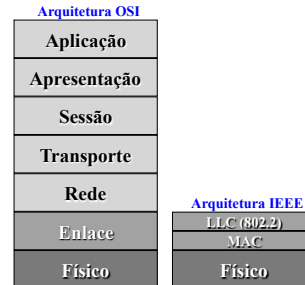


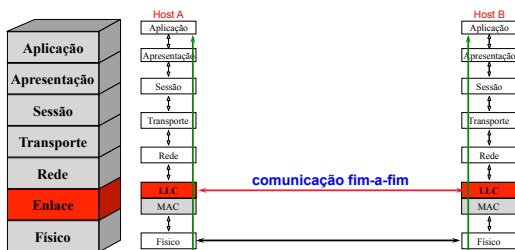
Arquitetura IEEE 802 Padrões IEEE 802.3, 802.11, 802.2

Profa. Débora Christina Muchaluat Saade
debora@midia.com.uff.br

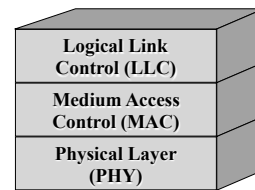
OSI x IEEE 802



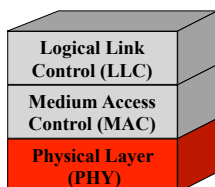
Arquitetura IEEE 802 (Redes Locais de Computadores)



Camadas da Arquitetura IEEE 802

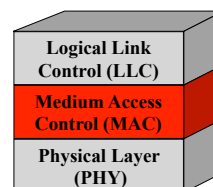


Nível Físico



- Estabelecimento, manutenção e liberação de conexões físicas
- transmissão de bits através de um meio físico
 - Cabo coaxial
 - Par trançado
 - Fibra ótica
- Método de codificação
- Taxa de Transmissão

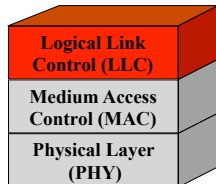
Camada de Controle de Acesso ao Meio



- Endereço MAC
- Organização do acesso ao meio físico compartilhado
 - Barra, Anel, Wireless
- Detecção de erros (CRC)
- Delimitação de quadros
- Técnicas
 - CSMA/CD (802.3)
 - Token Ring (802.5)
 - Token Bus (802.4)
 - DQDB (802.6)
 - CSMA/CA (802.11)
 - Polling (802.15)

Camada de Controle de Enlace Lógico

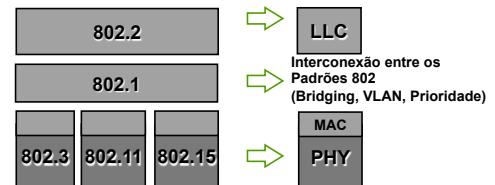
Redes de Computadores



- ▶ Independência da camada MAC
- ▶ LSAPs
- ▶ Multiplexação
- ▶ Controle de erros e de fluxo
- ▶ Tipos de operação
- ▶ Classes de procedimentos

Padrões IEEE 802.X

Redes de Computadores



Departamento de Ciência da Computação- UFF

Redes de Computadores

Padrão IEEE 802.3

Padrão 802.3 – Ethernet

Redes de Computadores

- ▶ Camadas MAC e Física
- ▶ Protocolo de acesso
 - CSMA/CD
- ▶ Redes Locais com Topologia Lógica em Barra
- ▶ Taxas de Transmissão
 - 10 Mbps – Ethernet
 - 100 Mbps – Fast Ethernet
 - 1 Gbps – Gigabit Ethernet
 - IEEE 802.3ae – 10 Gbps (conectividade para MANs e WANs)
 - 40 Gbps

Opções para as Extensões à rede Ethernet

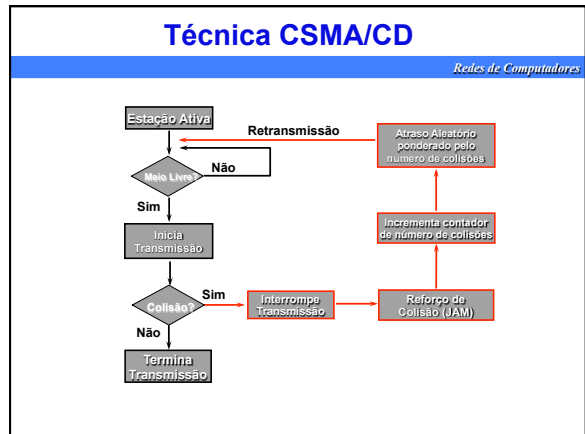
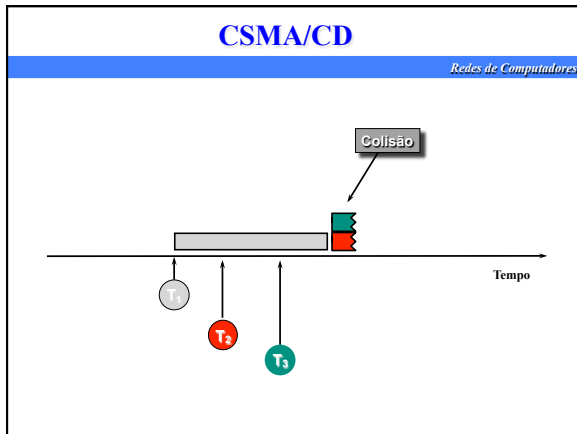
Redes de Computadores

- ▶ 1980: Ethernet.
- ▶ 1985: IEEE 802.3.
 - Ethernet Comutada (switched Ethernet).
- ▶ 1995: IEEE 802.3u Fast Ethernet.
 - 1997: Ethernet Full-duplex.
- ▶ 1998: IEEE 802.3z Gigabit Ethernet.
- ▶ 2002: IEEE 802.3ae 10 Gigabit Ethernet.
- ▶ ...
- ▶ 2016: 802.3bq 25GBASE-T e 40GBASE-T
- ▶ Atual: IEEE P802.3bs 200 Gb/s e 400 Gb/s Ethernet Task Force.

Padrão IEEE 802.3

Redes de Computadores

- ▶ Semântica do Protocolo da Camada MAC
 - CSMA-CD
 - Espera Aleatória Exponencial Truncada
- ▶ Funcionamento Full-Duplex (Ethernet, Fast, Giga, 10 Giga)
 - não usa CSMA/CD



CSMA/CD - Retransmissão

Redes de Computadores

► **Espera Aleatória Exponencial Truncada**

- se houve colisão, espera tempo aleatório entre 0 e (limite superior) * 2ⁿ
- o limite é dobrado a cada colisão sucessiva até o número máximo de colisões:
 - nas primeiras 10 tentativas n varia de 1 a 10, nas tentativas subsequentes, n continua com o valor 10.
 - depois de 16 tentativas mal sucedidas, a interface reporta tempo de acesso infinito (aborta transmissão).
- retardo de transmissão pequeno no começo e grande depois, evitando sobrecarga

IEEE 802.3

Redes de Computadores

- **bittime** - tempo para transmitir 1 bit
- **IFG** - interframe gap = 96 bittimes
 - 10 Mbps = 9,6 microssegundos
 - 100 Mbps = 960 nanossegundos
 - 1 Gbps = 96 nanossegundos
- **Limite superior para escolha do tempo**
 - 512 bittimes
- Em caso de colisão – transmite JAM até completar 96 bits 0's e 1's alternados

Padrão IEEE 802.3

Redes de Computadores

► **Formato da PDU da Camada MAC**

Preâmbulo	SD	Destinatário	Remetente	Comprimento	Dados	PAD	FCS
56 Bits	8 Bits	48 (16) Bits	48 (16) Bits	16 Bits	368 Bits - 12 KBits		32 Bits

PDU 802.3

Redes de Computadores

- **Preâmbulo:** 7 bytes 10101010 (sincronização do transmissor e receptor - codificação Manchester)
- **SD** - Start Delimiter - 10101011
- **Endereços** (os fabricantes decidem se usam 1 ou ambas as formas de endereço):
 - 1o. Bit indica se é único (0) ou grupo (1), broadcast (todos os bits 1)
 - 16 bits: localmente administrados
 - 48 bits: esquema de endereçamento universal fornecido pelo fabricante (2o. Bit indica se é local (1) ou universal (0))
 - 2⁴⁶ endereços universais
- **PAD** para satisfazer tamanho mínimo do quadro M ≥ 2CTp
- tamanho mínimo (64 bytes a partir de DA) e máximo (1518 bytes = 1,5 KB)
- **FCS** - CRC-32: $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

Quadro IEEE 802.3 x Quadro Ethernet

Redes de Computadores

IEEE 802.3

Preâmbulo	SD	Destinatário	Remetente	Comprimento	Dados	PAD	FCS
56 Bits	8 Bits	48 (16) Bits	48 (16) Bits	16 Bits	368 Bits - 12 KBits		32 Bits

Preâmbulo	SD	Destinatário	Remetente	Tipo do protocolo	Dados	FCS
-----------	----	--------------	-----------	-------------------	-------	-----

► Ethernet e 802.3 podem interoperar:

- se valor do campo comprimento/(tipo do protocolo) > 1500 => é interpretado como tipo do protocolo (quadro ethernet)
- se valor <= 1500 => é interpretado como comprimento (quadro 802.3)

Padrão para Nível Físico 802.3

Redes de Computadores

► Nomenclatura:

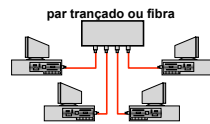
taxa de transmissão em Mbps	técnica de sinalização (Base ou Broad)	(tamanho máximo do segmento)/100 ou letra indicando o meio físico
-----------------------------	--	---

10 Base T

Padrões do Nível Físico IEEE 802.3

Redes de Computadores

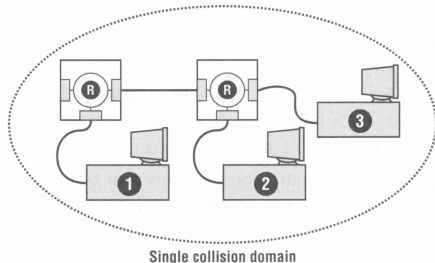
- 802.3 - Ethernet (10 Mbps)
 - 10Base5, 10Base2, 10BROAD36
 - 10BaseT
 - 10BaseF
- 802.3u - Fast Ethernet (100 Mbps)
 - 100BaseTX (UTP ou STP)
 - 100BaseT4 (UTP)
 - 100BaseFX (fibra)
- 802.3z - Gigabit Ethernet (1Gbps)
 - 1000BaseT (UTP)
 - 1000BaseCX (STP)
 - 1000BaseLX, 1000BaseSX (fibra)
- 802.3ae - 10 Gigabit Ethernet (10Gbps)
 - Só fibra ótica
 - Somente operação full-duplex (switch)
 - 10GBASE-X
 - Distâncias podem chegar a 40Km



Interligação de Múltiplos Segmentos

Domínio de Colisão

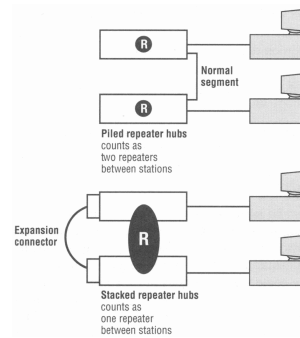
Redes de Computadores



Número máximo de estações: 1024
10, 100 ou 1Gbps

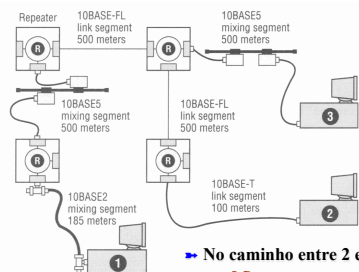
Interligação de Hubs Ethernet

Redes de Computadores



Ethernet (10Mbps) Regra 5-4-3

Redes de Computadores



- ➔ No caminho entre 2 estações quaisquer
- 5 Segmentos
 - 4 Repetidores
 - 3 mixing segments

Extensões ao Ethernet

Redes de Computadores

➔ Fast Ethernet (100 Mbps):

- 2 segmentos (distância máxima em torno de 200m)

- 1 ou 2 repetidores

- Só 1 repetidor Classe I (interligam segmentos com tipos de codificação distintos)
- 2 repetidores Classe II (interligam segmentos com mesmo tipo de codificação) separados por no máximo 5 metros

➔ Gigabit Ethernet (1 Gbps):

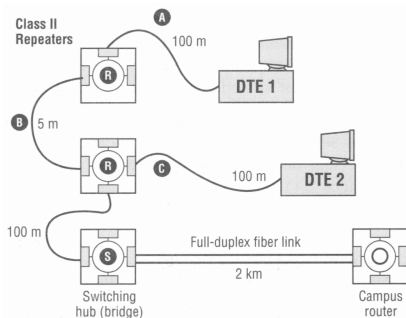
- Tamanho mínimo do quadro = 512 bytes

- 2 segmentos (distância máxima em torno de 200m)

- Só 1 repetidor

Fast Ethernet (100Mbps)

Redes de Computadores



Departamento de Ciência da Computação- UFF

Redes de Computadores

Padrão IEEE 802.11

Redes Locais sem Fio

Redes de Computadores

➔ Padrão desenvolvido pelo IEEE projeto 802.11

Wireless Local-Area Networks Standard Working Group

➔ Define:

- nível físico:
 - frequência de rádio
 - infravermelho
- Camada MAC - DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC)
 - CSMA/CA
 - Polling

IEEE 802.11 - padrões

Redes de Computadores

➔ Padrão original em 1997

➔ Revisão de 2007 incluiu:

- IEEE Std 802.11aTM-1999: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band
- IEEE Std 802.11bTM-1999: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band
- IEEE Std 802.11b-1999/Corrigendum 1-2001: Higher-speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band
- IEEE Std 802.11dTM-2001: Specification for operation in additional regulatory domains
- IEEE Std 802.11gTM-2003: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band
- IEEE Std 802.11hTM-2003: Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5 GHz band in Europe
- IEEE Std 802.11iTM-2004: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements
- IEEE Std 802.11jTM-2004: 4.9 GHz-5 GHz Operation in Japan
- IEEE Std 802.11eTM-2005: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements

IEEE 802.11 - padrões

Redes de Computadores

Revisão de 2012 incluiu:

- IEEE Std 802.11kTM-2008: Radio Resource Measurement of Wireless LANs
- IEEE Std 802.11rTM-2008: Fast Basic Service Set (BSS)
- IEEE Std 802.11yTM-2008: 3650–3700 MHz Operation in USA
- IEEE Std 802.11wTM-2009: Protected Management Frames
- IEEE Std 802.11nTM-2009: Enhancements for Higher Throughput
- IEEE Std 802.11pTM-2010: Wireless Access in Vehicular Environments
- IEEE Std 802.11zTM-2010: Extensions to Direct-Link Setup (DLS)
- IEEE Std 802.11vTM-2011: Wireless Network Management
- IEEE Std 802.11uTM-2011: Interworking with External Networks
- IEEE Std 802.11sTM-2011: Mesh Networking

IEEE 802.11 - padrões

Redes de Computadores

Revisão de 2016 incluiu:

- IEEE Std 802.11aeTM-2012: Prioritization of Management Frames
- IEEE Std 802.11aaTM-2012: MAC Enhancements for Robust Audio Video Streaming
- IEEE Std 802.11adTM-2012: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band
- IEEE Std 802.11acTM-2013: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz
- IEEE Std 802.11afTM-2013: Television White Spaces (TVWS) Operation

IEEE 802.11

Redes de Computadores

Área coberta pela rede é dividida em células (BSA – Basic Service Area)

Rede local sem fio Ad-Hoc

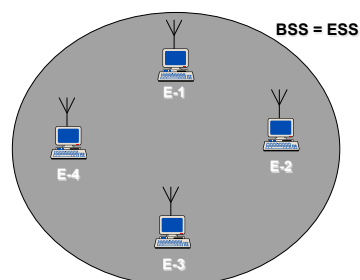
- ESS com um único BSS

Rede local sem fio com infraestrutura

- Sistema de Distribuição
- AP – access point

Rede sem Fio Ad-Hoc

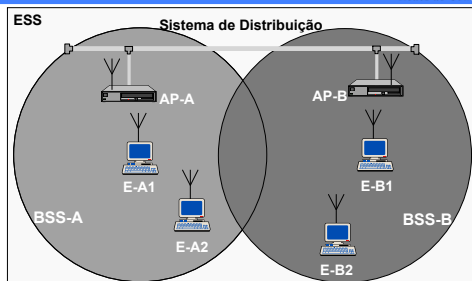
Redes de Computadores



BSA (Basic Service Area) = célula
BSS (Basic Service Set) = estações comunicando-se em uma BSA

Rede sem Fio com Infraestrutura

Redes de Computadores



BSA (Basic Service Area) = célula
BSS (Basic Service Set) = estações comunicando-se em uma BSA
AP (Access Point)
ESS (Extended Service Set) = estações comunicando-se em vários BSS's

Camadas 802.11

Redes de Computadores

Medium Access Control (MAC)	Camada Física
Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)	
Physical Medium Dependent (PMD)	

MAC:

- Acesso ao meio
- Fragmentação
- Criptografia (WEP – Wired Equivalent Privacy, WPA – Wi-Fi Protected Access, WPA2)

PLCP:

- Indicação de meio livre (CCA – Clear Channel Assessment)
- Oferece SAP comum independente da tecnologia de transmissão

PMD:

- Modulação
- Codificação/decodificação de sinais
- Transmissão

DFWMAC *Distributed Foundation Wireless MAC*

Redes de Computadores

► Define dois Métodos de Acesso (Funções de Coordenação)

► **Distributed Coordination Function - DCF**

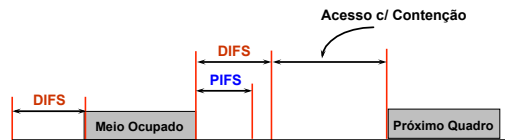
- Distribuído (Obrigatório)
- Decisão de quando transmitir é tomada individualmente
- CSMA/CA
- Possibilidade de transmissões simultâneas

► **Point Coordination Function - PCF**

- Centralizado (Opcional)
- Decisão de quem deve transmitir centralizada em um ponto
- Precisa do AP – redes com infraestrutura
- Polling
- Evita a ocorrência de colisões

Controle de Acesso DFWMAC

Redes de Computadores



DCF: por que não usar CSMA/CD?

Redes de Computadores

► Limitações:

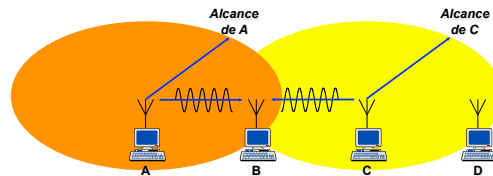
- *Meio sem fio: é difícil detectar outro sinal além do sinal da própria estação, com as antenas de transmissão e recepção próximas uma da outra.*
- *Nem todas estações de uma BSA são capazes de receber os sinais de todas as demais:*
 - *Estação escondida*

Problema com CSMA em redes sem fio

Redes de Computadores

► Nem todas as estações estão no alcance de todas as demais estações:

- *Problema da estação escondida:*
 - C não percebe a transmissão de A para B.

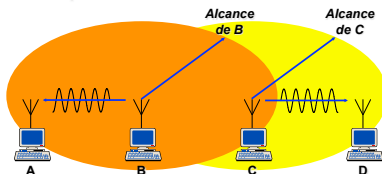


Problema com CSMA em redes sem fio

Redes de Computadores

► Nem todas as estações estão no alcance de todas as demais estações:

- *Problema da estação exposta:*
 - C não transmite para D se B estiver transmitindo para A.



Solução: CSMA/CA

Redes de Computadores

► CSMA/CA com requisição (RTS) e reconhecimento (CTS):

- *Uma requisição é enviada ao destino antes de transmitir os dados:*
 - É enviado um quadro RTS – Request To Send.
- *O destino responde com uma autorização:*
 - É enviado o quadro CTS – Clear To Send.
- *Após o recebimento correto de um quadro, o destino envia reconhecimento positivo:*
 - É enviado o quadro ACK – Acknowledgement.

Estação escondida

Redes de Computadores

➔ Suponha que A quer transmitir para B:

- A envia RTS para B
- ...C não receberá o RTS de A
- ... mas receberá o CTS de B.

- A colisão pode ocorrer entre o envio de RTSs por parte de A e C "ao mesmo tempo", sendo ambos endereçados para B.

Estação exposta

Redes de Computadores

➔ B quer transmitir para A (enviou RTS primeiro),

➔ C quer transmitir para D (envia RTS depois):

- Não há colisão, pois o RTS de B era endereçado para A e C não recebeu o CTS de A.
- A enviará o reconhecimento de um quadro correto.

Distributed Coordination Function

Redes de Computadores

- ➔ Utiliza a técnica CSMA/CA
- ➔ Obrigatória para todos os AP's e estações em redes sem fio com infraestrutura ou Ad-Hoc
- ➔ Acrescenta opcionalmente ao CSMA/CA tradicional a troca de quadros de controle RTS (Request to Send) e CTS (Clear to Send)

Transmissão de Dados

Redes de Computadores

RTS/CTS - Leva estimativa de tempo de transmissão do quadro de dados usado para atualizar o NAV (Network Allocation Vector) em cada estação

Controle de Acesso DCF

Redes de Computadores

IFS - Inter Frame Space

SIFS - Short (Priority) IFS: CTS, ACK, respostas ao polling
 PIFS - PCF (Priority) IFS: Point Coordination Function
 DIFS - DCF (Priority) IFS: Distributed Coordination Function

Slot time - depende da tecnologia de nível físico

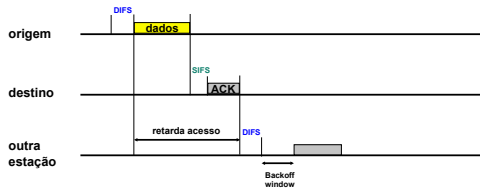
Exemplo CSMA/CA com RTS/CTS

Redes de Computadores

NAV - Network Allocation Vector: define instante de tempo mais próximo em que a estação pode tentar acessar o meio

Exemplo CSMA/CA sem RTS/CTS

Redes de Computadores



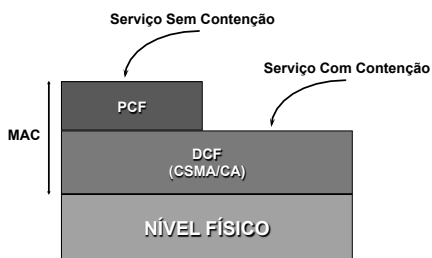
Point Coordination Function

Redes de Computadores

- Implementa um serviço de acesso ordenado usando a técnica de polling, controlado pelo AP (Access Point)
- Somente pode ser usado em redes com infraestrutura e sem interseções entre as BSS's que operam na mesma faixa de frequência

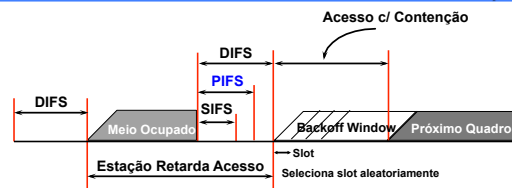
Serviços DFWMAC

Redes de Computadores



Controle de Acesso PCF

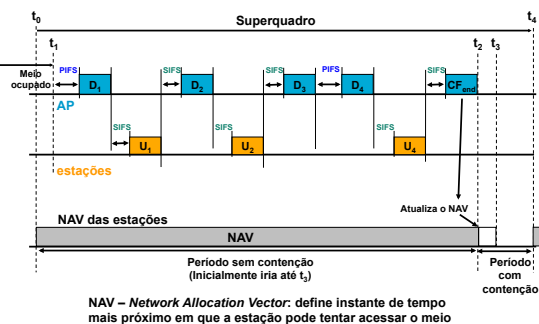
Redes de Computadores



IFS - Inter Frame Space
 SIFS - Short (Priority) IFS: CTS, ACK, Mensagens Urgentes
 PIFS - PCF (Priority) IFS: Point Coordination Function
 DIFS - DCF (Priority) IFS: Distributed Coordination Function

Exemplo Polling

Redes de Computadores

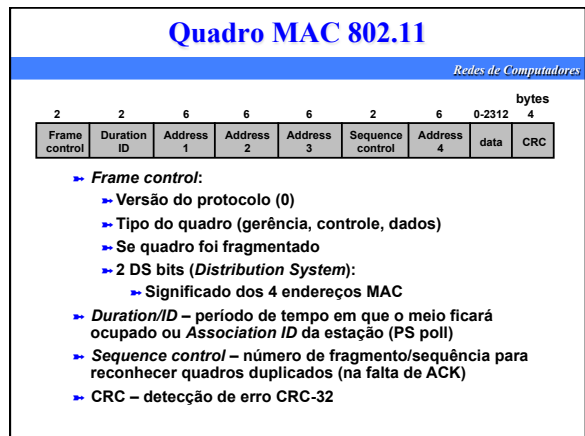
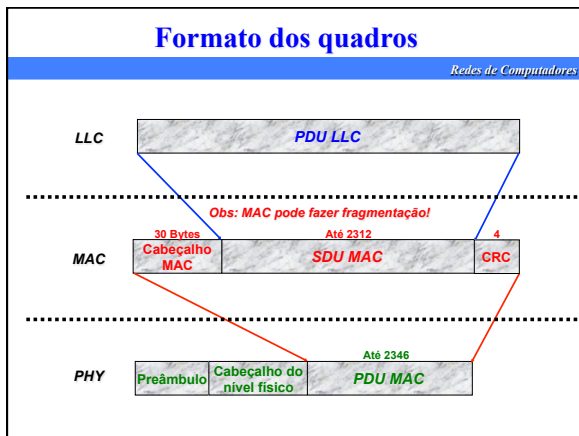
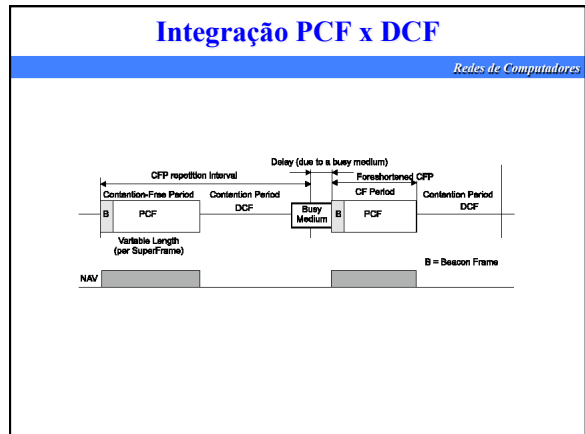
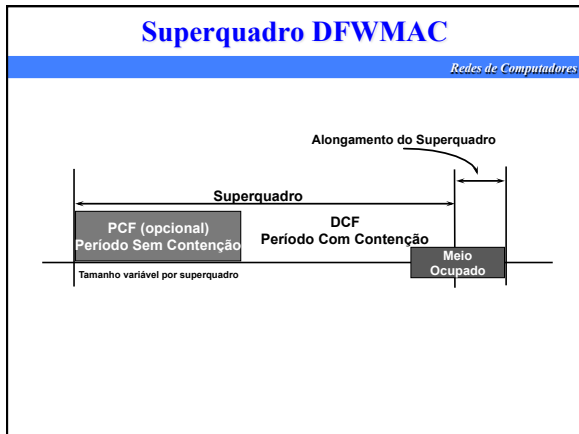


NAV - Network Allocation Vector: define instante de tempo mais próximo em que a estação pode tentar acessar o meio

Integração PCF x DCF

Redes de Computadores

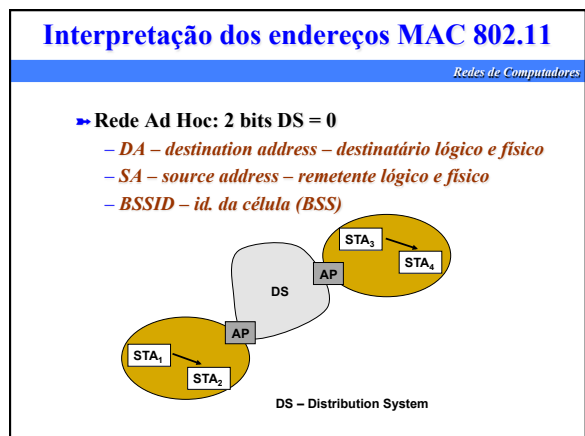
- AP divide o tempo em períodos denominados superquadros
- Um superquadro consiste em dois intervalos de tempo consecutivos, sendo o primeiro controlado pela PCF e o segundo pela DCF
- As durações dos períodos PCF e DCF são variáveis
 - Alongamento de superquadro
- PIFS < DIFS : Função pontual (AP) ganha o acesso primeiro e gerencia transmissões por polling



Interpretação dos endereços MAC 802.11

Redes de Computadores

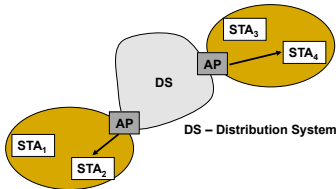
to DS	from DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	-
0	1	DA	BSSID	SA	-
1	0	BSSID	SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA



Interpretação dos endereços MAC 802.11

Redes de Computadores

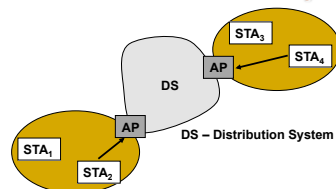
- Rede com infraestrutura (from AP): from DS = 1
 - Quadro enviado ao destino através de um AP
 - DA - destination address - destinatário lógico e físico
 - BSSID - id. da célula (BSS) - remetente físico (AP)
 - SA - source address - remetente lógico



Interpretação dos endereços MAC 802.11

Redes de Computadores

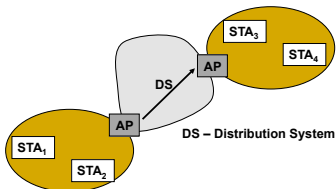
- Rede com infraestrutura (to AP): to DS = 1
 - Origem envia quadro através de um AP
 - BSSID - id. da célula (BSS) - destinatário físico (AP)
 - SA - source address - remetente lógico e físico
 - DA - destination address - destinatário lógico



Interpretação dos endereços MAC 802.11

Redes de Computadores

- Rede com infraestrutura (dentro do DS): 2 bits DS = 1
 - Quadro transmitido entre 2 APs pelo sistema de distribuição sem fio
 - RA - receiver address - destinatário físico (AP)
 - TA - transmitter address - remetente físico (AP)
 - SA - source address - remetente lógico original
 - DA - destination address - destinatário lógico original



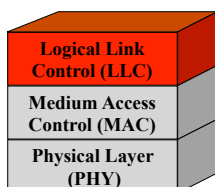
Departamento de Ciência da Computação- UFF

Redes de Computadores

Padrão IEEE 802.2

Camada de Controle de Enlace Lógico

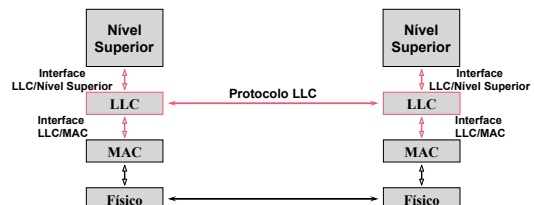
Redes de Computadores



- Independência da camada MAC
- LSAPs
- Multiplexação
- Controle de erros e de fluxo
- Tipos de operação
- Classes de procedimentos

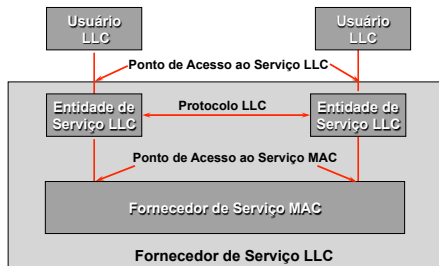
Camadas, Protocolos e Interfaces

Redes de Computadores



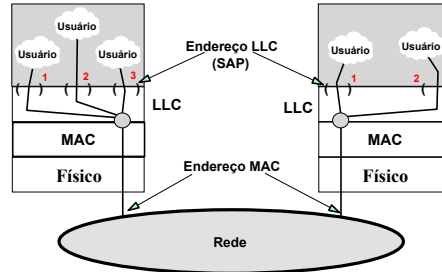
Interação entre Camadas (Pontos de Acesso a Serviços)

Redes de Computadores



IEEE 802.2 - Multiplexação

Redes de Computadores



Formato da PDU LLC

Redes de Computadores

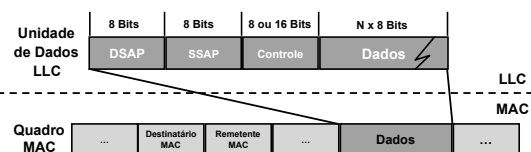


DSAP: endereço do ponto de acesso ao serviço LLC destino

SSAP: endereço do ponto de acesso ao serviço LLC origem

Formato da PDU LLC

Redes de Computadores



Controle de Erros e Fluxo - LLC

Redes de Computadores

- Camada MAC faz detecção de erros (CRC)
- Recuperação de erros opcional
 - retransmissão do quadro com erro
 - Stop-and-Wait
 - Sliding Windows, Go-Back-N (retransmissão integral)
- Controle de fluxo opcional
 - Stop-and-Wait
 - Sliding Windows

Especificação da Interface LLC/Nível Superior

Redes de Computadores

- Operação Tipo 1 – serviço datagrama não confiável
 - serviço sem conexão e sem reconhecimento
 - transferências de dados ponto a ponto, entre grupos, ou por difusão
- Operação Tipo 2 – serviço de circuito virtual
 - serviço orientado a conexão
 - conexões ponto a ponto
 - controle de fluxo, sequenciação e recuperação de erros
 - Sliding windows, go-back-N
- Operação Tipo 3 – serviço datagrama confiável
 - serviço sem conexão e com reconhecimento
 - transferências ponto a ponto
 - sequenciação e recuperação de erros
 - Stop-and-Wait

Formato do Campo de Controle - Tipo 2

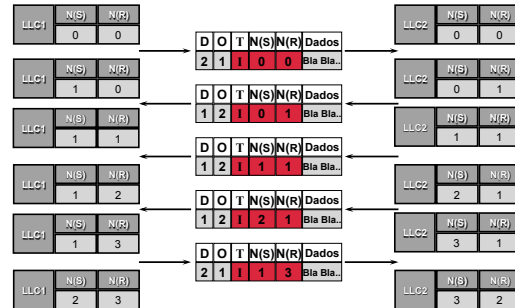
Redes de Computadores



N(S) - número de sequência da PDU transmitida
 N(R) - número de sequência da PDU esperada
 S - bits de função de supervisão
 M - bits identificadores de comando não-numerado
 X - bits reservados
 P/F - (P = 1) solicitação de resposta imediata e
 (F = 1) indicador de resposta de solicitação imediata

Troca de Quadros I

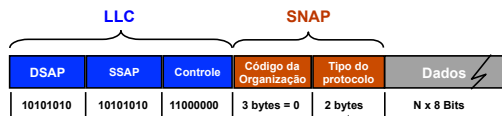
Redes de Computadores



Cabeçalho LLC/SNAP

Redes de Computadores

Quando camada LLC é necessária, mas não é implementada, usa-se o encapsulamento LLC/SNAP



Mesmo código usado no quadro Ethernet