

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Comunicações por Computador I

Cap 4 - Redes de Computadores

Universidade do Minho
Grupo de Comunicações por Computador
Departamento de Informática
2005/06

Redes de Computadores

conceitos gerais



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Uma rede é caracterizada por:
  1) topologia de interligação entre os seus elementos:
     a) Linhas
     b) Comutadores (DCE)
     c) Equipamentos terminais (estações, DTE)
  2) tecnologia usada na transmissão:
     eléctrica, óptica, wireless, infravermelho, etc.
  3) tecnologia usada na comutação:
     comutação de pacotes, de circuito, de célula, etc.
  4) serviço prestado:
     datagramas, circuitos virtuais
     (best-effort, QoS, tempo real, etc.)
  5) pilha de protocolos usados

Redes de Computadores
conceitos gerais

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- WAN, MAN, LAN, PAN, BAN
  - designação depende da área geográfica coberta
    - WAN (wide area networks): área alargada, acima das dezenas de kilómetros
    - MAN (metropolitan area networks): cobertura de uma área metropolitana, até poucas dezenas de kilómetros
    - LAN (local areas networks): área local, até poucas centenas de metros
    - PAN (personal area networks): área pessoal, até poucas dezenas de metros
    - BAN (body area networks): até uma dezena de metros
  - condicionam o tipo de protocolos que podem ser usados

Redes de Computadores
topologias WAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- As WAN são redes ponto-a-ponto, *store-and-forward*
  - o número de circuitos, **c**, necessários para a interligação total de N estações, seria:

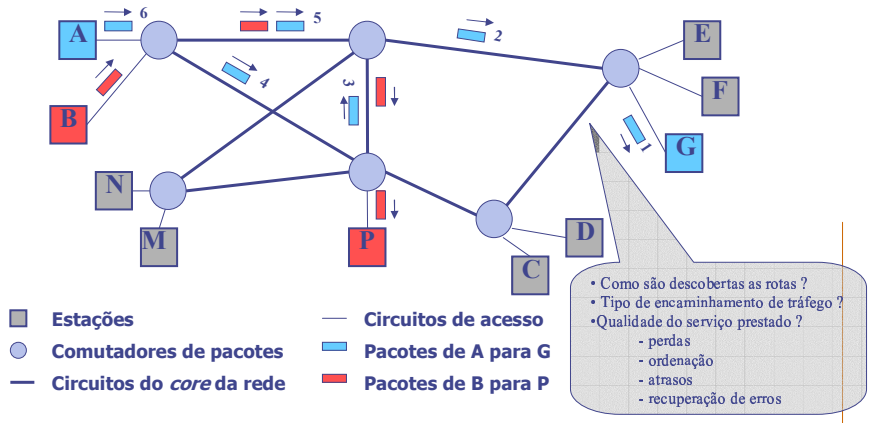
$$\mathbf{c} = \frac{N(N-1)}{2}$$

  - para reduzir as interligações utilizam-se comutadores de tráfego interligados por um (menor) número de circuitos ponto-a-ponto de alta capacidade multiplexando tráfego
  - os circuitos de acesso à WAN são ponto-a-ponto e podem usar diferentes protocolos de acesso

Redes de Computadores
topologias WAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

rede de comutação de pacotes
(*store-and-forward packet switching network*)



Redes de Computadores
tecnologias WAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Rede *store-and-forward* de datagramas:
  - datagramas da mesma associação seguem rotas independentes (são comutados independentemente)
  - datagramas podem chegar fora da ordem de partida
    - Exemplo: associação entre estações A e G
      ordem de chegada dos datagramas: 1,2,3,5,4,6
- Rede *store-and-forward* de circuitos virtuais:
  - datagramas seguem a mesma rota
  - datagramas chegam sempre pela ordem de partida
    - Exemplo: associação entre estações B e P por circuito virtual

Redes de Computadores

tecnologias WAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Ex. Redes IP

Ex. Redes ATM, X.25

Função	Redes de Datagramas	Redes de Circuitos Virtuais (VC)
Estabelecimento prévio da conexão (ou circuito)	Não é necessário	É necessário
Endereçamento	Endereço de origem e destino em cada PDU	PDUs contêm o identificador do circuito
Routing / Forwarding	PDUs são encaminhados de forma independente entre si	A rota é estabelecida inicialmente e todos os PDUs utilizam essa rota
Informação de estado	não é necessária (para best-effort)	necessária por VC
Falha de um elemento de rede	não é normalmente problemática	todos os VC são terminados
Controlo de tráfego e Controlo de congestão	difícil	fácil, se os recursos atribuídos são suficientes

Redes Locais de Computadores

objectivos das LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Acesso e partilha de recursos locais:
  - servidores, equipamentos especializados, etc
- Comunicação para cooperação entre processos
  - computação distribuída
- Acesso a redes alargadas ou internets
  - interface partilhada para ligação a redes externas



Redes Locais de Computadores

características protocolares das LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Elevadas velocidades de transmissão
  - mega (10^6), giga (10^9) bps ...
- Acesso ao meio (MAC) é geralmente partilhado
  - barramentos
  - configuração em estrela
  - anéis de multi-acesso
  - ...
- Protocolos de acesso rápidos
  - admite acesso contencioso (possibilidade de colisões e mecanismos de tratamento)

Redes Locais de Computadores

características protocolares das LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Utilização dos recursos
  - baixo factor de utilização conduz a melhor desempenho
- Desempenho *"aceitável"* para diferentes tipos de tráfego
  - tempo real
  - transaccional
  - regular, etc ...
- Acesso *democrático* oferecido a todos os sistemas
- Fácil instalação, configuração e interligação

• nem sempre :(
• tendência para diferenciação e prioritização de tráfego dos users

Redes Locais de Computadores

outras características das LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Utilização generalizada:
  - permitem a interligação de sistemas (computadores, sistemas de voz e vídeo) em áreas limitadas
  - em geral constituem redes privadas
  - ligação de um elevado número de sistemas terminais
- Tecnologia normalizada e de baixo custo. Elementos duma rede:
  - estações possuem interfaces de rede [NIC, Network Interface Cards]
  - rede possui equipamentos de interligação [repetidores, bridges, switches, routers, etc.]
  - equipamento interligado por cablagem ou wireless [cabo coaxial, UTP, fibra óptica, etc.]

diferenças ?

Redes Locais de Computadores

topologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

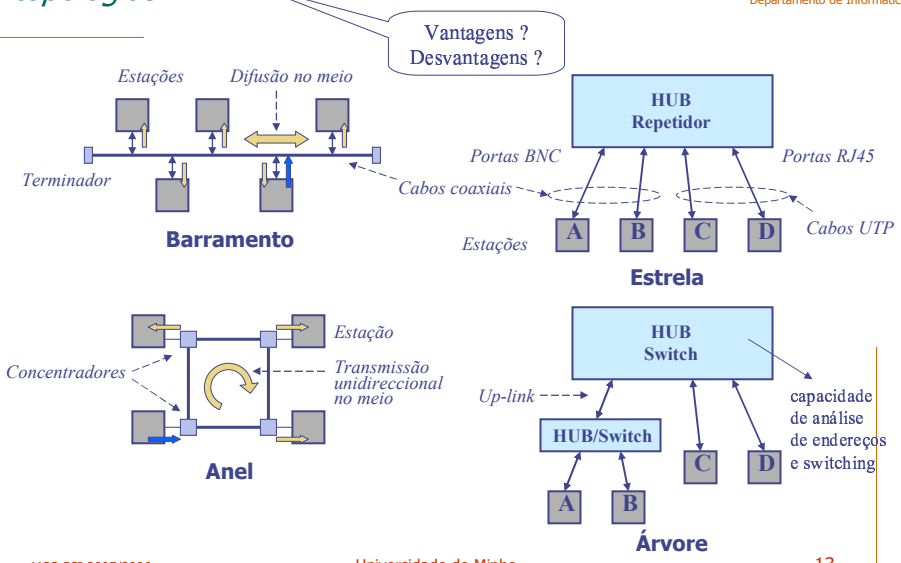
- Topologias LAN mais frequentes:
  - barramento, anel, estrela e árvore
  - usam meios de transmissão variados:

    UTP, cabo coaxial, fibra óptica, …
  - podem usar repetidores para extensão do meio de transmissão e seu isolamento físico/eléctrico
  - utilização de equipamento específico para redução de colisões e melhorar desempenho (*bridge*, *switch*)

Redes Locais de Computadores

topologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- LAN de Acesso Partilhado (*shared* LAN)
  - as estações disputam a largura de banda existente
  - a transmissão no meio é difundida por todas as estações
  - por **definição**, uma LAN é um **domínio de entrega directa de tramas** entre estações, designado por **domínio de colisão**.
  - as estações recebem a trama com um atraso mínimo
  - o **método de acesso** partilhado varia com a topologia:
    - acesso contencioso: barramento e estrela com hub-repetidor
    - acesso ordenado: anel e barramento com testemunho *(token)*
  - o desempenho de uma LAN varia com o tipo de aplicações e com o número de estações interligadas

Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

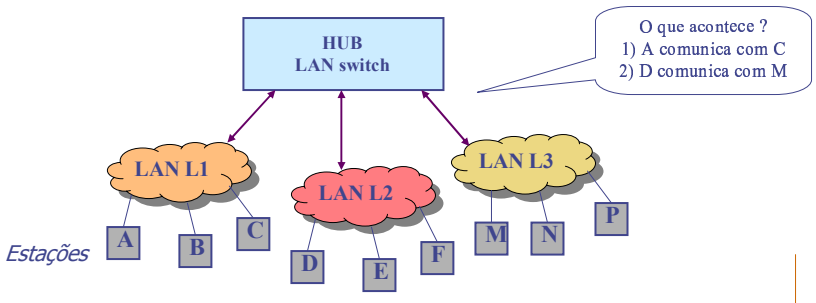
- LAN Comutada (*switched* LAN)
  - é uma geração recente de LAN
  - é introduzido um comutador para criar e isolar sub-domínios de colisão dentro de um domínio de entrega directa
  - o comutador de LAN filtra a difusão em função dos endereços da estação de destino das tramas (função *bridging*)
  - Vantagens :
    - maior largura de banda agregada por redução das colisões
    - consequentemente, melhor desempenho

Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

LAN Comutada (*switched* LAN)



3 domínios de colisão: LAN L1, LAN L2 e LAN L3
1 domínio de entrega directa: a LAN comutada
9 estações na mesma LAN comutada
1 porta do comutador ligada a cada LAN Li

Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

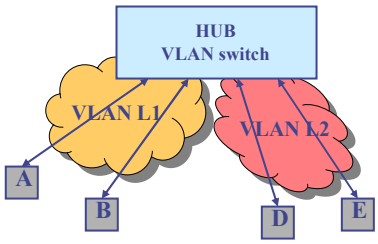
- LAN Virtual Comutada (*switched* VLAN)
  - as estações ligam directamente ao comutador
  - certos comutadores tem a capacidade de associar conjuntos de portas em diferentes sub-dominios de colisão constituindo LANs virtuais
  - as LAN virtuais não existem externamente ao comutador mas são construidas internamente por configuração do comutador
  - o princípio de funcionamento é idêntico ao da LAN Comutada
  - as estações ligam-se ao comutador normalmente em ponto-a-ponto *full-duplex*

Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

LAN Virtual Comutada (*switched* VLAN)



2 domínios de colisão: VLAN L1 e VLAN L2
1 domínio de entrega directa: a VLAN comutada
4 estações na mesma LAN comutada
1 porta do comutador ligada a cada estação
portas do comutador associadas por configuração formando LANs virtuais

Redes Locais de Computadores

tecnologias LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Exemplos de tecnologias usadas em LANs:
  - Ethernet (IEEE 802.3), Fast Ethernet (IEEE 802.3u)
  - Token Ring (IEEE 802.5), Token Bus (IEEE 802.4)
  - Distributed Queue Dual Bus (DQDB) (IEEE 802.6)
  - Fiber Distributed Data Interface (norma ANSI)
  - Wireless LAN (IEEE 802.11a IEEE802.11b)
  - Asynchronous Transfer Mode (ATM) (ITU-T)

Redes Locais de Computadores

protocolos: nível de ligação de dados

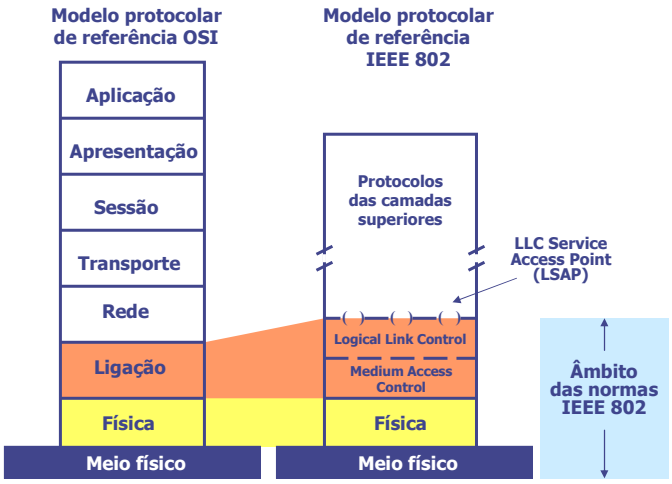
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- O nível de ligação é dividido em 2 sub-níveis
  - Logical Link Control (LLC) (IEEE 802.2)
    - funções similares ao HDLC
    - endereço de nível lógico (LSAP - LLC Service Access Point)
    - pode suportar primitivas orientadas ou não à conexão
  - Medium Access Control (MAC)
    - varia com o tipo de LAN, i.e. cada LAN tem um sub-nível MAC próprio
    - determina a sequência de bits que é posta no meio de transmissão

Redes Locais de Computadores

protocolos: nível de ligação de dados

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Redes Locais de Computadores

protocolos: nível de ligação de dados

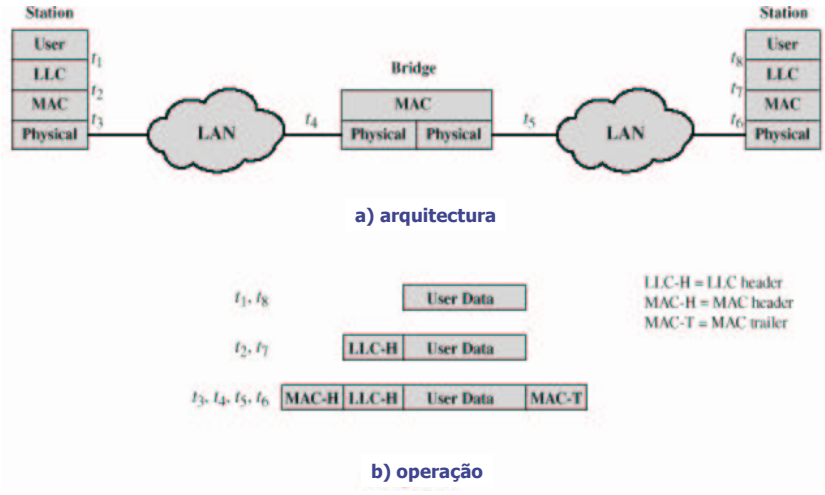
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Encapsulamento
  - Um *LLC protocol data unit* (L-PDU) contém informação de controlo e dados que a entidade LLC transmissora envia à entidade LLC receptora
  - Na transmissão,
    - o sub-nível MAC encapsula cada L-PDU, adicionando o seu próprio *header (cabeçalho)* e *trailer (terminação)*
  - Na recepção,
    - o sub-nível MAC remove o *header* e *trailer* de cada MAC-PDU e entrega o LPDU ao sub-nível superior.

Redes Locais de Computadores

protocolos: nível de ligação de dados, bridging

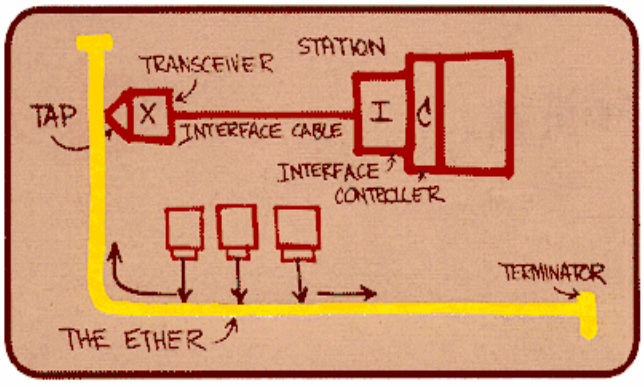
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Redes Locais de Computadores

Ethernet

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



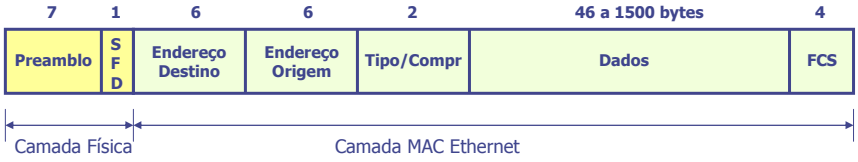
Desenho original da Rede Ethernet - *Bob Metcalfe 1976*

Redes Locais de Computadores

Ethernet: Definição da trama (MAC)

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- características genéricas:
  - Preamblo: 7 octetos [1010..10] para sincronismo de bit
  - Start of Frame Delimiter: 1 oct [10101011] padrão sincronismo de trama
  - Endereços de Destino e de Origem: 6 octetos (endereço ethernet)
  - Tipo/Compr: 2 octetos, definem o protocolo nos Dados
  - Dados: 46 a 1500 octetos, contém o PDU do protocolo encapsulado
  - FCS: 4 octetos, Frame Check Sequence para control de erros
- Endereços: endereço da estação emissora e receptora / broadcast



Redes Locais de Computadores

Ethernet: Definição da trama (MAC)

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



- Campo Tipo/Comprimento
  - se valor ≤ 0x05DC (1500)
    - é interpretado como **comprimento** do campo de dados e
    - o campo de dados contém a camada de ligação **LLC** e
    - trama é designada **IEEE 802.3 Ethernet**
  - se valor > 0x0600 (1536)
    - é interpretado como **ethertype** (tipo de protocolo)
    - valor identifica o protocolo contido no campo de dados
    - trama é designada **Ethernet II** (RFC 894)

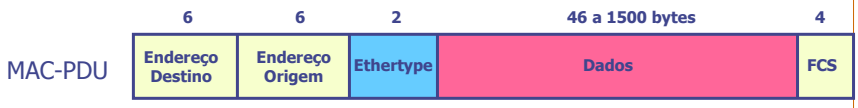
Redes Locais de Computadores

Ethernet: trama Ethernet II

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- encapsula o protocolo definido pelo valor do campo Ethertype
- valores geridos pela XEROX (detém direitos do ethernet).
  Exemplos:

⇨ 0x0800	Internet IP (IPv4)
⇨ 0x0806	ARP (Address Resolution Protocol)
0x6000-6009	DEC (Digital Equipment Corporation)
0x6010-6014	3Com Corporation
0x8014	SGI network games
⇨ 0x8035	RARP (Reverse ARP)
0x880B	PPP (Point to Point Protocol)
⇨ 0x86DD	Internet IP (IPv6)
0x876B	TCP/IP Compression (RFC 1144)
0x876D	Secure Data (RFC 1701)

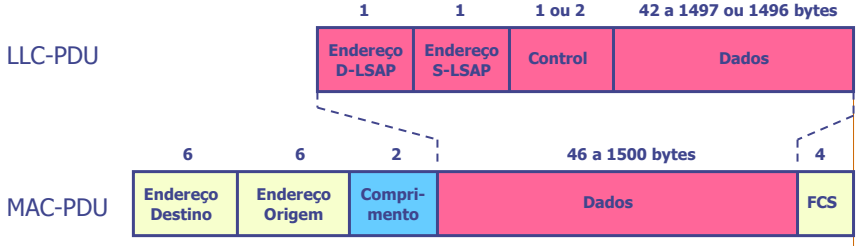


Redes Locais de Computadores

Ethernet: trama IEEE 802.3 e LLC-PDU

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- encapsula a sub-camada de ligação LLC (Logical Link Control)
- o LLC tem estrutura e funcionalidade semelhante ao LAPB
- os endereços designam-se:
  D-LSAP (Destination-Logical Service Access Point)
  S-LSAP (Source-Logical Service Access Point)

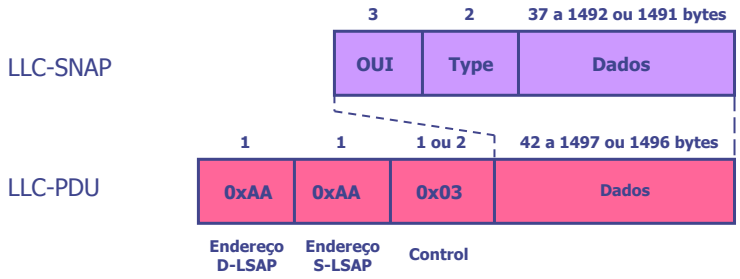


Redes Locais de Computadores

Ethernet: trama IEEE 802.3 e LLC-PDU

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- SNAP: quando os 3 primeiros octetos do LLC são 0xAAAA03 o cabeçalho tem mais 5 octetos: 3 da organização e 2 de tipo
  - OUI Organization Unique Identifier (3 octetos)
  - Type: tipo de protocolo definido pela organização (2 octetos)
- Cada organização tem o seu OUI e pode definir os seus Tipos



Redes Locais de Computadores

Ethernet

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- características genéricas:
  - ritmo de transmissão: 10 Mbps, ...
  - meio de transmissão: UTP, cabo coaxial, fibra
  - 10BASE-5; 10BASE-2; 10BASE-T; 10BASE-F
  - trama máxima: 1518 octetos; trama mínima: 64 octetos
  - MTU: maximum transfer unit é 1500 octetos
  - entrega segundo o paradigma do ***melhor-esforço***
  - método de acesso ao meio: **CSMA/CD** (carrier sense multiple access/colision detection)

Redes Locais de Computadores

Ethernet: características físicas gerais

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

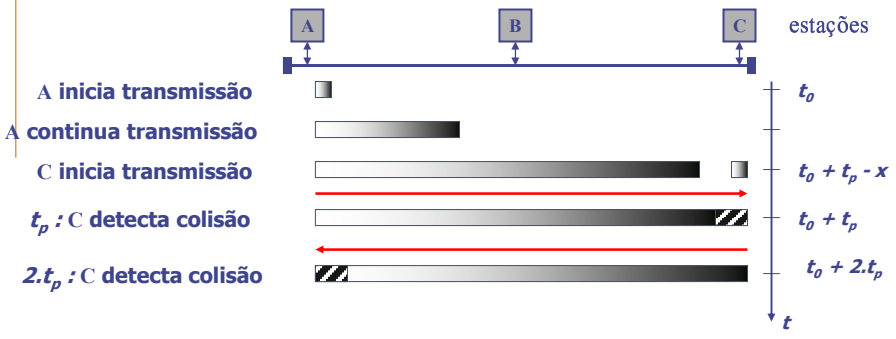
Parâmetro	10BASE5	10BASE2	10BASE-F	10BASE-T
Seg.Máximo	500m	185m	400-2000m	100m
Topologia	barramento	barramento	estrela	estrela
Meio	coax grosso	coax fino	MMF	UTP
Conector	NICBD15	BNC	ST ou SC	RJ-45
Diâmetro	10mm	5mm	Ordem dos µm	5
...	...	...	...	...

Redes Locais de Computadores

Ethernet: acesso ao meio e colisões

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Ethernet: o acesso múltiplo é contencioso e há detecção de colisões



$t_p = d/v$ = tempo de propagação fim a fim no meio de Tx
d = comprimento do meio de Tx
v = velocidade de propagação no meio

Redes Locais de Computadores

Ethernet: Controlo de acesso ao meio: CSMA/CD

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)

```
acesso ao meio:
 se meio está activo                 (detecção de portadora)
     então acesso ao meio            (aguarda até meio estar livre)
     senão transmite(trama)||detecta (tx e lança processo de detecção)

 se detecta = colisão                (detecção de colisão)
     então transmite(jam);           (aborta transmissão, reforça colisão)
           K:=K+1;                   (conta as colisões)
           espera(K);                (espera tempo aleatório, backoff)
           acesso ao meio            (tenta novamente o acesso)
     senão K:=0
```


Redes Locais de Computadores

Ethernet: Controlo de acesso ao meio

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Detecção de colisão
  - baseada no tempo de ida-e-volta *(round trip)* de uma trama
  - é necessário garantir um tamanho mínimo de trama que assegure a detecção de colisão no pior caso possível
  - *Jamming:* Para garantir que outras estações se apercebam da ocorrência de colisão, a que detecta deve forçar uma transmissão de alguns bits antes de parar de transmitir, i.e. reforçar a colisão para garantir que ela é detectada por todos os intervenientes.
- No ethernet a trama de *jam* é designada de *jam signal*

Redes Locais de Computadores

Ethernet: Controlo de acesso ao meio

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Após transmissão de uma trama mais do que uma estação pode estar à espera de uma oportunidade de transmissão .....
- **Consequência**: Se houver mais do que uma estação a aguardar o fim de uma transmissão, quando tal suceder, a colisão é certa. Para evitar este evento:

Após uma colisão, as estações envolvidas esperam (retraem) um tempo aleatório $n \times t_p$ (que, com alguma probabilidade será diferente para cada uma) antes de acederem novamente ao meio para retransmitir.

Redes Locais de Computadores

Ethernet: Controlo de acesso ao meio

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Algoritmo de retracção exponencial binária truncada (*truncated binary exponential backoff algorithm*):

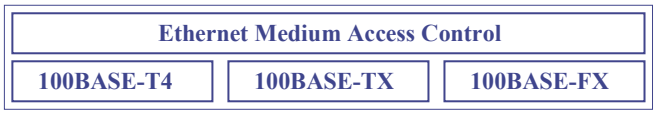
espera(K)

- retorna um tempo de atraso $n \times t_p$ em que n é um inteiro aleatório uniformemente distribuído no intervalo $[0,2^K-1]$ e **K** é o número de colisões anteriores

- Valor máximo K_{max}
  - = 16 (16 colisões consecutivas)

Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

- Características genéricas:
  - ritmo de transmissão: 100 Mbps
  - meio de transmissão: UTP ou fibra óptica
  - usa mesmo formato de trama MAC, varia o nível físico
  - opção mais usada: 100BASE-TX (cerca 95% das 100BASE-T)



[Opções IEEE 802.3u]

Sumário de algumas características das normas IEEE802.3u

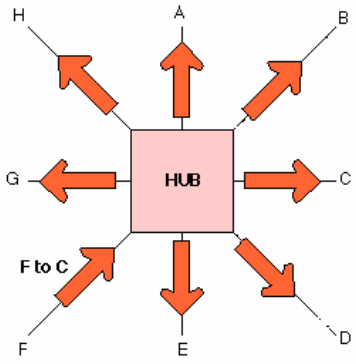
Parâmetro	100BASE-TX	100BASE-FX	100BASE-T4
Distância	100m	100m	100m
Topologia	estrela	estrela	estrela
Meio	UTP5/STP	MMF/SMF	UTP3/4/5
Nº Pares	2	2 fibras	4
Full Duplex	Sim	Sim	Não

Redes Locais de Computadores

Equipamentos de Interligação: Repetidor ou HUB

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Repetidor
  - opera ao nível físico (OSI), equipamento passivo
  - não interpreta as tramas
  - monitorização contínua de sinais e sua regeneração
  - repete tudo o que "ouve"
  - permite cobrir maiores distâncias
  - permite maior flexibilidade no desenho da rede
  - usado LANs, MANs, WANs



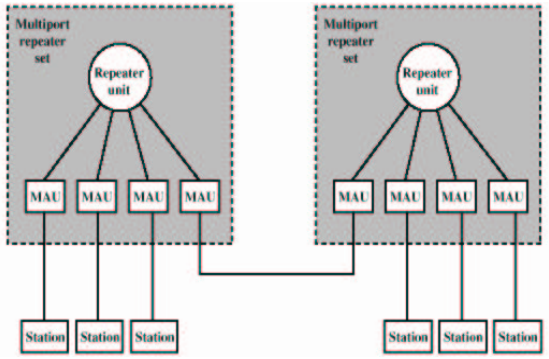
Ex. HUB Ethernet

Redes Locais de Computadores

Ethernet

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Ex: Ethernet 10base-T: maior isolamento de falhas, metodologia organizada de expansão



[LMAN,Stallings00]

Redes Locais de Computadores

Equipamentos de Interligação: Bridge

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Bridge
  - opera ao nível da ligação lógica (OSI)
  - ligação por interface de rede; tem endereço físico
  - interpreta o formato das tramas; faz apredizagem
  - permite isolar tráfego
  - divide o domínio colisão
  - configuração transparente
  - em configuração multipla, evita ciclos infinitos (Algoritmo Spanning Tree)



Acção	ListaSeg1	ListaSeg2
boot	-	-
U-V	U	-
V-U	U,V	-
Z-all	U,V	Z
Y-V	U,V	Z,Y
Y-X	U,V	Z,Y
X-W	U,V	Z,Y,X
W-Z	U,V,W	Z,Y,X

Processo de Aprendizagem em **bridging transparente**

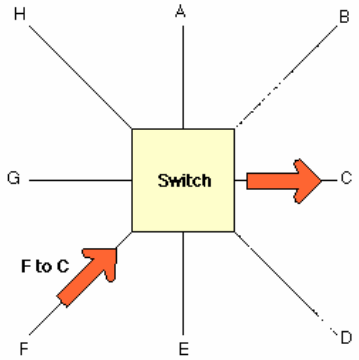
[CNI,Comer98]

Redes Locais de Computadores

Equipamentos de Interligação: Switch

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

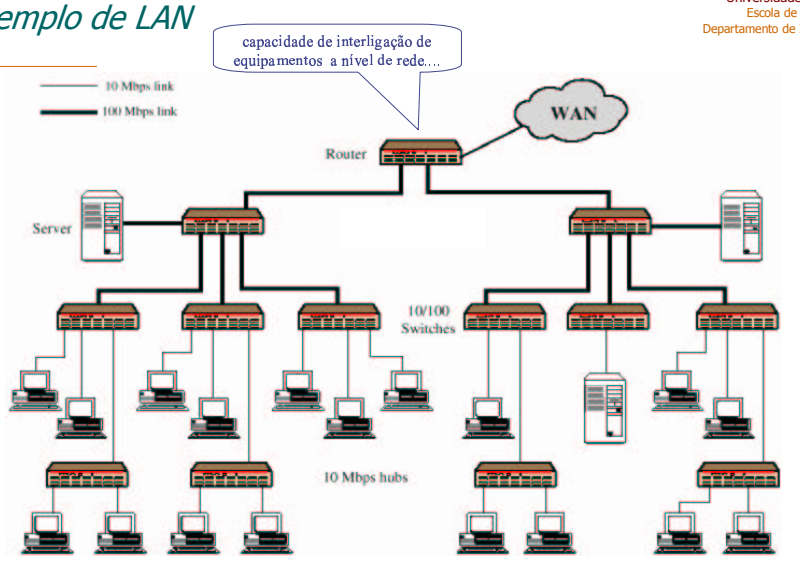
- Switch
  - mais de 2 interfaces
  - capacidade aprendizagem como as *bridges*
  - permite paralelismo
  - requere *buffering* adequado
  - reduz carga na rede
  - aumenta desempenho
  - pode validar endereços MAC
  - cria LANs virtuais
  - usado em LAN, MAN e WAN



Redes Locais de Computadores

Exemplo de LAN

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



[LMAN,Stallings00]

Ponto da situação e revisão de conceitos fundamentais

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **Cap. 1** - Transmissão e Comunicação de Dados
- **Cap. 2** - Elementos de Protocolos - Controlo da Ligação de Dados
- **Cap. 3** - Protocolos de Ligação - HDLC e outros
- **Cap. 4** - Redes de Computadores
- **Cap. 5** - Protocolos TCP/IP