

Local Area Networks

FEUP/DEEC/RCD – 2002/03

MPR/JAR

LANs – Local Area Networks

- ◆ As LANs desenvolveram-se a partir de meados dos anos 70 como alternativa às soluções então disponíveis em WANs, que não permitiam satisfazer os requisitos típicos de comunicação interna de dados de grandes empresas
- ◆ As LANs ligam uma grande diversidade de sistemas informáticos de uma mesma organização (Computadores, *Workstations*, Computadores Pessoais, Servidores, Periféricos, etc.), permitindo
 - » Partilha de recursos (impressoras, discos, aplicações, processadores, meios de transmissão e nós da rede)
 - » Comunicação entre sistemas (correio electrónico, transferência de ficheiros)
 - » Cooperação entre sistemas (processamento distribuído, aplicações cliente-servidor)
 - » Acesso a informação (bases de dados)
 - » Transferência de diversos tipos de informação (dados, áudio, vídeo, imagens, gráficos)
 - » Interligação de subredes (*backbone* de alta velocidade para ligação de LANs de mais baixa velocidade)

LANs – Requisitos

- ◆ Em LANs, devido às pequenas distâncias envolvidas e à utilização de meios de transmissão privados, é possível explorar soluções arquitectónicas orientadas para a satisfação dos seguintes requisitos típicos
 - » Suporte de débitos elevados (alguns Mbit/s até Gbit/s)
 - » Suporte de grande número de sistemas
 - » Elevada fiabilidade
 - » Partilha eficiente de recursos de transmissão
 - » Fácil instalação, reconfiguração e expansão (inserção / remoção de sistemas)
 - » Fácil manutenção
 - » Baixo custo por sistema instalado
- ◆ Do ponto de vista do desempenho, é ainda desejável que permitam
 - » Funcionamento estável sob carga elevada
 - » Acesso equilibrado por parte de todos os sistemas (eventualmente com vários níveis de prioridade e acesso rotativo em cada nível)
 - » Suporte de aplicações multimédia e aplicações com requisitos de tempo real

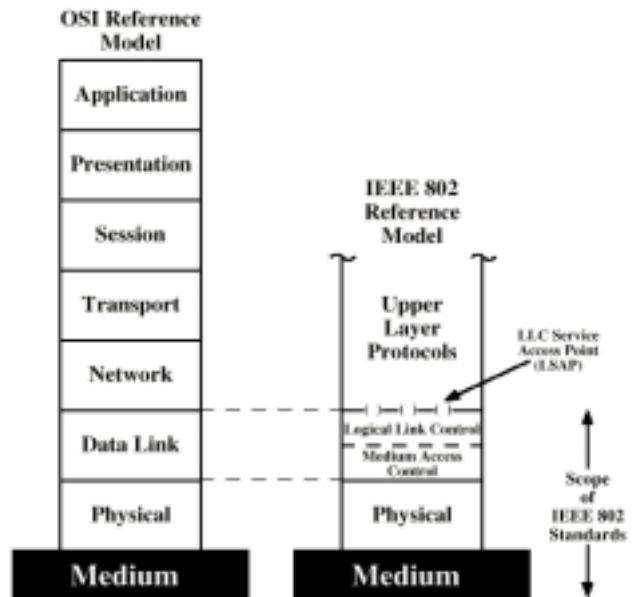
LANs – Atributos

As LANs podem caracterizar-se por um conjunto de atributos típicos que as distinguem das WANs

- » São redes privadas
- » Podem cobrir distâncias até algumas dezenas de km (dependendo da tecnologia)
- » Oferecem ampla gama de débitos (10, 100, 1000 Mbit/s)
- » Utilizam topologias simples que permitem um elevado grau de conectividade entre sistemas e partilha eficiente de recursos de transmissão
- » Utilizam meios de transmissão muito diversos
 - pares de cobre
 - cabo coaxial
 - fibra óptica
 - infra-vermelhos
- » Em meios partilhados são utilizados normalmente protocolos de acesso distribuídos

Arquitetura IEEE 802

- » A camada de Ligação de Dados (OSI) é dividida em duas sub-camadas
 - LLC (*Logical Link Control*)
 - MAC (*Medium Access Control*)
- » LLC
 - Interface comum para camadas superiores
 - Controlo de erros e de fluxo (opcional)
- » MAC
 - Controlo do acesso ao meio de transmissão
 - Transmissão / recepção de tramas
 - Reconhecimento de endereços
 - Detecção de erros
- » Camada Física
 - Codificação / decodificação de sinais
 - Transmissão / recepção de bits
 - Acesso ao meio de transmissão
 - Interligação de sistemas (topologia física)

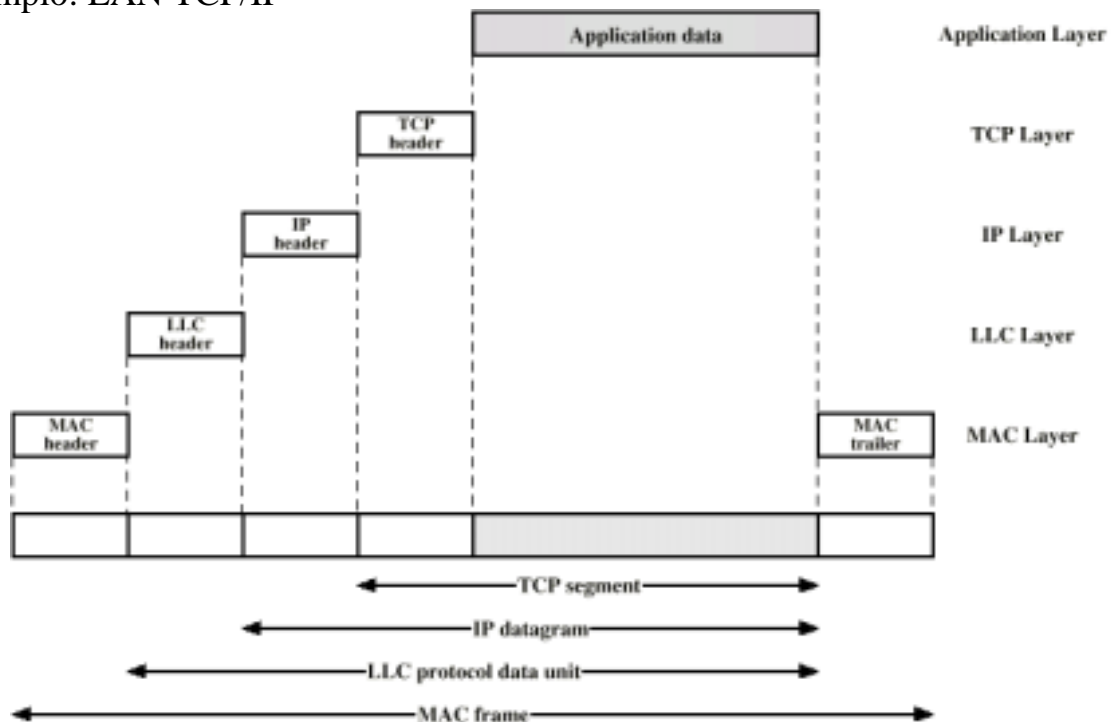


Arquitetura IEEE 802 - Protocolos

Logical link control (LLC)	IEEE 802.2 •Unacknowledged connectionless service •Connection-mode service •Acknowledged connectionless service							
Medium access control (MAC)	CSMA/CD		Token bus	Round robin; priority	Token ring	Token ring	DQDB	CSMA; polling
Physical	IEEE 802.3	IEEE 802.4	IEEE 802.4	IEEE 802.12	IEEE 802.5	FDDI	IEEE 802.6	IEEE 802.11
	Baseband coaxial: 10 Mbps Unshielded twisted pair: 10, 100 Mbps Shielded twisted pair: 100 Mbps Broadband coaxial: 10 Mbps Optical fiber: 10 Mbps	Broadband coaxial: 1, 5, 10 Mbps Carrierband coaxial: 1, 5, 10 Mbps Optical fiber: 5, 10, 20 Mbps	Unshielded twisted pair: 100 Mbps	Shielded twisted pair: 4, 16 Mbps Unshielded twisted pair: 4 Mbps	Optical fiber: 100 Mbps Unshielded twisted pair: 100 Mbps	Optical fiber: 100 Mbps	Infrared: 1, 2 Mbps Spread spectrum: 1, 2 Mbps	
	Bus/tree/star topologies			Ring topology		Dual bus topology		Wireless

Encapsulamento dos Dados

Exemplo: LAN TCP/IP



Medium Access Control (MAC)

- ◆ Localização da lógica de controlo (protocolo) de acesso ao meio
 - » Centralizada
 - Controlo mais completo (visão global da rede)
 - Lógica mais simples nas estações
 - Evita problemas de coordenação entre estações
 - Ponto de falha único (se não existir redundância)
 - Ponto focal de congestionamento
 - » Distribuída
 - Mais robusta
 - Mais eficiente (menor *overhead* de controlo)
- ◆ Técnica de acesso ao meio
 - » Síncrona
 - Capacidade de transmissão fixa atribuída previamente a cada estação
 - » Assíncrona
 - Em resposta a um pedido, explícito ou implícito (*round robin*, reserva, contenção)

Acesso Assíncrono

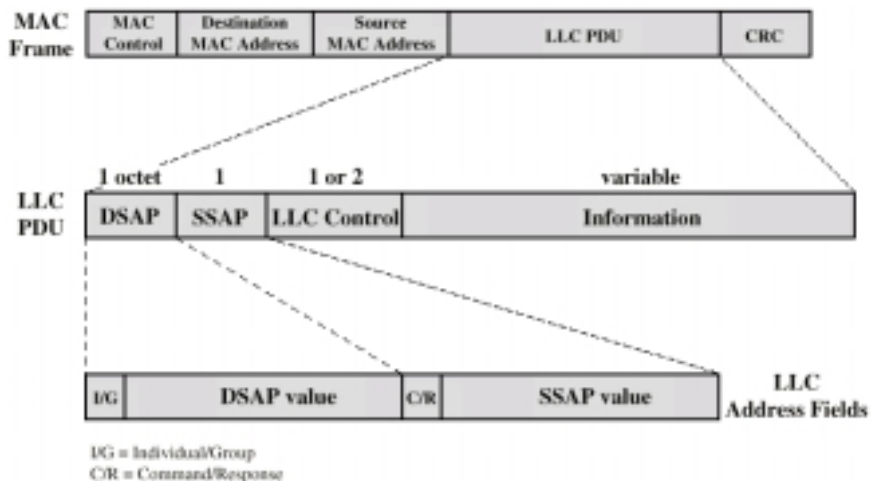
- ◆ *Round robin*
 - » Permite atribuir o meio a cada estação, por períodos curtos, de forma ordenada e sem conflitos (centralizado ou distribuído)
 - » Adequado para transmissões prolongadas de várias estações
- ◆ Reserva
 - » Adequado para tráfego contínuo (em particular isócrono)
- ◆ Contenção
 - » Adequado para tráfego *bursty*
 - » Baseado na competição e resolução de conflitos (colisões) entre estações
 - » Distribuído
 - » Implementação simples
 - » Eficiente para cargas moderadas
 - » Instável para cargas elevadas

	Bus Topology	Ring Topology	Switched Topology
Round Robin	Token Bus (IEEE 802.4) Polling (IEEE 802.11)	Token Ring (IEEE 802.5; FDDI)	Request/priority (IEEE 802.12)
Reservation	DQDB (IEEE 802.6)		
Contention	CSMA/CD (IEEE 802.3) CSMA (IEEE 802.11)		CSMA/CD (IEEE 802.3)

DQDB: Distributed-Queue, Dual Bus
 FDDI: Fiber Distributed Data Interface

Formato das Tramas MAC

- ◆ *MAC Control*
 - » Informação protocolar de controlo
- ◆ *Destination / Source MAC Address*
 - » Endereço MAC de Destino / Origem
- ◆ CRC
 - » Código detector de erros
- ◆ MAC
 - » encapsula os dados da camada LLC
 - » detecta e elimina tramas com erros
- ◆ LLC
 - » encapsula e identifica protocolos de alto nível
 - » controlo de erros e de fluxo (opcional)



Endereços MAC - Atributos

- ◆ Não estruturados (*flat* - ausência de hierarquia)
- ◆ Não têm qualquer relação com localização física da estação na rede
- ◆ Designam-se por endereços “físicos” (ou de *hardware*) - identificam a carta de interface, não o ponto onde a estação se liga à rede; distinguem-se de endereços “lógicos” (ou de *software*), de que são exemplo os endereços IP, que definem a pertença a uma subrede lógica
- ◆ Quando as tramas encapsulam pacotes destinados a entidades endereçáveis na camada de Rede, é necessário um mecanismo de resolução de endereços, por exemplo a determinação do endereço MAC, conhecido o endereço IP

Endereços MAC - Tipos e Formatos

- ◆ Tipos
 - » *Unicast*
 - » *Multicast*
 - » *Broadcast*
 - uma estação tem associado um endereço *Unicast* (único na sua subrede); pode pertencer a vários grupos *Multicast* (ou a nenhum) e aceita tramas com endereço *Broadcast* (difusão) na sua subrede
- ◆ Formatos
 - » Dois octetos - administrados localmente
 - » Seis octetos - administrados globalmente (IEEE) ou localmente
 - administração global garante unicidade numa rede constituída por várias subredes
 - IEEE atribui gamas de endereços globais aos diferentes fabricantes

Controlo da Ligação Lógica (LLC) – IEEE 802.2

♦ Características

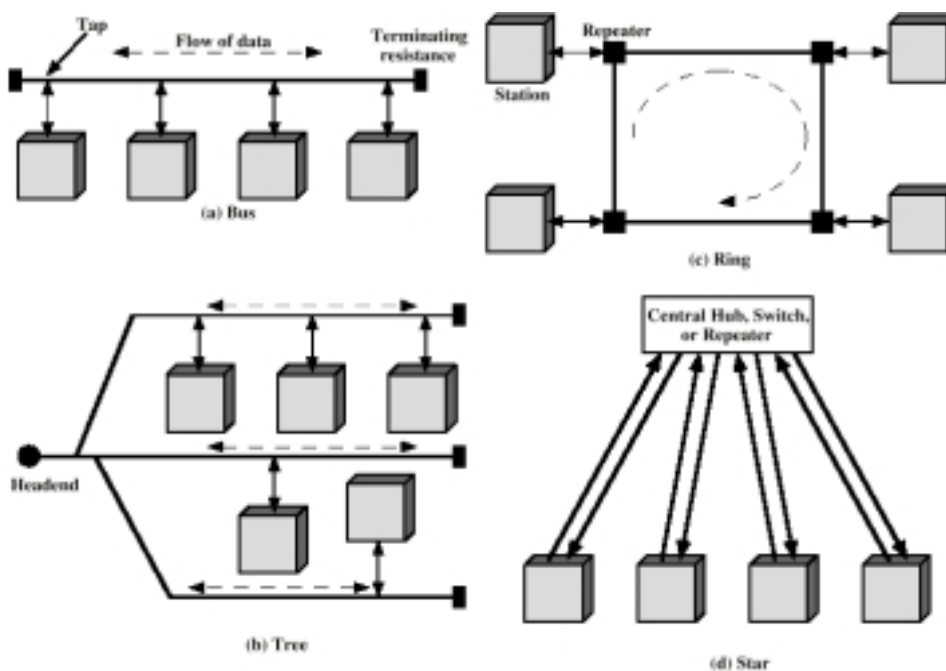
- » Fornece serviço independente da tecnologia de subrede e do serviço MAC
- » Um único formato para encapsular dados e identificar protocolos encapsulados
- » Endereçamento
 - DSAP / SSAP (*Destination / Source Service Access Points*)

♦ Serviços

- » LLC1 - não confirmado, sem conexão (*unacknowledged connectionless service*)
 - o mais comum (suporte obrigatório em todas as LANs IEEE 802)
 - usa tramas do tipo *Unnumbered Information*
- » LLC2 - com conexão (*connection-mode service*)
 - controlo de erros (serviço fiável) e controlo de fluxo
 - baseado em HDLC
- » LLC3 - confirmado, sem conexão (*acknowledged connectionless service*)

Topologias

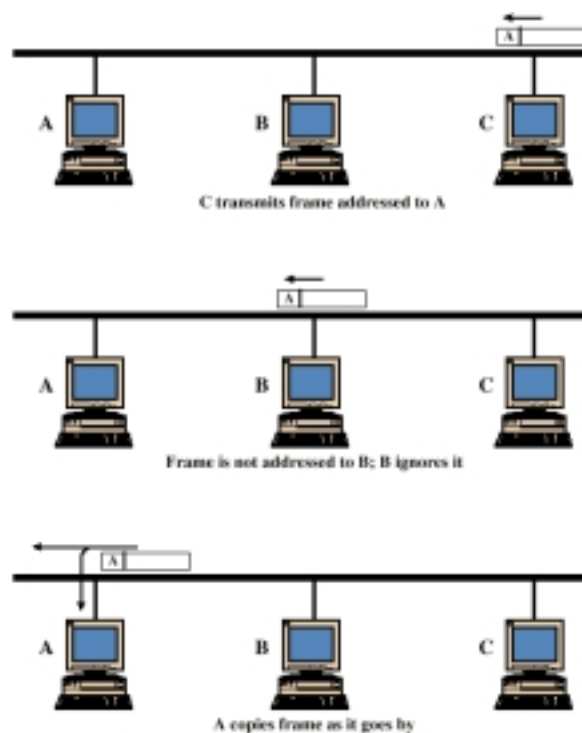
Topologias básicas: barramento (*bus*), árvore (*tree*), anel (*ring*), estrela (*star*)



Topologias em Barramento e em Árvore

- » Configuração física multiponto, aberta (sem percursos fechados)
- » O meio (canal) é partilhado
 - É necessário um protocolo para controlo de acesso ao meio (para evitar que duas ou mais estações interfiram, provocando colisões)
- » O sinal é difundido (propaga-se) no meio - as tramas são escutadas por todas as estações
 - É necessário identificar a estação (ou estações) de destino
 - Cada estação tem de possuir um endereço único (*unicast*) para além de poder ter endereço(s) de grupo (*multicast*)
- » Ligação física *full-duplex* entre estação e ponto de acesso (*transceiver*)
- » Funcionamento *half-duplex*
 - A transmissão e recepção simultânea de tramas no mesmo ponto de acesso não é possível sem que desse facto resulte uma colisão
- » Terminador absorve o sinal no extremo do meio (evita reflexões)

Topologia em Barramento

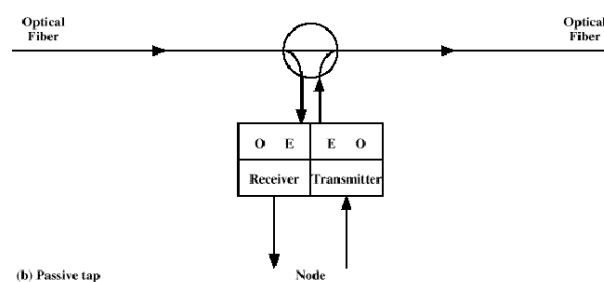
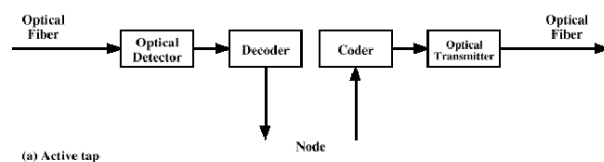


LANs em Barramento

- ◆ A potência do sinal emitido deve cumprir vários requisitos
 - » Considerando a atenuação no meio, deve ser compatível com a sensibilidade dos receptores e garantir relação sinal ruído adequada para detecção com taxa de erros muito baixa
 - » Não deve provocar sobrecarga (*overload*) do emissor (e conseqüente distorção do sinal)
 - » Deve satisfazer as combinações possíveis de estações emisoras / receptoras no meio
- ◆ Segmentação da Rede
 - » A rede pode ser constituída por vários segmentos físicos interligados, o que permite cobrir maiores distâncias
 - » Os segmentos podem ser ligados com repetidores (garantem continuidade ao nível físico) ou com outros elementos activos (*bridges* / comutadores e *routers*)
- ◆ Meios de transmissão
 - » Os barramentos físicos são normalmente realizados em cabo coaxial, usando tecnologia *baseband* (um único canal) ou *broadband* (vários canais)
 - » É possível criar o equivalente lógico de uma LAN em barramento usando topologias físicas em estrela como suporte para a difusão do sinal; a solução mais generalizada recorre a cablagens estruturadas realizadas com pares de cobre entrançados (*twisted pair*)
 - » Podem usar-se igualmente fibras ópticas em ligações ponto a ponto entre repetidores ou em redes com topologia em barramento ou estrela (acoplamento activo ou passivo)

Barramentos de Fibra Óptica

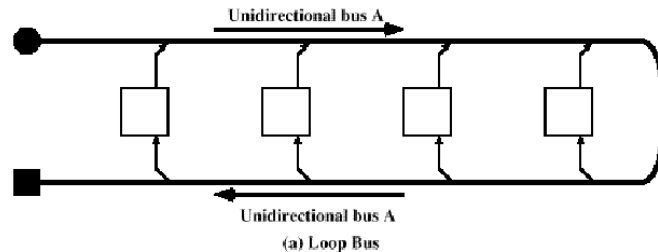
- ◆ Acoplamento Activo
 - » O barramento é realizado com ligações ponto a ponto entre repetidores e inclui conversores óptico-eléctricos e electro-ópticos
 - » As estações ligam-se ao meio através dos repetidores
- ◆ Acoplamento Passivo
 - » Acopladores direccionais (com 3 ou 4 portas) permitem derivar e injectar directamente sinal óptico na fibra
 - » As perdas nos acopladores (*Insertion Loss* e *Isolation Loss*) limitam seriamente o número de estações no barramento



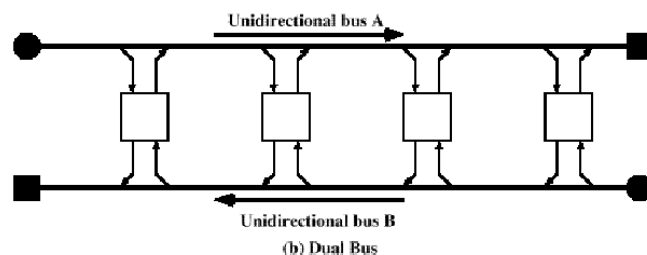
Barramentos Unidireccionais

Configurações usadas com fibra óptica ou com cabo coaxial

Barramento simples dobrado
(*folded bus* ou *loop bus*)

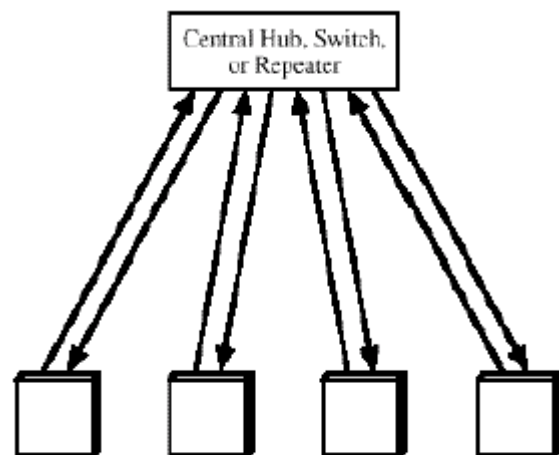


Barramento duplo
(*dual bus*)



Topologia em Estrela

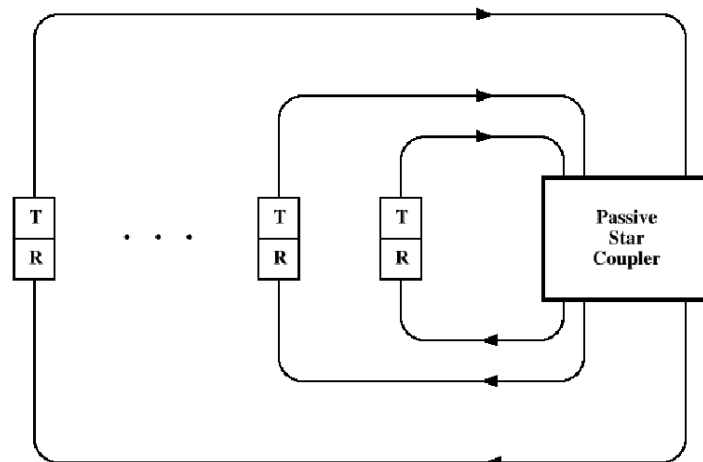
- » Cada estação liga-se a um elemento central
 - Duas ligações ponto a ponto (4 fios) para transmissão e recepção, respectivamente
- » O elemento central pode ser um repetidor multiporta (*hub*) ou um comutador
- » Repetidor
 - Repete (difunde) o sinal recebido duma porta em todas as outras portas
 - Logicamente equivalente a um barramento
 - Necessário controlar o acesso das estações ao meio - funcionamento *half-duplex*
- » Comutador
 - Comuta simultaneamente tramas entre portas de entrada e de saída (com base no endereço de destino); pode ainda copiar uma trama para várias portas de saída
 - Funcionamento *full-duplex*



(d) Star

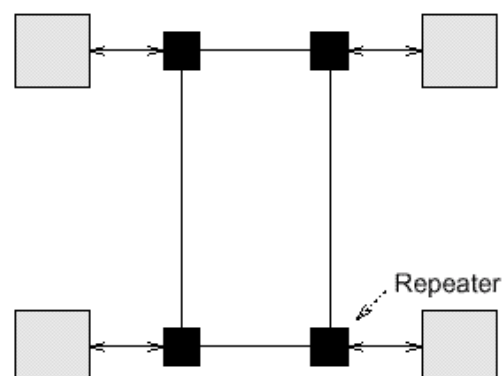
Estrela de Fibra Óptica

- ◆ Estrela realizada com acoplador óptico passivo (*star coupler*)
 - » dispositivo com N entradas e N saídas
- ◆ O sinal (luz) aplicado em cada entrada é dividido igualmente pelas saídas
 - » o sinal é atenuado, para além das perdas intrínsecas (*Excess Loss*) devidas ao acoplamento
- ◆ A topologia física é uma estrela mas a topologia lógica é um barramento



Topologia em Anel

- ◆ Um Anel é constituído por Repetidores (elementos activos) unidos por ligações ponto a ponto unidireccionais, formando um percurso fechado para o sinal
 - » As estações ligam-se aos repetidores para poderem transmitir e receber tramas
 - » Cada repetidor liga-se a dois repetidores adjacentes (a montante e a jusante)
 - » O sinal é transmitido de um repetidor para o seguinte (a jusante)
- ◆ O atraso do sinal no anel (latência) resulta do atraso de propagação no meio e do atraso nos repetidores



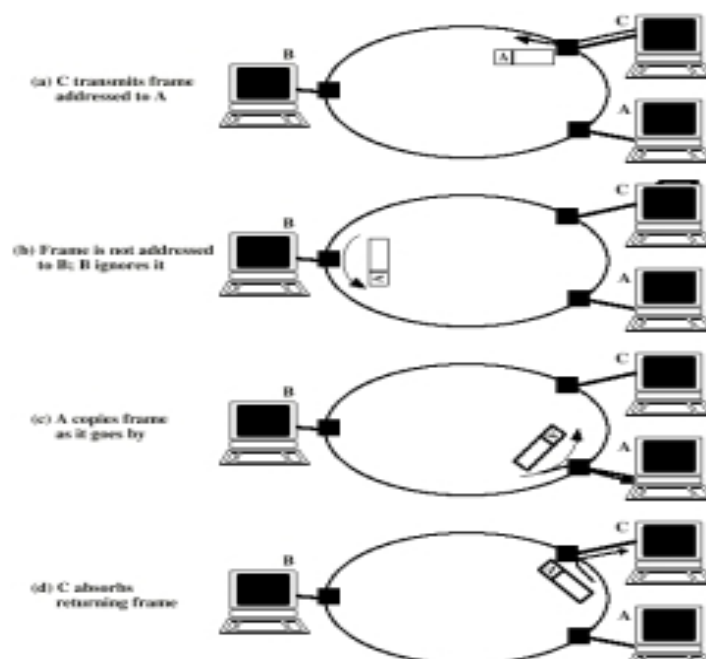
Topologia em Anel

- ◆ Os dados são enviados em tramas endereçadas
 - » As tramas circulam no anel
 - » A estação de destino reconhece uma trama que lhe é destinada e faz cópia para um *buffer* interno
 - » Conforme o protocolo, uma trama pode ser removida do anel pela estação (repetidor) de origem ou de destino, isto é, a trama não é retransmitida

- ◆ Necessário protocolo para controlo de acesso ao meio
 - » Define as condições em que uma estação pode transmitir (inserir uma trama no anel)
 - » Dependendo do protocolo de acesso pode haver ou não acessos simultâneos por parte de várias estações e pode haver uma ou mais tramas em circulação no anel

Topologia em Anel

Exemplo com remoção da trama pela estação (repetidor) de origem



Topologia em Anel - Características

- » Meio de transmissão partilhado
 - As tramas enviadas pelas várias estações circulam no anel que oferece um único percurso para os dados
- » Possibilidade de endereçamento múltiplo (*multicast, broadcast*)
 - Obriga a que uma trama percorra todo o anel, para permitir cópia pelas estações endereçadas
- » Ligações ponto a ponto entre repetidores
 - A regeneração do sinal garante maior fiabilidade e permite cobrir maiores distâncias
 - É possível usar cabo coaxial, par trançado ou fibra óptica
- » Vulnerabilidade
 - A rede torna-se inoperacional por falha numa ligação ou dum repetidor (deixa de haver continuidade física para o sinal)
- » Latência
 - Aumenta com o número de estações ligadas à rede, com possível impacto no desempenho
- » Inserção / remoção de repetidores
 - Cria dificuldades de instalação, reconfiguração e manutenção (cablagem, detecção de falhas)
 - Provoca alterações não controladas do comprimento do anel (e portanto da latência)
- » Necessário mecanismo de remoção de tramas

Funções dos Repetidores

Os Repetidores desempenham duas funções importantes numa rede em Anel

- » Regeneração e retransmissão do sinal, permitindo a sua circulação no meio
- » Acesso ao meio por parte da estação ligada a cada repetidor
 - Recepção de tramas (cópia de tramas para *buffers* internos da estação)
 - Transmissão de tramas (inserção de tramas no meio)
 - Remoção de tramas (isto é, não repetição de tramas, para evitar a sua circulação indefinida e assim permitir acesso ao meio por parte de outras estações)
 - A remoção pela estação de origem tem algumas vantagens
 - ◆ permite enviar confirmação por parte da estação de destino (*piggyback*)
 - ◆ permite ordenar os acessos ao meio (*round robin*) e facilita o suporte de prioridades
 - ◆ é obrigatória no caso de transmissão *multicast* ou *broadcast*
 - A remoção pela estação de destino permite uma melhor utilização do meio
 - ◆ só possível no caso de transmissão *unicast*

Estados de um Repetidor

◆ Escuta

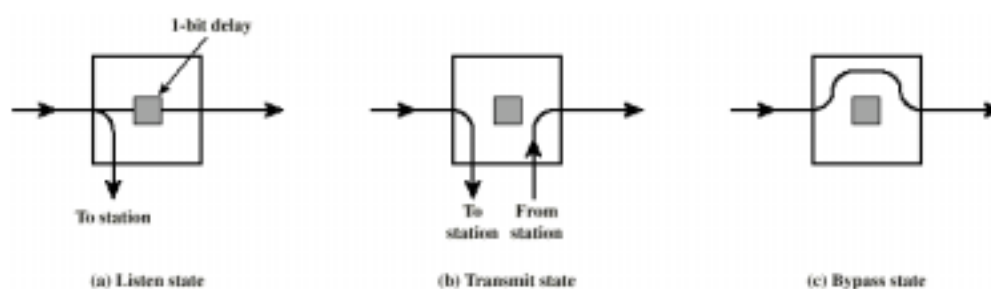
- » Procura padrões de bits (endereços e bits associados ao protocolo de acesso)
- » Copia bits para a estação quando reconhece tramas que lhe são endereçadas
- » Retransmite os bits com pequeno atraso, podendo ainda modificar bits do cabeçalho

◆ Transmissão

- » Quando a estação tiver dados e permissão para transmitir
- » Recebe bits em circulação - não os retransmite e copia-os para processamento por parte da estação (de acordo com o protocolo)

◆ Bypass

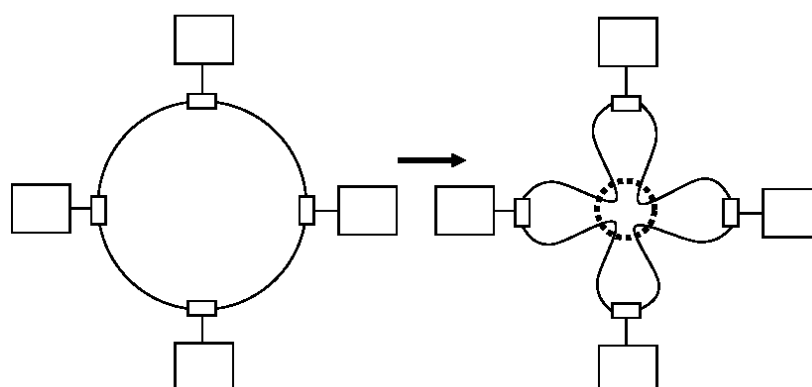
- » Permite isolar estação inactiva, que assim não contribui com atraso (latência) adicional
- » Em caso de falha permite isolar um repetidor e a estação correspondente



Star Ring - Anel-em-Estrela

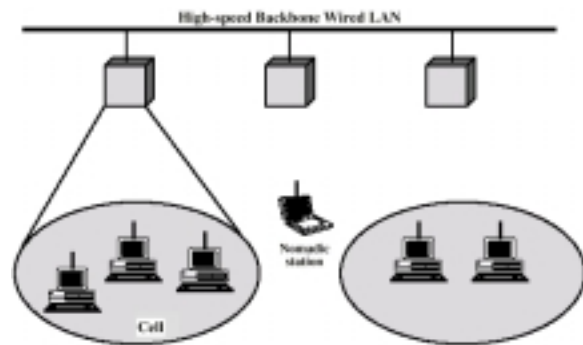
» A utilização de *Wiring Concentrators* (concentradores de cabos, constituídos por relés activados remotamente pelas estações) numa configuração física em Estrela (*Star Ring*) permite solucionar alguns dos problemas referidos

- Facilita a manutenção (acesso centralizado) e a localização de falhas
- Permite isolamento (*bypass*) de elementos defeituosos (fiabilidade)
- Permite inserção / remoção automática de estações (reconfiguração)



LANs sem fios

- ◆ Transmissão por propagação no espaço
- ◆ Aplicações
 - » Extensão de LANs
 - » Interligação de edifícios
 - » Acesso de terminais móveis
 - » Redes *ad-hoc*
- ◆ Requisitos específicos
 - » Consumo de energia
 - » Robustez e segurança de transmissão
 - » Espectro não licenciado
 - » Configuração dinâmica
- ◆ Tecnologias
 - » Infra-vermelhos, *spread spectrum*, micro-ondas



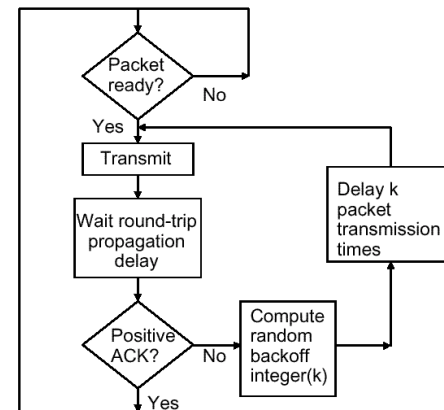
(a) Infrastructure Wireless LAN



(b) Ad hoc LAN

ALOHA

- ◆ Usado na rede Aloha (*packet radio*), desenvolvida na Universidade do Hawai
- ◆ Estação emissora
 - » Quando tem uma trama para transmitir, transmite incondicionalmente (*talk when you please*)
 - » Transmissões simultâneas provocam colisões
- ◆ Estação receptora
 - » Confirma tramas correctamente recebidas
- ◆ Detecção de colisões
 - » Estação emissora espera confirmação positiva (ACK) durante *round trip time*
 - Se receber ACK, pode transmitir nova trama
 - Se não receber ACK, ocorreu colisão ou a trama foi corrompida por outra razão - a estação deve retransmitir, podendo tentar um número máximo de vezes pré-definido, após o que desiste
 - » Nalguns casos (satélite) uma colisão pode ser detectada comparando a trama transmitida com a trama recebida após o tempo de propagação
- ◆ Retransmissão
 - » Para minimizar a probabilidade de novas colisões, a estação emissora espera intervalo de tempo aleatório antes de retransmitir uma trama não confirmada



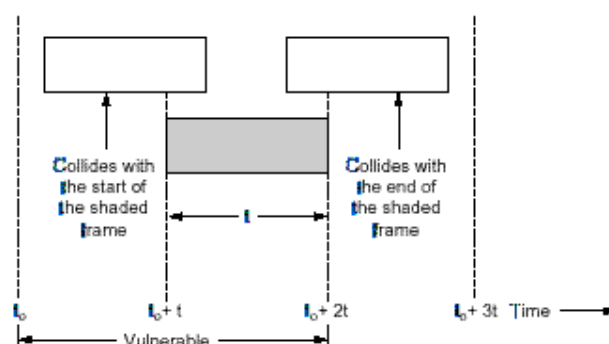
ALOHA - Eficiência

- ◆ Período de vulnerabilidade de uma trama
 - » Assumindo tramas com o mesmo comprimento, o período de vulnerabilidade de uma trama é o dobro do tempo de transmissão da trama (T_{frame})
 - » Uma colisão ocorre se outra transmissão se iniciar no intervalo $]-T_{frame}, +T_{frame}[$ relativamente ao início de transmissão da trama
- ◆ Eficiência
 - » S - tráfego útil (relativo) transmitido - eficiência
 - S é sempre inferior a 1
 - » G - tráfego total (relativo) oferecido
 - G pode ser superior a 1 (pois inclui as transmissões que resultam em colisão e as respectivas retransmissões)

$$S = G e^{-2G}$$

- ◆ Eficiência máxima

$$S_{max} = 18.4 \% (G = 0.5)$$



Slotted ALOHA

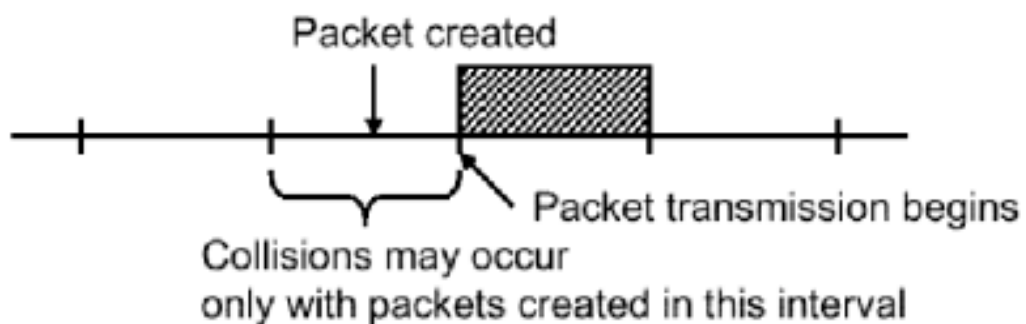
- » Estações sincronizam transmissões pelo início de *time slots*
 - Necessário mecanismo para distribuir às estações um sinal de sincronização de início dos *time slots*
 - Quando uma estação tem uma trama pronta a transmitir, espera pelo início do próximo *time slot* e transmite incondicionalmente
 - Não ocorrem colisões parciais - ou não há colisão ou a colisão é total, pelo que o período de vulnerabilidade é igual a T_{frame} (ou seja a duração do *time slot*, desprezando atrasos de propagação)

- » Eficiência

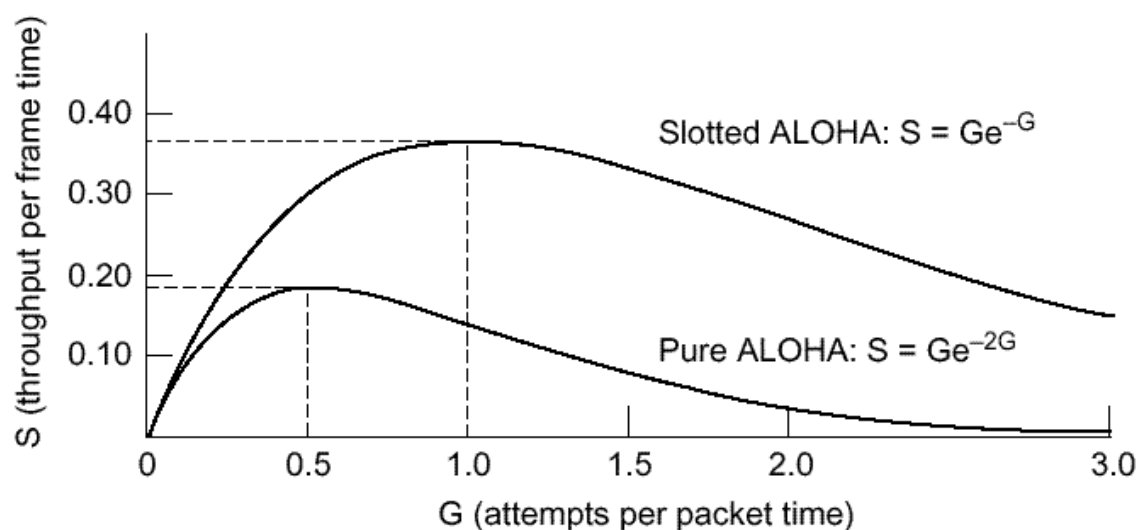
$$S = G e^{-G}$$

- » Eficiência máxima

$$S_{\max} = 36.8 \% (G = 1)$$



Aloha e Slotted ALOHA - Eficiência



Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

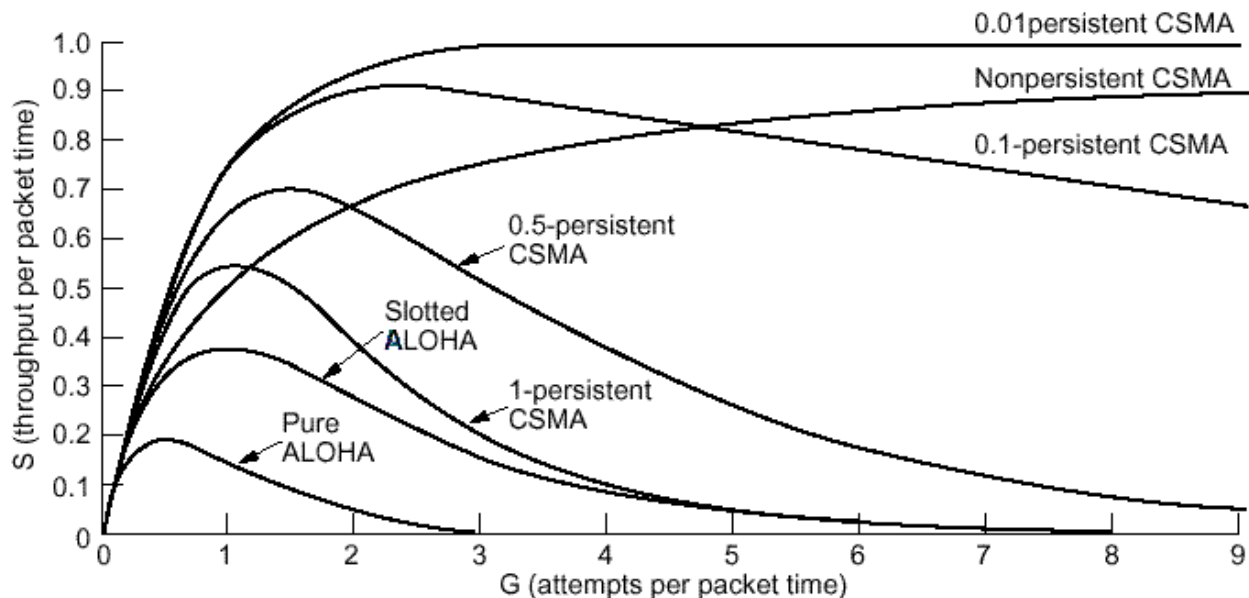
- » Os protocolos do tipo CSMA, baseados na escuta do meio são recomendados apenas quando $T_{prop} \ll T_{frame}$, ou seja, quando $a \ll 1$
- » Se $a \ll 1$, situação comum em muitas LANs, uma transmissão é reconhecida pelas restantes estações durante o período inicial; uma estação não inicia uma transmissão se tiver detectado que outra transmissão está em curso
- » A escuta do meio não evita o risco de colisões, mas se $a \ll 1$ o período de vulnerabilidade é muito pequeno comparado com o tempo de transmissão (ultrapassado esse período sem colisão, o protocolo garante que a estação detém o meio em exclusividade)
- » Uma estação escuta (monitora) o meio (*carrier sense*) antes de transmitir (*listen before talk*)
 - defere se o meio estiver ocupado
 - transmite se o meio estiver livre e espera ACK durante *round trip time*
 - se não receber confirmação, retransmite a trama após intervalo de tempo aleatório
- » Transmissões simultâneas provocam colisões
- » A eficiência depende de a

CSMA - variantes

- » **Persistente**
 - se meio livre: transmite
 - se meio ocupado: espera até ficar livre e transmite
- » **Não persistente**
 - se meio livre: transmite
 - se meio ocupado: espera intervalo de tempo aleatório e repete o algoritmo
- » **p-Persistente**
 - *slot time* = tempo máximo de propagação na rede (usado para atrasar tentativas de acesso)
 - se meio livre: transmite com probabilidade p e atrasa a tentativa de acesso de um *slot time* com probabilidade $1-p$, repetindo então o algoritmo; se encontrar o meio ocupado depois de ter encontrado o meio livre e deferido, procede como se tivesse havido colisão
 - se meio ocupado: espera até ficar livre e aplica o algoritmo anterior
- » Se a estação não receber uma confirmação após *round trip time* (colisão ou corrupção devida a outra causa) a estação espera intervalo de tempo aleatório para retransmitir a trama, repetindo o algoritmo respectivo desde o início

CSMA - Eficiência

CSMA não persistente - $S = G / (1 + G)$ ($a = 0$)



Ethernet

- » A rede Ethernet foi desenvolvida no Centro de Investigação da Xerox em Palo Alto (PARC)
- » A Ethernet experimental (1976) caracterizava-se por
 - funcionar a 3 Mbit/s num segmento de cabo coaxial com comprimento máximo de 1 km
 - adoptar um protocolo de acesso ao meio inovador (CSMA/CD), que constituía uma evolução de protocolos de acesso múltiplo do tipo contenção, como o Aloha e o CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)
- » A especificação produzida em 1980 pela DEC, Intel e Xerox definiu uma velocidade de transmissão de 10 Mbit/s, em segmentos de cabo coaxial com comprimento máximo 500 m, podendo atingir-se uma distância máxima (com repetidores) de 2.5 km
- » A norma IEEE 802.3 adoptou os principais aspectos desta especificação
- » A evolução das redes IEEE 802.3 operou-se em várias direcções:
 - A utilização de pares de cobre em alternativa a cabo coaxial, em topologias físicas em estrela, sendo a difusão do sinal realizada por repetidores multiporta (*hubs*)
 - A utilização de comutadores (*switches*) substituindo total ou parcialmente os *hubs*, sem necessidade de substituir a infra-estrutura de cabos instalada
 - O aumento da velocidade de operação para 100 Mbit/s (*Fast Ethernet*) e 1 Gbit/s (*Gigabit Ethernet*)

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

LAN 39

- » Usado inicialmente na rede Ethernet e adoptado pelo IEEE 802.3
- » Baseado na possibilidade de detecção de colisões durante a transmissão
 - Intervalo crítico de colisão = *round-trip time* = unidade de tempo para sincronizar tentativas de acesso ao meio após colisão (*slot time* durante o qual existe contenção)
 - Após o início de transmissão de uma trama e durante o tempo de um *slot* de contenção a estação continua a monitorar o meio (*listen while talk*)

Protocolo de Acesso

- » A estação monitora o meio (*carrier sense*)
 - Se meio livre: transmite
 - Se meio ocupado: espera até ficar livre e transmite (persistente)
- » Se detectar colisão durante o *slot* de contenção
 - Reforça a colisão (*jamming*)
 - Aborta a transmissão
 - Atrasa a retransmissão (*binary exponential back-off*) e tenta de novo
- » Se não ocorrer colisão durante o *slot* de contenção
 - A estação continua a transmissão até ao fim, sem risco de colisão

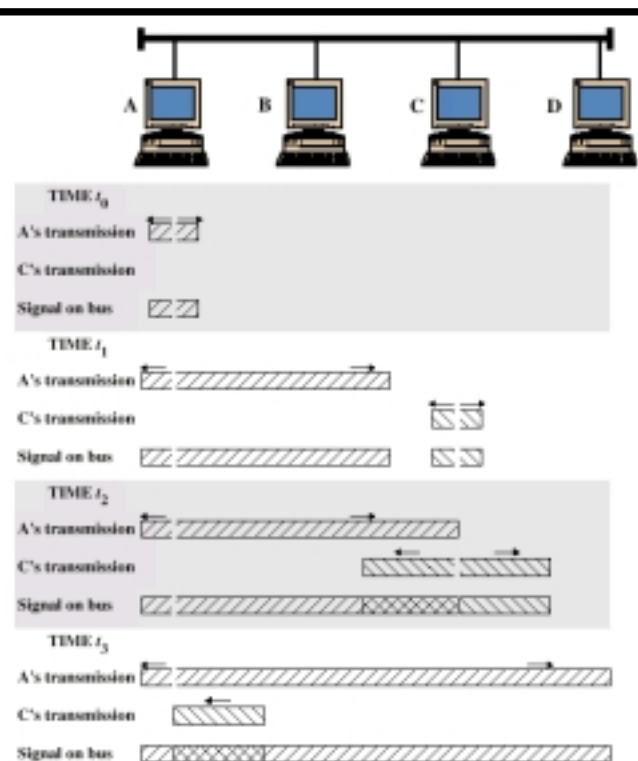
LAN 40

CSMA/CD - Detecção de Colisão

- ♦ Detecção de colisão num barramento
 - » tensão no barramento \gg tensão do sinal devido a uma transmissão
- ♦ O efeito da atenuação deve ser considerado, o que limita a distância máxima em segmentos de cabo coaxial
 - » 10Base5 - 500 m
 - » 10Base2 - 185 m
- ♦ Para garantir detecção de colisão durante a transmissão é necessário impor a condição

$$T_{frame} \geq 2 \times T_{prop} \Leftrightarrow a \leq 0.5$$

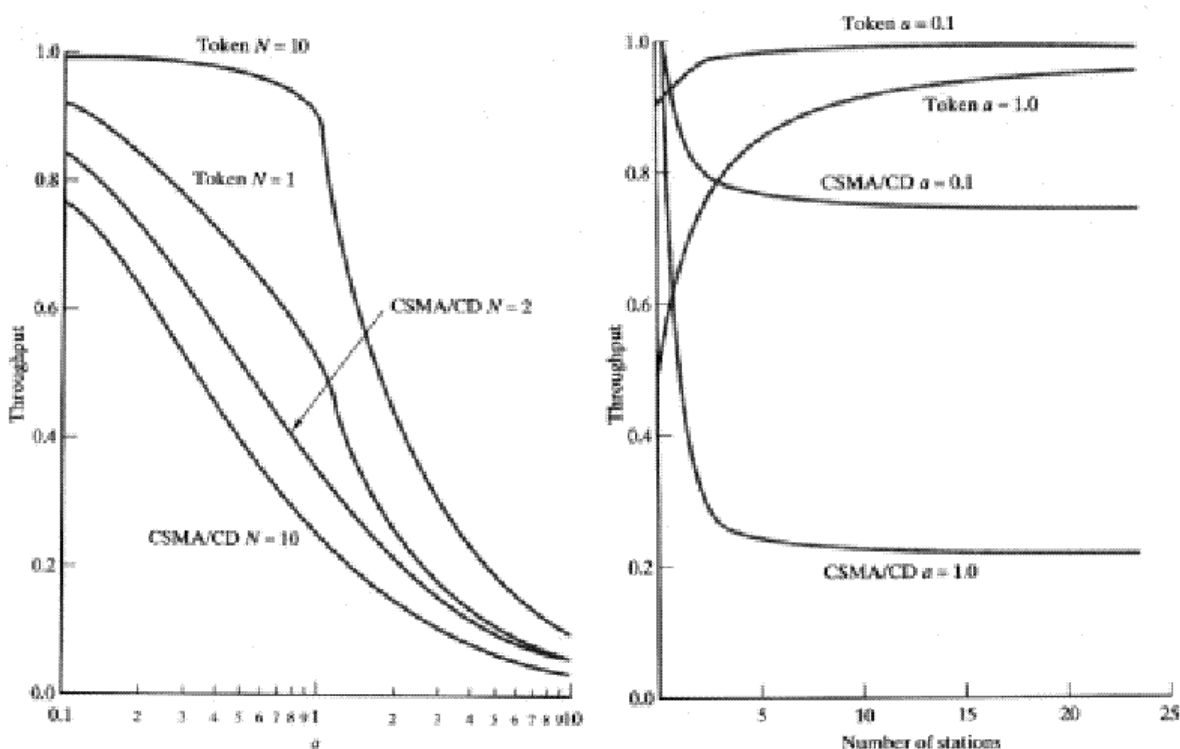
- ♦ Detecção de colisão num *hub*
 - » actividade em mais do que uma porta
 - » o *hub* gera sinal de presença de colisão



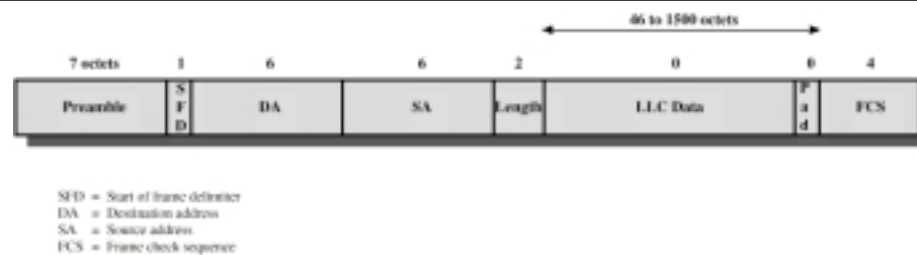
CSMA/CD - Eficiência

- » T_{prop} - tempo de propagação no cabo (extremo a extremo)
- » $2 T_{prop}$ - *round-trip time* = *slot* de contenção
- » T_{frame} - tempo de transmissão de uma trama
- » n - número médio de *slots* de contenção necessários para aquisição do meio
- » Eficiência
 - $S = T_{frame} / (T_{frame} + n \cdot 2 T_{prop}) = 1 / (1 + 2na)$
- » **S** diminui com:
 - Aumento da velocidade de transmissão (T_{frame} diminui)
 - Aumento do comprimento do cabo (T_{prop} aumenta)
 - Aumento do número de estações activas (n aumenta, devido a aumentar a probabilidade de colisões)
 - Diminuição do comprimento dos pacotes (T_{frame} diminui)
- » Para uma rede CSMA/CD carregada, em condições óptimas (ideais)
 - $S_{max} = 1 / (1 + 3.44 a)$ (se $a = 0.5$, $S_{max} = 36.8\%$, como em *Slotted Aloha*)
- » A norma IEEE 802.3 especifica uma distância máxima entre estações de cerca de 2.5 km a 10 Mbit/s. A 100 Mbit/s a distância máxima é cerca de 10 vezes menor (200 m); foi necessário introduzir algumas alterações no protocolo para permitir distâncias da mesma ordem de grandeza a 1 Gbit/s

CSMA/CD - Eficiência



IEEE 802.3 – Formato da Trama MAC



- ◆ *Preamble*
 - » 7 octetos de 0s e 1s alternados
 - » Usado pelo receptor para sincronização de bit
- ◆ *Start of Frame Delimiter* - campo 10101011 que indica o início da trama
- ◆ *Destination Address (DA)*, *Source Address (SA)*
- ◆ *Length* - Comprimento do campo de dados (substitui o campo *Type* da Ethernet)
- ◆ *LLC Data* - Campo de dados (LLC PDU)
- ◆ *Pad (padding)* - octetos adicionados para garantir um comprimento mínimo da trama, que permita detecção de colisão durante a transmissão (*a* não pode exceder 0.5)
 - » comprimento mínimo da trama (excluindo Preâmbulo e SFD) - 512 bits (64 octetos)
 - » comprimento máximo do campo de dados - 1500 octetos (trama - 1518 octetos)
- ◆ *FCS* - CRC de 32 bits

IEEE 802.3 / Ethernet a 10 Mbit/s

As especificações IEEE 802.3 a 10 Mbit/s incluem as seguintes (principais) alternativas ao nível físico

- » Cabo coaxial em Banda Base
 - Topologia: barramento
 - Especificações: 10Base5 e 10Base2
 - A utilização de repetidores interligando segmentos de cabo coaxial permite estender a cobertura física da rede
- » Par de cobre entrançado (*Unshielded Twisted Pair*)
 - Topologia: estrela
 - Especificação: 10Base-T
 - O elemento central da topologia é o *hub* (repetidor multiporta)
 - Esta configuração pode evoluir para uma rede comutada, substituindo *hubs* por computadores, sem necessidade de reconfigurar a infra-estrutura física

Cabo coaxial – 10Base 5 e 10Base2

♦ Caracterização

- Sinal digital → codificação Manchester ou Manchester Diferencial
- Usado todo o espectro de frequências do cabo
- Canal único, transmissão bidireccional
- Usado na Ethernet a 10 Mbit/s; cabo com impedância 50 Ω

♦ 10Base5 (10 Mbit/s, Baseband, 500 m de comprimento)

- Diâmetro do cabo - 1 cm (0.4 polegadas)
- Comprimento máximo do cabo - 500 m
- Distância entre estações adjacentes - múltipla de 2.5 m
- 100 estações por segmento, no máximo



♦ 10Base2 (10 Mbit/s, Baseband, 200 m de comprimento)

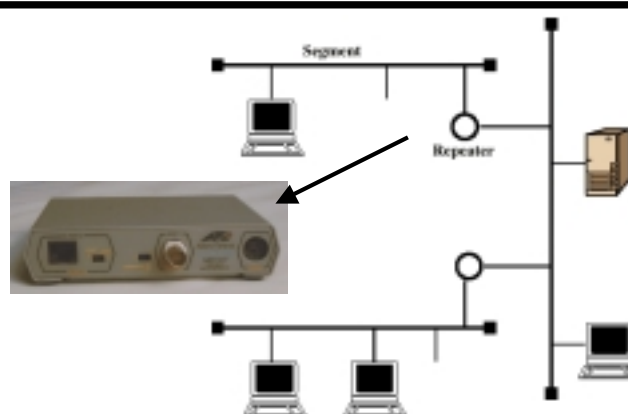
- Diâmetro do cabo - 0.6 cm (0.25 polegadas)
- Mais flexível, mais barato (inicialmente designado *Cheapernet*)
- Maior atenuação, menor imunidade ao ruído
- Menor número de estações por segmento (30), menor comprimento do cabo (185 m)



Ligação de segmentos com repetidores

» Repetidores

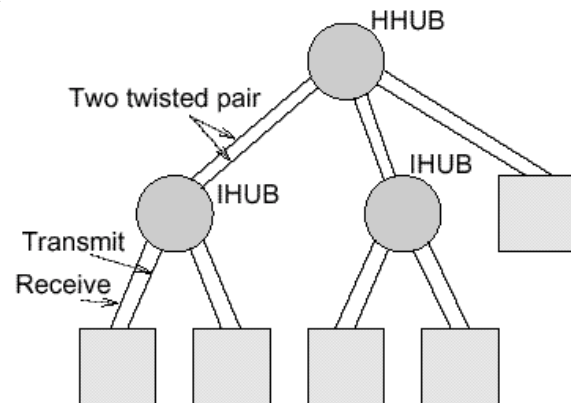
- Unem dois segmentos de cabo coaxial; retransmitem num segmento o sinal recebido do outro segmento
- Transmissões simultâneas nos dois segmentos provocam colisões
- Existe um único trajecto possível entre duas quaisquer estações



	10BASE5	10BASE2
Data rate	10 Mbps	10 Mbps
Maximum Segment Length	500 m	185 m
Network Span	2500 m	1000 m
Nodes per Segment	100	30
Node Spacing	2.5 m	0.5 m
Cable Diameter	0.4 in	0.25 in

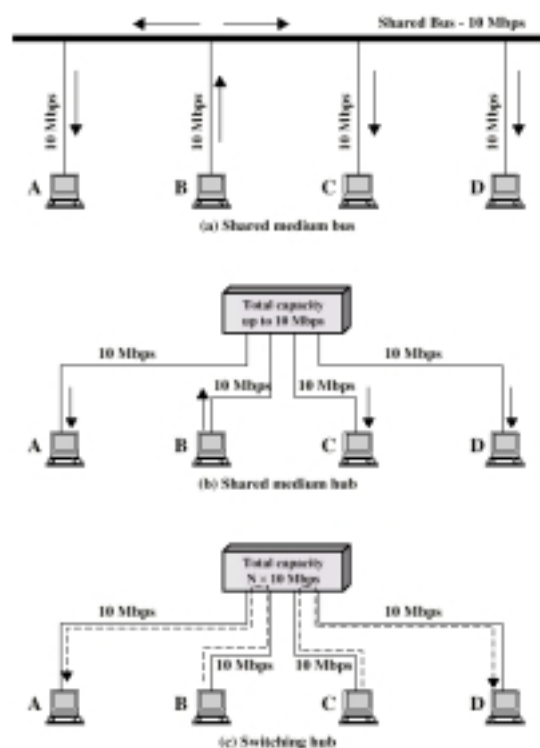
Twisted pair – 10Base-T

- ◆ A utilização de pares de cobre entrançados (UTP5) em redes em estrela começou por ser uma alternativa à utilização de cabo coaxial a 10 Mbit/s, devido ao seu menor custo e à possibilidade de exploração de cablagens estruturadas
- ◆ O elemento central desta configuração, designada por 10Base-T, é um repetidor multiporta (*hub*)
- ◆ A ligação a um *hub* é realizada com dois pares de cobre (emissão e recepção), sendo possível mais do que um nível de *hubs*
- ◆ Esta configuração é igualmente usada nas redes IEEE 802.3 a 100 Mbit/s e 1 Gbit/s
- ◆ O comprimento máximo das ligações UTP5 é cerca de 100 m, a 10 e 100 Mbit/s



Hubs e Comutadores - comparação

- ◆ **Hub**
 - » Repetidor multiporta
 - » Recebe o sinal numa porta de entrada e retransmite-o nas outras portas de saída
 - » Impossíveis transmissões simultâneas com sucesso
 - » A capacidade do meio é partilhada por todas as estações (tal como num barramento)
- ◆ LAN comutada
 - » Usa comutadores de tramas
 - » As tramas são comutadas com base no endereço MAC da estação de destino
 - » Possível comutação simultânea entre diferentes pares de portas
 - » A capacidade de uma porta não é partilhada com as restantes



Hubs e Comutadores

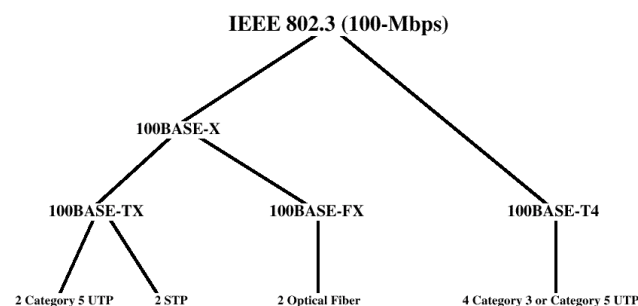
Hub



Comutador de tramas (*switch*)



Ethernet a 100Mbit/s (Fast Ethernet)

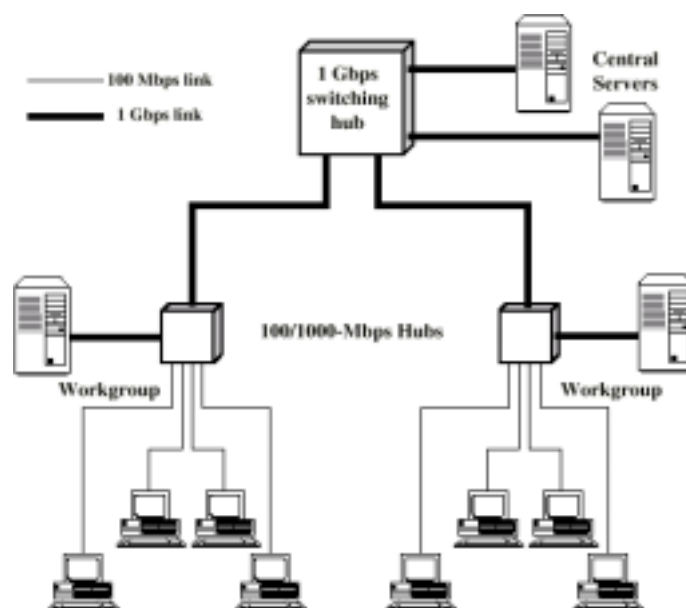


IEEE 802.3 100BASE-T physical layer medium alternatives

	100BASE-TX	100BASE-FX	100BASE-T4
Transmission medium	2 pair, STP	2 pair, Category 5 UTP	2 optical fibers
Signaling technique	4B5B, NRZI	MLT-3	4B5B, NRZI
Data rate	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Maximum segment length	100 m	100 m	100 m
Network span	200 m	200 m	400 m

Gigabit Ethernet

- ◆ *Carrier extension*
 - » mecanismo para aumentar a duração da trama (se inferior a 4096 bits)
- ◆ *Frame bursting*
 - » possibilidade de transmitir várias tramas no mesmo acesso
- ◆ Alternativas do nível físico
 - » 1000Base-SX
 - Comprimento de onda: 770 – 860 nm
 - Fibra multimodo
 - Até 550 m
 - » 1000Base-LX
 - Comprimento de onda: 1270 – 1355 nm
 - Fibra multi/mono modo
 - Até 5 km
 - » 1000Base-CX
 - *Shielded twisted pair*
 - Até 25 m
 - » 1000Base-T
 - 4 pares UTP5
 - Até 100 m
- ◆ Código - 8B/10B



Token Ring

- ◆ Um protocolo de acesso do tipo *Control Token* baseia-se na circulação na rede de uma trama de controlo (*Token*) que concede à estação que a recebe autorização para acesso exclusivo ao meio - o *Token* funciona como um testemunho que é passado de estação em estação
- ◆ Em redes em anel (*Token Ring*) o *Token* não precisa de ser endereçado; na ausência de qualquer transmissão, circula no anel um *Token* no estado livre, isto é, uma trama constituída apenas por um campo de controlo com os respectivos delimitadores de início e fim
- ◆ Uma estação pronta a transmitir espera a passagem do *Token* livre, captura-o (isto é, muda o seu estado para ocupado), passando a deter acesso exclusivo ao meio, o que lhe permite iniciar a transmissão de uma ou mais tramas
- ◆ Em geral uma trama é apenas copiada pela estação (ou estações) de destino, sendo removida pela estação de origem, a quem compete a libertação de um novo *Token* no estado livre, o que permitirá o acesso à estação a jusante mais próxima que tenha uma trama pronta a transmitir

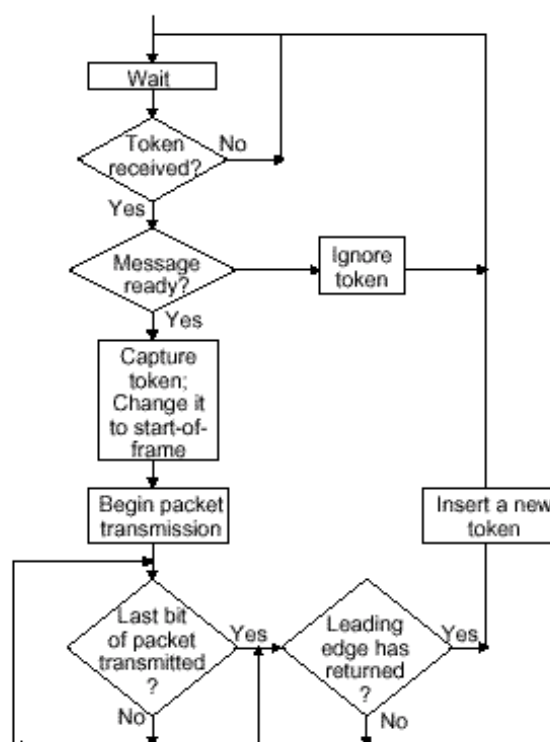
Token Ring - Variantes de libertação do Token

Critérios para libertação do *Token* e respectivas condições a observar

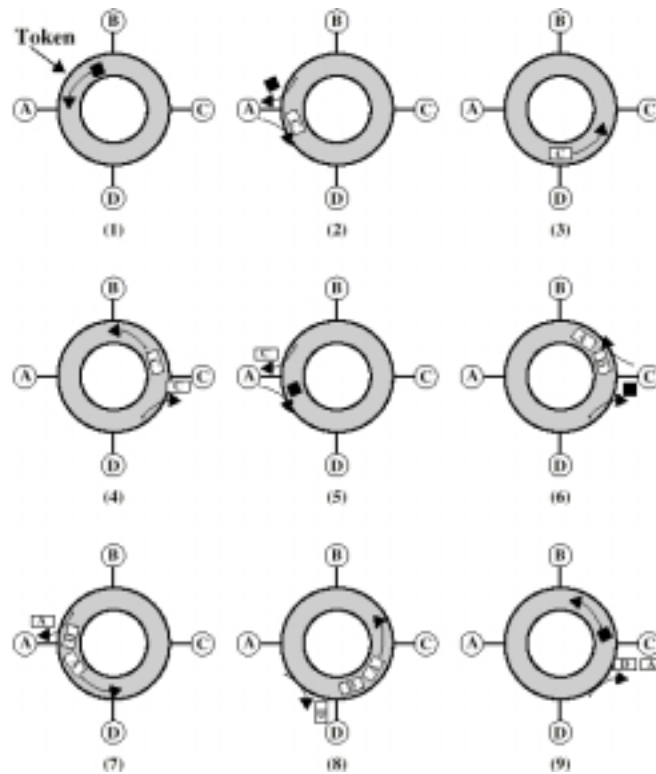
- ◆ *Single Token* (IEEE 802.5 a 4 Mbit/s)
 - » Fim de transmissão de uma trama e início da sua remoção
 - Se $a < 1$, a primeira condição implica a segunda
 - A designação *Single Token* traduz o facto de não ser possível existir mais do que um *token* (livre ou ocupado) no anel - só pode circular um *token* livre depois de o *token* ocupado por uma trama ser removido; pode estar em circulação um fragmento de uma trama em remoção e uma nova trama (completa ou o seu início) ou um *token* livre
- ◆ *Multiple Token* (FDDI) / *Early Token Release* (IEEE 802.5 a 16 Mbit/s)
 - » Fim da transmissão de uma trama
 - A designação *Multiple Token* traduz o facto de ser possível existirem múltiplos *tokens* na rede, mas no máximo um no estado livre, estando os restantes ocupados, isto é, podem estar várias tramas em circulação, se a latência da rede o permitir ($a > 1$)
- ◆ *Single Packet*
 - » Fim da remoção de uma trama
 - A designação *Single Packet* traduz o facto de que só é possível libertar o *token* e iniciar uma nova transmissão depois de remover completamente a trama anterior
- ◆ *Single Token* e *Multiple Token* são equivalentes quando $a < 1$

Token Ring IEEE 802.5

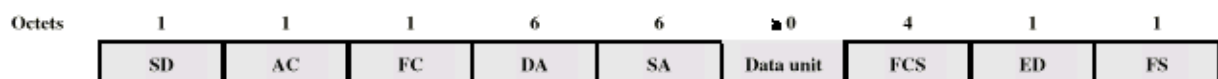
- ◆ Na ausência de transmissão circula um *token* livre no anel
- ◆ Estação
 - » Espera o *token* livre
 - » Muda o estado do *token* para ocupado
 - » Anexa o resto da trama de dados
 - » Quando a trama completa uma volta ao anel a estação inicia a sua remoção
 - » A estação insere um novo *token* livre quando após completar a transmissão da trama tiver igualmente removido o respectivo cabeçalho (*token* ocupado)
 - A segunda condição permite suportar o mecanismo de reserva de prioridade (nível desejado inserido no próximo *token* livre)
- ◆ O funcionamento é do tipo *round robin*, se várias estações transmitirem no mesmo ciclo de acessos



Token Ring IEEE 802.5 - Operação

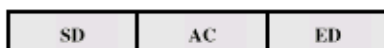


Token Ring IEEE 802.5 – Formato da Trama



SD = starting delimiter DA = destination address ED = ending delimiter
 AC = access control SA = source address FS = frame status
 FC = frame control FCS = frame check sequence

(a) General Frame Format



(b) Token Frame Format



J, K = non-data bits E = error-detected bit
 I = intermediate frame bit

(e) Ending Delimiter Field



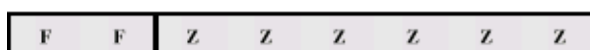
PPP = priority bits M = monitor bit
 T = token bit RRR = reservation bits

(c) Access Control Field



A = Address recognized bit rr = reserved
 C = Frame copied bit

(e) Frame Status Field



FF = frame-type bits ZZZZZZ = control bits

(d) Frame Control Field

Token Ring IEEE 802.5 – Formato de Trama

- ◆ *Starting Delimiter (SD) - JK0JK000*
 - » Início de trama
 - » J, K - símbolos não usados para dados
- ◆ *Access Control (AC) - PPPTMRRR*
 - » PPP e RRR são usados para indicar prioridade e reserva de prioridade
 - » M é usado por estação monitora
 - » T = 0 indica *token* livre, T = 1 indica *token* ocupado
- ◆ *Frame Control (FC) - FFZZZZZZ*
 - » F - tipo de trama, Z - controlo
- ◆ *Ending Delimiter (ED) - JK1JK1IE*
 - » J, K - símbolos não usados para dados
 - » I = 1 - trama intermédia, I = 0 - trama final
 - » E = 1 - detecção de erro
- ◆ *Frame Status (FS) - ACXXACXX*
 - » A - endereço reconhecido, C - trama copiada, X - não usado

Token Ring IEEE 802.5

- ◆ *Confirmação*
 - » Os bits A e C são usados para confirmação pelo receptor
- ◆ *Prioridades*
 - » Os bits P e R são usados para indicar / reservar níveis de prioridade
 - » São suportados 8 níveis de prioridade
 - » A estação que reservou o nível mais alto de prioridade é a primeira a obter um *token* livre
- ◆ *Libertação antecipada do token (early token release)*
 - » Se $a > 1$ para uma percentagem elevada de tramas, o protocolo de acesso torna-se muito ineficiente, o que justifica esta variante (usada a 16 Mbit/s)
 - O *token* é libertado imediatamente a seguir ao envio da trama
 - O mecanismo de prioridade é parcialmente destruído

Token Ring IEEE 802.5 – Eficiência

Single Token

- ♦ $a > 1$

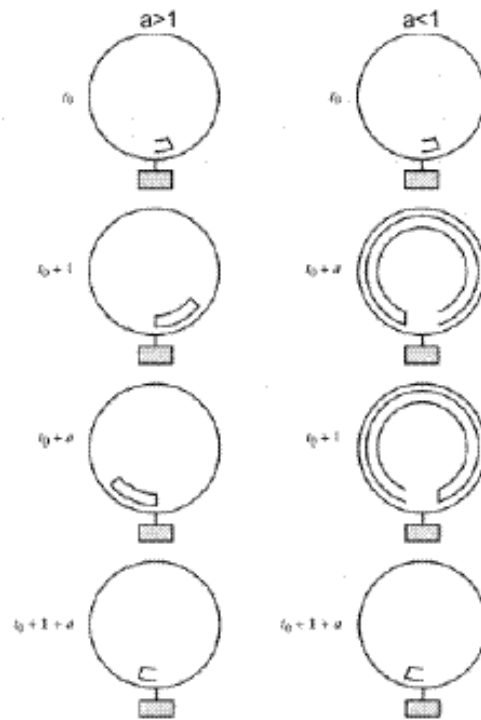
$$S = \frac{T_{frame}}{T_{prop} + T_{token}} = \frac{T_{frame}}{T_{prop} + \frac{T_{prop}}{N}} = \frac{1}{a + \frac{a}{N}}$$

- ♦ $a < 1$

$$S = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + T_{token}} = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + \frac{T_{prop}}{N}} = \frac{1}{1 + \frac{a}{N}}$$

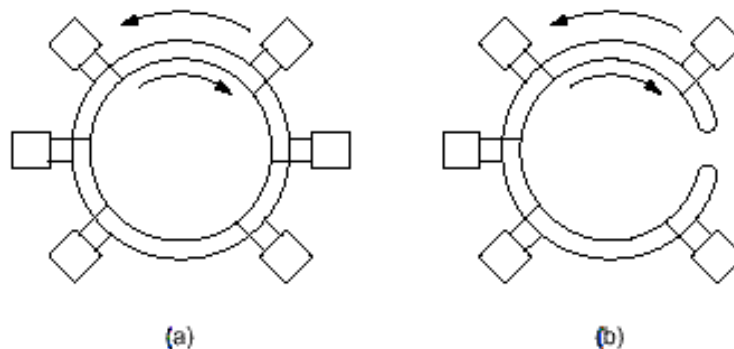
Early Token Release (Multiple Token)

$$S = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + T_{token}} = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + \frac{T_{prop}}{N}} = \frac{1}{1 + \frac{a}{N}}$$



FDDI – Fiber Distributed Data Interface

- » *Token Ring* a 100 Mbit/s (ANSI X3T9.5)
- » Topologia base - anel duplo
 - Dois anéis unidireccionais (Primário e Secundário), em sentidos opostos
 - Número máximo de estações: 500
 - Número máximo de nós (pontos de acesso): 1000
 - Perímetro máximo (anel Primário): 100 km
 - Distância máxima entre estações: 2 km



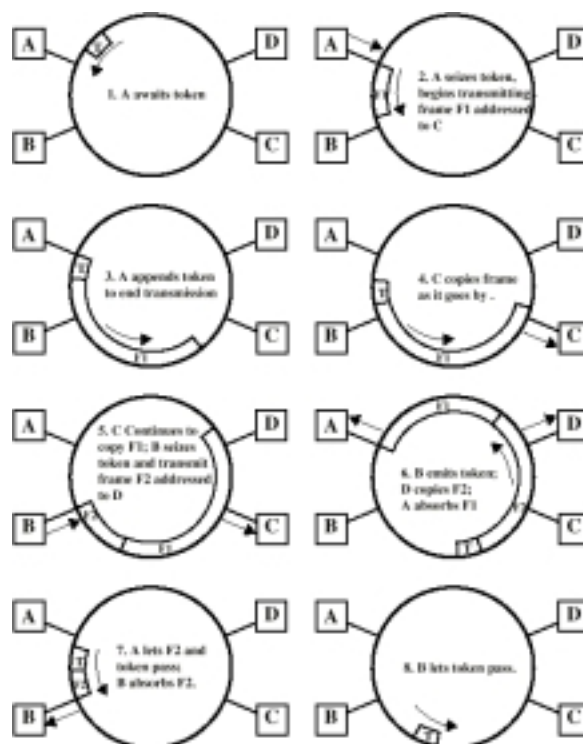
FDDI – Fiber Distributed Data Interface

- » Todas as estações devem ligar-se ao anel Primário. O anel Secundário está normalmente em *standby* (sem tráfego), sendo usado quando for necessário reconfigurar a rede
- » Definem-se dois tipos de estações
 - Classe A - ligam-se aos dois anéis
 - Classe B - ligam-se apenas ao anel Primário, ficando isoladas no caso de interrupção deste
- » Tendo em atenção a velocidade de operação e o perímetro máximo possível da rede, normalmente $a > 1$, pelo que em FDDI se usa um protocolo do tipo *Multiple Token*, isto é, o *token* é imediatamente libertado após a transmissão da última trama por parte da estação que o capturou
- » Para facilitar o processamento e reduzir a latência de cada estação, o *token* é removido e em seu lugar enviado *idle*, após a sua captura e antes do início da transmissão de tramas

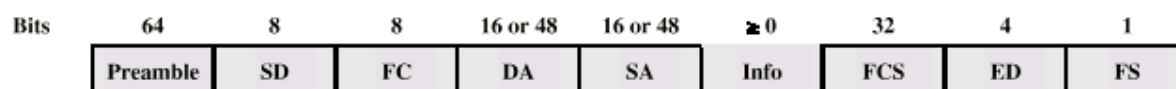
FDDI – Reconfiguração

- » Tal como no *Token Ring* IEEE 802.5, é possível usar *Wiring Concentrators* que facilitam a reconfiguração em caso de interrupção do Anel Primário ou de ambos os anéis
- » Os Concentradores podem ser estações de Classe A (*Dual attachment*) ou de Classe B (*Single attachment*)
- » Recorrendo a Concentradores, uma rede FDDI pode desenvolver-se numa topologia hierárquica com múltiplos níveis (*Dual Ring of Trees*). A rede pode igualmente constituir-se inicialmente com um único Concentrador, fechado sobre si próprio, a ligar as estações (*collapsed backbone*)
- » Reconfiguração
 - Se houver interrupção apenas do Anel Primário, as estações passam a transmitir no Anel Secundário
 - Se ocorrer uma interrupção dos dois anéis (no mesmo troço), as estações adjacentes à falha ligam o Anel Primário ao Secundário (o perímetro da rede praticamente duplica)
 - Se ocorrerem múltiplas interrupções dos dois anéis, a reconfiguração tem como consequência a formação de várias redes isoladas

FDDI – Operação



FDDI – Formato da Trama



(a) General Frame Format



(b) Token Frame Format

SD = starting delimiter

SA = source address

ED = ending delimiter

FC = frame control

FCS = frame check sequence

FS = frame status

DA = destination address

FDDI – Trama MAC

- ◆ *Preamble* - usado para sincronização
- ◆ *Starting Delimiter (SD)* - JK
 - » Símbolos de 4 bits não usados para dados (início de trama)
- ◆ *Frame Control (FC)* - CLFFZZZZ (bits)
 - » C - trama síncrona ou assíncrona
 - » L - endereços de 16 ou 48 bits
 - » FF - trama de dados LLC, controlo MAC ou reservada
 - » *Token* - FC = 10000000 ou FC = 11000000
- ◆ *Ending Delimiter (ED)* - T
 - » Símbolo (4 bits) não usado para dados (fim de trama)
- ◆ *Frame Status (FS)* - EAF
 - » Dois símbolos: (1) SET/TRUE; (2) RESET/FALSE
 - » E - erro detectado
 - » A - endereço reconhecido
 - » F - trama copiada

FDDI – Tipos de tráfego

- » A capacidade disponível é usada para suportar dois tipos de tráfego
 - Síncrono - débito médio e tempo de resposta garantidos; adequado para aplicações em que esses valores são previsíveis com antecedência, permitindo a sua negociação
 - Assíncrono - débito médio e tempo de resposta não garantidos (aplicações de dados em que o tempo de resposta não é crítico); a capacidade disponível (não usada pelo tráfego síncrono) é partilhada de forma dinâmica por tráfego assíncrono
- » Durante a inicialização do anel as estações negociam um valor do *Target Token Rotation Time* - TTRT; o menor valor proposto passa a ser o TTRT Operacional (T_Opr) do anel. Cada estação mantém dois *timers*
 - TRT - *Token Rotation Timer* (inicializado com o valor T_Opr)
 - THT - *Token Holding Timer* (só para acesso assíncrono)
- » Cada estação pode reservar uma fracção da capacidade R da rede ($f_i = R_i / R$) para tráfego síncrono, o que lhe confere um tempo máximo de transmissão por cada captura do token - $SA_i = f_i \cdot T_Opr$ ($\sum SA_i < T_Opr$, pois $\sum f_i < 1$)

FDDI – Protocolo de acesso

- » Quando o *Token* chega a uma estação com antecedência (TRT não expirou) é possível transmitir tráfego síncrono e assíncrono; THT é inicializado com o valor TRT corrente e TRT é reinicializado ($TRT = T_Opr$)
 - Tráfego Síncrono: a estação pode transmitir durante SA_i , isto é, de acordo com a fracção da capacidade que lhe foi atribuída (THT inibido)
 - Tráfego Assíncrono: a estação transmite até expirar THT, podendo, no entanto, concluir uma transmissão entretanto iniciada
- » Quando o *Token* chega atrasado, a estação apenas pode transmitir tráfego síncrono (como no caso anterior), mas TRT não é reinicializado
- » O protocolo garante
 - valor médio do tempo de rotação do token $< T_Opr$
 - valor máximo do tempo de rotação do token $< 2 \cdot T_Opr$

Slotted Ring (Empty Slot)

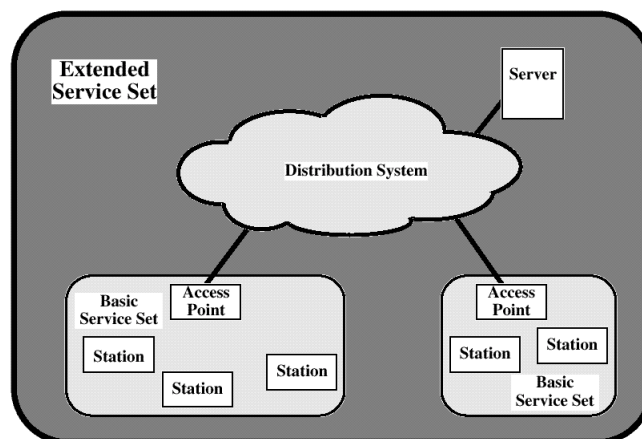
- » O anel é dividido num número inteiro de *slots*, de comprimento fixo, que circulam continuamente no anel (o número de slots é igual a a)
- » Cada *slot* pode ser ocupado por um pacote (ou fragmento)
- » O estado de cada *slot* (vazio / ocupado) é indicado por um bit no cabeçalho; os *slots* são inicialmente criados vazios
- » Uma estação pronta para transmitir espera a passagem de um *slot* vazio, altera o seu estado para ocupado e insere um pacote no respectivo *slot*
- » A libertação do *slot* (alteração do estado para vazio) pode ser feita pela estação de destino (*ORWELL Ring*) ou pela estação de origem (*Cambridge Ring*)
 - A libertação pela estação de origem tem a vantagem de permitir acesso *round robin* a um *slot*
 - A libertação pela estação de destino permite uma melhor utilização do anel, mas requer medidas adicionais para evitar acessos desequilibrados por parte das estações
- » Uma vez que os *slots* são independentes, é possível haver acessos simultâneos de várias estações se existirem vários *slots* a circular na rede
- » O protocolo de acesso é eficiente, mas essa vantagem perde-se em anéis com baixa latência (*Cambridge Ring*), em que o tamanho dos *slots* é de tal forma pequeno que o *overhead* do cabeçalho (controlo, endereços) é muito elevado

Token Bus

- » É possível usar um protocolo do tipo *Control Token* numa rede com topologia em barramento (*Token Bus*), por constituição de um anel lógico; é atribuído a cada estação um identificador lógico - cada estação tem um Antecessor lógico (do qual recebe o *token*) e um Sucessor lógico (ao qual envia o *token*)
- » O *token* tem de ser explicitamente passado entre estações, isto é, tem de ser endereçado (endereço MAC do Sucessor lógico da estação de posse do *token*)
- » Quando de posse do *token*, uma estação pode transmitir (se tiver tráfego), devendo a seguir libertar o *token*
- » A gestão de uma rede *Token Bus* é complexa
 - inicialização do anel lógico
 - adição e remoção de estações do anel lógico
 - recuperação de erros (interrupção do anel lógico, conflitos na aquisição do *token*, perda do *token*, múltiplos *tokens*, etc.)
- » O IEEE especificou uma rede *Token Bus* (IEEE 802.4), tendo em atenção os requisitos de aplicações industriais

LANs sem fios

- ♦ IEEE 802.11
- ♦ BSS - *Basic Service Set* (célula)
 - » Conjunto de estações que usam o mesmo protocolo MAC
 - » Competem pelo meio de transmissão
 - » Interligação
 - Célula isolada
 - Ligação através de *Access Point* (*bridging*)
- ♦ ESS - *Extended Service Set*
 - » Ligação de 2 ou mais BSS
 - » LLC vê uma única LAN lógica



Tipos de Mobilidade

- ◆ Sem transição
 - » Estação estacionária
 - » Estação move-se dentro de uma BSS

- ◆ Transição entre BSS
 - » Estação move-se dentro da mesma ESS

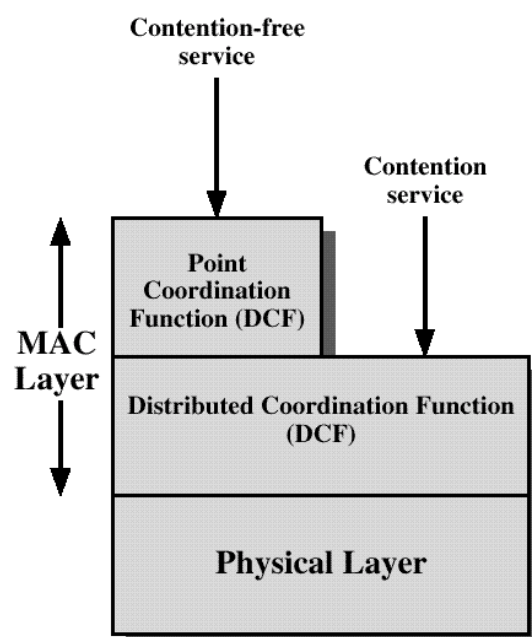
- ◆ Transição entre ESS
 - » Estação move-se entre BSS em ESS diferentes
 - » Interrupção de serviço

Medium Access Control - MAC

- ◆ DWFMAC - *Distributed wireless foundation MAC* (IEEE 802.11)

- ◆ DCF - *Distributed coordination function*
 - » CSMA
 - » Sem detecção de transição

- ◆ PCF - *Point coordination function*
 - » Centralizado
 - » Acesso sem contenção
 - » Usa serviços DCF



DCF

- ◆ CSMA (*listen before talk*)
- ◆ Estação com trama para transmitir

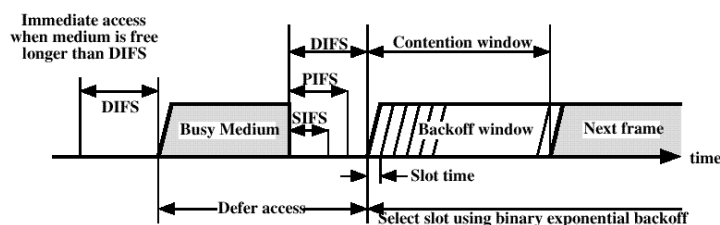
» Se meio livre

- Espera IFS (*Interframe Space*)
- Se ainda livre, transmite

» Se meio ocupado

- Continua a escutar
- Quando meio livre, espera IFS e monitora o meio novamente

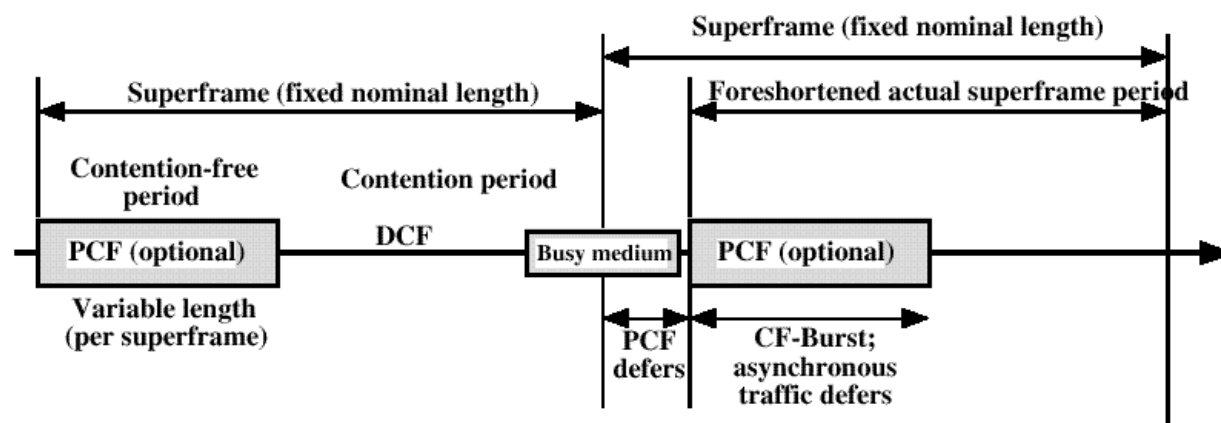
- ◆ Se livre
 - Atrasa tempo aleatório
 - Se ainda livre, transmite
- ◆ Se ocupado



- ◆ IFS

- Short IFS - ACK, CTS, resposta a *polling*
- PCF IFS - *polling* pelo *master*
- DCF IFS - contenção, assíncrono

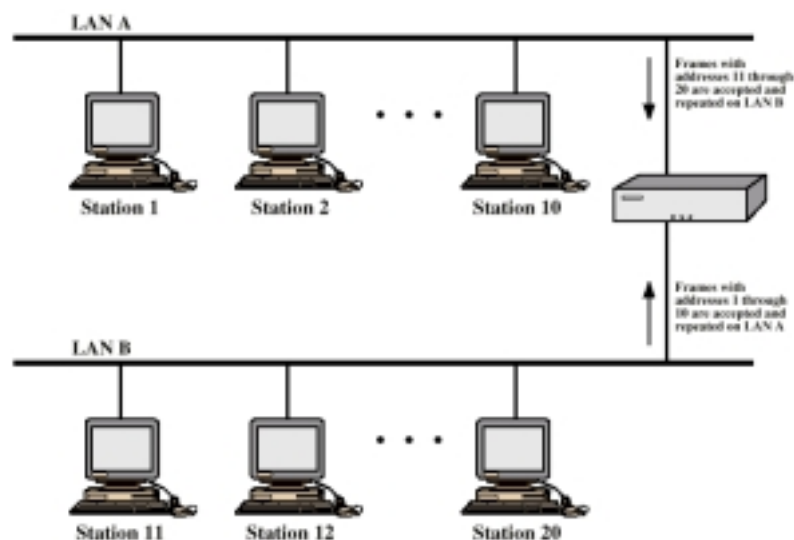
PCF



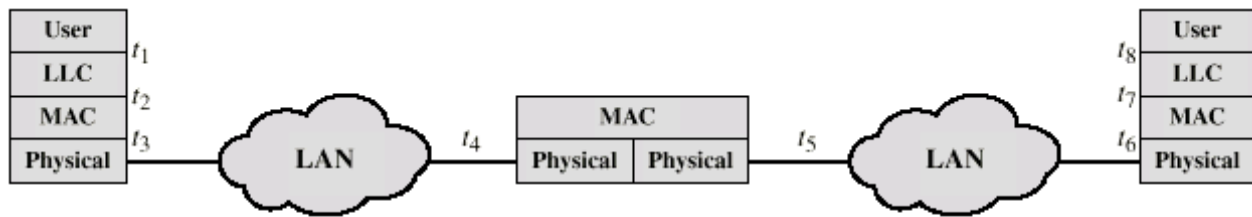
Bridges

- » A ligação de LANs a outras LANs / WANs pode ser realizada com recurso a *Routers* (encaminhamento de nível 3) ou *Bridges* (encaminhamento de nível 2)
- » *Bridge* simples
 - Liga LANs idênticas (mesmo nível físico e MAC); reconhece tramas destinadas a uma LAN diferente da LAN de origem e encaminha-as, sem alterar o conteúdo
- » *Bridge* inteligente
 - Liga LANs diferentes e converte entre formatos MAC
- » Uma rede constituída por várias LANs (segmentos) ligadas por *bridges* constitui um único domínio de difusão; as *bridges* isolam domínios de colisão
- » Razões para usar *bridges*
 - Segmentação da rede para melhorar a fiabilidade, o desempenho e a segurança
 - Ligação de LANs geograficamente separadas
- » Em LANs de grande dimensão é normal providenciar rotas alternativas entre estações, quer para distribuição de cargas quer para garantir tolerância a falhas
- » Uma *Bridge* tem que decidir se deve encaminhar uma trama e em caso afirmativo para que segmento(s) enviar a trama

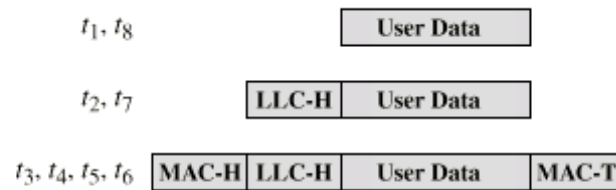
Bridges



Bridges - Arquitectura Protocolar

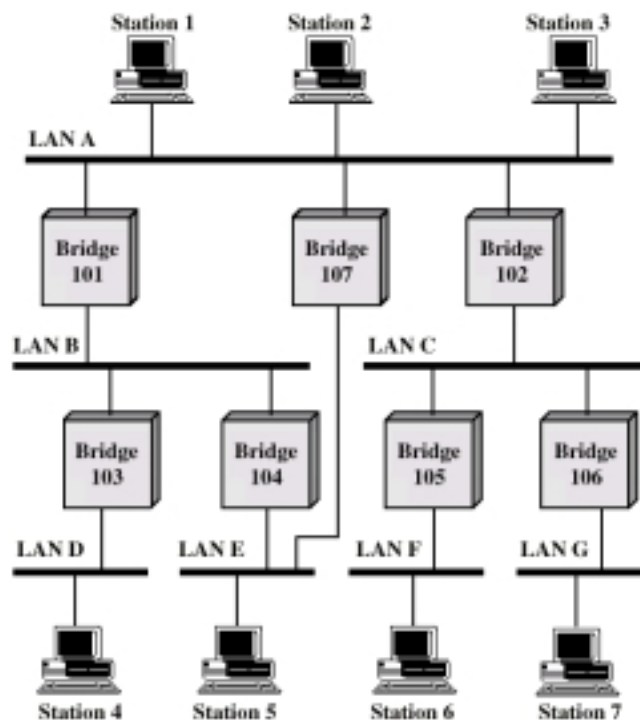


(a) Architecture



(b) Operation

Bridged LAN



Bridged LAN - Encaminhamento

◆ Encaminhamento fixo

- » É seleccionada uma rota para cada par de endereços MAC (origem, destino)
- » As *bridges* são configurada tipicamente com rotas que envolvem o menor número de *bridges*, sendo reconfiguradas no caso de alteração da topologia

◆ *Source Routing*

- » As tramas incluem a rota completa desde a estação de origem até à estação de destino, designando as *bridges* no percurso, que se limitam a encaminhar as tramas conforme prescrito
- » Este mecanismo não é transparente para as estações, que têm de participar activamente no processo de determinação de rotas
- » Este método é usado nas redes *Token Ring* IEEE 802.5

◆ *Spanning Tree - bridging* transparente

- » No mecanismo de *bridging* transparente, as *bridges* são invisíveis para as estações
- » Ainda que a topologia física seja fechada (rotas alternativas), a topologia lógica tem de ser aberta (*spanning tree*), sendo construída, mantida (e eventualmente reconfigurada) por um protocolo executado pelas *bridges*
- » Algumas portas das *bridges* são mantidas num estado bloqueado (*blocking*) enquanto que outras participam activamente no mecanismo de encaminhamento (*forwarding*)

Bridges Transparentes - Spanning Tree

◆ As *bridges* transparentes usam um processo de aprendizagem para construir as suas tabelas de encaminhamento de forma automática e dinâmica e adaptam-se a alterações topológicas

- » Aprendizagem de endereços (*learning*)
 - Quando uma trama é recebida numa porta, o respectivo endereço MAC de origem (SA) é lido e associado a essa porta numa tabela (*forwarding table*), significando que essa estação é alcançável através dessa porta (actualiza informação anterior, se presente)
 - As entradas da tabela são mantidas temporariamente, sendo eliminadas após um intervalo de tempo pré-definido em que não seja observada actividade da estação correspondente (*ageing*)
- » Encaminhamento de tramas (*forwarding*)
 - Quando uma trama é recebida numa porta, o respectivo endereço MAC de destino (DA) é lido e consultada a tabela de *forwarding* de todas as portas
 - Se não for encontrada qualquer porta com o endereço DA associado, a trama é enviada por todas as portas no estado *forwarding*, com excepção da porta de entrada
 - Se for encontrada uma porta com o endereço DA associado, a trama é enviada por essa porta, desde que esteja no estado *forwarding* e não seja a porta de entrada

Anexo

ALOHA - Eficiência

» S - Tráfego relativo transportado

- λ_{rx} - Taxa de pacotes transmitidos com sucesso

$$- S = \lambda_{rx} \times T_{frame}$$

» G - Tráfego relativo oferecido

- λ - Taxa de pacotes transmitidos com e sem sucesso

$$- G = \lambda \times T_{frame}$$

» Modelo de tráfego

- Processo de Poisson com população infinita

$$» S = G P_0$$

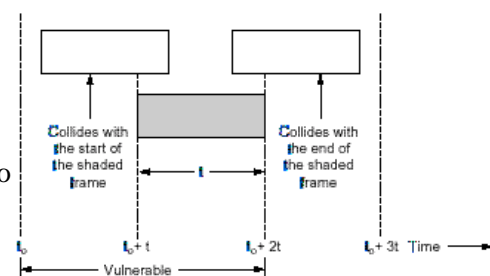
- P_0 - probabilidade de nenhum outro pacote ser gerado em $2 \times T_{frame}$ (período de vulnerabilidade)

$$P_k = P[k \text{ pacotes oferecidos em } 2 \times T_{frame}] = \frac{(\lambda 2T_{frame})^k e^{-\lambda 2T_{frame}}}{k!} = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$

$$P_0 = \frac{(2G)^0 e^{-2G}}{0!} = e^{-2G}$$

$$\max\left(\frac{S}{G}\right) \rightarrow \frac{dS}{dG} = 0 \Leftrightarrow e^{-2G}(1-2G) = 0 \Leftrightarrow G = \frac{1}{2}$$

$$S_{\max} = \frac{1}{2e} = 18,4\%$$



Slotted ALOHA - Eficiência

- Período de vulnerabilidade - T_{frame}

$$P_k' = P[k \text{ pacotes oferecidos em } T_{frame}] = \frac{(\lambda T_{frame})^k e^{-\lambda T_{frame}}}{k!} = \frac{(G)^k e^{-G}}{k!}$$

$$P_0' = \frac{(G)^0 e^{-G}}{0!} = e^{-G}$$

$$S = GP_0' = Ge^{-G}$$

$$\max\left(\frac{S}{G}\right) \rightarrow \frac{dS}{dG} = 0 \Leftrightarrow G = 1$$

$$S_{\max} = \frac{1}{e} = 36,8\%$$

CSMA/CD - Eficiência

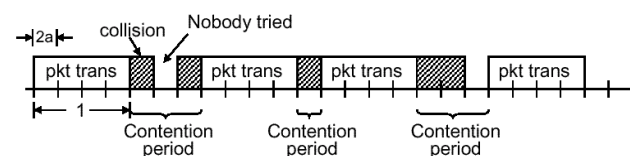
- Eficiência $S = \frac{n_{tx}}{n_{tx} + E[n_{cont}]}$

$$T_{slot} = 2 \times T_{prop}$$

$$n_{tx} = \frac{T_{frame}}{T_{slot}} = \frac{T_{frame}}{2 \times T_{prop}} = \frac{1}{2a}$$

- $A = \binom{N}{1} P^1 (1-P)^{N-1} = NP(1-P)^{N-1}$

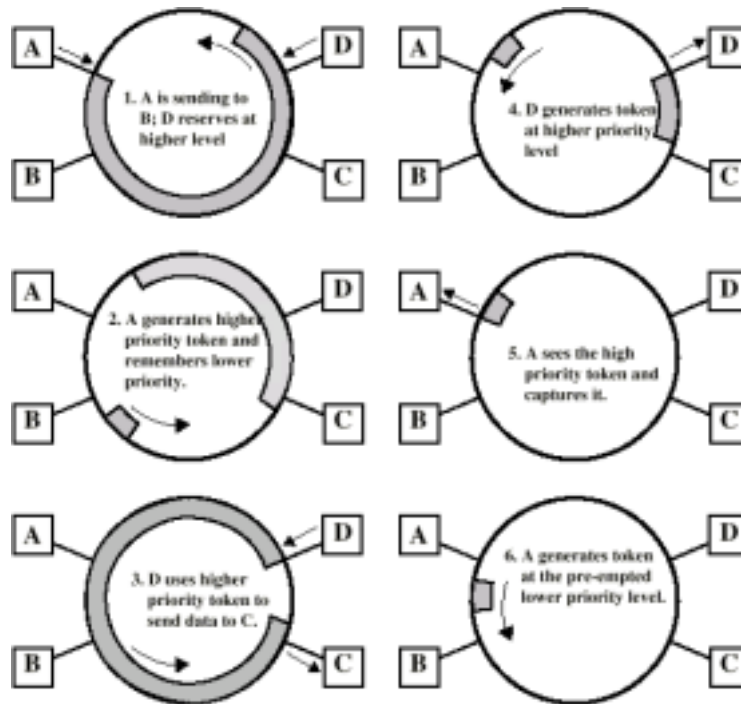
- » P - Probabilidade de uma estação transmitir num slot
- » A - Probabilidade de exactamente uma estação transmitir num slot e adquirir o meio



- $E[n_{cont}] = \sum_{i=1}^{\infty} i(1-A)^i A = \frac{1-A}{A} \Rightarrow S = \frac{1/2a}{1/2a + (1-A)/A} = \frac{1}{1 + 2a(1-A)/A}$

- $P=1/N \Rightarrow A_{MAX} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} \lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} = \frac{1}{e} \Rightarrow \lim_{N \rightarrow \infty} S = \frac{1}{1 + 3.44a}$

Token Ring - Mecanismo de Prioridades



FDDI – Exemplo de Operação

SA1 = 20				SA2 = 20				SA3 = 20				SA4 = 20			
Arrival Time	TRT	Sync	Async	Arrival Time	TRT	Sync	Async	Arrival Time	TRT	Sync	Async	Arrival Time	TRT	Sync	Async
0	100	0	0	1	100	0	0	2	100	0	0	3	100	0	0
4	96	20	96	121	80*	20	0	142	60*	20	0	163	40*	20	0
184	20*	20	0	205	96*	20	0	226	76*	20	0	247	56*	20	0
268	36*	20	0	289	12	20	12	322	80*	20	0	343	60*	20	0
364	40*	20	0	385	4	20	4	410	92*	20	0	431	72*	20	0
452	52*	20	0	473	12	20	16	506	96*	20	0	527	76*	20	0
548	56*	20	0	569	4	20	4	594	8	20	8	623	80*	20	0
644	60*	20	0	665	4	20	4	690	4	20	4	715	88*	20	0
736	68*	20	0	757	8	20	8	786	4	20	4	811	82*	20	0
832	72*	20	0	853	4	20	4	878	8	20	8	907	96*	20	0
928	76*	20	0	949	4	20	4	974	4	20	4	999	4	20	4
1024	80*	20	0	1045	4	20	4	1070	4	20	4	1095	4	20	4

* LC = 1; otherwise LC = 0