

Local Area Networks

*FEUP/DEEC
Redes de Computadores
MIEIC – 2009/10
José Ruela*

LANs – Local Area Networks

- » As LANs desenvolveram-se a partir de meados da década de 1970, com o objectivo de satisfazer as necessidades de comunicação de dados em empresas
 - As soluções então disponíveis em WANs não eram adequadas para ambiente LAN
 - Era possível explorar soluções alternativas, na altura não viáveis em WANs

- » 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 e a própria infraestrutura de comunicação)
 - 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 e tecnológicas orientadas para a satisfação dos seguintes requisitos típicos
 - Suporte de débitos elevados (actualmente da ordem de 1 a 10 Gbit/s)
 - Suporte de grande número de sistemas
 - Elevada disponibilidade
 - 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 (*fairness*) 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

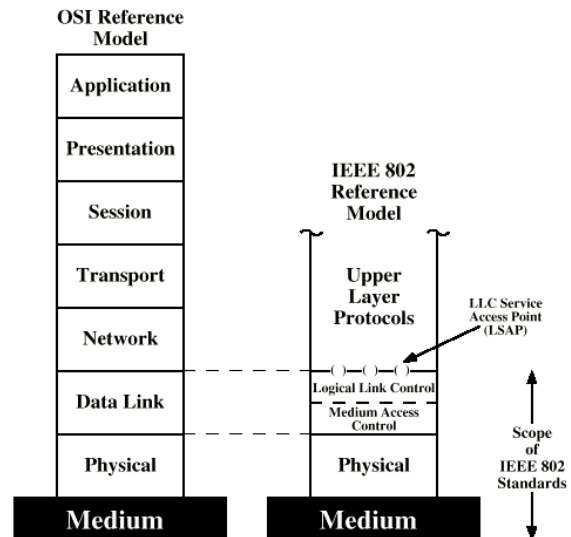
LANs – atributos

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

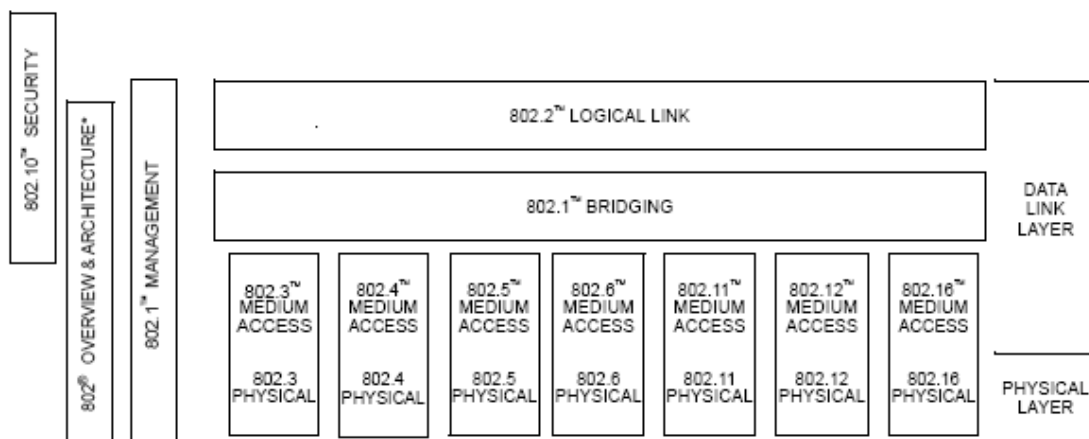
- São redes privadas
- Podem cobrir distâncias até algumas dezenas de km – algumas soluções adoptadas em LANs são igualmente viáveis em redes de área metropolitana (MANs – *Metropolitan Area Networks*)
- Oferecem ampla gama de débitos (10 / 100 Mbit/s, 1 / 10 Gbit/s)
- Utilizam topologias simples que permitem um elevado grau de conectividade entre sistemas e partilha eficiente de recursos de transmissão
- Utilizam meios de transmissão muito diversos
 - » Guiados: pares de cobre, cabo coaxial, fibra óptica
 - » Não guiados / comunicação sem fios (*wireless*): rádio frequências, infravermelhos
- 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 (*framing*)
 - Reconhecimento de endereços “físicos”
 - Detecção de erros
- » Camada Física
 - Codificação / decodificação de sinais
 - Transmissão / recepção de bits
 - Interface de acesso ao meio de transmissão
 - Interligação de sistemas (topologia física)



Arquitetura IEEE 802 – protocolos



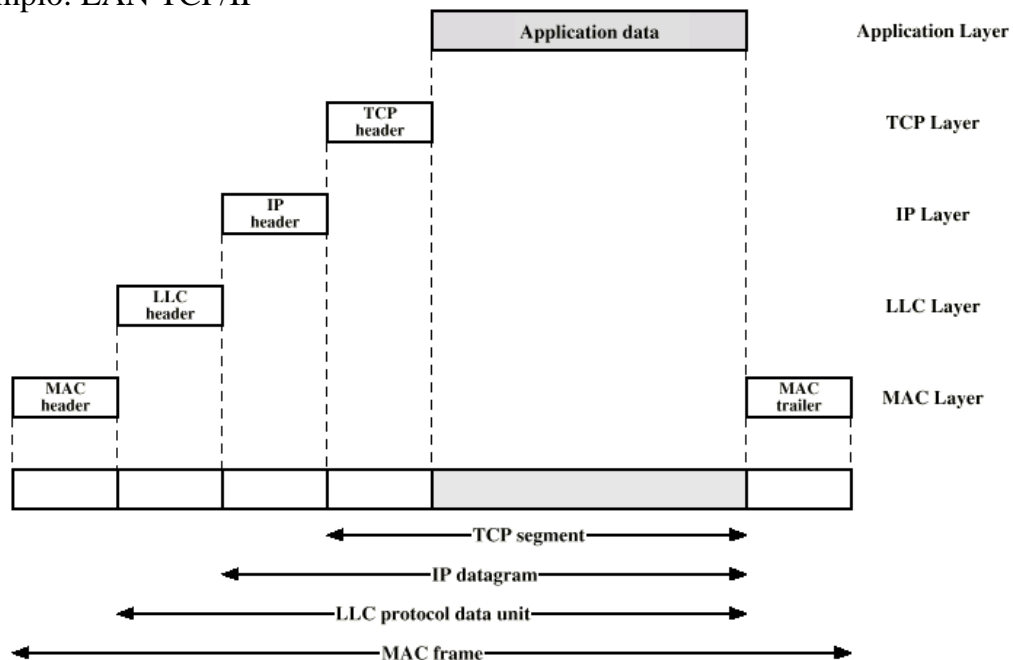
* Formerly IEEE Std 802.1A.

Arquitetura IEEE 802 – protocolos

- IEEE 802.1 *LAN/MAN architecture; internetworking among LANs, MANs and WANs; link security; network management; protocol layers above MAC / LLC*
- IEEE 802.2 *Logical Link Control*
- IEEE 802.3 *CSMA/CD (Ethernet)*
- IEEE 802.4 *Token Bus*
- IEEE 802.5 *Token Ring*
- IEEE 802.6 *Distributed Queue Dual Bus (DQDB)*
- IEEE 802.10 *Security*
- IEEE 802.11 *Wireless LAN*
- IEEE 802.12 *Demand Priority*
- IEEE 802.15 *Wireless Personal Area Network*
- IEEE 802.16 *Broadband Wireless Access*
- IEEE 802.17 *Resilient Packet Ring (RPR)*
- IEEE 802.20 *Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)*

Encapsulamento de dados

Exemplo: LAN TCP/IP



Medium Access Control (MAC)

- » A lógica de controlo (protocolo) de acesso ao meio pode ser
 - Centralizada
 - » Permite controlo mais completo (visão global da rede)
 - » A lógica nas estações é mais simples
 - » Evita problemas de coordenação entre estações
 - » O elemento central é um ponto de falha único (se não existir redundância)
 - » O elemento central é um ponto focal de congestionamento
 - Distribuída
 - » É mais robusta
 - » É mais eficiente (menor *overhead* de controlo)

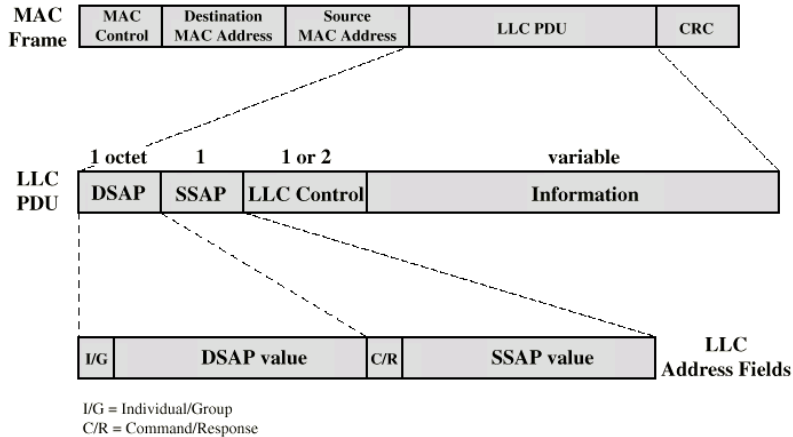
- » Técnica de acesso ao meio
 - Síncrona
 - » Capacidade de transmissão fixa atribuída previamente a cada estação
 - Assíncrona
 - » Em resposta a um pedido, explícito ou implícito (*round robin*, reserva, contenção)

Acesso assíncrono

- | | Exemplos |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> » Rotativo (<i>round robin</i>) <ul style="list-style-type: none"> – Adequado para transmissões prolongadas de várias estações – Permite atribuir o meio a cada estação, por períodos curtos, de forma ordenada e sem conflitos (centralizado ou distribuído) | <ul style="list-style-type: none"> » <i>Polling</i> distribuído (<i>Control Token</i>) <ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.4 (<i>Token Bus</i>) • IEEE 802.5 (<i>Token Ring</i>), FDDI (<i>Fiber Distributed Data Interface</i>) » <i>Polling</i> centralizado <ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.11 |
| <ul style="list-style-type: none"> » Reserva <ul style="list-style-type: none"> – Adequado para tráfego contínuo (em particular tráfego isócrono) | <ul style="list-style-type: none"> » IEEE 802.6 – DQDB (<i>Distributed Queue Dual Bus</i>) |
| <ul style="list-style-type: none"> » Contenção (<i>contention / random access</i>) <ul style="list-style-type: none"> – Adequado para tráfego <i>bursty</i> – Baseado na competição e resolução distribuída de conflitos (colisões) entre estações – Eficiente para cargas moderadas, mas instável para cargas elevadas | <ul style="list-style-type: none"> » IEEE 802.3 (CSMA/CD) » IEEE 802.11 (CSMA/CA) |

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

- » São endereços não estruturados (*flat* – ausência de hierarquia)
- » Não têm qualquer relação com a localização física da estação na rede
- » São endereços “físicos” (ou de *hardware*) uma vez que identificam a carta de interface (mas 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

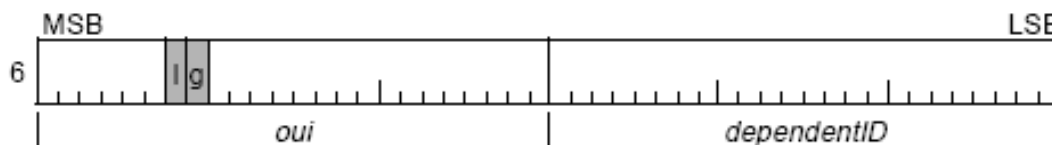
- *Unicast*
- *Multicast*
- *Broadcast*

- » Uma estação tem associado um endereço *unicast* (único na sua subrede); pode pertencer a vários grupos *multicast* (ou a nenhum) e aceita todas as tramas com endereço *broadcast* (difusão) na sua subrede

» Formatos

- Dois octetos – administrados localmente
- Seis octetos – administrados globalmente (IEEE) ou localmente
 - » A administração global garante unicidade numa rede constituída por várias subredes
 - » O IEEE atribui gamas de endereços globais aos diferentes fabricantes

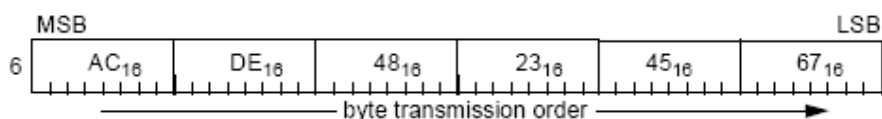
Endereços MAC – atribuição



- OUI – *Organizationally Unique Identifier*
- *l* – administração local (1) / universal (0)
- *g* – endereço de grupo (1) / individual (0)

Exemplo

OUI value: AC-DE-48
 Organization assigned extension: 23-45-67



Controlo da Ligação Lógica (LLC) – IEEE 802.2

» Características

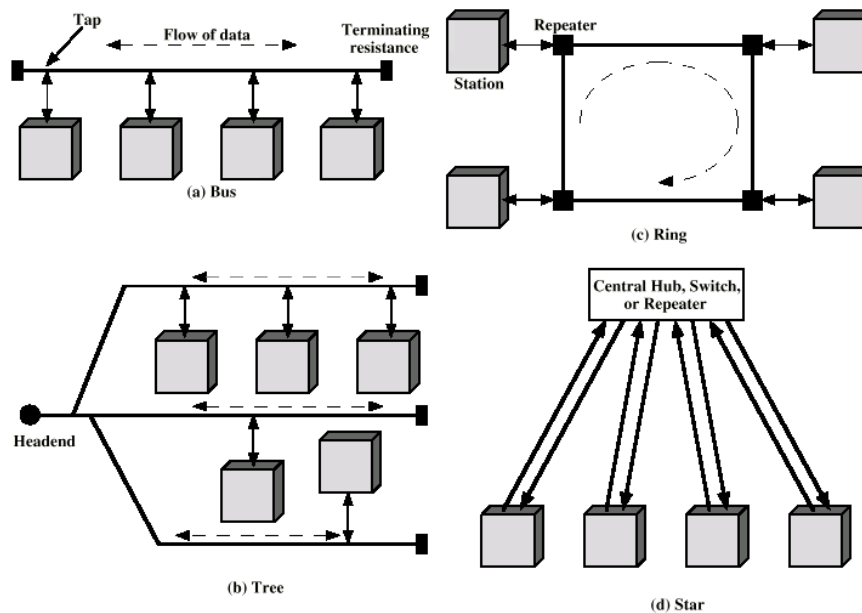
- Fornece serviço independente da tecnologia de subrede e do serviço MAC
- Define um único formato para encapsular dados e identificar protocolos encapsulados
- Endereçamento
 - » DSAP / SSAP (*Destination / Source Service Access Point*)

» Serviços

- LLC1 – não confirmado, sem conexão (*unacknowledged connectionless service*)
 - » É o mais comum (suportado obrigatoriamente em todas as LANs IEEE 802)
 - » Usa tramas do tipo *Unnumbered Information*
- LLC2 – com conexão (*connection-mode service*)
 - » Suporta controlo de erros (serviço fiável) e controlo de fluxo
 - » Baseado em HDLC
- LLC3 – confirmado, sem conexão (*acknowledged connectionless service*)

Topologias

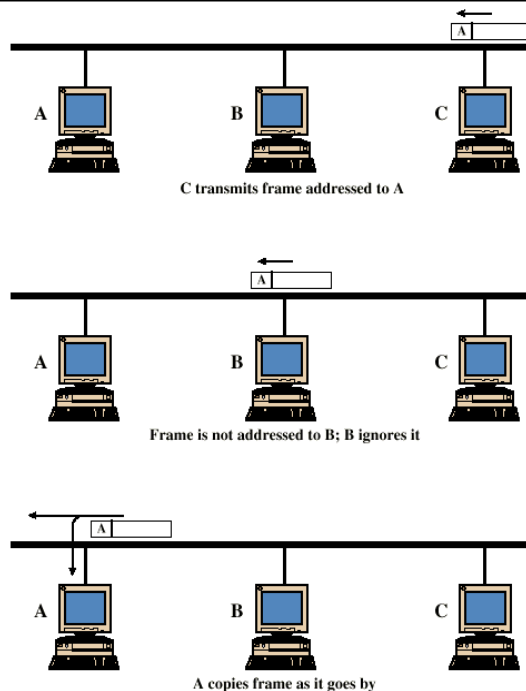
Topologias básicas: barramento (*bus*), árvore (*tree*), anel (*ring*), estrela (*star*)



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 a estação e o ponto de acesso (*transceiver*)
- » Funcionamento *half-duplex*
 - A transmissão e recepção simultânea de tramas no mesmo ponto de acesso é um indício de ocorrência de colisão (mais do que uma estação a transmitir)
 - O protocolo de acesso deve garantir um funcionamento lógico *half-duplex*
- » O sinal no extremo do meio é absorvido por um terminador (evita reflexões)

Topologia em barramento

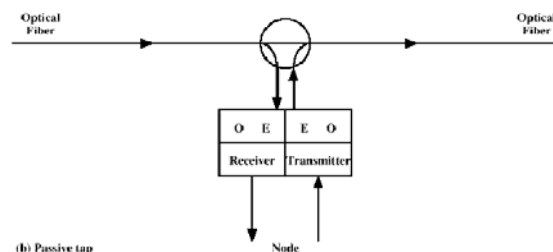
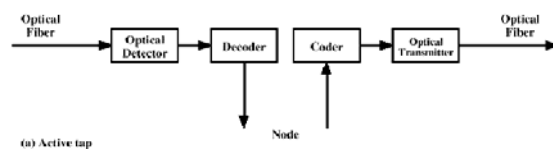


LANs em barramento

- » A potência do sinal emitido deve cumprir vários requisitos
 - Considerando a atenuação no meio, deve ser compatível com a sensibilidade e a gama dinâmica dos receptores, garantindo 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 permitir satisfazer as combinações possíveis de localização de estações (emissores e receptores) 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 e repetidores (*hubs*) que realizam a difusão do sinal; a solução mais usual 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

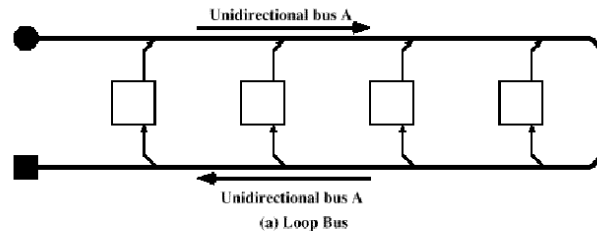
- » Acoplamento activo
 - O barramento é realizado com ligações ponto a ponto entre repetidores e inclui conversores óptico-eléctricos e electro-ópticos
 - As estações ligam-se ao meio através dos repetidores
- » Acoplamento passivo
 - Acopladores direccionais (com 3 ou 4 portas) permitem derivar e injectar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



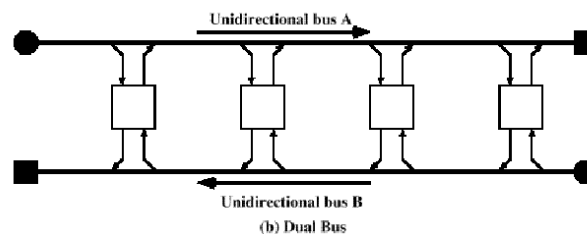
Barramentos unidireccionais

Configurações usadas com fibra óptica ou com cabo coaxial

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

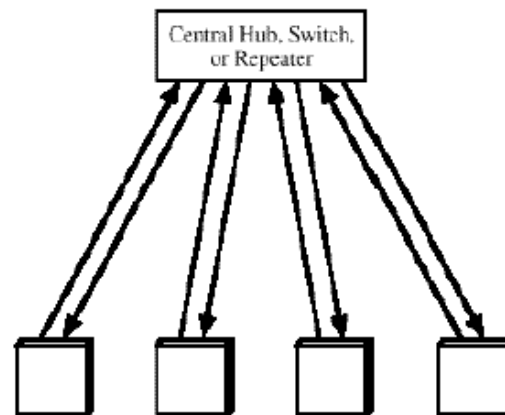


- » Barramento duplo
(*dual bus*)



Topologia em estrela

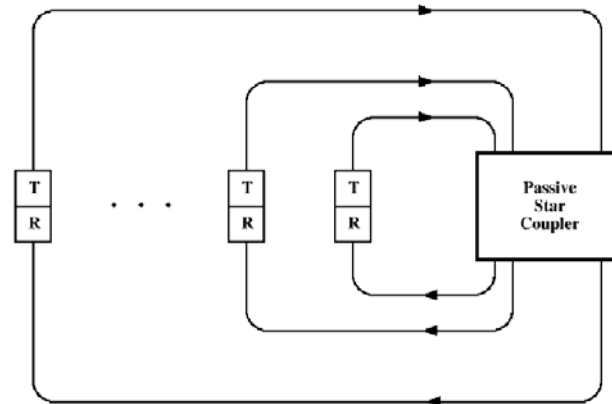
- » Cada estação liga-se a um elemento central
 - Duas ligações ponto a ponto (2 pares) para transmissão e recepção, respectivamente
- » O elemento central pode ser um repetidor multiporta (*hub*) ou um comutador
- » Repetidor
 - Repete (difunde) o sinal recebido numa porta em todas as outras portas
 - Logicamente equivalente a um barramento
 - É 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 MAC de destino); pode ainda copiar uma trama para várias portas de saída
 - Funcionamento *full-duplex*



(d) Star

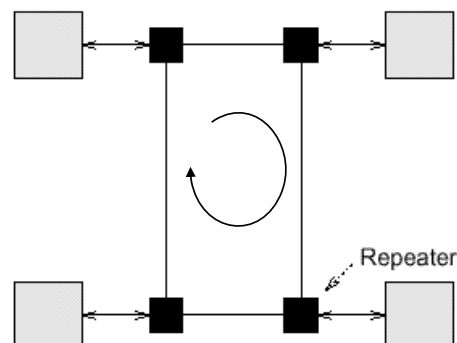
Estrela de fibra óptica

- » Estrela realizada com acoplador óptico passivo (*star coupler*)
 - Dispositivo com N entradas e N saídas
- » O sinal óptico aplicado numa entrada é dividido de forma aproximadamente igual pelas saídas
 - A atenuação do sinal é provocada pela divisão de potência mas também pelas 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



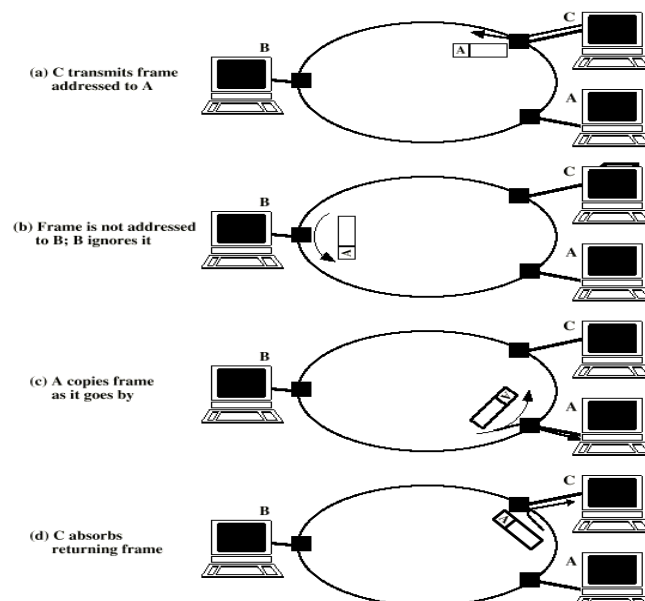
Topologia em anel

- » 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 – remover uma trama significa que a trama não é retransmitida pelo repetidor

- » É necessário um 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 (completas ou não) 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 imunidade a erros e permite cobrir maiores distâncias
 - É possível usar cabo coaxial, par entrançado 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, deteção de falhas)
 - Provoca alterações não controladas do comprimento do anel (e portanto da latência)
- » Necessário mecanismo de remoção de tramas

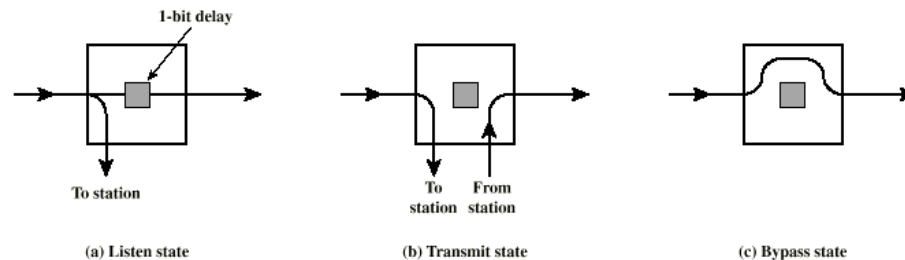
Funções dos repetidores

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*

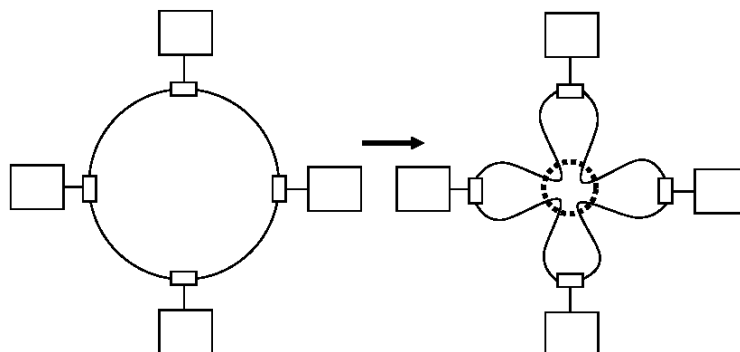
Estados de um repetidor

- » Escuta
 - Procura padrões de bits (endereços e bits associados ao protocolo de acesso)
 - Copia uma trama para a estação quando reconhece que a trama lhe é endereçada
 - 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 uma estação inactiva, que assim não contribui com atraso (latência) adicional
 - Em caso de falha permite isolar um repetidor e a estação correspondente



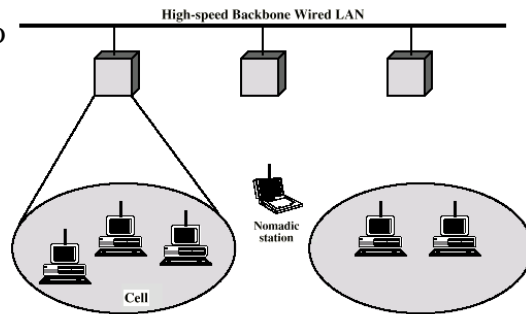
Star Ring – anel-em-estrela

- » 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)

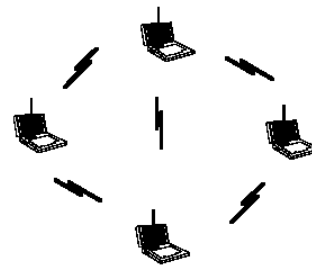


LANs sem fios

- » Transmissão por propagação no espaço livre
- » Aplicações
 - Extensão de LANs
 - Interligação de edifícios
 - Acesso de terminais móveis
 - Redes *ad-hoc*
- » Requisitos específicos
 - Reduzido consumo de energia
 - Robustez e segurança de transmissão
 - Espectro não licenciado
 - Configuração dinâmica
- » Tecnologias
 - Infravermelhos, *spread spectrum*, rádio frequências



(a) Infrastructure Wireless LAN

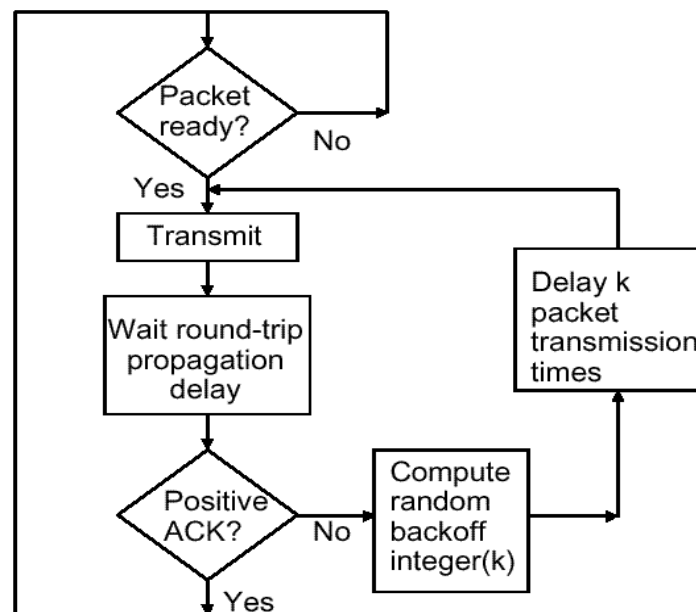


(b) Ad hoc LAN

ALOHA

- » A rede Aloha (*packet radio*) foi desenvolvida na Universidade do Hawaii com o objectivo de ligar terminais remotos a um computador central
- » Estação emissora – quando tem uma trama pronta para transmitir, transmite incondicionalmente (*talk when you please*)
 - Transmissões simultâneas provocam colisões, mas com a rede pouco carregada o atraso no acesso ao meio é pequeno visto a probabilidade de colisões ser baixa
- » Estação receptora – confirma tramas correctamente recebidas (ACK positivo)
- » Detecção de colisões
 - A 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 predefinido, 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



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

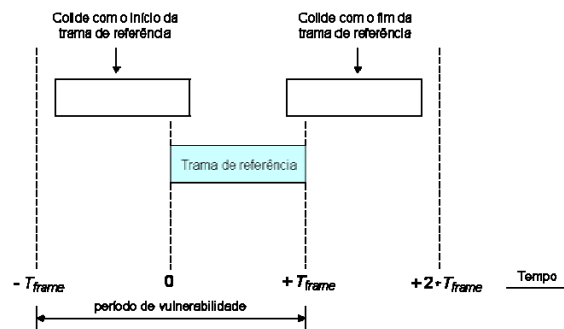
» Eficiência

- S – tráfego útil (relativo) transmitido, ou seja, representa a eficiência do protocolo
 - » 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*

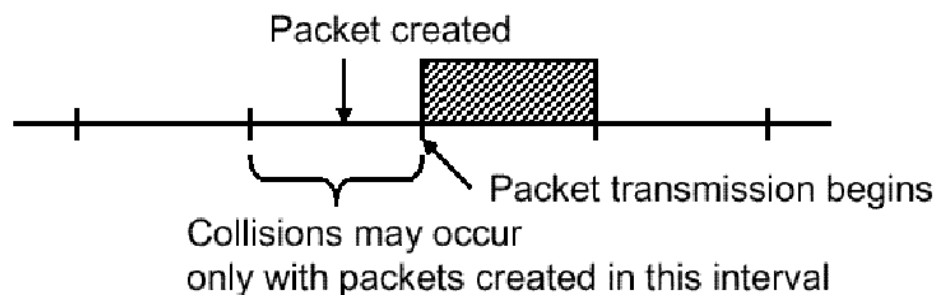
- Necessário mecanismo para distribuir às estações um sinal de sincronização de início dos *time slots*
- Quando uma estação tem uma trama pronta a transmitir, espera pelo início do próximo *time slot* e transmite incondicionalmente
- Não ocorrem colisões parciais – ou não há colisão ou a colisão é total,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

» Eficiência

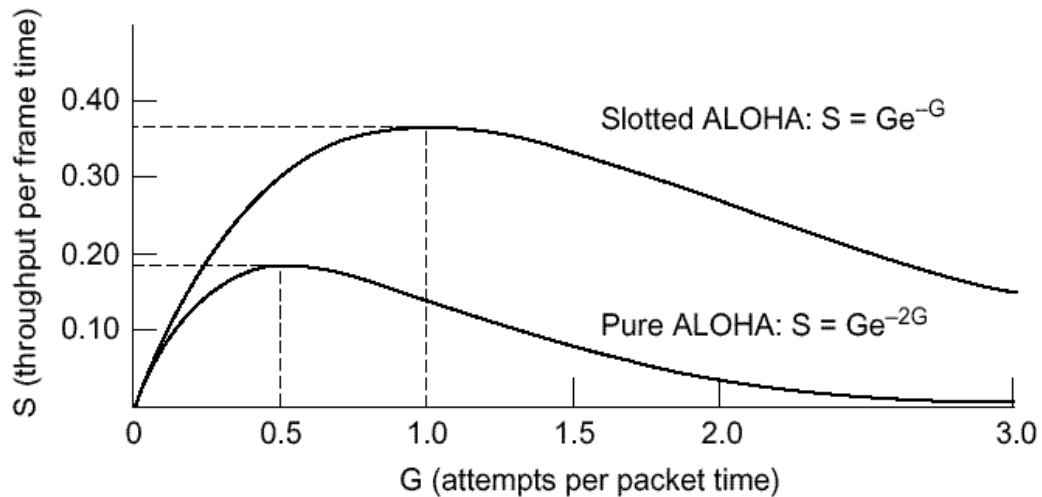
$$S = G e^{-G}$$

» Eficiência máxima

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



Aloha e Slotted ALOHA – eficiência

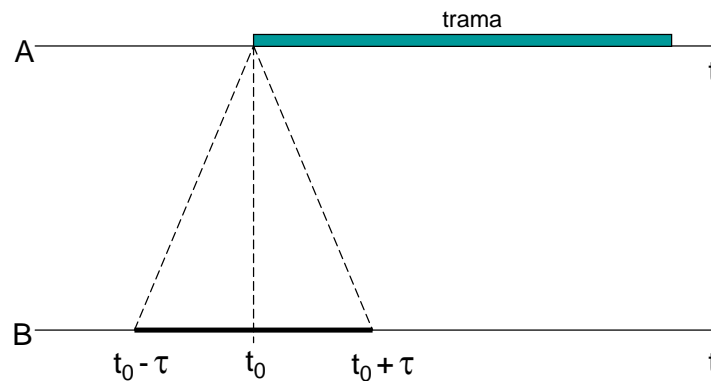


Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- » Nos protocolos do tipo CSMA uma estação escuta o meio (*carrier sense*) antes de transmitir (*listen before talk*) – não inicia uma transmissão (defer) se tiver detectado que outra transmissão está em curso (meio ocupado), evitando assim uma colisão certa
- » A escuta do meio não evita o risco de colisões, pois é possível que diferentes estações iniciem transmissões presumindo que o meio está livre
- » Nas condições mais desfavoráveis, o período de vulnerabilidade de uma estação (ou seja, susceptibilidade a colisões), é igual ao *round trip time* (2τ) no meio
 - Se não se iniciar outra transmissão durante o período de vulnerabilidade, a estação adquire o meio em exclusividade e a transmissão é concluída com sucesso, o que constitui uma melhoria significativa em relação a Aloha (uma trama é vulnerável durante τ , após início da respectiva transmissão, isto é, durante o tempo em que se propaga no meio)
 - O uso de CSMA é recomendado quando o período de vulnerabilidade é muito menor que o tempo de transmissão de uma trama ($2\tau \ll T_{frame}$), ou seja, quando $a = \tau / T_{frame} \ll 1$, situação comum em LANs de baixa velocidade e com pequeno diâmetro, mas o desempenho degrada-se quando a aumenta
- » As colisões não são detectadas durante a transmissão, isto é, uma estação completa sempre uma transmissão que tenha iniciado (mesmo que venha a ocorrer uma colisão)
- » As colisões são detectadas indirectamente – após concluir uma transmissão, uma estação fica à espera de uma confirmação (ACK) durante um intervalo de tempo que não deve ser inferior a 2τ
 - Se não receber qualquer confirmação (o que pode dever-se à ocorrência de uma colisão ou outra causa), retransmite a trama após um intervalo de tempo aleatório (até um número máximo de vezes predefinido)

CSMA – período de vulnerabilidade

- » Se A iniciar uma transmissão em t_0 , tal será reconhecido por B em $t_0 + \tau$, e B não inicia qualquer transmissão após $t_0 + \tau$
- » Se B iniciar uma transmissão antes de $t_0 - \tau$, tal será reconhecido por A antes de t_0 e A não inicia a transmissão em t_0
- » A transmissão de A pode colidir com uma transmissão de B iniciada durante o intervalo $] t_0 - \tau, t_0 + \tau [$ de duração 2τ (período de vulnerabilidade) – uma eventual colisão ocorre algures no meio num instante no intervalo $] t_0, t_0 + \tau [$



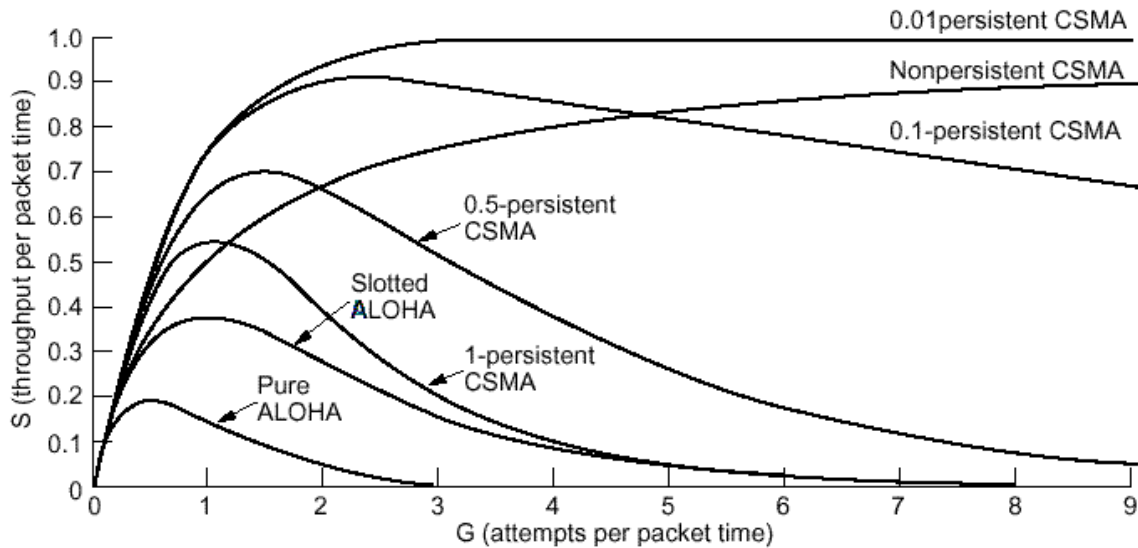
CSMA – variantes

- » Persistente
 - Se meio livre: transmite
 - Se meio ocupado: espera até ficar livre e transmite

Quando a rede está moderadamente carregada e $a \ll 1$, a probabilidade de duas estações iniciarem transmissões durante o período de vulnerabilidade é pequena, excepto se estiverem à espera que termine uma transmissão em curso (este problema é minimizado com variantes não persistentes)
- » Não persistente
 - Se meio livre: transmite
 - Se meio ocupado: espera intervalo de tempo aleatório e repete o algoritmo
- » p-persistente
 - *Slot time* = *round trip time* máximo 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 antes ter encontrado o meio livre e ter deferido, espera intervalo de tempo aleatório e repete o algoritmo desde o início
 - Se meio ocupado: espera até ficar livre e aplica o algoritmo

CSMA – eficiência

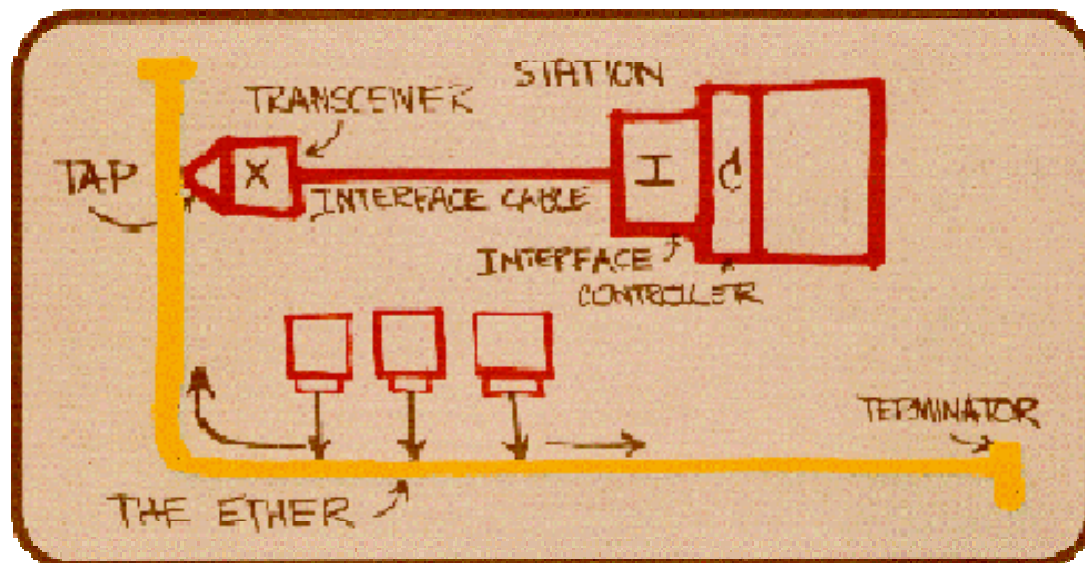
CSMA não persistente – $S = G / (1 + G)$ (se $a = 0$)



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
 - Adotar um protocolo de acesso ao meio inovador – CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) – que constituía uma evolução de protocolos de acesso múltiplo do tipo contenção, como o Aloha e o CSMA
- » A especificação produzida em 1980 pela DEC, Intel e Xerox (DIX) definiu uma velocidade de transmissão de 10 Mbit/s, em segmentos de cabo coaxial com comprimento máximo igual a 500 m, podendo ser coberta 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 processou-se em várias direcções
 - 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*)
 - Utilização de comutadores (*switches*) substituindo total ou parcialmente os *hubs*, sem necessidade de substituir a infra-estrutura de cabos instalada
 - Aumento da velocidade de operação para 100 Mbit/s (*Fast Ethernet*), 1 Gbit/s (*Gigabit Ethernet*) e 10 Gbit/s (*10G Ethernet*)

Ethernet



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

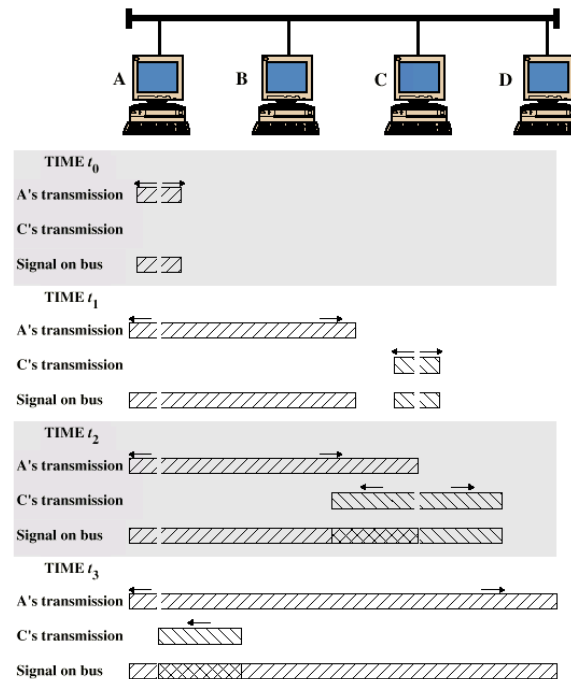
- » O protocolo CSMA/CD (usado na Ethernet e adoptado pelo IEEE 802.3) baseia-se na detecção de colisões durante a transmissão – se ocorrer, uma colisão é detectada durante um intervalo 2τ (período de vulnerabilidade) após o início da transmissão
 - O período de vulnerabilidade é usado como unidade de tempo (*slot time*) para sincronizar as tentativas de retransmissão das estações após a ocorrência de uma colisão
- » Uma estação escuta o meio antes de transmitir (*carrier sense*)
 - Se o meio estiver livre, inicia a transmissão
 - Se o meio estiver ocupado, espera até que fique livre e inicia a transmissão (persistente)
 - » O mecanismo de detecção de colisões evita os problemas do CSMA persistente
- » Uma estação continua a escutar o meio durante o *slot time* de contenção, após o início de uma transmissão (*listen while talk*)
 - Se não for detectada qualquer colisão durante esse intervalo, a estação pode completar a transmissão sem qualquer risco de colisão
 - Se for detectada uma colisão, esta é reforçada (*jamming*), a estação aborta a transmissão e escalona (atrasa) a retransmissão da trama de acordo com um algoritmo designado *binary exponential back-off*
 - Na primeira tentativa de transmissão, o algoritmo é persistente ($p = 1$), mas após cada colisão a probabilidade de acesso p é reduzida a metade da anterior ($p = 1 / 2^n$) e a estação selecciona com probabilidade p um dos 2^n slots de contenção seguintes para iniciar a transmissão, caso o meio não tenha sido entretanto ocupado (n é o número de colisões sofridas por uma trama; $n = 0$ para a primeira tentativa de acesso)

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

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

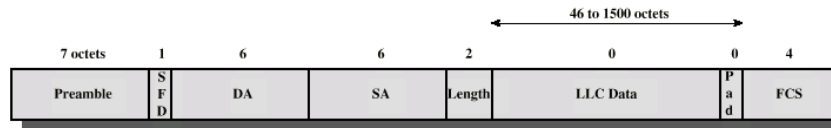
- » Detecção de colisão num *hub*
 - Actividade em mais do que uma porta
 - O *hub* gera sinal de presença de colisão



CSMA/CD – eficiência

- » τ – tempo de propagação no cabo (extremo a extremo)
- » 2τ – *round-trip time* = *slot time* de contenção
- » T_f – tempo de transmissão de uma trama
- » s – número médio de *slots* de contenção necessários para aquisição do meio
- » Eficiência
 - $S = T_f / (T_f + s \cdot 2\tau) = 1 / (1 + 2sa)$
- » **S** diminui com
 - Aumento da velocidade de transmissão (T_f diminui)
 - Aumento do comprimento do cabo (τ aumenta)
 - Aumento do número de estações activas (s aumenta, devido a aumentar a probabilidade de colisões)
 - Diminuição do comprimento dos pacotes (T_f 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), tendo sido necessário introduzir algumas alterações no protocolo para permitir distâncias da mesma ordem de grandeza a 1 Gbit/s

IEEE 802.3 – formato da trama MAC



SFD = Start of frame delimiter
 DA = Destination address
 SA = Source address
 FCS = Frame check sequence

- » *Preamble*
 - 7 octetos de 0s e 1s alternados (10101010)
 - 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)* – endereços MAC de destino e origem
- » *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 física: 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 (UTP – *Unshielded Twisted Pair*)
 - Topologia física: estrela
 - Especificação: 10Base-T
 - O elemento central da topologia é um *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 – 10Base5 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

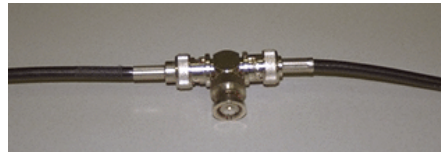
» 10Base5 (10 Mbit/s, *Baseband*, 500 m de comprimento)

- 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)

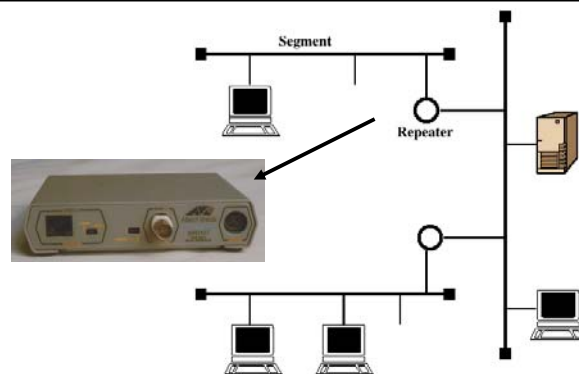
- Diâmetro do cabo – 0.6 cm (0.25 polegadas)
- Mais flexível, mais barato (inicialmente designado *Cheapernet*)
- Maior atenuação, menor imunidade ao ruído
- Menor número de estações por segmento (30), menor comprimento do cabo (185 m)



Ligação de segmentos com repetidores

» Repetidores

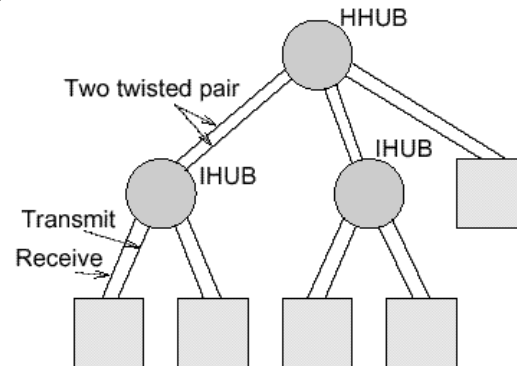
- Unem dois segmentos de cabo coaxial; retransmitem num segmento o sinal recebido no outro segmento
- Transmissões simultâneas nos dois segmentos provocam colisões
- Existe um único trajecto possível entre duas quaisquer estações



	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

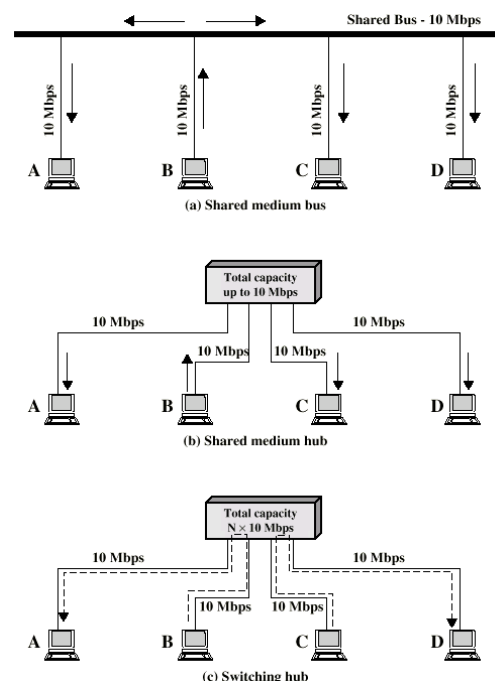
Twisted pair – 10Base-T

- » 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 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 (podem ocorrer colisões)
 - A capacidade do meio é partilhada por todas as estações (tal como num barramento)
- » LAN comutada
 - Usa comutadores de tramas (LAN *switches*)
 - As tramas são comutadas com base no endereço MAC de destino
 - É possível comutação simultânea entre diferentes pares de portas
 - A capacidade de uma porta é partilhada apenas pelas estações a ela ligadas (no limite, uma estação – LAN privada)



Hubs e comutadores

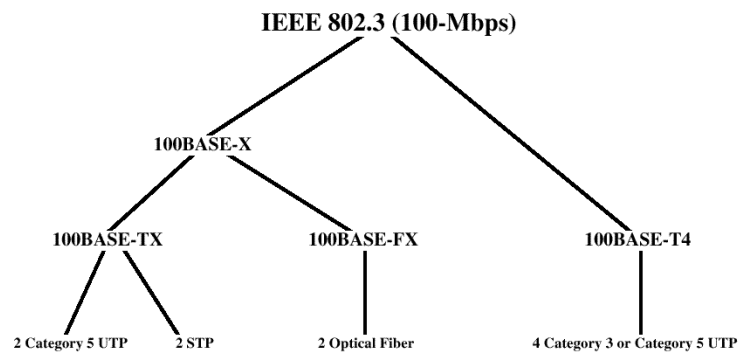
Hub



Comutador de tramas (*switch*)

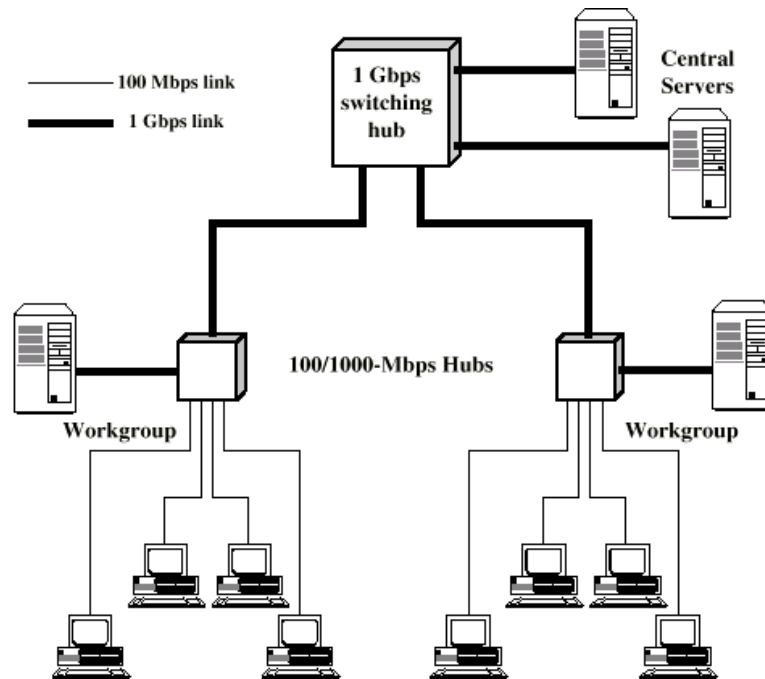


Ethernet a 100Mbit/s (Fast Ethernet)



- » 100BASE-TX
 - 2 pares, STP / UTP5, código 4B5B
- » 100BASE-FX
 - 2 fibras ópticas, código 4B5B
- » 100BASE-T4
 - 4 pares, UTP3/4/5, código 8B6T

Gigabit Ethernet

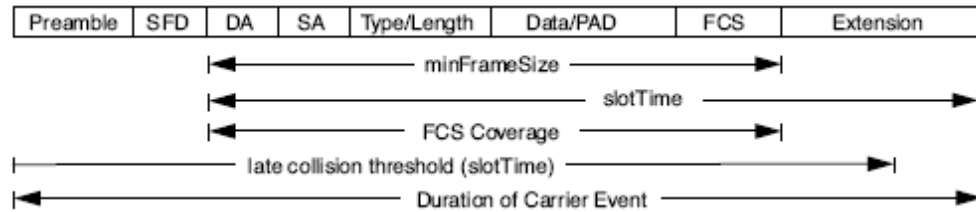


Gigabit Ethernet

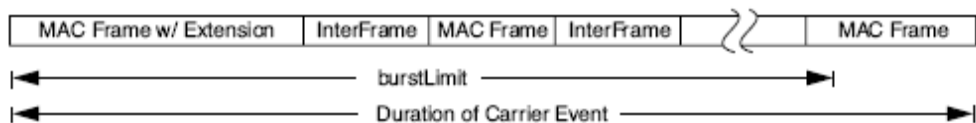
- » Dois modos de funcionamento possíveis
 - *Full-duplex* (ponto a ponto, CSMA/CD inibido)
 - *Half-duplex* (CSMA/CD)
- » Alteração do protocolo básico para funcionamento *half-duplex*
 - O protocolo CSMA/CD baseia-se no conceito de *slot* de contenção, que em Ethernet e Fast Ethernet corresponde à transmissão de 512 bits (sendo a duração do *slot* 51.2 μ s e 5.12 μ s, respectivamente)
 - Em Gigabit Ethernet, para garantir distâncias idênticas às possíveis em Fast Ethernet, foi definido um tamanho de *slot* de 4096 bits (com duração 4.096 μ s) e imposto no máximo um repetidor no percurso
 - Foi definido um mecanismo de *carrier extension* para garantir ocupação do meio durante o tempo de um *slot* (permite detecção de colisão durante a transmissão), aumentando artificialmente o tamanho da trama (se inferior a 4096 bits)
 - Foi definido um mecanismo de *frame bursting* que permite transmitir várias tramas no mesmo acesso, estando a primeira trama do *burst* sujeita ao mecanismo de *carrier extension* (visto poder ocorrer colisão enquanto não se esgotar o tempo correspondente ao *slot* de contenção)

Carrier extension e frame bursting

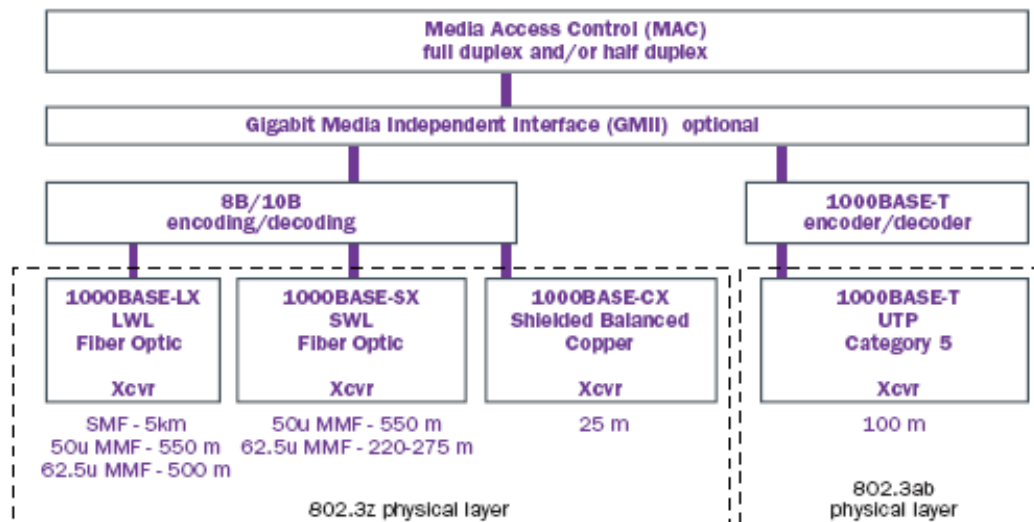
» *Carrier extension*



» *Frame bursting*



Gigabit Ethernet – arquitectura



Gigabit Ethernet – nível físico

- » 1000BASE-SX
 - Comprimento de onda: 770 – 860 nm
 - Fibra multimodo, alcance: 550 m
- » 1000BASE-LX
 - Comprimento de onda: 1270 – 1355 nm
 - Fibra multimodo / monomodo, alcance: 550 m / 5 km
- » 1000BASE-CX
 - *Shielded twisted pair*, alcance: 25 m
- » 1000BASE-T
 - 4 pares UTP5, alcance: 100 m

- » Código – 8B10B (em 1000BASE-X)

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, deve circular 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 ao meio por parte da estação a jusante mais próxima que tenha uma trama pronta a transmitir

Token Ring – variantes de libertação do token

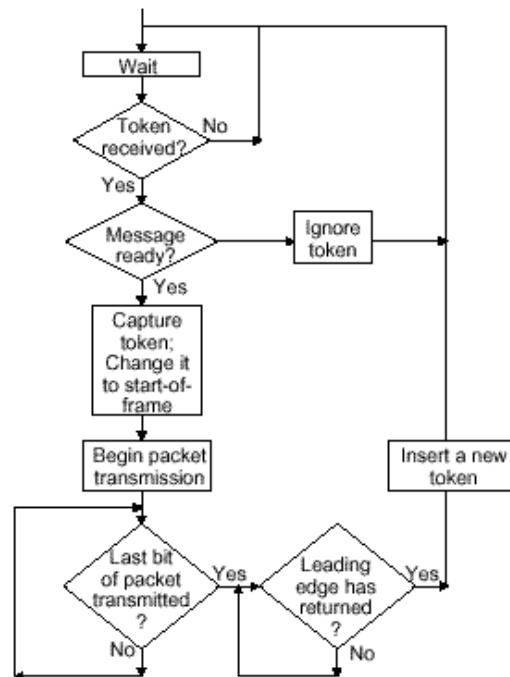
Critérios para libertação do *token* e respectivas condições a observar

- » *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 $a \leq 1$

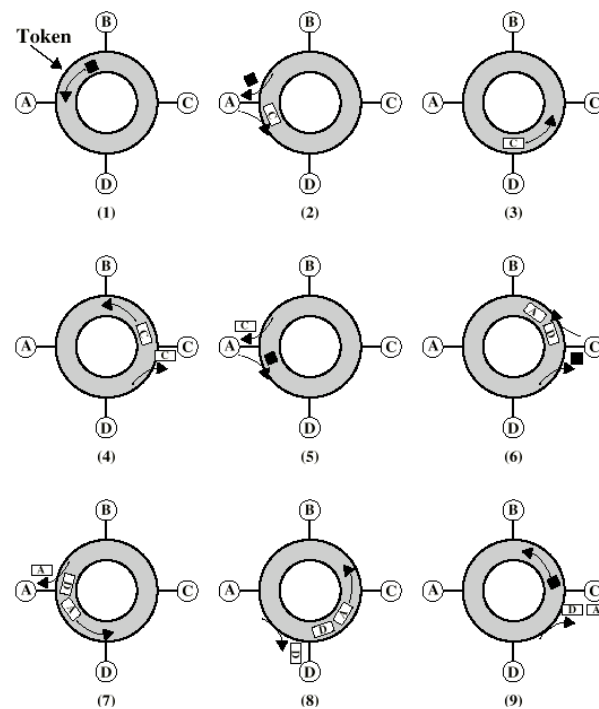
Token Ring IEEE 802.5

- » Na ausência de transmissão circula no anel um *token* livre
- » Estação pronta a transmitir
 - 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 especificação inicial (4 Mbit/s) adopta a variante *Single Token*, isto é, a estação insere um novo *token* livre quando, após completar a transmissão da trama, tiver igualmente removido o respectivo cabeçalho (que transporta um *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

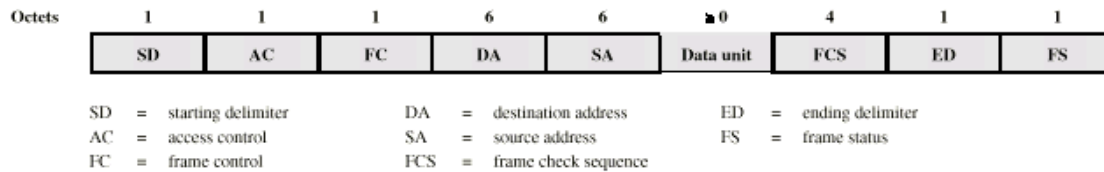
Token Ring IEEE 802.5 (Single Token)



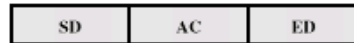
Token Ring IEEE 802.5 – operação



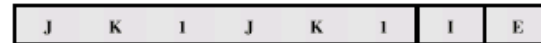
Token Ring IEEE 802.5 – formato das tramas



(a) General Frame Format

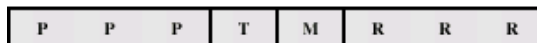


(b) Token Frame Format



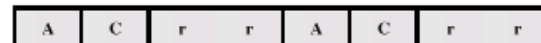
J, K = non-data bits E = error-detected bit
 I = intermediate frame bit

(c) 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

(c) Frame Status Field



FF = frame-type bits ZZZZZZ = control bits

(d) Frame Control Field

Token Ring IEEE 802.5 – campos das tramas

- » *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 pela estação que desempenha o papel de monitor activo
 - 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

Single Token e Multiple Token – eficiência

- » Considere-se um anel com N estações ligadas, com uma latência τ (atraso de propagação e nas estações) e um tempo de transmissão de tramas T_f ($a = \tau / T_f$)
- » Assume-se que durante um ciclo de acessos $N_a \leq N$ estações transmitem uma trama cada
- » Em *Single Token* com $a \leq 1$ ou em *Multiple Token / Early Token Release* a duração de um ciclo (tempo de rotação do *token*) é dada por $N_a * T_f + \tau$ e portanto a eficiência é

$$S = \frac{N_a * T_f}{N_a * T_f + \tau} = \frac{T_f}{T_f + \frac{\tau}{N_a}} = \frac{1}{1 + \frac{a}{N_a}}$$

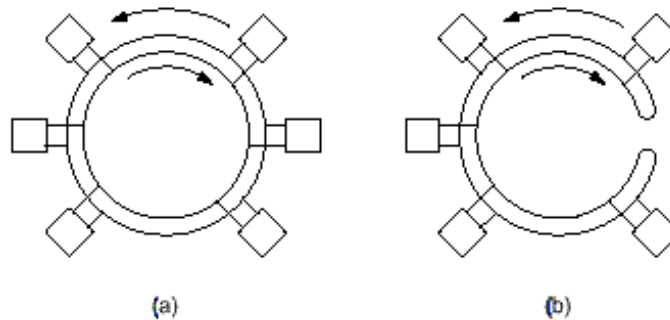
- » Em *Single Token* com $a \geq 1$, o tempo de rotação do *token* é $N_a * \tau + \tau$, donde

$$S = \frac{N_a * T_f}{N_a * \tau + \tau} = \frac{T_f}{\tau + \frac{\tau}{N_a}} = \frac{1}{a + \frac{a}{N_a}}$$

- » Em todos os casos, a eficiência máxima ocorre quando $N_a = N$

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



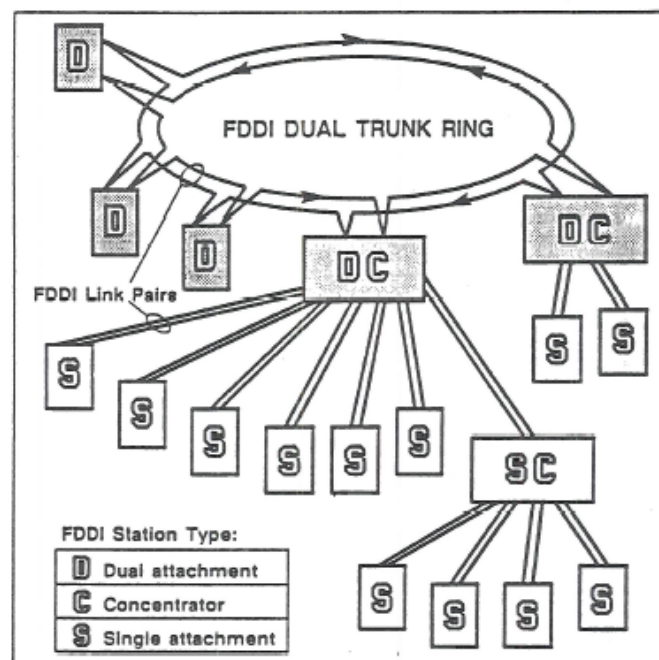
FDDI – Fiber Distributed Data Interface

- » 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 efectivo da transmissão de tramas

FDDI – topologia e reconfiguração

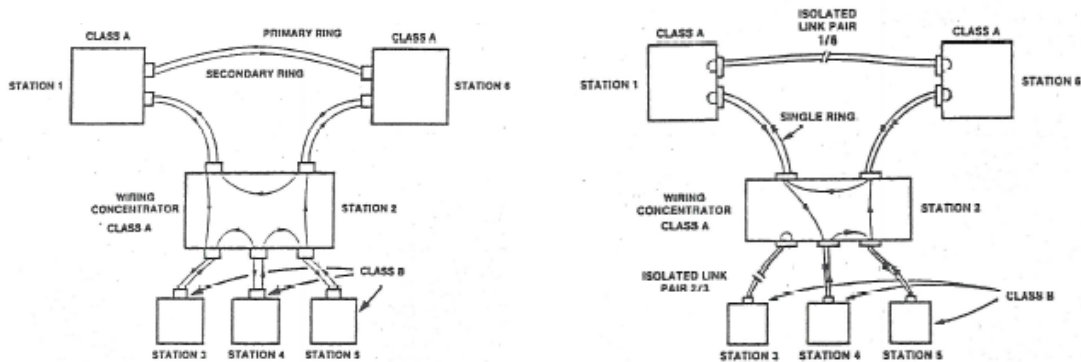
- » Tal como no *Token Ring* IEEE 802.5, é possível usar *Wiring Concentrators* que facilitam a reconfiguração em caso de interrupção do anel Primário ou de ambos os anéis
- » Os concentradores podem ser estações de Classe A (*Dual attachment*) ou de Classe B (*Single attachment*)
- » Recorrendo a concentradores, uma rede FDDI pode desenvolver-se numa topologia hierárquica com múltiplos níveis (*Dual Ring of Trees*)
- » A rede pode também 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 – topologia

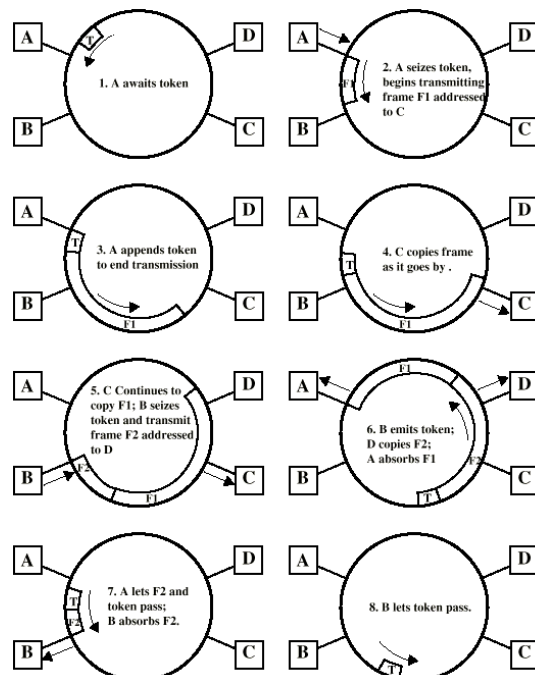


FDDI – reconfiguração

- » No caso de interrupção dos dois anéis no mesmo troço, o que afecta a ligação entre duas estações de classe A, as estações adjacentes à falha ligam o anel Primário ao Secundário, reconfigurando a rede sem isolar qualquer estação
- » No caso de interrupção de um troço em que exista apenas o anel Primário, o que afecta a ligação de uma estação de classe B a um *Wiring Concentrator*, este reconfigura a rede como no caso básico de um anel simples, isolando a estação em causa



FDDI – operação



FDDI – formato das tramas



(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 – campos das tramas

- » *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 e 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)

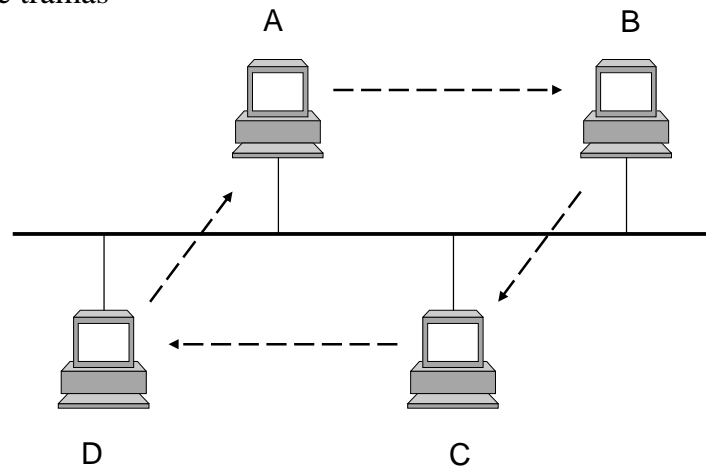
- » O anel é dividido num número inteiro de *slots*, de comprimento fixo, que circulam continuamente no anel (o número de slots é igual a *a*)
- » Cada *slot* pode ser ocupado por um pacote (ou fragmento)
- » O estado de cada *slot* (vazio / ocupado) é indicado por um bit no cabeçalho; os *slots* são 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

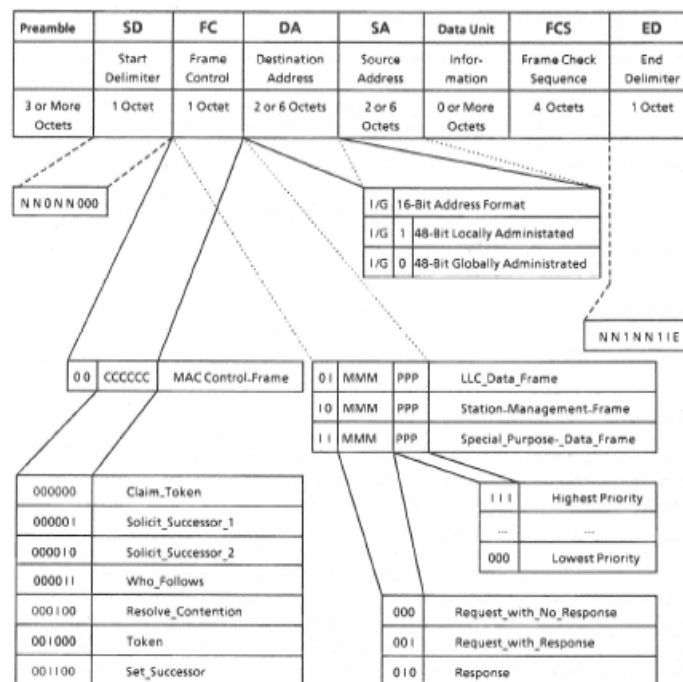
- » É possível usar um protocolo do tipo *Control Token* numa rede com topologia em barramento (*Token Bus*), por constituição de um anel lógico
 - É atribuído a cada estação um identificador lógico
 - Cada estação tem um antecessor lógico (do qual recebe o *token*) e um sucessor lógico (ao qual envia 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 deve emitir imediatamente um *token* se não tiver tráfego ou, caso contrário, após concluir a transmissão
- » 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

Token Bus

- » Anel lógico: A → B → C → D → A, independente da localização física
- » A estação de posse do *token* endereça-o explicitamente ao seu sucessor lógico, mesmo que este não tenha tramas para transmitir
- » O protocolo pode funcionar num barramento bidireccional ou unidireccional (*folded bus*) ou numa topologia em estrela, em que o elemento central realiza a difusão de tramas

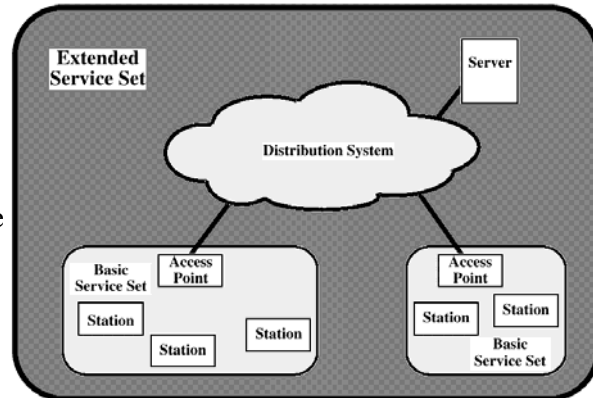


Token Bus IEEE 802.4 – formato das tramas



LANs sem fios

- » IEEE 802.11
- » BSS – *Basic Service Set* (célula)
 - Conjunto de estações que usam o mesmo protocolo MAC
 - As estações 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

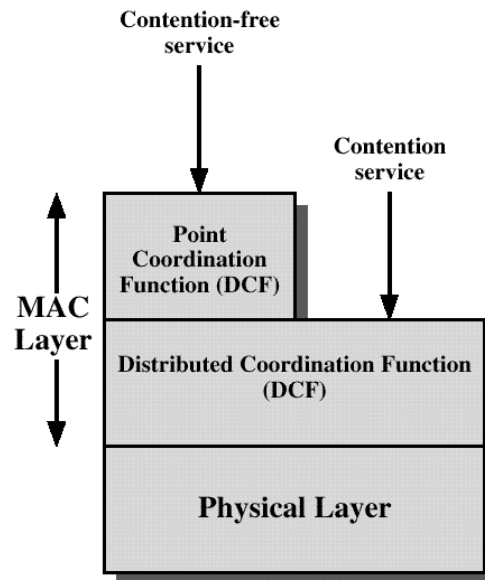


Tipos de mobilidade

- » Sem transição
 - Estação estacionária
 - Estação move-se dentro de um BSS
- » Transição entre BSS
 - Estação move-se dentro do mesmo ESS
- » Transição entre ESS
 - Estação move-se entre BSS em ESS diferentes
 - Interrupção de serviço

Controlo de acesso ao meio

- » DWFMAC – *Distributed wireless foundation MAC* (IEEE 802.11)
- » DCF – *Distributed Coordination Function*
 - CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)
 - Sem detecção de colisões (não viável)
- » PCF – *Point Coordination Function*
 - *Polling* centralizado
 - Acesso sem contenção
 - Usa serviços DCF



CSMA with Collision Avoidance (CSMA/CA)

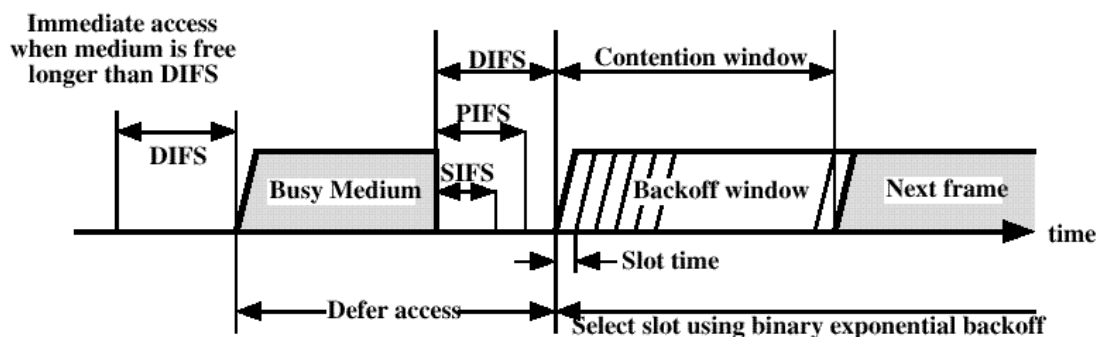
- » Em LANs sem fios (WLANs) não é possível usar o protocolo CSMA/CD
 - É difícil detectar colisões numa interface rádio, devido a diferenças significativas de potência dos sinais transmitidos e recebidos, perdendo-se assim as vantagens de abortar uma transmissão (possível quando a detecção de colisões é viável)
 - A monitorização do meio durante a transmissão aumentaria a complexidade (e portanto o custo) do sistema
- » É necessário usar ACKs para lidar com colisões (como em CSMA), devendo retransmitir-se tramas não confirmadas
 - As retransmissões degradam seriamente o desempenho e portanto mecanismos que reduzam a probabilidade de colisões são essenciais em WLANs
- » Estas razões levaram à adopção em WLANs de um protocolo de acesso do tipo *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA)
- » Em IEEE 802.11, CSMA/CA é usado pela *Distributed Coordination Function* (DCF), que suporta transferência assíncrona de dados num modo *best-effort* como método básico de acesso, enquanto uma *Point Coordination Function* (PCF) opcional providencia acesso sem conflitos, por meio de *polling*

DCF – CSMA/CA

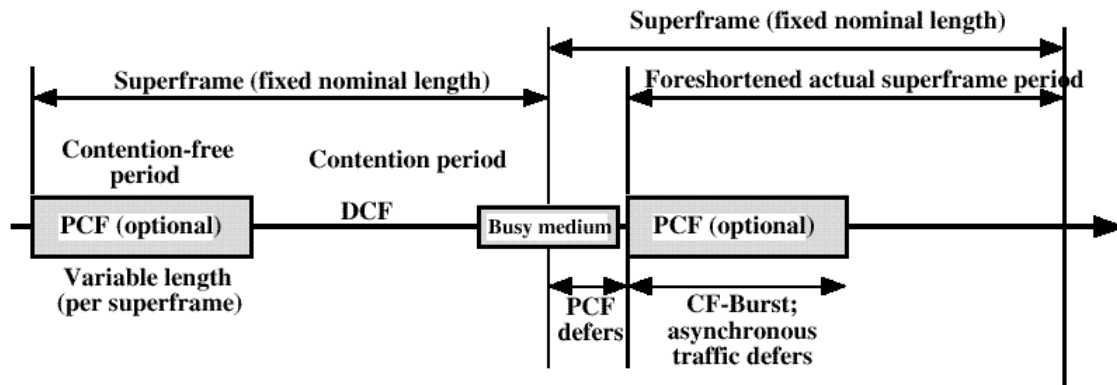
- » O protocolo CSMA/CA, usado pela *Distributed Coordination Function* nas redes IEEE 802.11, baseia-se na escuta do meio antes da transmissão e num mecanismo de deferência do tipo *binary exponential back-off*
- » No caso de o meio estar livre, a estação espera durante um intervalo de tempo *Interframe Space* (IFS) e inicia a transmissão se o meio continuar livre
- » Se o meio estiver ocupado (ou tiver ficado ocupado durante o intervalo IFS)
 - A estação espera até que o meio fique livre
 - De seguida espera durante IFS e activa um *contention timer* que é iniciado com um valor escolhido aleatoriamente na gama $[1, CW]$, em que $CW = 2^k - 1$ é um valor de uma janela de contenção (é definido um valor mínimo de k para a primeira tentativa de transmissão de uma trama)
 - Quando o temporizador (*contention timer*) expirar, a estação envia a trama e espera uma confirmação (ACK)
 - Se não for recebida qualquer confirmação, assume-se que a trama se perdeu e é feita uma nova tentativa, após se aumentar k de uma unidade (até se atingir um valor máximo)
 - Se uma outra transmissão se iniciar antes do *contention timer* expirar, este é inibido até ao fim dessa transmissão e de seguida reactivado

CSMA/CA – Interframe Space

- » *Interframe Space* (IFS)
 - SIFS (*Short IFS*) – usado por tramas de alta prioridade (e.g., ACK, respostas a *polling*, etc.)
 - PIFS (*PCF IFS*) – usado pelo *master* para fazer *polling*
 - DIFS (*DCF IFS*) – usado em acessos assíncronos (contenção)



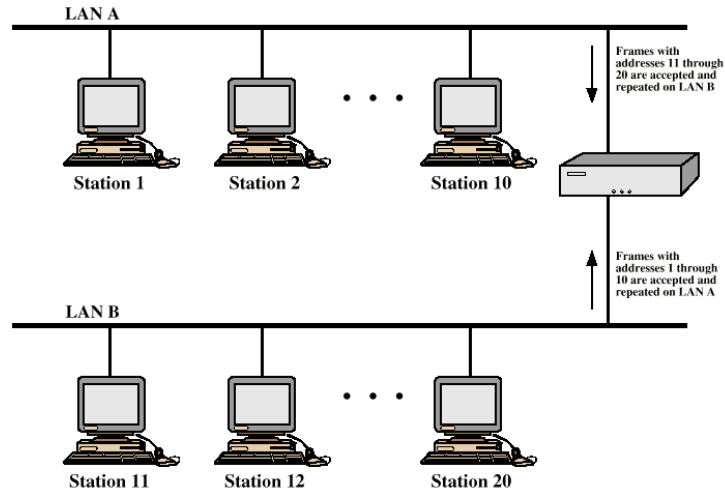
PCF – polling



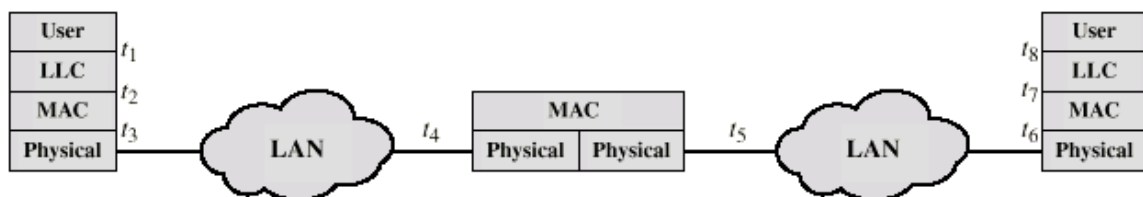
Bridges

- » A ligação de LANs a outras LANs / WANs pode ser realizada com recurso a *routers* (processamento de nível 3) ou *bridges* (processamento 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 despacha-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 carga quer para garantir tolerância a falhas
- » Uma *bridge* tem que decidir se deve despachar (*forward*) uma trama e, em caso afirmativo, para que segmento(s) enviar a trama

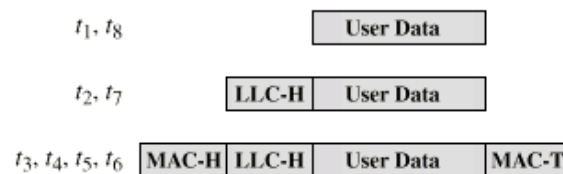
Bridges



Bridges – arquitectura protocolar

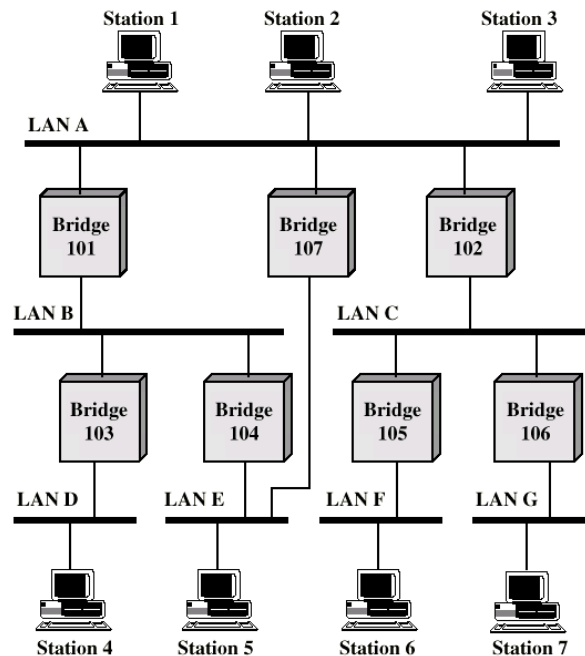


(a) Architecture



(b) Operation

Bridged LAN



Bridged LAN – encaminhamento

» Encaminhamento fixo

- É seleccionada uma rota para cada par de endereços MAC (origem, destino)
- As *bridges* são configuradas 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 e cobrir todos os segmentos (*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 comutação (estado *forwarding*)

Bridges transparentes – spanning tree

- » As *bridges* transparentes usam um processo de aprendizagem para construir as suas tabelas de comutação (*forwarding*) 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 predefinido em que não seja observada actividade da estação correspondente (*ageing*)
 - Comutação 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 e tramas com tamanho fixo

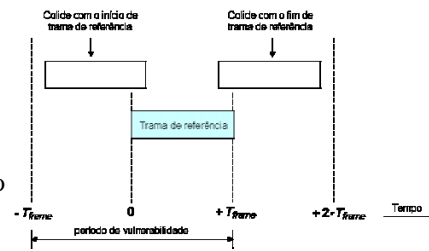
» $S = G P_0$

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

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

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

$$\max\left(\frac{S}{G}\right) \rightarrow \frac{dS}{dG} = 0 \Leftrightarrow e^{-2G}(1-2G) = 0 \Leftrightarrow G = \frac{1}{2} \quad S_{\max} = \frac{1}{2e} = 18,4\%$$



Slotted ALOHA – eficiência

» Período de vulnerabilidade – T_{frame}

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

$$P'_0 = \frac{(G)^0 e^{-G}}{0!} = e^{-G}$$

$$S = G P'_0 = G e^{-G}$$

$$\max\left(\frac{S}{G}\right) \rightarrow \frac{dS}{dG} = 0 \Leftrightarrow G = 1 \quad S_{\max} = \frac{1}{e} = 36,8\%$$

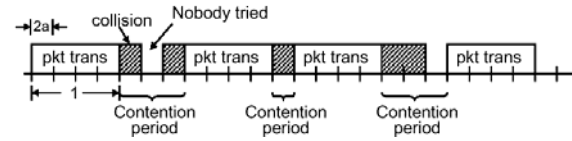
CSMA/CD – eficiência

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

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

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

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

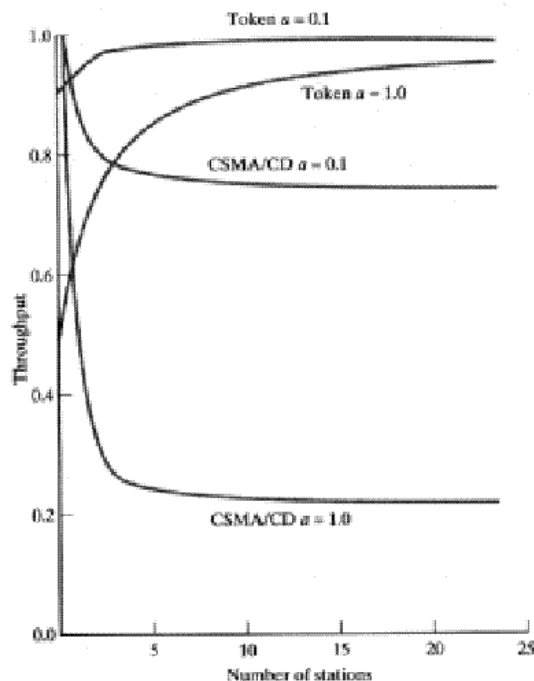
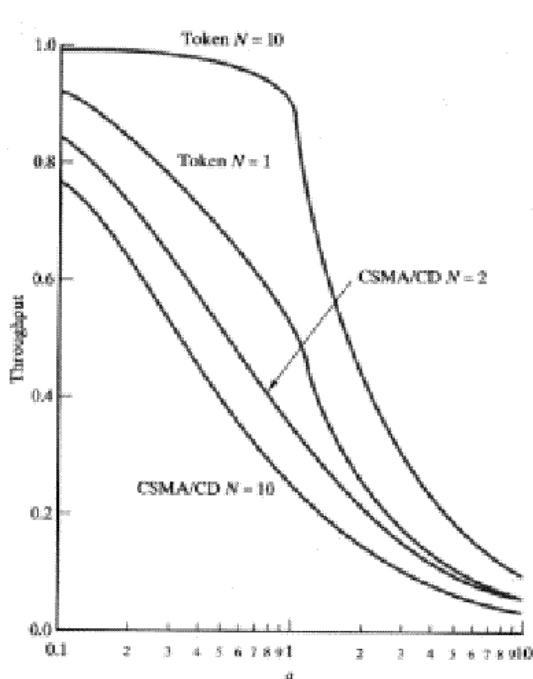


- P – Probabilidade de uma estação transmitir num slot
- A – Probabilidade de exactamente uma estação transmitir num slot e adquirir o meio

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

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

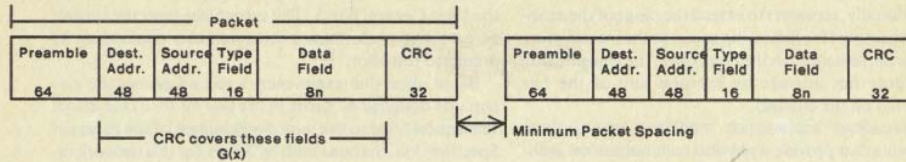
CSMA/CD vs. Token Ring – eficiência



Ethernet 1.0 Technical Summary (1)

(*)

Packet Format



Stations must be able to transmit and receive packets on the common coaxial cable with the indicated packet format and spacing. Each packet should be viewed as a sequence of 8-bit bytes; the least significant bit of each byte (starting with the preamble) is transmitted first.

Maximum Packet Size: 1526 bytes (8 byte preamble + 14 byte header + 1500 data bytes + 4 byte CRC)

Minimum Packet Size: 72 bytes (8 byte preamble + 14 byte header + 46 data bytes + 4 byte CRC)

Preamble: This 64-bit synchronization pattern contains alternating 1's and 0's, ending with two consecutive 1's.

The preamble is: 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101011.

Destination Address: This 48-bit field specifies the station(s) to which the packet is being transmitted. Each station examines this field to determine whether it should accept the packet. The first bit transmitted indicates the type of address. If it is a 0, the field contains the unique address of the one destination station. If it is a 1, the field specifies a logical group of recipients; a special case is the broadcast (all stations) address, which is all 1's.

Source Address: This 48-bit field contains the unique address of the station that is transmitting the packet.

Type Field: This 16-bit field is used to identify the higher-level protocol type associated with the packet. It determines how the data field is interpreted.

Data Field: This field contains an integral number of bytes ranging from 46 to 1500. (The minimum ensures that valid packets will be distinguishable from collision fragments.)

Packet Check Sequence: This 32-bit field contains a redundancy check (CRC) code, defined by the generating polynomial:

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

The CRC covers the address (destination/source), type, and data fields. The first transmitted bit of the destination field is the high-order term of the message polynomial to be divided by $G(x)$ producing remainder $R(x)$. The high-order term of $R(x)$ is the first transmitted bit of the Packet Check Sequence field. The algorithm uses a linear feedback register which is initially preset to all 1's. After the last data bit is transmitted, the contents of this register (the remainder) are inverted and transmitted as the CRC field. After receiving a good packet, the receiver's shift register contains 11000111 00001000 11011101 01111011 (x^{31}, \dots, x^0).

Minimum Packet Spacing: This spacing is 9.6 usec, the minimum time that must elapse after one transmission before another transmission may begin.

Round-trip Delay: The maximum end-to-end, round-trip delay for a bit is 51.2 usec.

Collision Filtering: Any received bit sequence smaller than the minimum valid packet (with minimum data field) is discarded as a collision fragment.

(*) Extraído de *IEEE Computer*, August 1982, pp. 14-15

Ethernet 1.0 Technical Summary (2)

Control Procedure

The control procedure defines how and when a station may transmit packets into the common cable. The key purpose is fair resolution of occasional contention among transmitting stations.

Defer: A station must not transmit into the coaxial cable when carrier is present or within the minimum packet spacing time after carrier has ended.

Transmit: A station may transmit if it is not deferring. It may continue to transmit until either the end of the packet is reached or a collision is detected.

Abort: If a collision is detected, transmission of the packet must terminate, and a *jam* (4-6 bytes of arbitrary data) is transmitted to ensure that all other participants in the collision also recognize its occurrence.

Retransmit: After a station has detected a collision and aborted, it must wait for a random *retransmission delay*, defer as usual, and then attempt to retransmit the packet. The random time interval is computed using the backoff algorithm (below). After 16 transmission attempts, a higher level (e.g. software) decision is made to determine whether to continue or abandon the effort.

Backoff: Retransmission delays are computed using the *Truncated Binary Exponential Backoff* algorithm, with the aim of fairly resolving contention among up to 1024 stations. The delay (the number of time units) before the n^{th} attempt is a uniformly distributed random number from $[0, 2^{n-1}]$ for $0 < n \leq 10$ ($n=0$ is the original attempt). For attempts 11-15, the interval is *truncated* and remains at $[0, 1023]$. The unit of time for the retransmission delay is 512 bit times (51.2 usec).

Channel Encoding

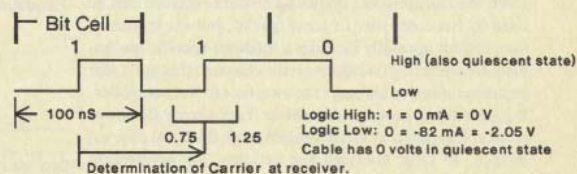
Manchester encoding is used on the coaxial cable. It has a 50% duty cycle, and insures a transition in the middle of every bit cell ("data transition"). The first half of the bit cell contains the complement of the bit value, and the second half contains the true value of the bit.

Data Rate

Data rate is 10 M bits/sec = 100 nsec bit cell \pm 0.01%.

Carrier

The presence of data transitions indicates that carrier is present. If a transition is not seen between 0.75 and 1.25 bit times since the center of the last bit cell, then carrier has been lost, indicating the end of a packet. For purposes of deferring, carrier means any activity on the cable, independent of being properly formed. Specifically, it is any activity on either receive or collision detect signals in the last 160 nsec.



Ethernet 1.0 Technical Summary (3)

Coax Cable

Impedance: 50 ohms \pm 2 ohms (Mil Std. C17-E). This impedance variation includes batch-to-batch variations. Periodic variations in impedance of up to \pm 3 ohms are permitted along a single piece of cable.

Cable Loss: The maximum loss from one end of a cable segment to the other end is 8.5 db at 10 MHz (equivalent to ~500 meters of low loss cable).

Shielding: The physical channel hardware must operate in an ambient field of 2 volts per meter from 10 KHz to 30 MHz and 5 V/meter from 30 MHz to 1 GHz. The shield has a transfer impedance of less than 1 milliohm per meter over the frequency range of 0.1 MHz to 20 MHz (exact value is a function of frequency).

Ground Connections: The coax cable shield shall not be connected to any building or AC ground along its length. If for safety reasons a ground connection of the shield is necessary, it must be in only one place.

Physical Dimensions: This specifies the dimensions of a cable which can be used with the *standard tap*. Other cables may also be used, if they are not to be used with a tap-type transceiver (such as use with connectorized transceivers, or as a section between sections to which standard taps are connected).

Center Conductor: 0.0855" diameter solid tinned copper
 Core Material: Foam polyethylene or foam teflon FEP
 Core O.D.: 0.242" minimum
 Shield: 0.326" maximum shield O.D. (>90% coverage for outer braid shield)
 Jacket: PVC or teflon FEP
 Jacket O.D.: 0.405"

Coax Connectors and Terminators

Coax cables must be terminated with male N-series connectors, and cable sections will be joined with female-female adapters. Connector shells shall be insulated such that the coax shield is protected from contact to building grounds. A sleeve or boot is acceptable. Cable segments should be terminated with a female N-series connector (can be made up of a barrel connector and a male terminator) having an impedance of 50 ohms \pm 1%, and able to dissipate 1 watt. The outside surface of the terminator should also be insulated.

Ethernet 1.0 Technical Summary (4)

Transceiver

CONNECTION RULES

Up to 100 transceivers may be placed on a cable segment no closer together than 2.5 meters. Following this placement rule reduces to a very low (but not zero) probability the chance that objectionable standing waves will result.

COAX CABLE INTERFACE

Input Impedance: The resistive component of the impedance must be greater than 50 Kohms. The total capacitance must be less than 4 picofarads.

Nominal Transmit Level: The important parameter is average DC level with 50% duty cycle waveform input. It must be -1.025 V (41 mA) nominal with a range of -0.9 V to -1.2 V (36 to 48 mA). The peak-to-peak AC waveform must be centered on the average DC level and its value can range from 1.4 V P-P to twice the average DC level. The voltage must never go positive on the coax. The quiescent state of the coax is logic high (0 V). Voltage measurements are made on the coax near the transceiver with the shield as reference. Positive current is current flowing out of the center conductor of the coax.

Rise and Fall Time: 25 nSec \pm 5 nSec with a maximum of 1 nSec difference between rise time and fall time in a given unit. The intent is that dV/dt should not significantly exceed that present in a 10 MHz sine wave of same peak-to-peak amplitude.

Signal Symmetry: Asymmetry on output should not exceed 2 nSec for a 50-50 square wave input to either transmit or receive section of transceiver.

TRANSCIEVER CABLE INTERFACE

Signal Pairs: Both transceiver and station shall drive and present at the receiving end a 78 ohm balanced load. The differential signal voltage shall be 0.7 volts nominal peak with a common mode voltage between 0 and +5 volts using power return as reference. (This amounts to shifted ECL levels operating between Gnd and +5 volts. A 10116 with suitable pull-down resistor may be used). The quiescent state of a line corresponds to logic high, which occurs when the + line is more positive than the - line of a pair.

Collision Signal: The active state of this line is a 10 MHz waveform and its quiescent state is logic high. It is active if the transceiver is transmitting and another transmission is detected, or if two or more other stations are transmitting, independent of the state of the local transmit signal.

Power: +11.4 volts to +16 volts DC at controller. Maximum current available to transceiver is 0.5 ampere. Actual voltage at transceiver is determined by the interface cable resistance (max 4 ohms loop resistance) and current drain.

ISOLATION

The impedance between the coax connection and the transceiver cable connection must exceed 250 Kohms at 60 Hz and withstand 250 VRMS at 60 Hz.

Transceiver Cable and Connectors

Maximum signal loss = 3 db @ 10 MHz. (equivalent to ~50 meters of either 20 or 22 AWG twisted pair).

Transceiver Cable Connector Pin Assignment

1. Shield*	9. Collision -
2. Collision +	10. Transmit -
3. Transmit +	11. Reserved
4. Reserved	12. Receive -
5. Receive +	13. + Power
6. Power Return	14. Reserved
7. Reserved	15. Reserved
8. Reserved	

*Shield must be terminated to connector shell.

Male 15 pin D-Series connector with lock posts.

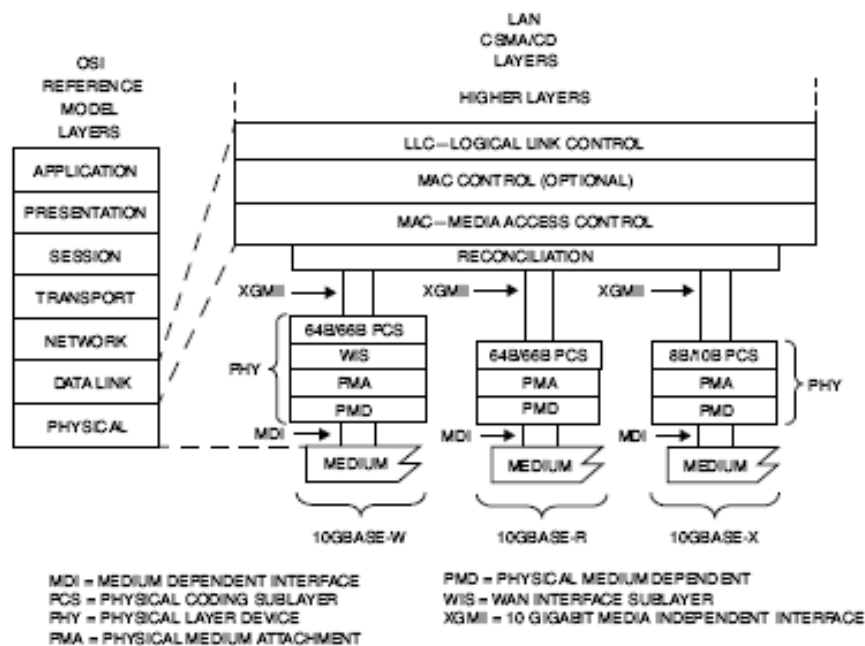
Female 15 pin D-Series connector with slide lock assembly.

4 pair # 20 AWG or 22 AWG
 78 ohm differential impedance
 1 overall shield insulating jacket
 4 ohms max loop resistance for power pair

10 Gigabit Ethernet

- » A norma Ethernet a 10 Gbit/s especifica
 - Apenas o modo de funcionamento *full-duplex*
 - Apenas fibra óptica como meio de transmissão
 - » A adopção de diferentes tipos de fibra permite atingir vários objectivos de alcance máximo, em ambientes de redes locais e metropolitanas
- » A camada física é dividida em duas subcamadas – PMD (*Physical Media Dependent*) e PCS (*Physical Coding Sublayer*)
 - São suportados vários tipos de PMD
 - São especificadas várias interfaces LAN (10GBASE-R e 10GBASE-X) e WAN (10GBASE-W)

10 Gigabit Ethernet – arquitectura



Camada física – PMD e PCS

- » Foram definidos 4 tipos de PMD
 - 850 nm Série
 - » Fibra multimodo
 - 1310 nm WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*)
 - » Fibra multimodo / monomodo
 - 1310 nm Série
 - » Fibra monomodo
 - 1550 nm Série
 - » Fibra monomodo
- » WWDM é usado apenas em LANs (10GBASE-X), enquanto os três restantes tipos podem ser usados em interfaces LAN (10GBASE-R) ou WAN (10GBASE-W)
- » A subcamada PCS inclui funções de codificação (8B/10B e 64B/66B), serialização ou multiplexagem e ainda WIS (*WAN Interface Sublayer*) para adaptação da trama MAC ao payload SONET/SDH em interfaces WAN (10GBASE-W)

Interfaces LAN

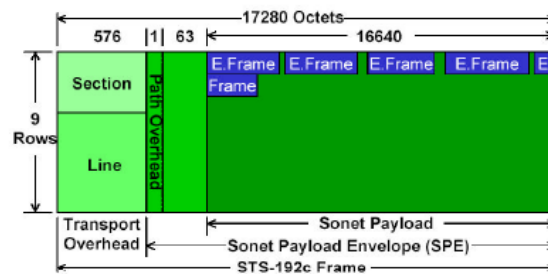
- » 10GBASE-LX4
 - Interface WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*)
 - » São usados 4 comprimentos de onda na janela de 1310 nm
 - » Fibras multimodo (alcance 300 m) ou monomodo (alcance 10 km)
 - Código de linha 8B/10B
 - » *Line rate (baud rate)*: $4 * 3.125 \text{ Gbaud} = 12.5 \text{ Gbaud}$
 - » *MAC rate*: $8 / 10 * 12.5 = 10 \text{ Gbit/s}$
- » 10GBASE-R
 - Interface série
 - » 10GBASE-SR – janela 850 nm, fibra multimodo, alcance: 30 / 300 m
 - » 10GBASE-LR – janela 1310 nm, fibra monomodo, alcance: 10 km
 - » 10GBASE-ER – janela 1550 nm, fibra monomodo, alcance: 40 km
 - Código de linha 64B/66B
 - » *Line rate (baud rate)*: 10.3125 Gbaud
 - » *MAC rate*: $64 / 66 * 10.3125 = 10 \text{ Gbit/s}$

Interfaces WAN

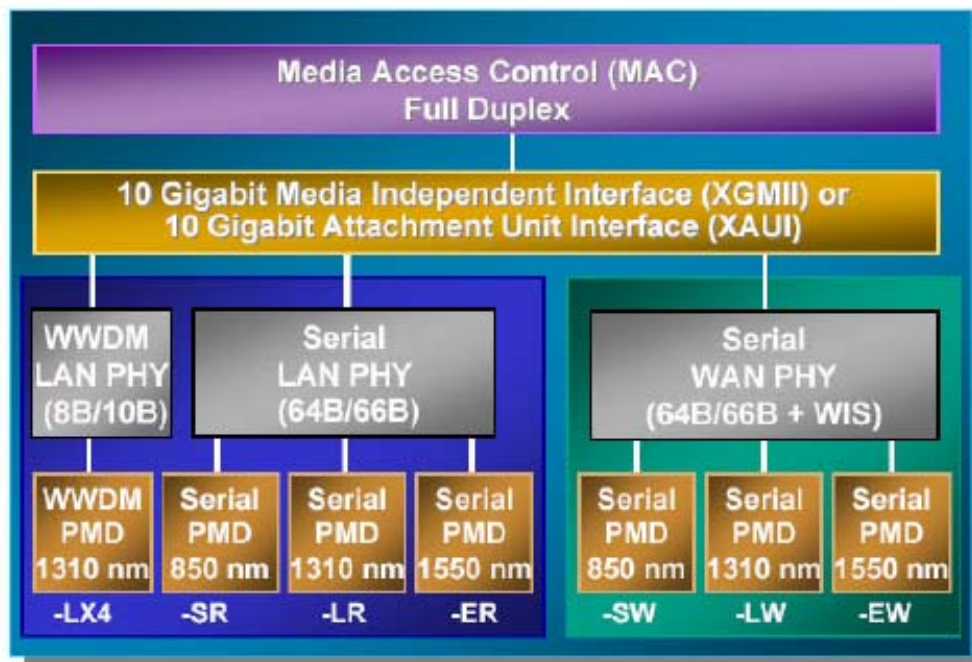
» 10GBASE-W

- Interface série
 - » 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW (os mesmos PMDs que em 10GBASE-R)
- A subcamada PCS inclui uma função de adaptação da trama MAC ao *payload* SONET/SDH (WIS – *WAN Interface Sublayer*)
 - » *SONET Physical Rate*: 9.95328 Gbit/s
 - » *SONET Payload Rate*: $26 / 27 * 9.95328 = 9.58464$ Gbit/s
- Código de linha 64B/66B
 - » *MAC rate*: $64 / 66 * 9.58464 = 9.2942$ Gbit/s

SONET STS-192c
SDH STM-64



10 Gigabit Ethernet – opções no nível físico



10 Gigabit Ethernet – opções no nível físico

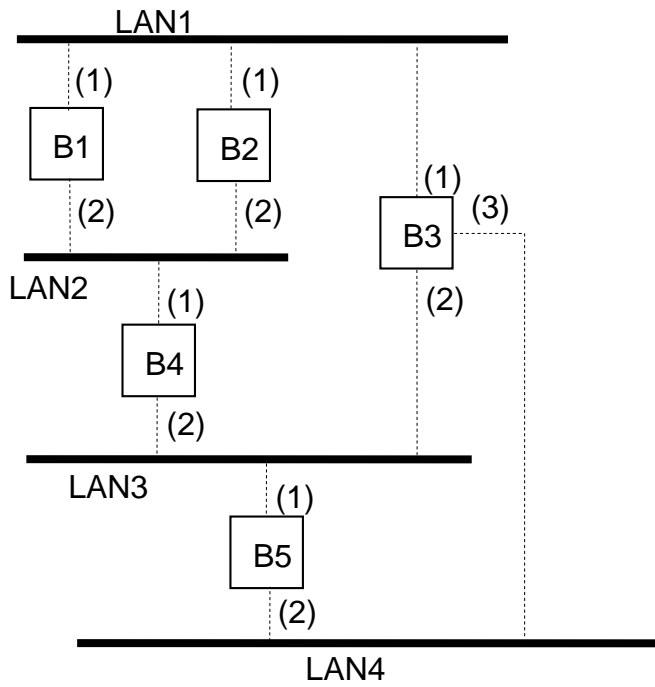
Device	8B/10B PCS	64B/66B PCS	WIS	850nm Serial	1310nm WWDM	1310nm Serial	1550nm Serial
10GBASE-SR		✓		✓			
10GBASE-SW		✓	✓	✓			
10GBASE-LX4	✓				✓		
10GBASE-LR		✓				✓	
10GBASE-LW		✓	✓			✓	
10GBASE-ER		✓					✓
10GBASE-EW		✓	✓				✓

10GBASE-W 10GBASE-R	PMD série 850 nm	PMD série 1310 nm	PMD série 1550 nm	10GBASE-X	PMD WWDM 1310 nm
Fibra	Multimodo 62 / 50 µm	Monomodo	Monomodo	Fibra	Multimodo / Monomodo
Distância máxima	30 / 300 m	10 km	40 km	Distância máxima	300 m / 10 km

Bridging – algoritmo spanning tree

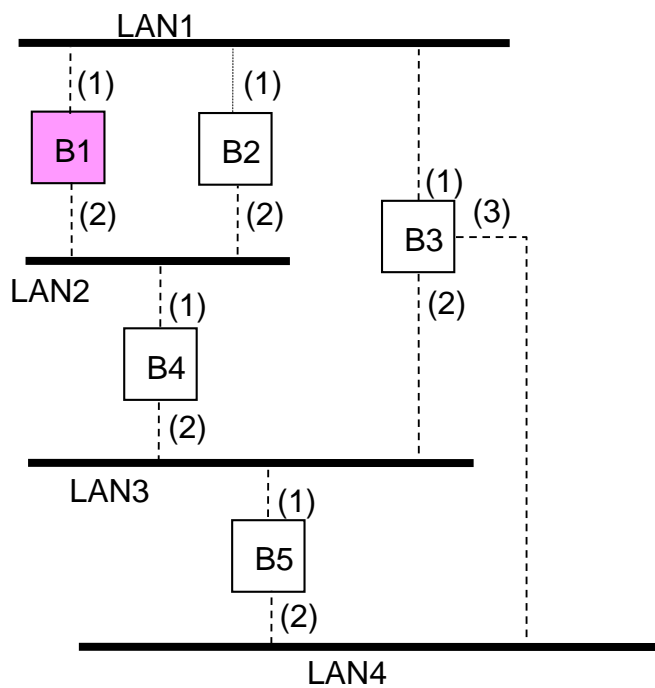
- Selecionar a *root bridge* entre todas as *bridges*
 - A *root bridge* é a *bridge* com o menor *bridge ID*
- Determinar a *root port* para cada *bridge* (excepto a *root bridge*)
 - A *root port* é a porta com o percurso de menor custo para a *root bridge*
 - A *root bridge* não tem *root ports*
- Selecionar a *designated bridge* para cada LAN
 - A *designated bridge* é a *bridge* que oferece o percurso de menor custo da LAN para a *root bridge*
 - A *designated port* liga a LAN à *designated bridge*
 - Todas as portas da *root bridge* são *designated ports*
- Todas as *root ports* e todas as *designated ports* são colocadas no estado *forwarding*
 - Estas são as únicas portas autorizadas a despachar tramas
 - As restantes portas são colocadas no estado *blocking*

Exemplo – topologia física



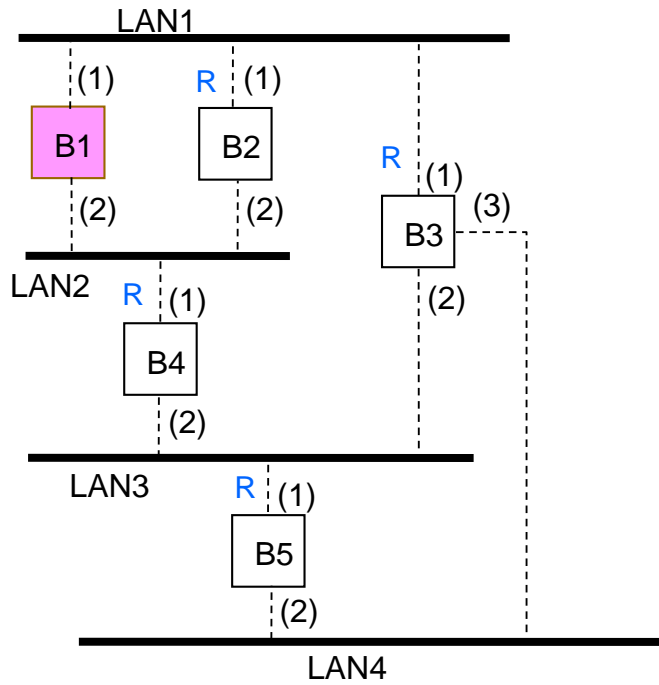
Assume-se que os custos associados às portas das *bridges* são iguais

Exemplo – passo 1



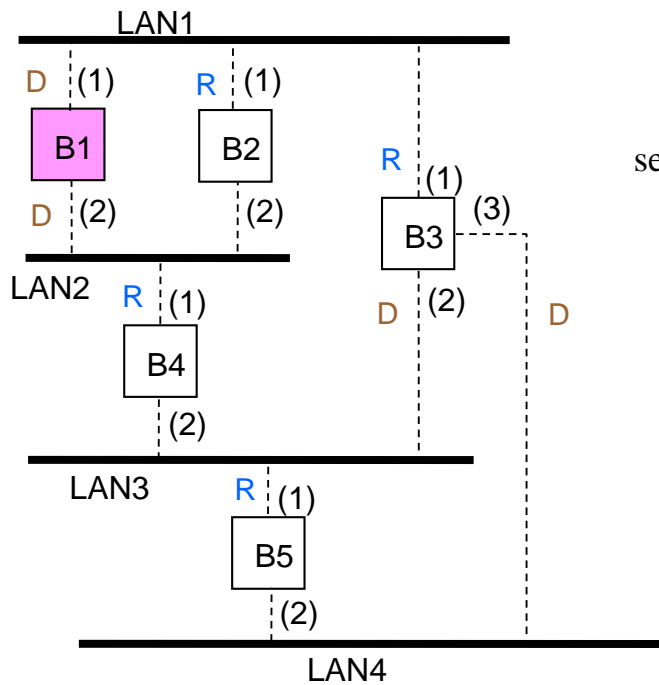
Bridge 1 seleccionada como *root bridge*

Exemplo – passo 2



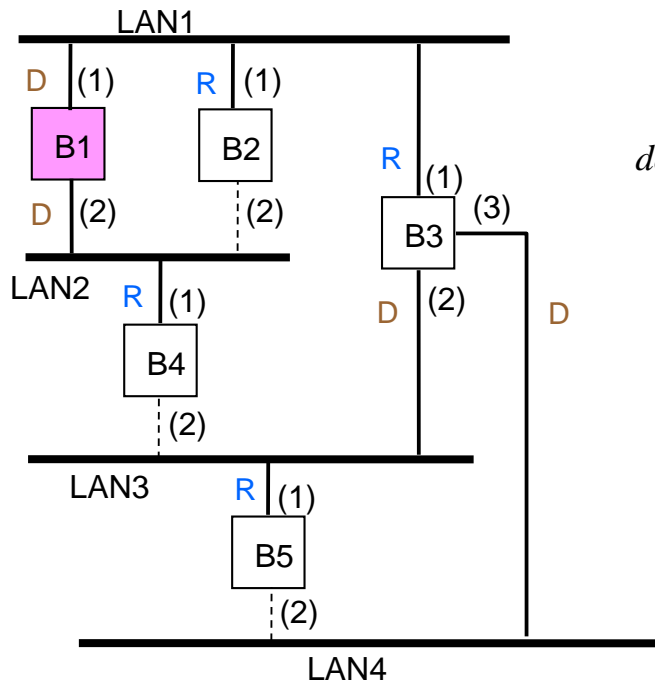
Root port seleccionada para cada *bridge* (excepto *root bridge*)

Exemplo – passo 3



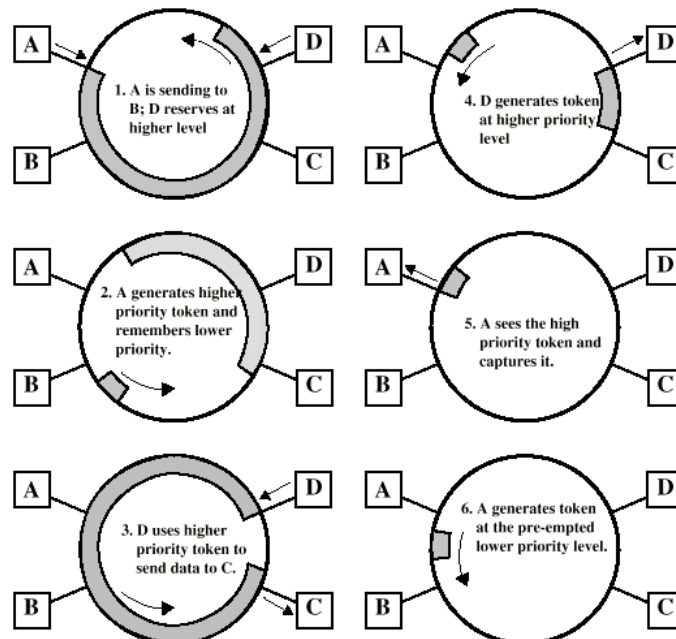
Designated bridge seleccionada para cada LAN

Exemplo – passo 4



Todas as *root ports* e *designated ports* colocadas no estado *forwarding*

Token Ring – mecanismo de prioridades



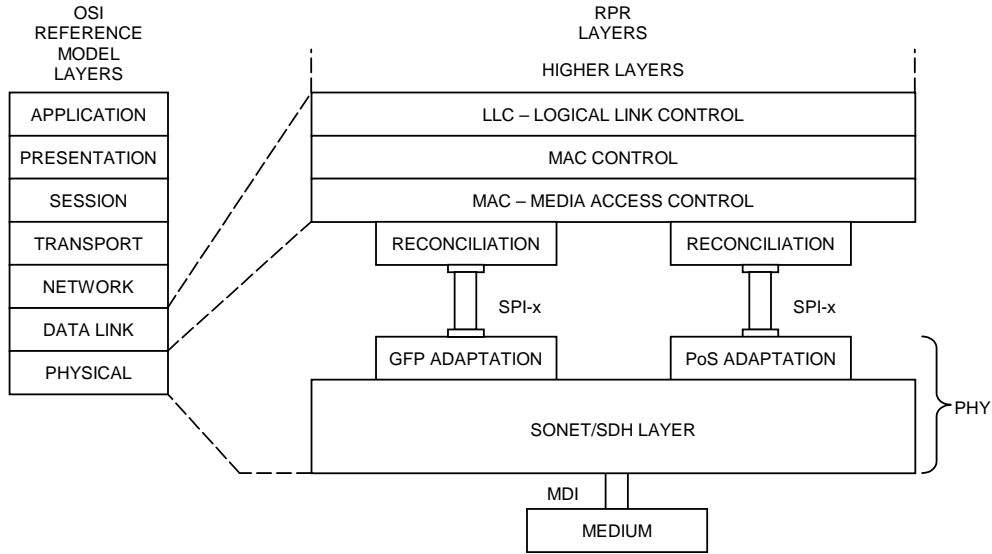
Resilient Packet Ring – características

- » Tecnologia normalizada – IEEE 802.17
 - Especifica níveis físico e MAC para uso em LANs, MANs e WANs
- » Tira partido da infraestrutura instalada de anéis SONET/SDH, embora possa ser usada com outras camadas físicas (GbE, 10GbE, WDM)
 - Beneficia dos mecanismos de protecção SONET/SDH (tempos de reconfiguração inferiores a 50 ms)
- » Protocolo otimizado para tráfego de dados, o que permite eficiência muito superior à da reserva de circuitos TDM (SONET/SDH)
 - Capacidade do anel partilhada por tráfego dos utilizadores (pacotes)
 - » Gestão dinâmica e distribuída da largura de banda (multiplexagem estatística / *oversubscription*)
 - Optimização da largura de banda – remoção pelo destino (*spatial reuse*)
 - *Fairness* (algoritmo distribuído)
 - Diferenciação de níveis de qualidade de serviço (prioridades)

Resilient Packet Ring – topologia

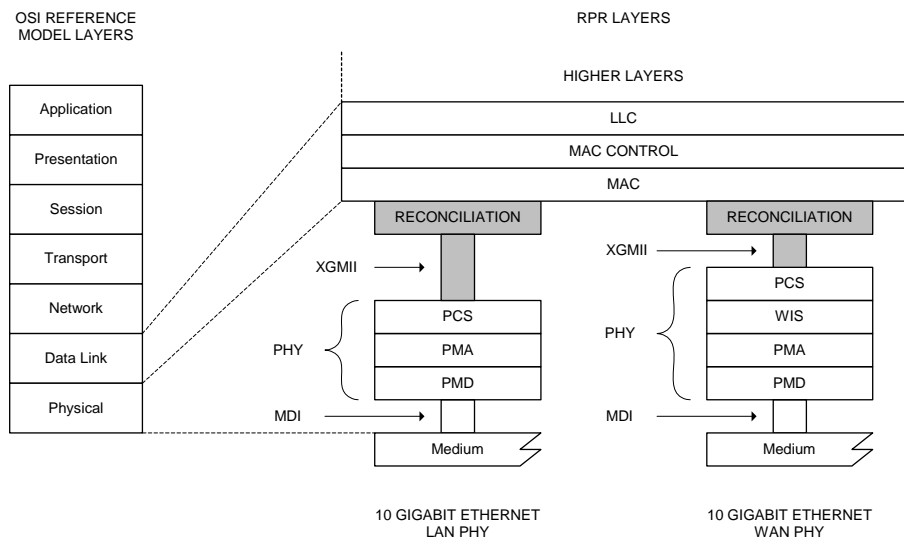
- » Anel duplo – *dual counter rotating ring*
- » Ambos os anéis transportam tráfego (ao contrário de FDDI ou de anéis SONET/SDH em que 50% da capacidade é reservada para protecção)
- » Cada nó selecciona o anel que oferece o percurso mais curto para o destino
 - Os nós mantêm um mapa topológico da rede, sendo a topologia da rede descoberta com base em tráfego de controlo
 - O tráfego de controlo relativo ao tráfego de dados num anel é transportado no outro anel
 - » Os pacotes de controlo são usados para descoberta da topologia, para protecção inteligente e controlo da largura de banda
- » Esquemas de protecção (reconfiguração)
 - *Wrapping*
 - *Steering*

Arquitectura – RPR sobre SONET/SDH



MDI – MEDIUM DEPENDENT INTERFACE
 SPI – SYSTEM PACKET INTERFACE
 GFP – GENERIC FRAMING PROTOCOL

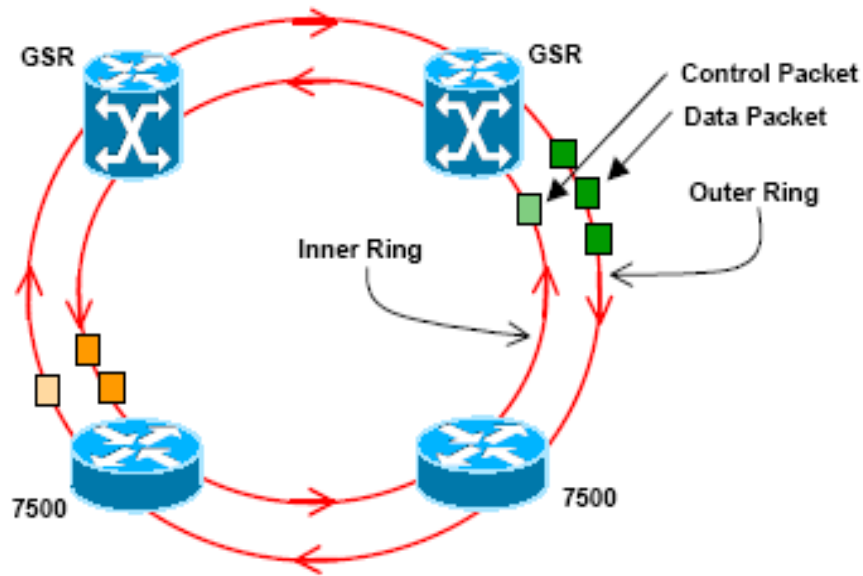
Arquitectura – RPR sobre 10 Gigabit Ethernet



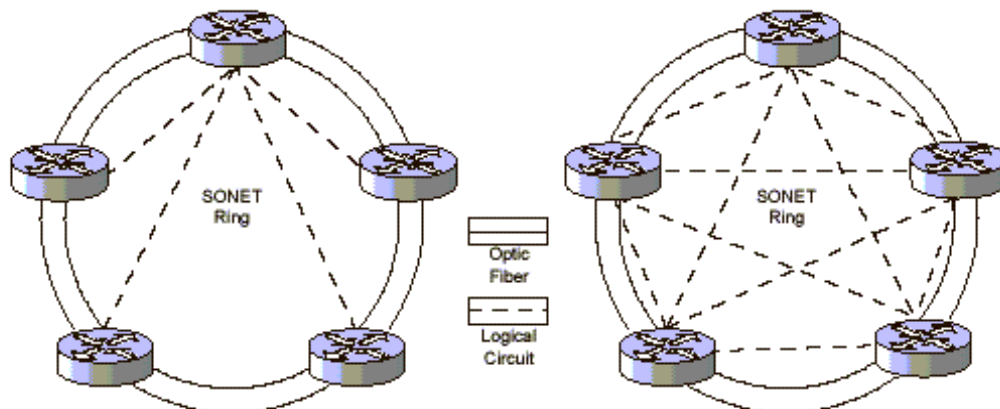
LLC = LOGICAL LINK CONTROL
 MAC = MEDIA ACCESS CONTROL
 MDI = MEDIUM DEPENDENT INTERFACE
 PCS = PHYSICAL CODING SUBLAYER
 PHY = PHYSICAL LAYER ENTITY

PMA = PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT
 PMD = PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT
 WIS = WAN INTERFACE SUBLAYER
 XGMII = 10 GIGABIT MEDIA INDEPENDENT INTERFACE

Anéis RPR – tráfego de dados e de controlo



Comparação de RPR com TDM em SONET/SDH

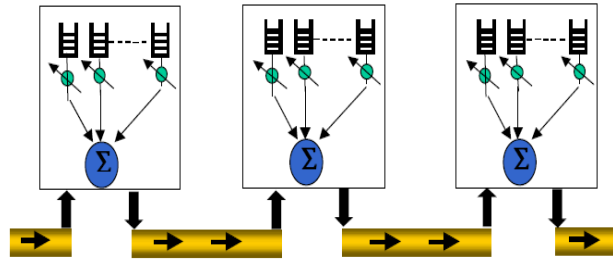


No exemplo com cinco nós

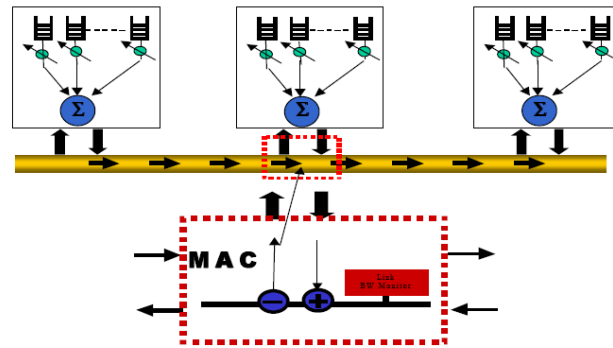
- » Topologia lógica em estrela (*hub*), típica de redes de acesso – com TDM é necessário disponibilizar quatro circuitos ponto a ponto
- » Topologia lógica em malha (*mesh*), típica de redes de núcleo (*core*) – com TDM é necessário disponibilizar dez circuitos ponto a ponto

Comparação de RPR com Ethernet

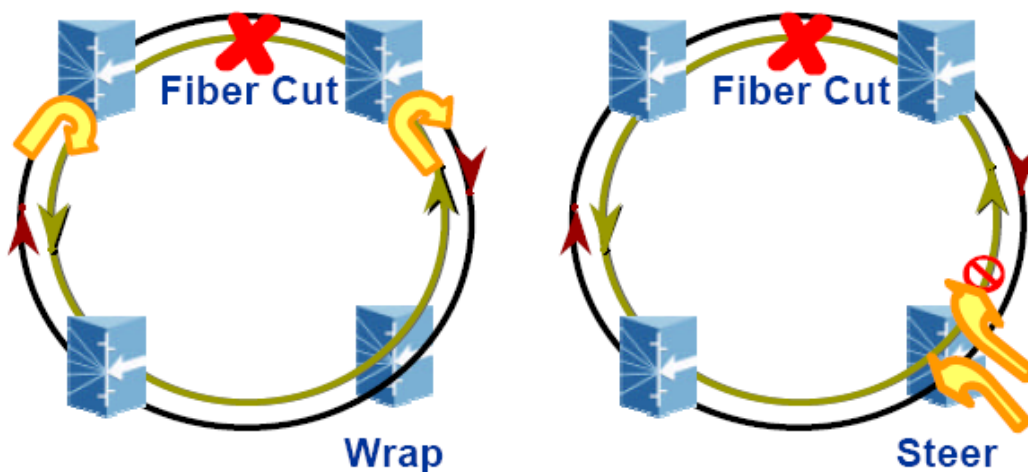
Ethernet – os nós são ligados por circuitos ponto-a-ponto; cada pacote é processado por cada nó no percurso entre a origem e o destino



RPR – os nós funcionam como ADM (*add-drop multiplexers*) ligados a um meio partilhado; pacotes em trânsito não são processados nos nós intermédios



Reconfiguração – wrapping e steering



Encapsulamento baseado em LLC

- » Encapsulamento de protocolos “encaminháveis” (*routed ISO protocols*)
 - Identificado por DSAP = SSAP = 0xFE
 - O primeiro octeto do campo de Dados é NLPID (*Network Layer Protocol Identifier*), administrado por ISO / ITU
 - » NLPID é também usado em encapsulamento não baseado em LLC
 - Valores de NLPID
 - » 0x00 *Null Network Layer / Inactive Set*
 - » 0x08 *ITU-T Q.933*
 - » 0x80 *SNAP (Subnetwork Access Protocol)*
 - Usado em encapsulamento não baseado em LLC quando o protocolo não tem NLPID associado
 - LLC suporta encapsulamento LLC/SNAP
 - » 0x81 *ISO CLNP*
 - » 0x82 *ISO ES-IS*
 - » 0x83 *ISO IS-IS*
 - » 0xCC *IP*
 - IP não é protocolo ISO mas tem NLPID associado
 - IP é normalmente encapsulado com base em LLC/SNAP (LANs, IP sobre ATM, LANE)
- » Encapsulamento LLC/SNAP
 - » Identificado por DSAP = SSAP = 0xAA

Encapsulamento LLC/SNAP

- » O campo SNAP é constituído por cinco octetos
 - OUI *Organizationally Unique Identifier* (3 octetos)
 - PID *Protocol Identifier*, normalmente designado *Ether Type* (2 octetos)
 - » Tipos de encapsulamento
 - *Routed non ISO PDUs* OUI = 0x000000
 - *Bridged IEEE 802 PDUs* OUI = 0x0080C2
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> » <i>Routed non ISO PDUs – PID</i> <ul style="list-style-type: none"> – 0x0800 IP (RFC 1042) – 0x0806 ARP – 0x0807 XNS – 0x6003 DECnet – 0x8035 RARP – 0x809B AppleTalk – 0x8137 IPX | <ul style="list-style-type: none"> » <i>Bridged IEEE 802 PDUs – PID</i> <ul style="list-style-type: none"> – 0x0001/0007 IEEE 802.3 – 0x0002/0008 IEEE 802.4 – 0x0003/0009 IEEE 802.5 – 0x0004/000A FDDI – 0x000E BPDUs |
|---|---|