonda em múltiplos canais, especificando SSID, requisitos de taxa de bits e configuração de segurança necessária.
  - Autenticação 802.11: Utiliza autenticação aberta, onde o cliente solicita autenticação e o ponto de acesso responde, garantindo o estabelecimento básico da conexão.
  - Associação 802.11: Finaliza as configurações de segurança e estabelece o link de dados entre o cliente e o ponto de acesso, crucial para a transmissão segura de dados em implantações corporativas.