

COMUNICAÇÃO DE DADOS

UnB

Parte 6

Prof. Fabio Montoro
março 1995
r1 (1996)

6 REDE LOCAL ETHERNET

As redes locais atuais se baseiam em três modos de funcionamento distintos, citados a seguir, sob os quais foram estabelecidos diversos padrões:

- Meio compartilhado, acesso aleatório: Ethernet (antigo)
- Meio compartilhado, acesso sequencial: Token Ring, FDDI, CDDI
- Meio segmentado, acesso comutado ATM e Ethernet

No primeiro modo, meio compartilhado com acesso aleatório, também chamado de difusão, as estações vão utilizar o mesmo meio de comunicação e vão tentar ter acesso a ele em um instante aleatório, correndo o risco de outra estação fazer o mesmo, no mesmo instante.

Norman Abramson, criou, na Universidade do Hawai, nos anos 70, um método de acesso chamado Aloha, para resolver o problema do acesso aleatório em uma rede de difusão via satélite.

O método Aloha é simples: cada estação inicia sua transmissão no instante que quiser e fica monitorando o meio. Se houver colisão com outra transmissão, transmite novamente após esperar um tempo aleatório.



Norman Abramson

Um método derivado do Aloha, o CSMA/CD, foi o adotado pelo padrão Ethernet, descrito adiante.

O segundo modo, meio compartilhado com acesso sequencial, levou a outros padrões de rede local como o Token Ring da IBM, o FDDI e o CDDI.

Nesse modo, as estações se posicionam em um meio de transmissão na forma de anel e transmitem somente no momento a elas alocados.

O terceiro modo, meio segmentado com acesso chaveado, se aplica à nova tecnologia ATM e ao próprio Ethernet.

Nesse modo, um comutador central recebe as transmissões de todas as estações, uma em cada porta, sob a forma de pacotes, e os encaminha às portas destino. Dessa forma, cada estação pode transmitir no instante que desejar mas não haverá colisão pois o comutador recebe os pacotes nas portas origem e os posiciona, em filas, nas portas destino.

6.1 PADRÃO ETHERNET

Ethernet é um padrão de rede local que foi desenvolvido na Xerox em 1972, mais especificamente em seu Laboratório de Pesquisa de Palo Alto (PARC), pelo pesquisador Bob Metcalfe, que o patenteou^{1 2}.

As redes locais que utilizam o padrão Ethernet são, hoje, inegavelmente predominantes. Começaram utilizando a velocidade de 10 Mbps, depois surgiram os equipamentos de 100 Mbps (Fast Ethernet) e logo teremos 1 Gbps (Gigabit Ethernet). As regras de projeto, no entanto, são praticamente as mesmas.



Neste capítulo estudaremos o padrão Ethernet e os equipamentos necessários para implementar as redes locais.

6.2 O PACOTE ETHERNET

As transmissões são feitas por pacotes, sem recibo, que podem ter de 72 a 1526 bytes, cujos campos podem ser vistos a seguir, com a indicação de quantos bytes existem em cada campo.

¹ Em 1977 Bob Metcalfe e outros três pesquisadores registraram a patente do Ethernet com o nome de “*Multipoint Data Communication System With Collision Detection*”. Também patentearam o repetidor Ethernet em 1978. A propriedade do invento era da Xerox. Por sugestão de Metcalfe a Xerox publicou, em setembro de 1980, e abriu o padrão Ethernet, junto com outras duas empresas, a Digital Equipment Corporation (DEC) e a Intel. A Xerox passou a licenciar o padrão a quem quisesse, cobrando uma taxa. Em 1982 a Xerox abriu mão da marca Ethernet, permitindo que se tornasse um padrão aberto, que veio a se consolidar com a publicação da norma 802.3 pelo IEEE. Em 1979 Metcalfe fundou a empresa 3Com para comercializar os produtos Ethernet.

² Ref. 66.

O meio de comunicação é compartilhado por todas as estações e o acesso ao meio é aleatório segundo um algoritmo chamado CSMA/CD, ou "Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection"

A estação deve esperar pelo menos 9,6 μ s antes de iniciar a transmissão de outro pacote.

O pacote é formado por 6 campos distintos:

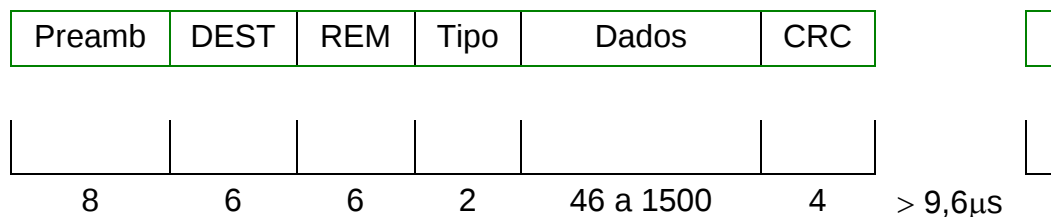


Fig. 6.1: Pacote Ethernet

6.2.1 Preâmbulo: sequência para sincronismo do receptor:

1010...1011 (8 bytes). Durante a recepção do preâmbulo o receptor reconhece que está chegando um pacote e sincroniza seus circuitos aos bits que chegam.

- DEST: endereço do destinatário (6 bytes)
- REM: endereço o destinatário (6 bytes)

Os endereços são divididos em duas metades. A primeira, de 3 bytes, indica o fabricante do equipamento de acesso. A tabela 6.1 mostra alguns exemplos. A segunda é um número sequencial. Esses endereços são do equipamento que está fisicamente conectado à rede. Cada equipamento já vem de fábrica com seu endereço Ethernet, também chamado de endereço MAC.

Tabela 6.1: Parte do campo endereço que especifica o fabricante

3 Bytes	Fabricante
00-00-0C	Cisco
00-00-1B	Novell
00-00-6D	Cray Communications

00-00-79	Networth
00-00-AA	Xerox
00-00-C0	Western Digital
00-00-E8	Accton
00-20-48	Fore Systems
00-20-DA	Xylan
00-60-8C	3Com
00-C0-13	Netrix
00-C0-1D	Grand Junction Networks
00-C0-43	Stratacom
00-C0-64	General Datacomm
02-07-01	Racal-Datacomm
08-00-07	Apple Computer
08-00-09	Hewlett Packard
08-00-0B	Unisys
08-00-10	AT&T
08-00-1F	Sharp
08-00-5A	IBM
08-00-8F	Chipcom

Tipo: define o protocolo encapsulado no campo "dados" (2 bytes). Na notação hexadecimal seu valor deve ser maior ou igual a 0600h. Essas atribuições eram feitas pela Xerox. A tabela 6.2 mostra alguns.

Tabela 6.2: Campo Tipo

Tipo	Protocolo
0600	XNS - Xerox Networks
0800	IP - ARPANET Internet Protocol
0BAD	Banyan VINES
6001	MOP - DEC
6004	LAT - DEC
6010	3Com
7000	Ungermann-Bass
809B	Applletalk/Ethertalk

809C	Penril Datability
80D5	SNA - IBM
8138	Novell

- **Dados:** comprimento variável, de 46 a 1500 bytes
- **CRC:** bits de redundância cíclica, calculado sobre todos os demais campos (exceto o preâmbulo).

6.2.2 Pacote 802.3

A próxima figura mostra o formato do pacote 802.3.

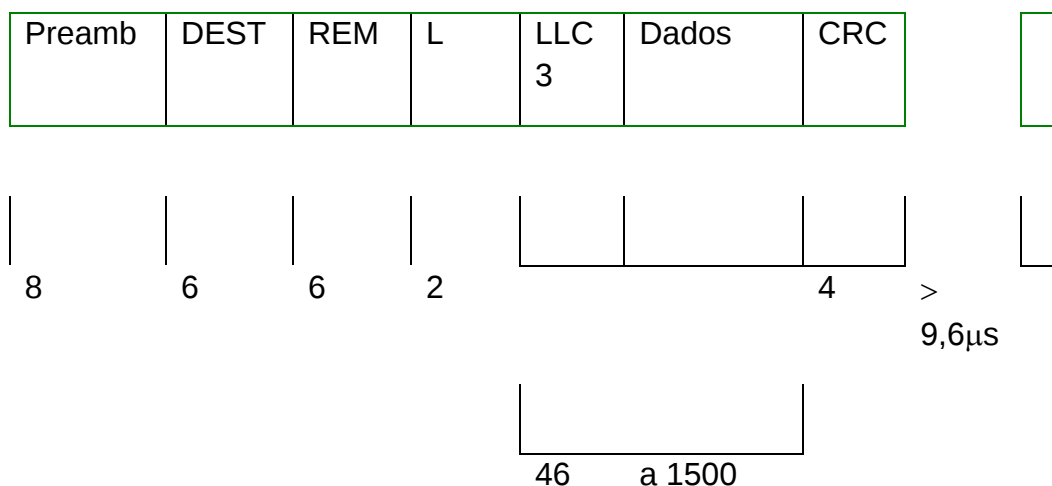


Fig. 6.2: Pacote 802.3

Similar ao pacote Ethernet, possui um campo de comprimento ("L") no lugar do campo tipo. Os campos "Dados" e "LLC" do pacote 802.3, juntos, tem o comprimento total do campo "Dados" do pacote Ethernet.

O campo "L" especifica o comprimento do campo "Dados". O maior valor desse campo é 05DCh, que corresponde a 1500 em decimal. O campo "Tipo" do pacote Ethernet, fica na mesma posição e possui um valor igual ou maior que 0600h. Pelo conteúdo desse campo pode-se determinar se o pacote é Ethernet ou 802.3.

A especificação IEEE 802 define um protocolo da camada de enlace, dividido em duas subcamadas, MAC e LLC, a fim de isolar a camada física

³ LLC = *Logical Link Control*

(MAC), que depende do meio físico (Ethernet, Token Ring, etc.), da camada lógica, independente do meio.

Veja, pela figura 6.3, que a subcamada LLC é encapsulada na subcamada MAC.

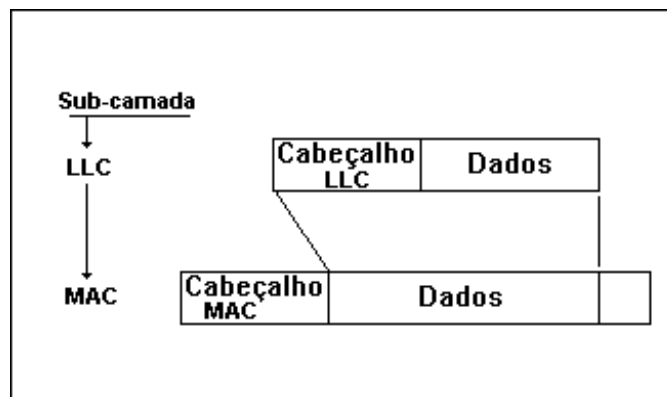


Fig. 6.3: Sub-camada LLC

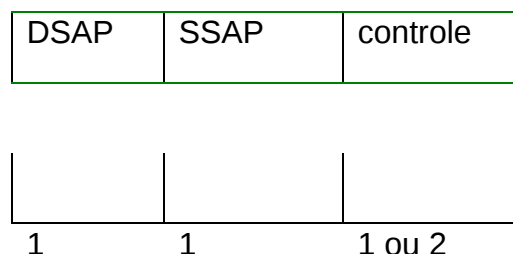
A subcamada LLC oferece três tipos de serviços:

- LLC1 = sem aceite, sem conexão
- LLC2 = com aceite, com conexão
- LLC3 = com aceite, sem conexão

A maioria dos aplicativos que rodam em rede local dispensam as garantias de integridade oferecidas pelo LLC2 e preferem utilizar o serviço tipo LLC1 a fim de ganhar eficiência.

O campo “LLC” (cabeçalho LLC) é dividido em três partes:

- DSAP4 = processo destino
- SSAP5 = processo fonte
- Campo de controle



⁴ DSAP = *Destination Service Access Point*

⁵ SSAP = *Source Service Access Point*



Fig. 6.4: Cabeçalho do LLC

Os campos DSAP e SSAP definem os processos ou protocolos no destino (DSAP) e na origem (SSAP). A tabela 6.3 apresenta alguns exemplos.

Tabela 6.3: Códigos SAP

SAP	Processo
E0	Netware da Novell
F0	NetBIOS
06	TCP/IP
04	SNA da IBM
AA	SNAP
80	XNS da Xerox
FE	OSI
BC	Banyan VINES
FA	Ungermann-Bass

- controle = determina tipo de pacote, tipo de operação, etc.

6.2.3 Transmissão do pacote

O pacote é transmitido byte a byte e para cada byte, do bit menos significativo para o mais significativo.

Por exemplo: um pacote cujo endereço do destinatário é 00-20-DA em hexadecimal, ou 00000001-00100000-11011010 em binário, terá o primeiro bit do primeiro byte transmitido primeiro ("1") e assim por diante.

6.2.4 Recepção do pacote

Cada estação conectada no cabo recebe o pacote transmitido. O preâmbulo (64 bits) é apenas utilizado para sincronizar o receptor para que ele saiba o início exato do primeiro campo, que é o endereço do destinatário.

O receptor verifica o endereço e captura o pacote se:

- Ele é o destinatário
- O pacote é um broadcasting (endereço = FFFFFFFFFF)
- O pacote é um multicast. Sabe-se que um pacote é um multicast quando o bit menos significativo do primeiro byte do endereço do destinatário for igual a "1". Os três primeiros bytes do endereço identificam o fabricante e todos são números pares. Quando o número é ímpar significa que o pacote é um multicast daquele fabricante com o código imediatamente anterior.
- O receptor estiver no estado promíscuo.

6.3 TAXA REAL DE TRANSMISSÃO SEM COLISÕES

Vamos determinar a taxa real de transmissão, supondo que não existam colisões. Temos os seguintes dados:

- Velocidade na linha = 10 Mbps
- Duração de um bit = 10^{-7} s = 0,1 μ s

Definiremos TRT, Taxa Real de Transmissão, como sendo a razão entre os bits de dados transmitidos no meio, e o tempo gasto para isso. Então:

$$TRT = \frac{\text{bits de dados}}{\text{tempo gasto}}$$

Vamos analisar o que ocorre em duas situações extremas: com o maior e o menor pacotes Ethernet possíveis.

O maior pacote Ethernet possível dura:

$$(1526 \text{ bytes}) (8 \text{ bits}) (0,1 \mu\text{s}) + 9,6 \mu\text{s} = 1230,4 \mu\text{s}$$

Então:

$$TRT_{m\acute{a}x} = \frac{1500 \cdot 8bits}{1230,4\mu s} \quad \boxed{TRT_{m\acute{a}x} = 9,75 Mbps}$$

O menor pacote Ethernet possível dura:

$$(72 \text{ bytes}) (8 \text{ bits}) (0,1\mu s) + 9,6 \mu s = 67,2 \mu s$$

Então:

$$TRT_{m\acute{a}x} = \frac{46 \cdot 8bits}{67,2\mu s} \quad \boxed{TRT_{m\acute{a}x} = 5,48 Mbps}$$

Numa condição ideal, sem colisões, a máxima taxa real de transmissão em um segmento Ethernet ficará entre os dois limites calculados.

A velocidade máxima, teórica, de pacotes no cabo será obtida no caso da estação transmitir sempre o menor pacote:

$$\boxed{\frac{1}{67,2\mu s} \cong 14880 pps}$$

6.4 COLISÃO

Cada estação decide em que instante vai transmitir e verifica se existe sinal no cabo. Se não há sinal no cabo a estação inicia sua transmissão.

Se, por acaso, outra estação também iniciou sua transmissão ao mesmo tempo, os sinais das duas vão se propagar pelo cabo e colidir em algum ponto entre as duas estações.

Digamos que o tempo de propagação do sinal no cabo, entre as duas estações, local e remota, é Δt .

Se a colisão ocorrer perto da estação local, esta vai imediatamente sentir o sinal colidido. Mas se a colisão ocorrer perto da estação remota, a local somente vai sentir o sinal colidido após decorrido $2\Delta t$.

Para se garantir que vai haver detecção da colisão, a estação local deve ficar transmitindo pelo menos durante esse tempo $2\Delta t$.

Então, o menor pacote Ethernet deve ter um comprimento tal que o seu tempo de transmissão seja maior que $2\Delta t$. Como foi visto anteriormente, o

menor pacote Ethernet, desconsiderando o preâmbulo pois este é utilizado para sincronismo do receptor, possui 512 bits, então:

$$(512 \text{ bits}) \times (0,1 \text{ } \mu\text{s}) > 2\Delta t$$

Ou seja:

$$2\Delta t < 51,2 \text{ } \mu\text{s}$$

Finalmente:

$$\Delta t < 25,6 \text{ } \mu\text{s}$$

Portanto, conclui-se que, em uma rede Ethernet, o tempo de propagação do sinal, de uma estação para qualquer outra estação da rede, deve ser menor que 25,6 μs .

6.5 MÉTODO DE ACESSO AO MEIO: CSMA/CD⁶

Esse é o método de acesso utilizado pelo padrão Ethernet.

Antes de transmitir a estação verifica se há atividade (transmissões) no cabo (Carrier sense). Enquanto houver atividade no cabo a estação aguarda.

Ao detectar que o cabo está livre a estação inicia a transmissão de um pacote. Durante a transmissão a estação fica continuamente monitorando se ocorre uma colisão (dois sinais misturados). Só pode ocorrer colisão nos primeiros 51,2 μs , se a rede estiver dentro das especificações.

Se não houver colisão nesse início de transmissão, que corresponde aos primeiros 512 bits do pacote, diz-se que a estação ganhou o cabo e sua transmissão vai continuar até o final.

Se a estação detectar uma colisão ela aborta imediatamente sua transmissão e envia uma sequência de reforço de colisão, chamada de jam, de 32 bits, que corresponde a um lixo na linha, para sinalizar às outras estações que houve colisão.

A figura 6.5 mostra o fluxograma do método de acesso.

⁶ *Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*

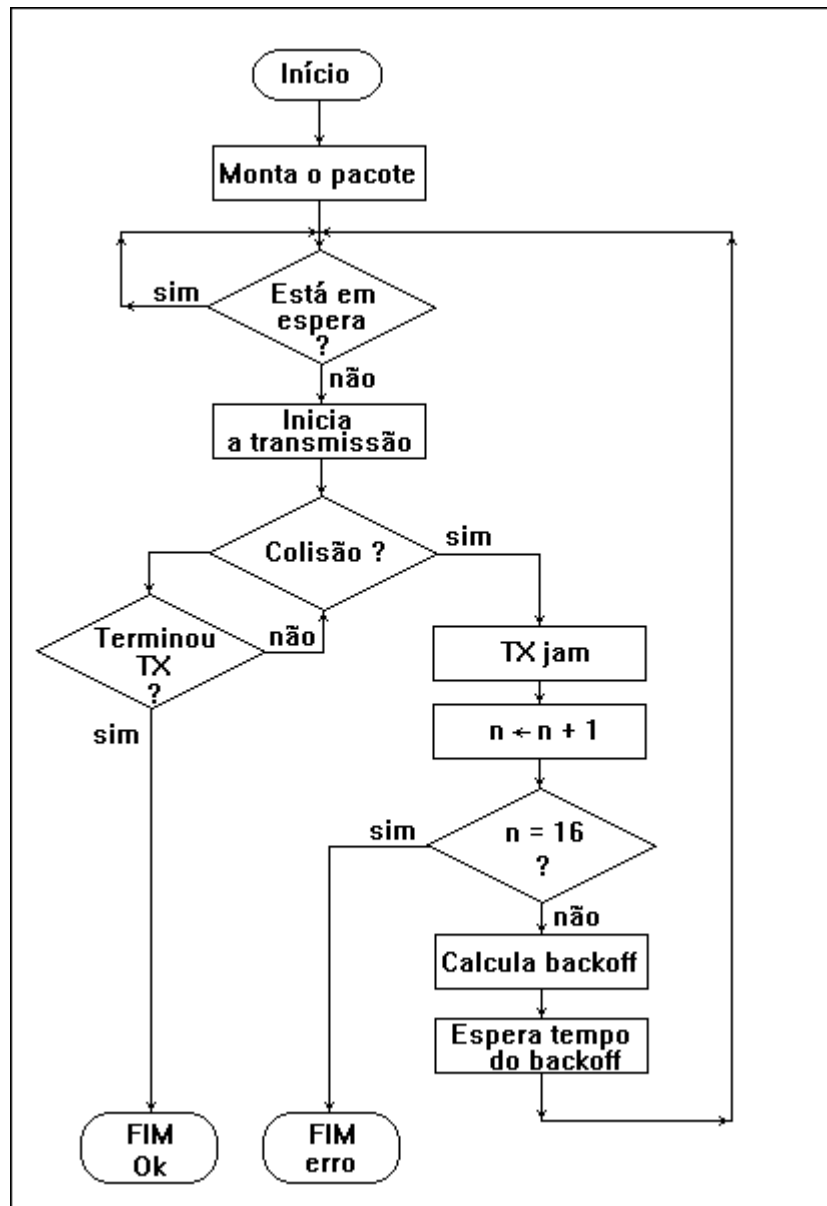


Fig. 6.5: Fluxograma do CSMA/CD

Ao detectar a colisão, todas as estações iniciam um algoritmo chamado de backoff binário exponencial truncado, que estabelece um tempo aleatório de espera, a fim de evitar nova coincidência de transmissões na próxima tentativa. O tempo de espera é múltiplo de $51,2 \mu s$ (duração de 512 bits, chamado de slotTime). O número "r", que indica quantos slotTimes possui a espera, é dado por:

$$0 < r < 2k \quad \text{onde } k = \min(n, 10)$$

O valor de "r" é escolhido aleatoriamente entre "0" e $2k-1$. O valor de "k" é o menor valor escolhido entre "n", que é o seqüencial de tentativas, e 10. Cada estação faz até 16 tentativas de ganhar o cabo e, se não conseguir,

aborta o processo, ou seja, descarta o pacote. Note que, cada vez que a estação tenta ganhar o cabo e não consegue, o próximo tempo de espera tende a ser maior. O maior tempo de espera possível é 52,38 ms, e pode ocorrer a partir da décima tentativa.

6.6 TRANSCCEPTOR

Dispositivo eletrônico que transmite e recebe sinal no meio físico. É a interface entre os circuitos digitais do ETD (Equipamento Terminal de Dados) e o meio de transmissão (cabo). A norma IEEE 802.3 chama esse dispositivo de MAU (Medium Attachment Unit). Possui uma interface digital do lado ETD e uma interface analógica do lado do meio de transmissão. No caso do transceptor Ethernet para cabo grosso, a interface digital é chamada de AUI (Attachment Unit Interface), e possui um conector tipo D7 de 15 pinos.

6.7 REDE MULTI-SEGMENTOS

Vimos que o padrão Ethernet definiu 4 tipos de segmentos, sendo que o pioneiro foi um trecho de cabo coaxial grosso, onde podem ser ligadas até 99 estações.

O padrão Ethernet permite que se interligue dois segmentos, por meio de um repetidor, ampliando, assim, a rede local.

6.7.1 Repetidor Ethernet

É um regenerador de sinal. Atua somente na camada física, ou seja, não analisa qualquer informação contida no pacote. Pode possuir duas ou mais portas com um transceptor em cada uma. O repetidor transmite em todas as portas o sinal que recebe em uma delas.

O repetidor é transparente para o sistema, ou seja, ele passa os pacotes independentemente se eles possuem ou não erros.

As aplicações do repetidor são:

- Permitir que uma mesma rede possua vários segmentos com meios iguais ou diferentes.
- Permitir a conexão de mais estações na rede.
- Estender o alcance geográfico de uma rede.

⁷ O formato do encaixe do conector lembra a letra “D”.

Suas funções básicas são:

- Reconstrução do preâmbulo
- Sincronização dos bits
- Regeneração da amplitude
- Reforço de colisão
- Auto-partição de segmento

Veremos cada uma delas a seguir.

6.7.1.1 Reconstituição do preâmbulo

O preâmbulo tem 64 bits, como vimos anteriormente, e serve para o receptor detectar a presença de sinal e se sincronizar à sequência de bits antes que chegue o primeiro bit de informação do pacote, que é o primeiro bit do endereço do destinatário. O receptor, no entanto, perde os primeiros bits do preâmbulo devido à inércia de seus circuitos eletrônicos em detectar e sincronizar. Portanto, o repetidor deve inserir os bits que foram perdidos, formando um preâmbulo completo e então transmiti-lo em todas as suas portas.

6.7.1.2 Sincronização dos bits

O pacote recebido chega com oscilação de frequência⁸ (seus bits possuem larguras diferentes) devido às características dos cabos e outros elementos da rede. O receptor retransmite o pacote utilizando seu próprio sincronismo interno (oscilador de 10 MHz interno), a fim de garantir que todos os bits terão a mesma largura.

6.7.1.3 Regeneração da amplitude

O receptor também recebe o sinal atenuado e muitas vezes com oscilação de amplitude⁹, e reconstitui essa amplitude para o valor definido na norma.

⁸ Conhecido como *jitter* de frequência.

⁹ Conhecido como *jitter* de amplitude.

6.7.1.4 Reforço de colisão

Quando o receptor detecta colisão em um de seus segmentos, começa a transmitir uma sequência de 32 bits “1”s e “0”s alternados, conhecida como sequência de jam. Se a colisão for detectada durante o preâmbulo, a sequência vai se estender até completar um total de 96 bits. A finalidade dessa transmissão é garantir que todas as estações detectem a colisão.

6.7.1.5 Auto-partição de segmento

Característica obrigatória para as portas 10baseT mas opcionais para as demais (10b2, 10b5 e 10bFL), cuja finalidade é proteger os diversos segmentos da rede, isolando aquele que esteja apresentando problemas (30 pacotes anormais consecutivos ou sinal de colisão muito longo).

6.7.2 Domínio de colisão

Região de uma rede local onde a transmissão de uma estação atinge todas as demais, independentemente dos endereços Ethernet. Há, portanto, possibilidade de acontecer colisão entre as transmissões de duas estações quaisquer pertinentes à essa região. Se duas estações estão no mesmo domínio, suas transmissões podem colidir.

Duas estações separadas por um repetidor estão no mesmo domínio de colisão.

6.7.3 Interconexão de segmentos

Abordaremos agora as regras para interconectar vários segmentos e formar uma rede maior, seja em extensão geográfica ou em quantidade de estações.

As regras apresentadas aqui se baseiam na norma IEEE 802.3 para redes de 10 Mbps. Há dois conjuntos de regras de projeto:

- Orientações de contorno
- Cálculos de retardo e estrangulamento inter-pacotes

6.7.3.1 Orientações de contorno

O primeiro conjunto de regras para projeto de redes Ethernet multissegmentos se baseia em orientações de contorno:

1. Qualquer interligação entre dois segmentos deve ser feita por um repetidor Ethernet.
2. As portas dos repetidores devem ser incluídas na contagem do número máximo permitido de estações no segmento.
3. No caminho entre quaisquer duas estações deve ter, no máximo, 5 segmentos e quatro repetidores.
4. Cabo AUI para transceptor 10base5 não pode exceder 50 metros. Cabo AUI para transceptor 10baseFL não pode exceder 25 metros.
5. Se um caminho consistir de 4 repetidores e cinco segmentos, somente três podem conter estações. Os outros dois devem ser segmentos UTP ou fibra.
6. Se o caminho tiver 5 segmentos, cada segmento de fibra ótica deve ser limitado a 500 m.
7. Se o caminho tiver 4 segmentos, cada segmento de fibra ótica entre dois repetidores deve ser limitado a 1 km e entre um repetidor e uma estação deve ser limitado a 400 m.

As regras 3 e 5 são conhecidas como regra 5-4-3: cinco segmentos, quatro repetidores, três segmentos com estações.

Como o segmento de cabo grosso pode ter até 500 m, diz-se que o diâmetro máximo de uma rede local multissegmentos é de 2,5 km

6.7.3.2 Cálculo do retardo máximo

O primeiro passo do segundo conjunto de regras para projeto de redes multissegmentos consiste em calcular os retardos envolvidos nos caminhos entre as estações, para verificar se estão dentro do limite. A próxima tabela mostra os retardos típicos para elementos operando a 10 Mbps.

Tabela 6.4: Retardos típicos

Elemento	Retardo [μ s]
Cabo 10base5 com 100 m	0,50
Cabo 10base2 com 100 m	0,51

Cabo 10baseT com 100 m	0,55
Cabo FOIRL ou 10base FL com 100 m	0,48
Repetidor	2
Transceptor do ETD	2
Cabo AUI com 50 m	0,25

Como vimos anteriormente, o retardo total entre duas estações, em um mesmo domínio de colisão, deve ser menor que 25,6 μs para o Ethernet a 10 Mbps. A seguir, apresento dois exemplos onde os cálculos mostram que o domínio de colisão atende ao quesito do retardo máximo.

Exemplo 1:

4 repetidores	8,00 μs
2500 m cabo 10base5	12,50 μs
2 ETD	4,00 μs
100 m cabo AUI	0,50 μs
Retardo total Δt	25,00 μs

Exemplo 2:

4 repetidores	8,00 μs
5 segmentos UTP	2,75 μs
2 ETD	4,00 μs
Retardo total Δt	14,75 μs

A norma 802.3 estabelece um procedimento diferente do que apresentei aqui, onde os dados são extraídos de uma tabela, que apresenta outros segmentos não discutidos neste trabalho, mas o resultado obtido vai ser o mesmo.

6.7.4 Repetidores Ethernet comercialmente disponíveis

O mercado adotou dois jargões para os repetidores Ethernet: "hub", quando o repetidor possui uma quantidade fixa de portas, e "concentrador",

quando o repetidor possui um chassis com slots para placas de expansão e cada placa possui um certo número de portas.

O hub pode ter um (ou mais de um) slot para encaixar um módulo com uma porta adicional. Normalmente o hub é encontrado com 8, 12, 16, 24 ou 32 portas (sem contar as que podem ser adicionadas nos módulos encaixáveis).

A figura 6.6 ilustra um hub com 32 portas e dois slots.

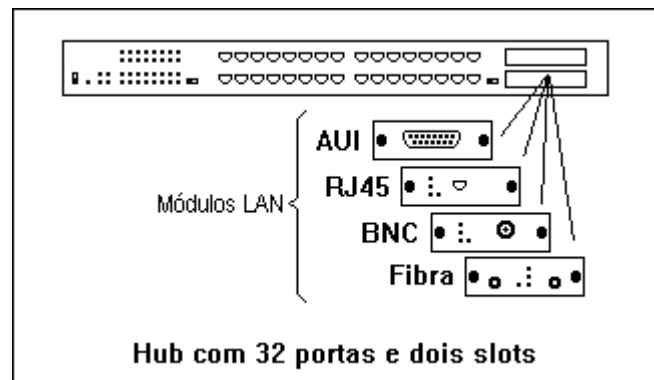


Fig. 6.6: Hub Ethernet

Normalmente o concentrador é encontrado em chassis de 3 a 10 slots. Cada slot pode receber uma placa. As opções normais de placas são: 8, 12 ou 24 portas UTP, 6 portas 10baseFL, 6 portas BNC, etc.

A figura 6.7 ilustra um concentrador com 5 placas de 16 portas e outro concentrador com 4 placas com 16 portas em cada, sendo que uma das placas possui dois slots para módulos opcionais.

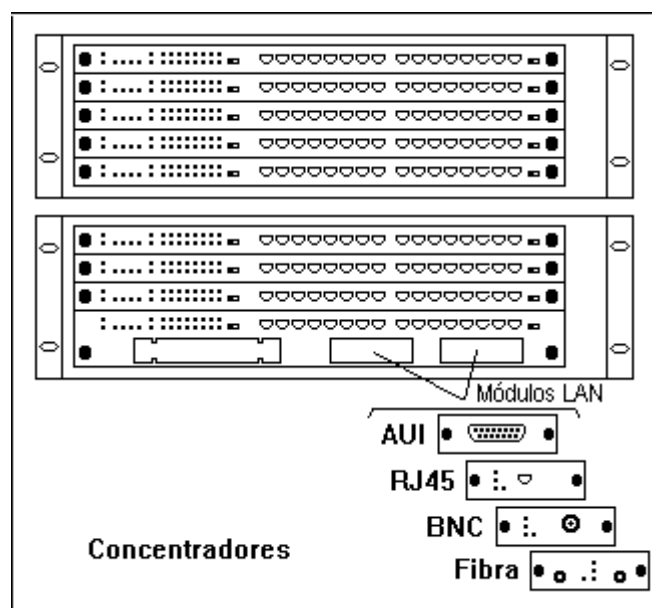


Fig. 6.7: Concentrador Ethernet

6.7.5 Cascadeamento de repetidores

Essa expressão é utilizada para denominar a interconexão de repetidores para UTP (10baseT ou 100baseT), através de suas portas. Note que para interligar dois repetidores através de suas portas UTP é preciso utilizar um cabo que inverta RX com TX (cabo cross).

O cascadeamento é uma ligação seqüencial de repetidores e, portanto, está sujeito às regras 5-4-3 e do retardo máximo.

6.7.6 Empilhamento de repetidores

Podemos expandir um repetidor do tipo concentrador, ou seja, aumentar o seu número de portas, por adição de placas de expansão. Quando se expande um repetidor dessa forma, ele continua se comportando como um único repetidor (naturalmente, com mais portas).

Os fabricantes lançaram uma técnica para expandir repetidores, chamada de "empilhamento", que consiste em conectar os barramentos internos de dois ou mais equipamentos, com um cabo especial. Nesse caso o cabo liga os dois repetidores fisicamente independentes, sem passar por transceptor, caracterizando um único repetidor lógico.

Os hubs que possuem essa característica, permitem expandir portas de conexão sem aumentar a quantidade de hubs. A próxima figura mostra as duas situações: no cascadeamento existem dois repetidores e no empilhamento somente um.

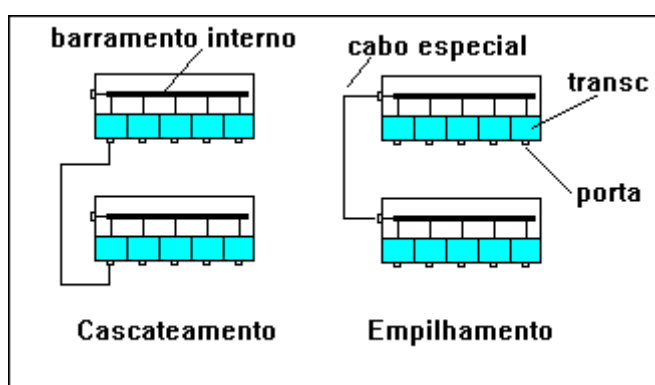


Fig. 6.8: Cascadeamento e empilhamento

Não há um padrão para empilhamento. Cada fabricante possui uma interface proprietária (cabo, conector, pinagem, etc.), tornando, portanto, impossível empilhar repetidores de fabricantes diferentes.

A figura 6.9 ilustra uma rede com cinco centros de concentração. O centro principal possui um hub com 32 portas e 4 slots. Nos slots desse hub foram colocados um módulo com uma porta UTP, um módulo com uma porta BNC e dois módulos com portas de fibra ótica, que se ligam aos centros secundários.

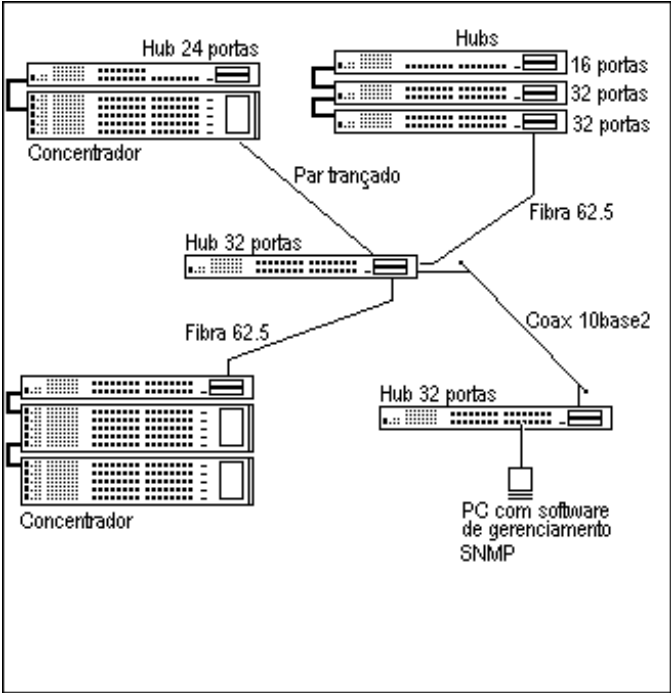


Fig. 6.9: Aplicação de hubs e concentradores

A tabela 6.5 mostra alguns exemplos de hubs Ethernet 10 Mbps disponíveis comercialmente.

Tabela 6.5: Exemplos de hubs comerciais

Modelo	Portas UTP	Portas AUI	Portas BNC	Portas ST	Slots	Máx portas
AT-MR820	8	1	0	0	0	9
AT-3012T	12	1	0	0	0	13
AT-3612TR	12	0	0	0	1	13
AT-3624TR	24	0	0	0	1	25
AT-3624TRS	24	0	0	0	0	24

AT-3606F	0	0	0	6	1	7
AT-3608	0	0	8	0	1	9

6.8 UTILIZAÇÃO DO DOMÍNIO DE COLISÃO

O padrão Ethernet prevê um meio de transmissão compartilhado e disponibiliza uma banda de 10 Mbps para que as estações disputem no tempo.

As velocidades de transmissão, 10 Mbps para o Ethernet e 100 Mbps para o Fast Ethernet, são as velocidades com que os bits de dados são transmitidos no meio.

Vimos, anteriormente, que a taxa real de transmissão, máxima, sem colisão, varia de 5,48 a 9,75 Mbps, para o Ethernet a 10 Mbps, devido aos tempos gastos com o intervalo entre pacotes e com os bits de controle.

Define-se "utilização do domínio de colisão" como sendo o percentual do tempo em que existe atividade no domínio. Em uma situação de baixa utilização a probabilidade de colisão é baixa, já que quando uma estação quer transmitir ela tem grande chance de encontrar o meio livre.

Conforme vai crescendo a utilização do domínio, vai crescendo a taxa real de transmissão e também a probabilidade de colisão. Em um dado momento o sistema satura e a taxa real de transmissão começa a cair, apesar da utilização continuar aumentando. Claro! As colisões também cresceram ao ponto de tornarem o meio difícil de ser acessado.

Define-se eficiência de uma rede Ethernet como sendo:

$$e = \frac{TRT}{(Utilização)(velocidade)}$$

e= eficiência

velocidade = 10 ou 100 Mbps

Por exemplo: se uma rede apresenta uma TRT de 3 Mbps com uma utilização de 40%, então a eficiência é de 75%.

A eficiência cai se a utilização aumenta. A eficiência depende do tamanho do pacote que está sendo utilizado.

Vimos que a eficiência teórica (sem colisões) varia de 54,8% a 97,5%.

A figura 6.10 ilustra o comportamento de duas redes: uma com 200 estações e outra com apenas duas estações, ambas operando sempre com pacotes de 1000 bytes de dados. Note que a TRT começa a cair quando a utilização chega a 37% e, nesse ponto, a TRT é máxima e igual a 2,5 Mbps. Note, também, que a eficiência teórica é 96,3%.

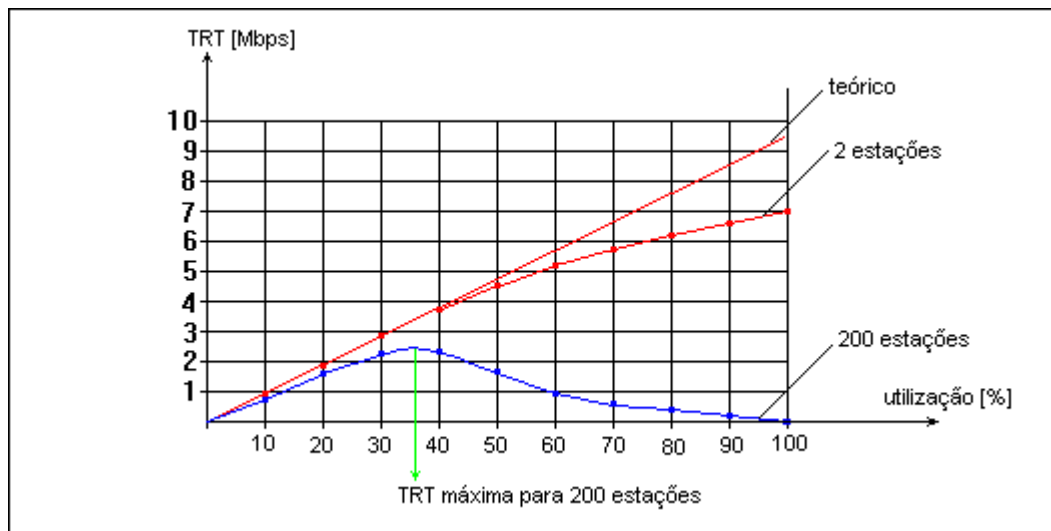


Fig. 6.10: TRT em função da utilização

6.9 SEGMENTAÇÃO DA REDE: BRIDGE

Vimos que a taxa efetiva de transmissão de um determinado domínio de colisão vai caindo, a partir de um certo ponto, conforme vai aumentando a sua utilização. Como melhorar a eficiência de uma rede quando ela estiver apresentando um alto nível de colisões ?

Uma solução é segmentar a rede em vários domínios de colisão e confinar os tráfegos regionais em cada um desses domínios. Isso vai gerar domínios com maior eficiência e, portanto, maior TRT. O tráfego que deve ser encaminhado para outro domínio será transportado por um equipamento especial, chamado de bridge.

A bridge, portanto, separa dois domínios de colisão, e se comporta como estação para os dois segmentos.

Imagine uma bridge com duas portas, cada uma ligada a um domínio da rede.

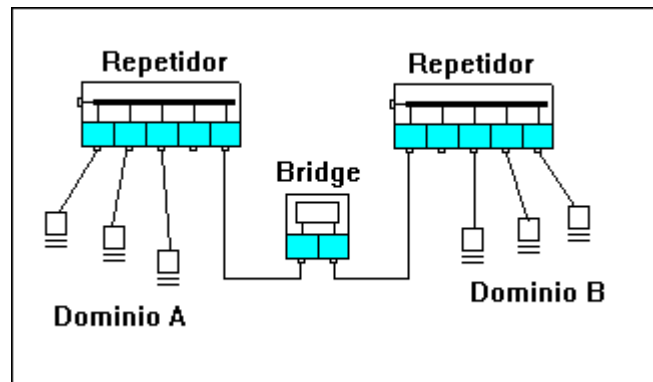


Fig. 6.11: Instalação da bridge

A primeira atividade da bridge é o aprendizado.

A bridge lê os endereços, destinatário e remetente, de todos os pacotes que circulam em cada um dos domínios, pois esses pacotes aparecem nas portas dos repetidores aos quais a bridge está ligada.

A bridge possui uma memória onde vai gravando em registros o endereço da estação remetente, a porta na qual o endereço foi capturado e a idade do registro. Essa memória forma uma tabela de endereços.

Na fase de aprendizado a bridge lê cada pacote que chega em suas portas, extrai o endereço do remetente, grava esse endereço e a respectiva porta na tabela, se ainda não constar.

A segunda atividade da bridge é filtrar ou transferir os pacotes que recebe em suas portas.

Digamos que a bridge recebeu um pacote na porta do domínio A. Ela lê o endereço do destinatário e procura na tabela do domínio B. Se essa estação constar como residente no domínio B, a bridge transfere o pacote; se o endereço constar da tabela do domínio A, a bridge filtra o pacote, ou seja, descarta o pacote.

A bridge pode ter várias portas, cada uma ligada a um domínio diferente. O procedimento da bridge será o mesmo, apenas terá que consultar várias tabelas para saber para onde deve transferir o pacote; se o endereço do pacote constar na tabela do domínio remetente, a bridge filtra e se não constar em nenhuma tabela ela transfere para todos os domínios.

Há duas técnicas básicas para operação da bridge:

- Store and forward
- Cut-through

6.9.1 Store and forward

A bridge armazena todo o pacote, verifica o CRC, analisa o endereço do destinatário e transfere ou filtra o pacote.

As vantagens da técnica store and forward são:

- Filtra os pacotes defeituosos (verificação do CRC)
- Tem a capacidade de fazer filtragens especiais (bridges de baixo custo não fazem)

6.9.2 Latência

É o tempo que o pacote demora para atravessar a bridge. É também chamado de latência FIFO (First In First Out). É a soma dos tempos de armazenagem e processamento do pacote.

Normalmente uma bridge utiliza circuitos combinacionais¹⁰ de alta velocidade, especialmente projetados para diminuir o tempo de processamento na implementação das regras decisórias de encaminhamento dos pacotes. Esses circuitos são chamados de ASICs (Application Specific Integrated Circuits).

Para outras tarefas que não impactem no desempenho da filtragem e transferência, a bridge utiliza a tecnologia de microprocessador.

A latência depende do tamanho do pacote pois a bridge deve armazenar todo o pacote e analisar o CRC.

A seguir veja as latências típicas de uma bridge, para o menor e o maior pacote Ethernet:

Tabela 6.6: Latências típicas

	Extensão	Duração	Latência
Menor pacote	72 bytes	67,2 μ s	90 μ s
Maior pacote	1526 bytes	1230,4 μ s	1280 μ s

¹⁰ Circuitos eletrônicos compostos de operadores lógicos AND, OR, NOR, etc.

6.9.3 Buffer de porta

Uma bridge pode ser representada por um modelo que possui uma fila de entrada e outra de saída, para cada porta.

Um ou vários processadores internos fazem a análise dos pacotes e a transferência para a porta destino, através de um barramento de alta velocidade (backplane).

Imagine que uma bridge multiporta recebe muito tráfego (em várias portas), destinado a uma única porta. O tamanho dos buffers vão definir a performance dessa bridge. Se um buffer de saída não conseguir armazenar os pacotes até as suas respectivas transmissões, os mesmos serão descartados.

Alguns protocolos atuais, como o Netware da Novell enviam até 16 pacotes consecutivos, do servidor para a estação, gerando cerca 24 kbyte de dados.

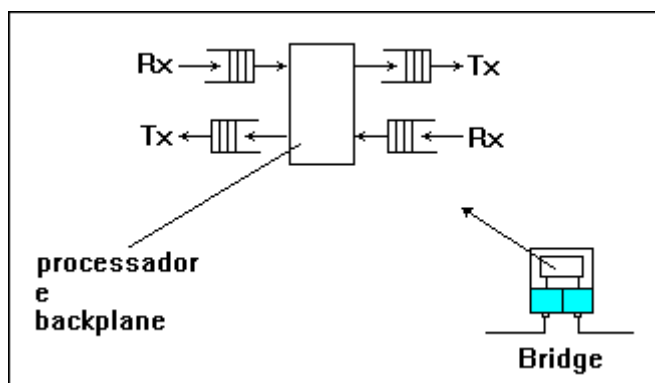


Fig. 6.12: Modelo simplificado da bridge

A performance de uma bridge é normalmente informada pelos fabricantes através dos seguintes parâmetros:

- Taxa de filtragem
- Taxa de transferência

A taxa de filtragem é a taxa máxima em que a bridge consegue inspecionar o pacote e decidir se ele deve ser filtrado ou transferido. Normalmente esse parâmetro indica a capacidade agregada de filtragem.

A taxa de transferência é a taxa máxima em que a bridge consegue inspecionar e transferir os pacotes. Também é normalmente informado como a capacidade agregada de transferir pacotes. A próxima tabela apresenta os dados de alguns equipamentos comerciais.

Tabela 6.7: Exemplos de bridges comerciais

Fabricante	Modelo	Filtragem	Transferência
Allied Telesyn	AT-6870	25.000	12.500
D-Link	DI-1100	20.000	12.000
Gandalf	LANline 5220	15.600	2.000
Penril	1210	17.000	11.000
Retix	2200	12.000	8.400

Pode-se considerar 20.000 pps uma boa taxa de filtragem e 12.000 pps uma boa taxa de transferência. Quanto mais portas tiver a bridge, melhor deve ser sua performance pois haverá tráfego convergente em uma única porta.

6.9.4 Pressão reversa – Back pressure

Pressão reversa é o nome que se dá quando o buffer de entrada atinge seu limite de saturação e a bridge envia o sinal de “jam” na porta para controlar o fluxo de entrada.

A pressão reversa pode ou não estar habilitada na bridge. Esse controle pode provocar a deterioração do domínio de colisão se a bridge não estiver conseguindo processar o tráfego de entrada. Por outro lado, se esse controle estiver desabilitado, alguns pacotes que deveriam ser transferidos pela bridge serão perdidos.

6.9.5 Filtragem especial

A bridge pode ser programada para executar uma filtragem do pacote lido. Essa filtragem pode ser, por exemplo, de protocolo. Algumas bridges comerciais possuem essa facilidade. A filtragem normalmente é programada na bridge, bit a bit, de forma que se uma parte do pacote coincidir com um determinado padrão de bits pré-determinado, a bridge passa ou filtra o pacote.

6.9.6 Cut-through

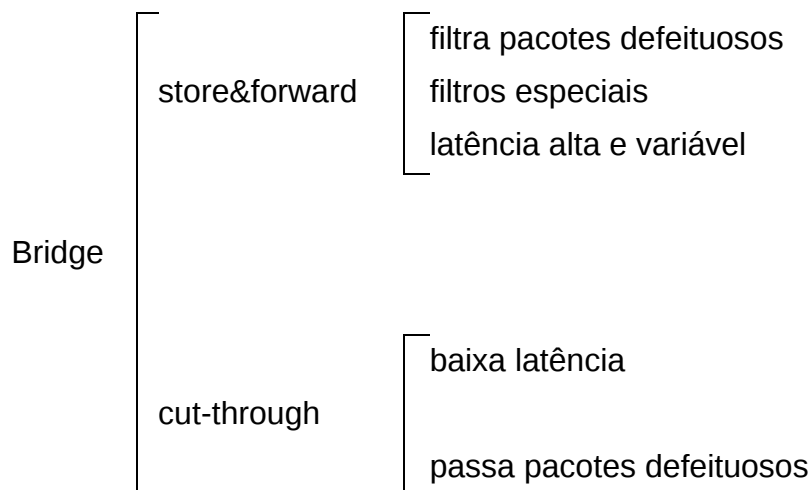
A técnica cut-through consiste na leitura parcial do pacote. Por exemplo, se a bridge ler somente os endereços do destinatário e remetente, vai ter uma latência muito menor que a bridge store&forward, mas como não vai verificar o CRC, os pacotes defeituosos vão passar. A próxima tabela apresenta as latências de alguns equipamentos disponíveis no mercado.

Tabela 6.8: Exemplos de latências em equipamentos comerciais

Fabricante	Modelo	Leitura	Latência
Netwiz	Turbo switch	DEST e REM	21 μ s
Netwiz	Turbo switch	DEST	14 μ s
Grand Junction	Fast Switch	DEST e REM	29 μ s

Há também o modo de operação chamado de cut-through modificado, no qual a bridge lê os primeiros 512 bits do pacote. Se considerarmos uma rede dentro dos padrões, isso vai eliminar a transferência de pacotes defeituosos por colisão.

Resumo



6.10 Fast Ethernet

Em 1995 o IEEE publicou um suplemento à norma 802.3, denominado 802.3u¹¹, que define a operação do Ethernet a 100 Mbps, já popularmente chamado de Fast Ethernet.

A norma define 4 padrões, utilizando somente par trançado e fibra ótica como meios de transmissão, conforme ilustra a tabela 6.9. Os dois primeiros padrões foram desenvolvidos a partir da norma FDDI publicada pela ANSI e estão sendo de fato utilizados. Os padrões 100baseT4 e 100baseT2 foram tentativas de utilizar os sistemas de cabeamento categoria 3 para transmitir a 100 Mbps, que não tiveram sucesso comercial. Abordaremos somente os três primeiros padrões.

Tabela 6.9: Padrões Fast Ethernet

Padrão	Meio	Enlace	Opera Duplex	Código
100baseTx	2 pares UTP cat.5	100 m	Sim	4B/5B
100baseFx	Fibra ótica multimodo	412 m	Sim	4B/5B
100baseT4	4 pares UTP cat.3	100 m	Não	8B/6T
100baseT2	2 pares UTP cat.3	100 m	Sim	PAM5x5

6.10.1 100baseTx

Norma publicada pelo IEEE que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, para operar em par trançado categoria 5.

Funciona exatamente da mesma forma que o padrão 10baseT, porém a uma velocidade dez vezes maior. Utiliza dois pares do mesmo cabo UTP (não blindado) especificado na 10baseT, e o segmento também pode ter até 100 metros, o que atende à norma de cabeamento estruturado EIA-568 já consagrada. Da mesma forma que no 10baseT, um par de fios é utilizado para transmissão e outro para recepção.

A tabela 6.10 mostra os principais parâmetros dos padrões 10baseT e 100baseTX.

¹¹ Ref. 47.

Tabela 6.10: Parâmetros do Ethernet em UTP

Parâmetro	10baseT	100baseTX
Suplemento da Norma IEEE	802.3i	802.3u
Velocidade	10 Mbps	100 Mbps
Codificação de linha	Manchester ¹²	4B/5B
Frequência fundamental máxima	20 MHz	31,25 MHz
Duração de um bit	0,1 μ s	0,01 μ s
Menor pacote (sem preambulo)	512 bits	512 bits
Maior retardo permitido	25,6 μ s	2,56 μ s
Qualidade exigida do meio UTP	Cat. 3	Cat. 5
Comprimento do enlace UTP	100 m	100 m

O maior retardo permitido caiu na proporção de 10 vezes, o que vai acarretar em uma rede com um menor diâmetro.

A norma IEEE Fast Ethernet define dois tipos de repetidor, conforme o retardo interno deles:

Classe I : retardo interno igual ou menor que 0,70 μ s

Classe II : retardo interno igual ou menor que 0,46 μ s

As placas de rede que operam Fast Ethernet apresentam um retardo interno da ordem de 0,25 μ s, menor que aquelas que operam 10baseT. Sabendo que o retardo de 100 metros de cabo UTP é 0,55 μ s, podemos concluir que em uma rede 100baseTX, podemos ter, no máximo, dois repetidores classe II em série, e o diâmetro da rede deve ser igual ou menor que 205 metros. Os dois repetidores devem estar ligados por um cabo UTP de, no máximo, 5 metros. O cálculo a seguir demonstra a limitação geográfica do padrão 100baseTX.

2 repetidores classe II	0,92 μ s
2 segmentos UTP	1,10 μ s
2 ETD	0,50 μ s
5 m de cabo UTP	0,03 μ s
Retardo total Δt	2.55 μ s

¹² Codificação Manchester ou Bifase – veja título 2.3

Se fizermos o cálculo do retardo para repetidores classe I, concluiremos que somente será possível utilizar um repetidor entre duas estações.

O sinal de transmissão 100baseTX foi baseado na especificação ANSI TP-PMD, conhecida como CDDI (FDDI sobre cobre UTP).

A codificação do sinal de transmissão é a 4B/5B, que significa quatro bits de dados para cada 5 bits transmitidos. Como a velocidade dos dados é de 100 Mbps, a velocidade na linha é de 125 Mbps. A sequência de dados a transmitir é dividida em grupos de quatro bits ($2^4 = 16$ possibilidades) e cada grupo é transformado em um grupo de cinco bits. Como há $2^5 = 32$ possibilidades de grupos de 5 bits, algumas combinações são utilizadas para sinalizações como início e fim de pacote.

As sequências de 5 bits geram um sinal de 62,5 MHz (dois bits por ciclo). Essa sequência é codificada segundo um algoritmo ternário chamado de MLT-3, que agrupa quatro bits em um ciclo, reduzindo a frequência do sinal na linha para 31,25 MHz. O algoritmo MLT-3 gera uma transição, sempre no mesmo sentido, se o bit for "1" ou fica no estado anterior, se o bit for "0".

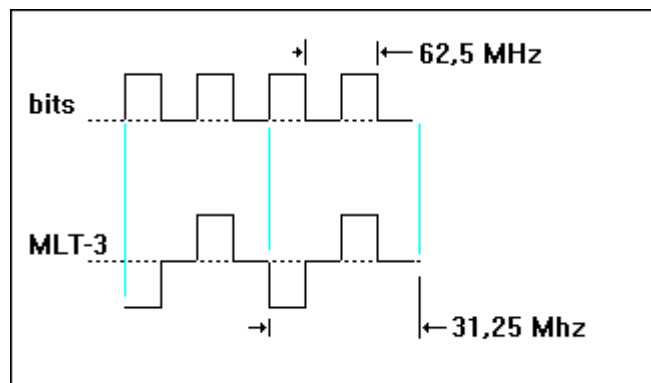


Fig. 6.13: Codificação MLT-3

A norma 100baseTX inclui um tópico sobre autonegociação da velocidade. Tanto o repetidor quanto o ETD podem ter a facilidade de negociação da velocidade (10 ou 100 Mbps). Se um dos dois tiver essa facilidade, a velocidade na linha será a maior suportada por ambos.

6.10.2 100baseT4

Norma publicada pelo IEEE que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, para operar em par trançado categoria 3. Utiliza o esquema de codificação 8B/6T, mais eficiente que a codificação Manchester do 10baseT. O objetivo da norma é apresentar uma solução de rede de alta velocidade para aquelas instalações antigas que foram montadas visando apenas telefonia ou dados a 10 Mbps.

Nesse caso as características elétricas são diferentes do Ethernet.

A 100baseT4 utiliza 4 pares de fios e o mesmo conector RJ45. Utiliza três pares simultaneamente para transmitir 25 Mbaud em cada, totalizando 75 Mbaud. Como cada baud transmite 4/3 bits (o código 8B/6T transmite 8 bits a cada 6 bauds), então a velocidade de transmissão é igual a:

$$(25 \text{ Mbaud})(3)(4/3 \text{ bit/ baud}) = 100 \text{ Mbps}$$

Tabela 6.11: Pinagem utilizada no padrão 100baseT4

Pares	Aplicação
1 e 2	Transmissão
3 e 6	Recepção
4 e 5	Bidirecional
7 e 8	Bidirecional

Dos quatro pares disponíveis, o 100baseT4 utiliza sempre três para transmitir, sendo que dois pares são utilizados de forma bidirecional, como pode ser visto na tabela anterior. Então, como o 100baseT4 não possui pares específicos para transmissão e recepção, não é possível implementar o modo de operação duplex (transmissão e recepção simultâneas).

6.10.3 100baseFx

Norma publicada pelo IEEE, que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, operando em fibra ótica multimodo 62,5/125 µm com um comprimento de onda de 1350 nm. O segmento possui duas fibras (uma para transmissão e outra para recepção) e é limitado a 412 metros quando a operação for semi-duplex e a 2 km quando a operação for duplex. A atenuação do enlace, incluindo a fibra e os conectores, deve ser menor que 11 dB. Normalmente um cabo ótico com fibra multimodo 62,5/125 µm atenua o

sinal em 1 dB a cada 1 km e cada conexão atenua de 0,5 a 1,5 dB, quando construídas de forma correta.

São permitidos três tipos de conectores, SC, ST e MIC (FDDI), sendo que a norma recomenda o uso do SC.

A norma também permite utilizar fibra monomodo e, nesse caso, o enlace pode chegar a 20 km de extensão.

6.10.4 Limites do domínio Fast Ethernet

Já vimos os seguintes retardos:

Repetidor Tx Classe I	0,70 μ s
Repetidor Tx Classe II	0,46 μ s
Segmento de fibra (Fx)	0,50 μ s
Segmento de cabo UTP cat.5	0,55 μ s
ETD Tx ou Fx	0,25 μ s

6.10.5 Autonegociação

É um procedimento opcional no padrão Ethernet que permite estabelecer o modo de operação mais eficiente em um enlace, baseado em uma lista de prioridades, organizada da maior para a menor e apresentada na tabela 6.12, a seguir.

Prioridade	Modo de operação
A	100baseT2 Full-Duplex
B	100baseTx Full-Duplex
C	100baseT2
D	100baseT4
E	100baseTX
F	10baseT Full-Duplex
G	10baseT

Tabela 6.12: Prioridades na autonegociação

Por exemplo, se dois equipamentos, em um mesmo enlace, suportam 100baseTx e 10baseT, eles vão se comunicar no modo 100baseTx após executarem o procedimento de autonegociação.

6.11 GIGABIT ETHERNET

Assim como o Fast Ethernet, esse padrão pretende aumentar a velocidade dos enlaces, aproveitando ao máximo todas as regras já estabelecidas para o Ethernet, a fim de operar todos os aplicativos que já rodam no Ethernet e no Fast Ethernet, utilizando os protocolos TCP/IP, IPX, etc.

O Gigabit Ethernet para fibra ótica utiliza a codificação de linha 8B/10B, desenvolvida e patenteada pela IBM, que codifica 8 bits de dados em 10 bits para transmissão na linha. Isso faz com que a velocidade do sinal de linha seja 1,25 Gbps para a transmissão de 1 Gbps de bits de dados, de forma que a máxima frequência fundamental possível de ser transmitida no cabo é 625 MHz.

A codificação foi idealizada para permitir uma boa recuperação do sincronismo na recepção. Os dez bits permitem 2^{10} combinações possíveis. O código nunca gera mais que 4 bits iguais consecutivos e a diferença entre as quantidades de zeros e uns é sempre menor que dois.

O código, por possuir 2^8 (256) combinações necessárias e 2^{10} (1024) combinações possíveis, utiliza apenas as combinações mais randômicas e incorpora 8 símbolos com significados especiais (não são dados).

6.11.1 Diâmetro do domínio de colisão

A operação natural do Ethernet é semi-duplex. Para operar a 1 Gbps no modo semi-duplex, o maior tempo de propagação do pacote teria que ser 0,256 μ s, o que corresponderia a uma rede com, no máximo, 20 m de diâmetro¹³.

O modo duplex, por não depender da detecção de colisão, permite instalar enlaces com distâncias maiores, operando a 1 Gbps.

Como o modo de operação básico do Ethernet é semi-duplex, não faz sentido que o padrão Gigabit possa ser instalado em um domínio de apenas 20 metros, mas que possa alcançar pelo menos 200 metros, o que corresponde a

¹³ O Fast Ethernet pode ter um diâmetro de 210 metros. O Gigabit, sendo dez vezes mais rápido, somente poderá chegar a cerca de um décimo do diâmetro do Fast Ethernet.

um único repetidor com estações conectadas a 100 metros, que é o padrão atual de cabeamento no prédios.

A fim de alcançar os 200 metros de extensão, o padrão Gigabit teve que aumentar o tempo mínimo de transmissão do pacote, já que não foi possível reduzir os retardos nos repetidores e nas propagações. Isso foi conseguido simplesmente adicionando-se um sinal de extensão ao pacote original Ethernet. Dessa forma os comprimentos, mínimo e máximo, do pacotes Ethernet foram preservados a fim de manter compatibilidade com o que já está instalado.

Os tempos mínimos de transmissão do Ethernet e Fast Ethernet correspondem a 512 bits (desconsiderando o preâmbulo). No caso do Gigabit esse tempo foi ampliado para 4096 bits, pela adição da extensão.

Então, se a estação transmitir o pacote Ethernet mínimo, que tem 512 bits, deve adicionar uma extensão de 3584 bits¹⁴, para completar o tempo mínimo de transmissão. Qualquer pacote menor que 4096 bits será estendido até esse tamanho por adição da extensão.

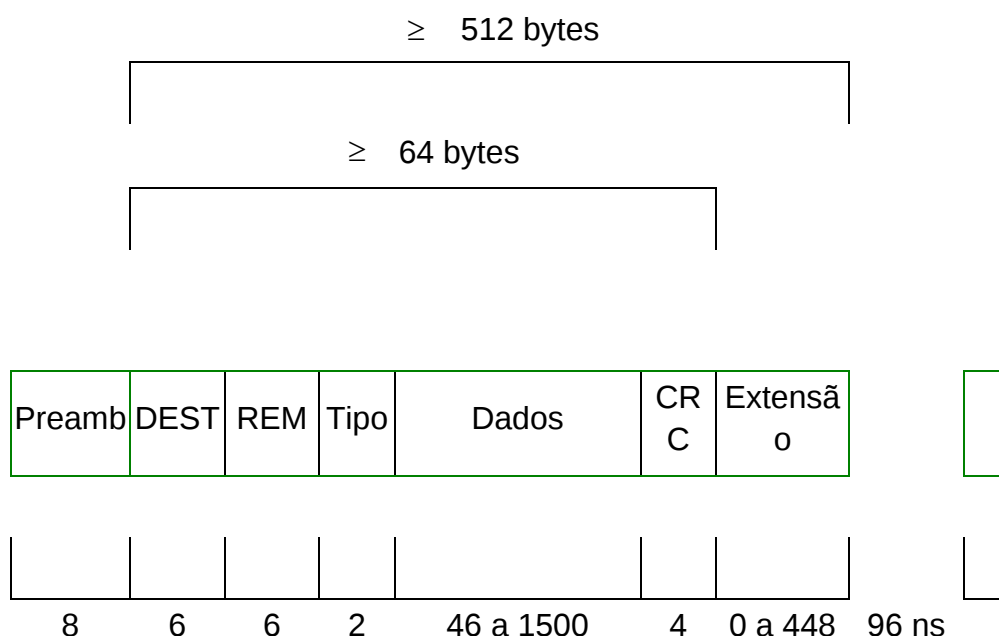


Fig. 6.14: Pacote GigabitEthernet

Dessa forma teremos:

$$(4086 \text{ bits}) \times (0,001 \mu\text{s}) > 2\Delta t$$

¹⁴ A extensão é formada por bits codificados no mesmo padrão 8B/10B, porém como um símbolo não mapeado como dados.

Ou seja:

$$2\Delta t < 4,096 \mu s$$

Finalmente:

$$\Delta t < 2,1 \mu s$$

Assim fica possível operar o Gigabit Ethernet com pelo menos um repetidor:

1 repetidor Gigabit	0,46 μs
2 segmentos UTP	1,10 μs
2 ETD	0,42 μs
Retardo total Δt	1.98 μs

O problema em adicionar a extensão ao pacote é a queda da eficiência do Gigabit Ethernet, principalmente quando as estações estão transmitindo pacotes pequenos.

6.11.2 Enlaces de fibra ótica

O padrão Gigabit Ethernet suporta três tipos de fibra ótica em seus enlaces: multimodo em 50 e 62,5 μm e monomodo em 10 μm e dois comprimentos de onda possíveis em suas transmissões: o curto com 850 nm (1000baseSX) e o longo com 1300 nm (1000baseLX).

O padrão Gigabit foi o primeiro Ethernet a especificar a fibra monomodo como meio de transmissão possível, tendo em vista que uma de suas aplicações típicas é a comunicação entre switches em um campus.

A tabela 6.13 mostra os enlaces Ethernet possíveis para fibras óticas multimodo 62,5 μm e monomodo, com os respectivos comprimentos máximos do enlace.

Tabela 6.13: Enlaces Ethernet em fibra ótica

Parâmetro	10FL	100FX	1000SX	1000LX	1000LX
Taxa de transmissão	10 Mbps	100 Mbps	1000 Mbps	1000 Mbps	1000 Mbps
Suplem. Norma IEEE	802.3i	802.3u	802.3z	802.3z	802.3z
Modo da fibra ótica	Multi	Multi	Multi	Multi	Mono

Tipo da fibra ótica	62,5 μm	62,5 μm	62,5 μm	62,5 μm	10 μm
Duração de um bit	0,1 μs	0,01 μs	0,001 μs	0,001 μs	0,001 μs
Menor pacote	512 bits	512 bits	512 bits	512 bits	512 bits
Maior retardo possível	25,6 μs	2,56 μs	2,048 μs	2,048 μs	2,048 μs
Enlace semi-duplex	2000 m	412 m	111 m	111 m	111 m
Enlace duplex	2000 m	2000 m	260 m	550 m	3000 m

Os comprimentos máximos apresentados na tabela são para um único enlace por domínio de colisão. No projeto com mais de um repetidor por domínio deve-se levar em consideração a questão do retardo máximo permitido.

O conector recomendado para o Gigabit Ethernet é o tipo SC, o mesmo do Fast Ethernet.

- 0 - 0 - 0 -