

1. Redes Locais – Conceitos básicos

Antes da criação da Ethernet, no princípio da década de 60, os grandes computadores tinham uma Unidade de Controle de Processamento (UCP) construída com aproximadamente 10.000 transistores discretos. Na metade dessa década apareceram os circuitos integrados, que continham vários transistores em uma única pastilha. Daí para diante, em um processo acelerado de integração e miniaturização, o número de transistores contidos em uma pastilha multiplicou-se enormemente, e com isso o custo dos equipamentos caiu vertiginosamente. Em 1971, um aviso comercial publicado pela Intel na revista **Electronic News** reportava uma nova era na eletrônica, anunciando a existência de um dispositivo com aproximadamente 2.000 transistores que seria batizado de **microprocessador**.

A conseqüência direta desse desenvolvimento tecnológico foi uma proliferação de sistemas de pequeno tamanho, que cresciam ano a ano, levando a uma nova necessidade: a de interconectar esses equipamentos a fim de poder compartilhar recursos caros e também trocar dados entre os diversos sistemas.

No final da década de 60 entrou em funcionamento uma rede wireless chamada ALOHA, que utilizava o primeiro algoritmo que permitia a comunicação entre estações utilizando um canal único. Esse algoritmo ficou conhecido como **protocolo de acesso múltiplo**, e permitia que estações de trabalho existentes nas ilhas do Hawaii se comunicassem entre si. Essa rede foi desenvolvida principalmente por Norman Abramson, da Universidade do Hawaii. Nessa rede, qualquer estação transmitia quando tinha dados a transmitir, e esperava um ACK para ver se o pacote chegou no destino. Caso o ACK não viesse, a conclusão era que ocorreu uma colisão, ou seja, outra estação transmitiu simultaneamente. Nesse caso, ela esperava randomicamente determinado tempo e tentava novamente.

Esse sistema, conhecido como ALOHA puro, tinha uma eficiência baixa (o máximo que se conseguia era aproximadamente 18% devido ao aumento na taxa de colisões). Uma melhoria nesse sistema foi o ALOHA “slotted”, que possuía um relógio de sincronismo, onde as estações só transmitiam com o relógio. Isso causava colisões somente no início das transmissões, e não mais durante todo o tempo de duração do quadro. A eficiência aumentou para aproximadamente 37%.

No final de 1972, Bob Metcalfe, na época trabalhando na Xerox, desenvolveu um sistema para interconectar os computadores Xerox Alto (entre eles e com impressoras). Esse sistema foi baseado no ALOHA, e tinha uma taxa de transmissão de 2,94 Mbit/s, conectando mais de cem estações na distância de 1 Km. Essa rede foi chamada “Alto ALOHA Network”. Em 1973, Metcalfe mudou seu nome para **Ethernet**, para deixar claro que o sistema funcionava em qualquer máquina, e não apenas nos computadores da Xerox.

Em 1976, esse sistema foi publicado na revista Communications of the ACM, sendo apresentado ao público. A patente para o Ethernet foi criada em 1978, pela Xerox.

Tal sistema fez tanto sucesso que a DEC, Intel e Xerox, desenvolveram uma especificação de uma rede Ethernet a 10 Mbit/s. **A primeira publicação do padrão Ethernet original foi em 1980, pela DEC, Intel e Xerox (padrão DIX)**, e posteriormente liberado sem qualquer ônus para a criação das normas abertas, juntamente com o nome “Ethernet”.

Nessa época vinham acontecendo esforços para desenvolvimento de padrões abertos, e o instituto IEEE tomou como base a norma DIX para criar o padrão IEEE 802.3, em 1985, chamado “*IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*”.

Em 1979, Bob Metcalfe fundou a 3Com (*Computer, Communication, Compatibility*), com o objetivo de auxiliar na comercialização do Ethernet [SPU 00], pg 20.

Depois da publicação da norma original IEEE 802.3 para cabo coaxial grosso, foi desenvolvida uma nova norma para coaxial fino, mais barato. Essa tecnologia foi inventada também pela equipe de Bob Metcalfe, da 3Com.

Desde então, essa tecnologia avançou rapidamente, passando da etapa experimental à etapa comercial. Uma das principais razões desse desenvolvimento foi o aumento da velocidade dos equipamentos e diminuição do custo de *hardware*.

1.1 Normas do IEEE 802

O IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers) padronizou uma série de normas que são utilizadas nas LANs atuais. Abaixo se encontram algumas tecnologias que estão sendo discutidas ou que já foram padronizadas.

- **802.1:** Higher Layer LAN Protocols Working Group; GPRP, Multiple Spanning Trees, 802.1D, 802.1Q, VLAN Classification by Protocol and Port, Rapid Reconfiguration of Spanning Tree, Port Based Network Access Control, MAC bridges, Remote MAC bridging, Virtual LANs
- **802.2:** Logical Link Control Working Group (Inactive)
- **802.3:** Ethernet Working Group; 10Gbit/s Ethernet, Trunking, 802.3 Higher Speed Study Group, Gigabit Ethernet, 1000BASE-T, VLAN TAG, Link Aggregation, CSMA/CD, 10BASE-T, MAC, MAU, Repeater, 1BASE5, 10BASE5, Full Duplex, 100BASE-T, 100BASE-T2, Gigabit Ethernet
- **802.4:** Token Bus Working Group (Inactive)
- **802.5:** Token Ring Working Group
- **802.6:** Metropolitan Area Network Working Group (Inactive)
- **802.7:** Broadband TAG (Inactive)
- **802.8:** Fiber Optic TAG
- **802.9:** Isochronous LAN Working Group
- **802.10:** Security Working Group
- **802.11:** Wireless LAN Working Group
- **802.12:** Demand Priority Working Group
- **802.13:** Not Used
- **802.14:** Cable Modem Working Group
- **802.15:** Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group
- **802.16:** Broadband Wireless Access Working Group

As normas estão sempre evoluindo para adicionar um novo meio físico ou facilidade. Estes novos suplementos recebem uma letra para identificação, e quando o processo de normalização está completo, ele se torna parte da norma básica e não é mais publicado como um suplemento separado.

Alguns suplementos do IEEE 802.3 são descritos a seguir [SPU 00] pg. 8:

- **802.3a (1985):** Ethernet 10BASE2 (coaxial fino)
- **802.3c (1985):** Especificações de repetidores a 10Mbit/s
- **802.3d (1987):** link de fibra FOIRL
- **802.3i (1990):** par trançado 10BASE-T
- **802.3j (1993):** fibra ótica 10BASE-F

- **802.3u (1995):** Fast Ethernet 100BASE-T
- **802.3x (1997):** norma Ethernet Full-Duplex
- **802.3z (1998):** Gigabit Ethernet 1000BASE-X
- **802.3ab (1999):** Gigabit Ethernet em par trançado 1000BASE-T
- **802.3ac (1998):** tag para VLAN e extensão do tamanho para 1522 bytes
- **802.3ad (2000):** agregação de links paralelos

1.2 Numeração de redes locais

O endereço de uma placa de rede possui 6 bytes, sendo que os primeiros 3 bytes formam o Organizationally Unique Identifier (OUI), que identifica o fabricante daquela placa de rede específica. Esse identificador deve ser adquirido no IEEE, que mantém uma lista pública da numeração e correspondente fabricante. Essas informações podem ser obtidas em <http://standards.ieee.org/regauth/oui/index.html/>.

Exemplos de alguns códigos de fabricantes extraídos do documento descrito acima pode ser visto a seguir:

00-00-00 (hex)	XEROX CORPORATION
00-00-01 (hex)	XEROX CORPORATION
00-00-0A (hex)	OMRON TATEISI ELECTRONICS CO.
00-00-0B (hex)	MATRIX CORPORATION
00-00-0C (hex)	CISCO SYSTEMS, INC.
00-08-C7 (hex)	COMPAQ COMPUTER CORPORATION
00-0A-27 (hex)	Apple Computer, Inc.
00-10-00 (hex)	CABLE TELEVISION
00-30-72 (hex)	INTELLIBYTE INC.
01-00-5E (hex)	Reservado para endereço multicast nível 2
FF-FF-FF (hex)	Reservado para endereço broadcast nível 2

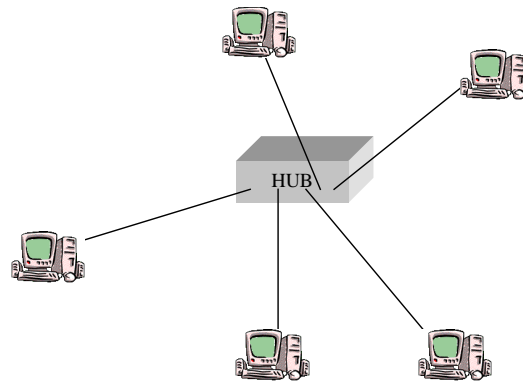
1.3 Topologias de redes locais

As conexões físicas entre os distintos nós de uma rede formam um grafo que define sua topologia. Da topologia dependem vários fatores na rede, como a **Operação, Manutenção, Facilidade de expansão e Facilidade de detecção de nós com falha.**

As topologias básicas se resumem a três: **estrela, anel e barra**, com eventuais combinações entre elas em redes de topologia híbrida. A seguir, serão analisadas essas três topologias básicas.

1.3.1 Topologia em estrela

Na topologia em estrela, todas as estações da rede estão conectadas a um nó central, algumas vezes mediante um canal bidirecional e outras vezes mediante dois canais unidirecionais. A figura a seguir mostra esse tipo de topologia.



As características dessa rede dependem na maior parte das funções executadas pelo nó central, que podem ser diferentes dependendo do caso. Algumas destas funções são descritas a seguir:

- **Interconexão direta entre hosts:** quando uma estação deseja transmitir, ela envia um pedido de conexão ao nó central, especificando o nó destino. O nó central estabelece então uma conexão entre as duas estações (nos switches de forma virtual e nos PABXes de forma real);
- **Estrela ativa:** o nó central executa duas funções principais:
 1. Regenerar e temporizar os sinais gerados em um nó qualquer para ser transmitido a outro(s) nós;
 2. Detectar colisões originadas em transmissões simultâneas de dois ou mais nós. Quando isso ocorre, o nó central envia um sinal de colisão a todas outras estações (ou bufferiza um dos sinais).

A topologia em estrela é típica de redes telefônicas, com a central telefônica concentrando milhares de pares de fios em um só local. Esta topologia também é utilizada em PABX, onde os ramais e troncos são centralizados no equipamento.

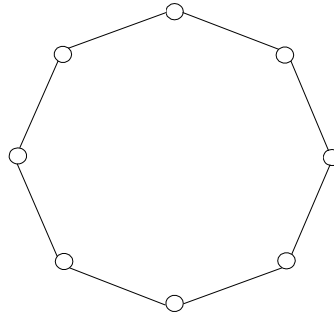
Nas redes locais, a topologia estrela já está bastante difundida, devido às seguintes vantagens:

- Uma interrupção no cabo que liga a estação ao concentrador central não derruba a rede, mas somente a estação cujo cabo está rompido;
- Permite gerência de rede centralizada;
- Permite a utilização de qualquer meio físico;
- Topologia adequada ao cabeamento predial

Entretanto, o componente central da estrela é bastante crítico e, na falha deste, toda a rede pára. Em alguns casos, é mantido um equipamento centralizador reserva para garantir a rapidez na manutenção da rede se acontecer alguma falha. Em caso de falha, um dos equipamentos centrais é desligado e o outro toma seu lugar.

1.3.2 Topologia em anel

A topologia em anel consiste de um laço fechado no qual cada nó está conectado mediante um dispositivo repetidor intercalado ao meio. A informação circula unidirecionalmente no interior do anel, formando uma série de enlaces ponto a ponto entre os repetidores, conforme mostra a figura a seguir. Existem redes onde a transmissão é bidirecional, com um canal físico específico para cada transmissão (FDDI, por exemplo).



Um exemplo de rede local em anel é a Token Ring, onde a estação que deseja transmitir deve esperar sua vez e então enviar a mensagem ao anel, na forma de um pacote que possui, entre outras informações, o endereço fonte e destino da mensagem. Quando o pacote chega ao destino, os dados são copiados em um *buffer* auxiliar local e o pacote prossegue através do anel até fazer toda a volta e chegar novamente na estação origem, que é responsável por tirá-lo de circulação.

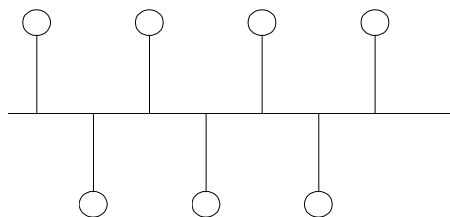
Em alguns casos cada nó possui um repetidor regenerador de mensagens, permitindo às redes que utilizam essa topologia obterem uma distância bem maior entre cada nó, fazendo com que a distância máxima seja maior que nas outras topologias. Essa é a topologia preferida em redes de longa distância (WANs), devido à redundância de caminhos que proporciona.

Em redes locais, como cada nó participa do processo de transmissão de qualquer mensagem que circule na rede, a confiabilidade do conjunto depende da confiabilidade de todos os nós, sendo necessário introduzir mecanismos de proteção para eliminar automaticamente do anel nós que possuam falhas, a fim de que essa situação não afete todo o sistema. Isso é comum nas redes FDDI.

OBS: Na prática, as redes na topologia em anel geralmente são interligadas fisicamente na forma de uma estrela, devido às melhores características de segurança da topologia estrela. Uma consequência negativa disso é que a distância das redes locais em anel é bastante reduzida.

1.3.3 Topologia em barra

Em uma topologia em barra, tudo que é transmitido por uma estação através do barramento é escutado por todos os outros nós quase simultaneamente, caracterizando, portanto, um canal *broadcast*. A figura a seguir ilustra a topologia em barra.



O meio deve ser bidirecional, pois as mensagens partem do nó gerador em direção ao terminador do cabo, e apenas uma estação deve transmitir por vez, pois de outro modo ocorrem colisões e os dados são perdidos.

Nessa topologia, existem dois métodos principais de controle de acesso ao meio:

- **Método determinístico:** consiste em passar um token de nó em nó, sendo que só pode transmitir a estação que possui o token (usado, por exemplo, nas redes Token Bus – IEEE 802.4);
- **Método aleatório:** qualquer estação pode transmitir quando percebe silêncio na rede. Nesse caso, é possível acontecerem colisões, se duas ou mais estações detectarem silêncio e

começarem a transmitir quase simultaneamente. Se isso ocorrer, as estações normalmente detectam a colisão, interrompem imediatamente a transmissão e efetuam nova tentativa um tempo aleatório depois da colisão. Este é o método utilizado pelas redes Ethernet, através do algoritmo CSMA/CD, que será visto com maiores detalhes adiante.

1.3.4 Topologias mistas

Existem outras topologias derivadas das três básicas. Por exemplo, se numa topologia estrela o nó central ficar sobrecarregado, pode-se fazer uma interligação do nó central com outro nó central, levando uma parte das estações para o outro nó, formando uma outra topologia denominada estrela-estrela.

Existem equipamentos no mercado atual que permitem fazer a interconexão entre quaisquer tipos de topologias. Por exemplo, existem *hubs* que possuem várias entradas para estações na topologia estrela e um conector para cabo coaxial (topologia barra).

1.4 Formas de acesso ao meio

Este item procura analisar as duas principais categorias de protocolos existentes: com colisão e sem colisão, ou seja, quando se aceita a existência de colisões e quando se evita que elas ocorram.

1.4.1 Com colisão: CSMA/CD

Um problema que teve que ser superado para a existência das redes locais foi a comunicação entre várias máquinas através de um mesmo meio físico (canal *broadcast*), sendo que as mensagens deveriam chegar na estação destino e não deveriam interferir nas aplicações que estivessem rodando nas outras estações.

O protocolo mais utilizado atualmente que resolve esse problema é o CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), que é largamente utilizado em redes locais, como, por exemplo, a Ethernet.

O funcionamento desse protocolo é simples, e pode ser resumido na seqüência abaixo:

1. Todas as estações estão continuamente escutando o barramento, com o objetivo de ver se alguma mensagem veio para ela;
2. Caso exista a necessidade da estação executar uma transmissão, ela primeiro olha se o barramento está livre (sem transmissão de dados). Caso positivo, a estação envia a sua mensagem, caso contrário, ela espera até que o barramento fique livre;
3. Se duas estações começam a transmitir praticamente no mesmo instante (ambas pensaram que o barramento estava livre), acontece uma colisão entre os quadros das duas estações e os dados tornam-se inválidos. Nesse momento (quando a estação detectou a colisão), ela pára de transmitir sua mensagem e aguarda um tempo aleatório. Quando esse tempo esgotou, ela repete o processo, vendo se o barramento está livre e assim por diante.

A estação detecta colisão comparando o dado que ela está enviando com o dado que passa pelo barramento. Caso seja diferente é sinal de que aconteceu uma colisão. A colisão é um processo normal nas redes Ethernet, e é resolvido em microsegundos, pois as estações envolvidas no processo esperam um tempo aleatório para retransmitir o quadro de dados. Este método garante uma **adaptação automática** dependendo da carga na rede.

Quando uma colisão é detectada, o transceiver envia um sinal avisando a interface de rede. Se a colisão é detectada bem no início do quadro, a interface espera até o preâmbulo ter sido completamente transmitido, enviando para a rede um sinal de 4 bytes (32 bits) indicando colisão

(*jam signal*) [SPU 00] pg 56. Nesse ponto a interface interrompe a transmissão e entra no algoritmo de recuperação de colisão, esperando um tempo aleatório para tentar novamente.

O tempo aleatório que é esperado pelas estações obedece a um algoritmo conhecido como “*truncated binary exponential backoff*”, que funciona da seguinte forma: após a primeira colisão, a estação espera um tempo randômico equivalente a 0 ou 1 períodos de contenção. Caso transmita e ocorra nova colisão, a estação espera de 0 a 3 períodos de contenção, e assim por diante enquanto ocorrer colisão (o período randômico varia de 0 a 2^n-1). Se ocorrerem 10 colisões seguidas, o intervalo randômico é congelado em um máximo de 1023 períodos de contenção. Se acontecerem 16 colisões seguidas, é reportado um erro para a estação que está tentando transmitir [SPU 00] pg. 27.

O tempo de contenção é definido como duas vezes o tempo que a mensagem leva para se propagar de um extremo ao outro do condutor, ou seja, é o equivalente a 64 bytes ou 512 bits [SPU 00] pg. 57. Note que a duração de **um bit** é diferente dependendo da velocidade do Ethernet, sendo de 100 ns para 10Mbit/s e 10ns para 100Mbit/s.

O tempo de contenção significa o máximo tempo que uma estação demora em detectar se houve colisão na sua mensagem. Assim, passado esse tempo, ela tem certeza que não sofrerá interferência de outras estações. Em outras palavras, suponha uma estação em um extremo do cabo iniciando uma transmissão no instante t_0 . Algum tempo depois (τ), os primeiros bits da mensagem vão atingir a extremidade oposta do cabo. Se uma segunda estação na extremidade oposta do cabo ouvir o meio físico um pequeno instante antes de $t_0+\tau$, ela vai achar que o meio está livre e vai começar sua transmissão. A segunda estação vai detectar quase imediatamente a colisão, mas a primeira estação só vai detectar esta colisão quando os bits enviados pela segunda estação estiverem chegando nela ($t_0+\tau+\tau$). É por isso que o tempo de contenção é igual a 2τ .

A tabela a seguir mostra os tempos de espera da interface de rede de **10Mbit/s** no caso de colisão [SPU 00] pg. 59.

Colisão N.	Números randômicos	Tempo randômico
1	0...1	0...51,2 μ s
2	0...2	0...153,6 μ s
3	0...7	0...358,4 μ s
4	0...15	0...768 μ s
5	0...31	0...1,59 ms
6	0...63	0...3,23 ms
7	0...127	0...6,50 ms
8	0...255	0...13,1 ms
9	0...511	0...26,2 ms
10-15	0...1023	0...52,4 ms
16	N/A	Descarta quadro

Uma estação não transmite vários pacotes intermitentemente, sendo obrigada a esperar um tempo conhecido como “*Inter Frame Gap*” (IFG), equivalente a 12 bytes ou 96 bits. Esta medida serve para liberar o meio físico e permitir que outras estações também possam enviar seus pacotes.

Em redes Ethernet Full-duplex, o protocolo CSMA/CD é desligado.

1.4.2 Sem colisão (utilizando token)

Além dos protocolos que permitem a existência de colisões, existem outros em que as mesmas não ocorrem, visando aumentar o desempenho da rede, principalmente com alta carga.

Um deles é o método de *tokens*, utilizado pelas redes Token Ring e Token Bus, que possuem topologias em anel e barra, respectivamente.

Nesse método, existe uma entidade especial denominada *token*, que fica constantemente circulando entre as estações da rede. Somente a estação que possui o *token* pode efetuar a transmissão, e como existe apenas um *token* circulando, não acontecem colisões.

Quando uma estação quer transmitir uma mensagem, ela primeiramente deve aguardar a chegada do token, para então retirá-lo de circulação e enviar sua mensagem. Após a transmissão de sua mensagem, a estação deve gerar novo token para continuar circulando e atendendo as outras estações da rede.

Existem redes que permitem a existência de mais de um token simultaneamente, como as redes FDDI. As estações devem armazenar os quadros em *buffers* a fim de não gerarem colisões.

2. IEEE 802.3 e Ethernet

2.1 Introdução

A norma IEEE 802.3 refere-se a uma família de redes locais baseadas no protocolo de acesso ao meio CSMA/CD, que sugere uma forma para permitir a comunicação de várias estações através do mesmo meio físico, utilizando um canal *broadcast*.

A norma 802.3 especifica uma família inteira de sistemas CSMA/CD, rodando a velocidades que variam de 1 a 10 Mbit/s em vários meios físicos. O protocolo Ethernet é uma das possíveis implementações da norma 802.3.

2.2 Topologia

A rede local Ethernet pode ser utilizada nas topologias **barra** e **estrela**. A topologia tipo barra utiliza o cabo coaxial como meio físico, mas a tendência é a utilização das redes locais na topologia estrela, com um *switch* ou *hub* central e o meio físico sendo o par trançado categoria 5. Isso se deve às vantagens em termos de segurança física (rompimento do cabo) e facilidades de mudança de layout proporcionados pela topologia estrela (que a torna mais barata a médio prazo).

2.3 Desempenho

Em uma rede Ethernet, quanto maior a carga, maior o número de colisões que estão acontecendo. Esse aumento de colisões provoca uma diminuição no desempenho do sistema como um todo, pois a estação deverá fazer várias tentativas até conseguir transmitir seu quadro, diminuindo a taxa global de transmissão.

Segundo [SPU 00] pg. 328, um mito existente é que uma rede Ethernet deve ser projetada para funcionar a 40% de sua largura de banda total (10 Mbit/s). Acima disto, o número de colisões é muito elevado e o desempenho cai drasticamente. Na prática, em um experimento com 24 estações transmitindo continuamente com quadros de tamanho variáveis, o desempenho ficou acima dos 9Mbit/s, independente das colisões que ocorriam.

Prática: utilize o netperf para analisar o desempenho de uma rede Ethernet com hub. Utilize o máximo de estações possíveis.

2.4 Sinalização de nível físico

No nível físico, as redes Ethernet de 10Mbit/s (UTP, coaxial e fibra ótica) utilizam a codificação Manchester para fazer a transmissão das mensagens. Este protocolo envia a **sincronização dos bits juntamente com o sinal**, facilitando sua recuperação.

As regras consistem em dividir o período de um bit em dois intervalos iguais. Quando o bit que deve ser transmitido é "0", é gerado um pulso de voltagem alta no cabo durante o primeiro intervalo, e baixa no segundo intervalo. Quando deve ser transmitido o bit "1", o algoritmo é o inverso, ou seja, transmite-se um pulso de baixa voltagem no primeiro intervalo e de alta no segundo intervalo.

A vantagem desse método é que ele fornece sempre uma transição no meio do bit, facilitando a sincronização entre transmissor e receptor. A desvantagem da codificação Manchester é que, no pior caso (tudo "0" ou tudo "1") exige duas vezes a largura de banda para executar a transmissão, pois os pulsos agora ocupam metade do período reservado a eles (uma taxa de 10Mbit/s vai exigir 20MHz, ou 20M transições de tensão).

Cada tipo de meio físico está relacionado a uma forma de sinalização física na linha, e detalhes da sinalização de linha de cada um deles podem ser encontrados juntamente com a descrição dos padrões 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T e 10BASE-FL, a seguir.

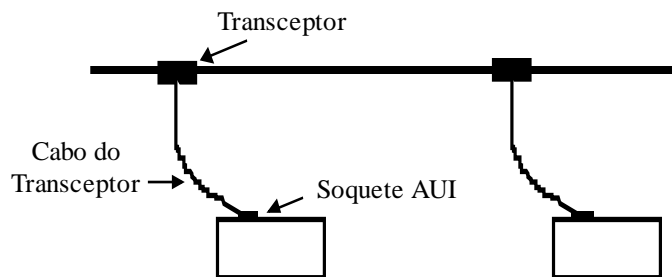
O IEEE utiliza identificadores para os vários tipos de meios físicos e distância. Antigamente, o identificador relacionava a velocidade, tipo de modulação e distância do cabo (arredondada), como o **10BASE5**, significando **10Mbit/s**, **modulação banda base** e **distância de 500m**. Atualmente, o identificador de distância foi eliminado e, em seu lugar, vem o tipo de meio físico, como o 10BASE-T, onde o T significa Twisted Pair (par trançado).

Nos próximos itens serão descritos os principais identificadores Ethernet:

2.5 10BASE5

O padrão 10BASE5 (10Mbit/s, banda base e 500m) identifica o sistema Ethernet original, baseado no cabo Ethernet grosso (*Thick Ethernet cable*). Este cabo, normalmente amarelo, possui marcações a cada 2,5 m para mostrar onde devem ir as conexões (*taps*) referentes a cada estação de trabalho.

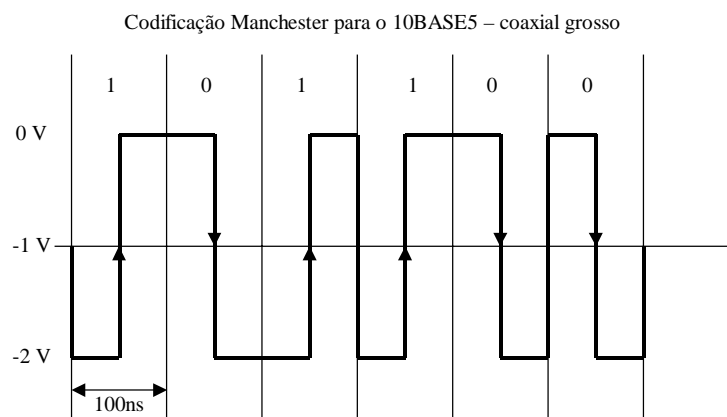
Com cabo coaxial grosso, a forma de ligar as estações é como mostra a figura a seguir.



A distância máxima de cada segmento é de 500 metros, e pode-se expandir para um máximo de 5 segmentos, ou 2.500 metros, utilizando-se 4 repetidores. O número máximo de estações por segmento é de 100.

2.5.1 Sinalização física no 10BASE5

No cabo Ethernet grosso, as tensões envolvidas são: bit "1"=0V e bit "0"=-2V, com um nível de *offset* de "-1V" ao redor do qual o sinal é enviado [SPU 00] pg 118. A figura a seguir ilustra a codificação.



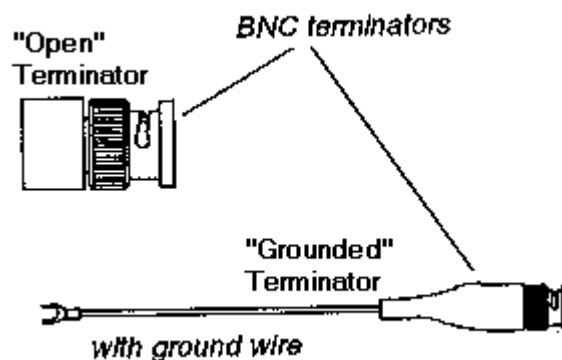
2.6 10BASE2

O padrão 10BASE2 (10Mbit/s, banda base e 185m) identifica o sistema Ethernet com cabo coaxial fino (*Thin Ethernet cable*). O cabo é mais fino e flexível, utilizando conectores tipo BNC para fazer as junções às estações de trabalho. Este cabo é muito mais barato, o que fez com que esse tipo de rede ganhasse um apelido, “*cheapernet*”.

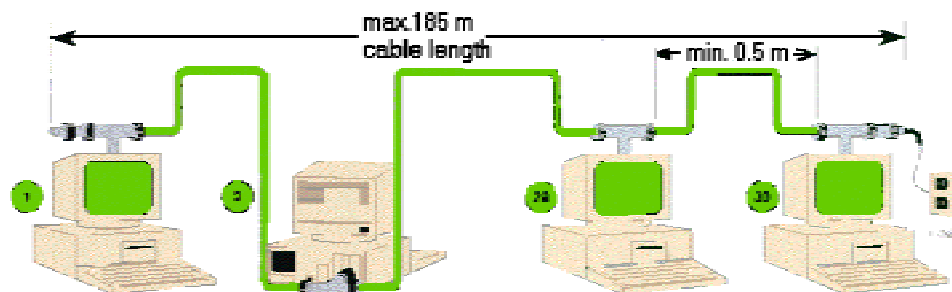
O conector BNC e terminador utilizado para coaxial fino pode ser visto na figura a seguir (www.helmig.com).



Tanto o cabo coaxial fino como o grosso devem possuir uma impedância de 50 ohms, podendo ser interconectados em certos casos. Ao final do cabo, devem existir terminadores de 50 ohms, que servem para simular a mesma impedância da linha, evitando eco no cabo. Em www.helmig.com, é enfatizado a necessidade de aterrar um dos terminadores, pois na prática a rede pode ficar lenta caso isso não seja feito. Isso é especificado também na norma do cabo Ethernet fino. A figura a seguir mostra os dois tipos existentes para coaxial fino. Cada tipo deve ser usado em um lado da rede. Se aterrar os dois lados ou deixar os dois “abertos”, a rede vai funcionar, mas podem acontecer erros, insegurança na transmissão de dados e lentidão.



O máximo nesse padrão é 185 metros por segmento, e um máximo de 5 segmentos, ou 925 metros, utilizando-se 4 repetidores. O número máximo de estações por segmento é 30, e a distância mínima entre cada estação é de 0,5 metros, conforme figura.



Caso não se utilizem repetidores, pode-se utilizar um segmento único de 300 metros.

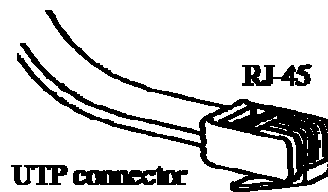
2.6.1 Sinalização física no 10BASE2

2.7 10BASE-T

O padrão 10BASE-T (10Mbit/s, banda base e **par trançado**) identifica o sistema Ethernet com par trançado. Neste caso, utiliza-se a topologia estrela, pois é necessário um equipamento concentrador das estações (*switch* ou *hub*). Ver figura.



Para conectar as estações ao hub/switch, o conector utilizado é o RJ45, como ilustra a figura a seguir.



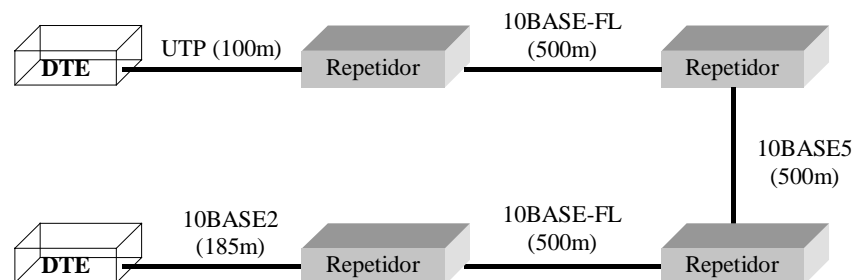
O cabeamento não deve passar por ambientes ruidosos, pois o par trançado é bastante suscetível a ruídos. Existem dois tipos de *hubs*: o primeiro funciona simplesmente como um repetidor, recebendo o sinal das estações e enviando para todas as estações conectadas a ele. O segundo tipo é mais sofisticado, sendo chamado de *hub* inteligente, trabalhando no nível 2 do modelo OSI e conhecido como *switch*.

2.7.1 Interligação de hubs – regra 5-4-3

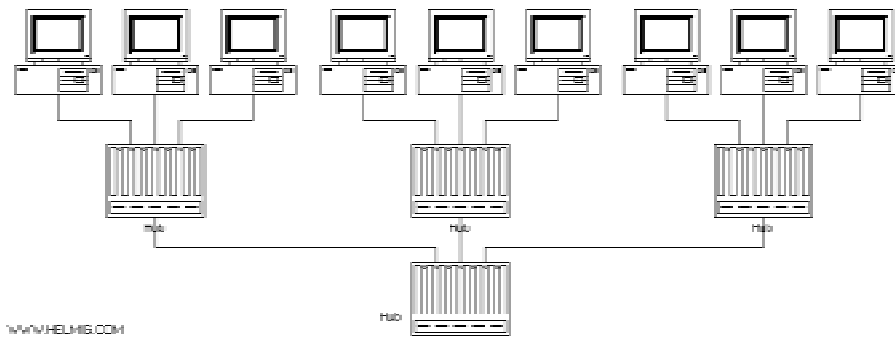
Uma simplificação para as redes Ethernet (barra ou estrela) é mostrada a seguir, onde as seguintes limitações se aplicam para um sinal indo da estação origem à destino:

- Pode passar por no máximo 5 segmentos (a conexão entre o hub e a estação conta como um segmento);
- Pode passar por no máximo 4 repetidores/hubs;
- Pode passar por no máximo 3 segmentos populosos. Segmentos populosos contém mais de dois nodos. Segmentos não populosos contém somente um nodo em cada ponta. Redes em estrela são consideradas como segmentos não populosos.
- Quando uma rede consiste de 5 segmentos e quatro repetidores, cada segmento de fibra (10BASE-FB, 10BASE-FL ou FOIRL) não deve exceder 500m.
- Quando uma rede consiste de 4 segmentos e três repetidores, cada segmento de fibra (10BASE-FB, 10BASE-FL ou FOIRL) não deve exceder 1000m.

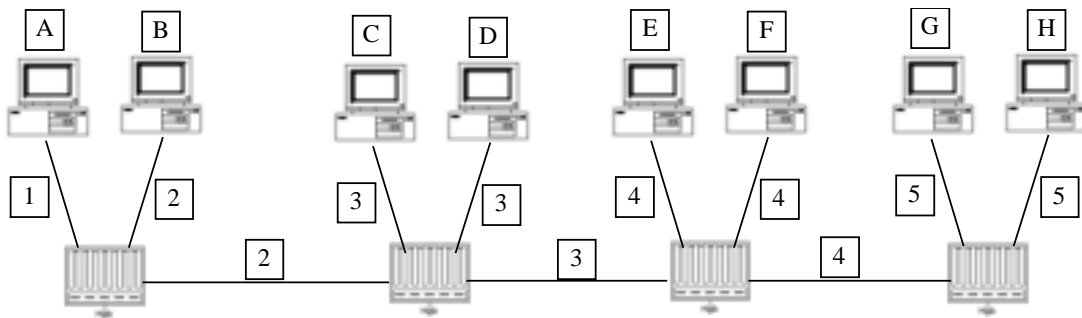
A figura a seguir ilustra algumas distâncias máximas no Ethernet.



Uma rede pode conter mais de 4 hubs, desde que todos sinais passem no máximo por 4 hubs ou 5 segmentos.



A figura a seguir identifica os segmentos, e se pode visualizar o número de segmentos contando a partir da estação A.



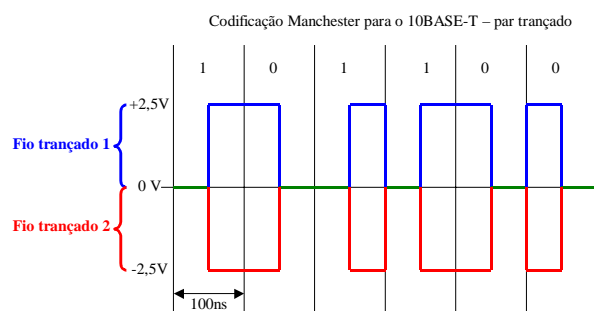
Entretanto, existem *hubs* empilháveis, ou *stackable*, que são ligados por um barramento de alta velocidade e funcionam como se fossem um único *hub*, eliminando dessa forma o limite de 4 *hubs* imposto anteriormente.

A norma prevê um máximo de 100 metros entre o *hub* e a estação, e também entre *hubs*. Para maiores distâncias, pode-se utilizar fibra ótica.

2.7.2 Sinalização física no 10BASE-T

Os sinais do 10BASE-T são enviados através de dois pares trançados utilizando transmissão diferencial balanceada, ou seja, em cada par, um fio é usado para levar a amplitude positiva do sinal diferencial (de 0V a +2,5V) e um fio leva a amplitude negativa do sinal (de 0V a -2,5V). O sinal pico a pico medido entre os dois fios é, portanto, 5V.

A **transmissão diferencial fornece seu próprio ponto de referência**, através do qual os sinais elétricos mudam para negativo ou positivo (de acordo com a codificação Manchester). **Não há necessidade de terra comum** nos equipamentos ligados por um segmento UTP, o que isola a sinalização de problemas com variações de voltagem de terra, aumentando a segurança do sistema [SPU 00] pg 127. A figura a seguir ilustra o processo.



2.8 FOIRL

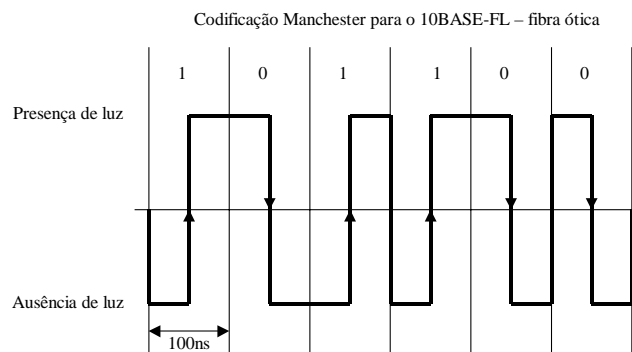
A norma FOIRL (*Fiber Optic Inter-Repeater Link*) foi publicada em 1989 pelo IEEE, com o objetivo de permitir a ligação de segmentos Ethernet remotos até uma **distância de 1.000 m**. A especificação original permitia apenas a ligação de dois repetidores, e os fabricantes modificaram o sistema para permitir ligar mais segmentos, bem como estações de trabalho. Essas mudanças foram incorporadas na norma 10BASE-F, descrita a seguir, que veio para substituir o FOIRL.

2.9 10BASE-F

O padrão 10BASE-F (10Mbit/s, banda base e fibra ótica) identifica o sistema Ethernet com fibra ótica, e foi adotado em 1993, sendo normalmente utilizado para conectar hubs entre si. Da padronização original (10BASE-FB, 10BASE-FP e 10BASE-FL), a 10BASE-FL (*Fiber Link*) é amplamente utilizada atualmente, enquanto as outras são praticamente inexistentes [SPU 00]. O padrão 10BASE-FL define como **2.000 metros a distância** entre *hubs* com fibra ótica multimodo 62,5µm/125µm.

2.9.1 Sinalização física no 10BASE-FL

Os transceivers óticos enviam e recebem pulsos de luz através da fibra ótica de acordo com a codificação Manchester, com um esquema de sinalização bastante simples conhecido como NRZ (*Non-Return-to-Zero*), onde o bit “1” significa a existência de luz e o bit “0” significa a ausência de luz. Existe uma fibra para enviar o sinal (TX) e uma para receber o sinal (RX). Veja exemplo na figura a seguir.



2.10 Protocolo MAC

Vale lembrar que o Ethernet é um protocolo do subnível MAC do nível de enlace do modelo OSI, e a sua estrutura de quadro é mostrada na figura a seguir.

IEEE 802.3							
IFG (12)	Preâmbulo (7)	DI (1)	End. Destino (6)	End. Origem (6)	Tam (2)	Dados (46-1500)	CRC (4)

Ethernet II							
IFG (12)	Preâmbulo (7)	DI (1)	End. Destino (6)	End. Origem (6)	Tipo (2)	Dados (46-1500)	CRC (4)

O tamanho máximo do quadro Ethernet é de 1518 bytes (mais o preâmbulo e o delimitador inicial). O suplemento IEEE 802.3ac estende o quadro para 1522 bytes, suportando a tag de VLAN (não mostrado na figura).

Quando um micro quiser enviar dois pacotes consecutivos, ele deverá esperar um tempo chamado de Inter Frame Gap (IFG) equivalente a 12 bytes ou 96 bits. Esta medida serve para liberar o meio físico e permitir que outras estações também possam enviar seus pacotes (antigamente era o tempo necessário para as placas de rede passarem de “recebendo dados” para “transmitindo dados”).

A definição de cada campo que compõe o quadro é descrita a seguir:

- **Preâmbulo:** é uma seqüência de 7 bytes para sincronização entre transmissor e receptor. Cada byte tem um padrão de bits "10101010". A codificação Manchester para esse padrão produz uma onda quadrada de 10 MHz durante 5,6 μ s;
- **Delimitador Inicial do quadro (DI):** é um byte com o padrão "10101011", delimitando o início do quadro;
- **Endereço destino e endereço fonte:** cada quadro contém um campo de 6 bytes que dá o endereço da estação destino e outro que dá o endereço da estação origem da informação. A norma prevê endereços de 2 ou 6 bytes para indicar o endereço, mas o protocolo Ethernet utiliza somente endereços de 6 bytes. O bit mais significativo do endereço destino é "0" para endereços normais e "1" para endereços de grupo. Endereços de grupo permitem que várias estações escutem através do mesmo endereço. Quando um quadro é enviado para um endereço desse tipo, todas as estações pertencentes àquele grupo o recebem. Enviar uma mensagem para um endereço de grupo é chamado **multicast**. Um endereço com todos os bits em "1" é denominado **broadcast**, e é destinado à todas estações da rede;
- **T: tamanho do campo de dados (IEEE 802.3) ou tipo do protocolo de nível superior (Ethernet II):** indica o número de bytes de dados que serão transmitidos por esse quadro. O mínimo é 0 e o máximo é 1500. Se o número de *bytes* de dados é menor que 46, o complemento para fechar 46 é preenchido, a fim de completar o tamanho mínimo de 64 bytes no quadro;
- **Dados:** é a informação propriamente dita;
- **CRC:** o CRC (*Cyclic Redundancy Check*), é um dos algoritmos mais eficazes para detectar erros na transmissão. O polinômio gerador do CRC para o protocolo Ethernet consiste na seguinte seqüência: $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$, onde x dá a posição do bit dentro da palavra de 32 bits ($1*x^{32}+0*x^{31}+0*x^{30} \dots + 1*x^2+1*x^1+1*x^0$).

O tamanho mínimo de um quadro no protocolo Ethernet é 64 bytes, por dois motivos principais:

- a) Prevenir o fato de uma estação terminar a transmissão de um quadro curto antes do seu primeiro bit alcançar o final do cabo, o que faria com que uma eventual colisão não fosse detectada;
- b) Quando uma placa detecta uma colisão, ela "trunca" o quadro que está transmitindo a fim de liberar o barramento o mais rápido possível. Assim, é normal aparecerem "lixos" ou pedaços de quadros no cabo. O tamanho mínimo de 64 bytes permite uma maior facilidade na detecção de quadros válidos e "lixos".

2.10.1 Ethernet SNAP (Ethernet Subnetwork Access Protocol)

Foi criada uma modificação no pacote de dados para permitir usar o quadro 802.3 com um campo de comprimento para transportar protocolos diferentes em quadros diferentes, que fluem na mesma rede.

Preâmbulo (7)	DI (1)	End. Destino (6)	End. Origem (6)	Tam (2)	Dados (46-1500)	CRC (4)
-------------------------	------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------------	-------------------

IEEE 802.2 LLC				Ethertype (2)	Dados
DSAP (1)	SSAP (1)	Control (1 ou 2)	Protocol ID (3)		

- **DSAP (Destination Service Access Point):** Indica para qual pilha de protocolo o pacote se destina. A seguir encontram-se alguns códigos mais comuns:
 - 04H – IBM SNA Path Control
 - 06H – IP
 - AAH – SNAP (SubNet Access Protocol)
 - E0H – Novell NetWare
 - F0H – IBM NetBIOS
- **SSAP (Source SAP):** É o serviço de origem do pacote
- **Control:** Pode ter tamanho de 1 ou 2 bytes, é responsável para controle de fluxo, ack, e correção de erro.
- **Protocol ID:** Pode ser chamado de Organization Code ou Agency Code, contém o código de um fabricante.
- **Ethertype:** Tipo de protocolo da camada superior. A seguir encontram-se alguns códigos mais comuns:
 - 0800H – IP
 - 0806H – ARP
 - 8137 – Novel IPX

Maiores referências podem ser encontradas nas seguintes RFC's:

- RFC-1600, "Official Internet Protocols" by Reynolds and Postel.
- RFC-1700, "Assigned Numbers" by Reynolds and Postel.
- RFC-1042, "A Standard for the Transmission of IP Datagrams over IEEE 802 Networks" by Reynolds and Postel.

3. Fast-Ethernet

3.1 Introdução

Na época da criação do padrão Ethernet (1980), a velocidade de 10Mbps era satisfatória, visto que a capacidade de processamento dos computadores era bem inferior. À medida que a tecnologia evoluiu, os computadores ficaram rápidos suficientes para necessitar mais de 10Mbps. Uma resposta a essa necessidade foi a criação do Fast-Ethernet, adotada formalmente em 1995 (IEEE 802.3u – 100BASE-T), estendendo a capacidade do Ethernet para 100Mbit/s, mas preservando a especificação original de formato do quadro de dados. Tal especificação abandonou a utilização de cabo coaxial, sendo padronizada apenas em par trançado e fibra ótica.

3.2 Topologia

Em redes Fast-Ethernet, a topologia utilizada é estrela, e o cabo coaxial não é suportado. Isso permitiu a alteração na sinalização física do sinal, que agora é contínua, ou seja, sempre existe portadora na linha. Quando ninguém está transmitindo, o sinal IDLE é enviado (isso será mais detalhado adiante).

3.3 Desempenho

Tipicamente, o mesmo que se aplica no Ethernet se aplica no Fast-Ethernet.

3.4 Sinalização de nível físico

Tanto o 100BASE-TX como o 100BASE-FX utilizam o sistema de codificação 4B/5B para efetuar a transmissão dos sinais. O 4B/5B transforma 4 bits a serem transmitidos em 5 bits, causando um *overhead* de 25%, mas agregando funções de controle [SPU 00] pg 120. Esta sinalização foi adaptada da utilizada nas redes FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*).

A codificação com 5 bits (32 símbolos) ao invés de 4 (16 símbolos) permite um acréscimo de 16 símbolos (32-16) ao sistema. Um desses símbolos é o IDLE, que é continuamente enviado quando não existem dados a transmitir naquele momento. Isso faz com que a sinalização fique permanentemente ativa, enviando sinais a 125Mbauds (overhead de 25% em relação aos 100Mbit/s) quando nada mais está em andamento.

A tabela a seguir mostra alguns símbolos que podem ser enviados no canal. Os símbolos de controle são representados por letras, como J e K, utilizados juntos para marcar o início do preâmbulo no quadro. Outros dois códigos, T e R, são utilizados para marcar o final do quadro.

Dado (4 bits)	Código (5 bits)	Interpretação
0000	11110	Dado 0
0001	01001	Dado 1
0010	10100	Dado 2
0011	10101	Dado 3
0100	01010	Dado 4
Etc.	Etc.	Etc.
1111	11101	Dado F
Vazio	11111	IDLE
0101	11000	J
0101	10001	K
Etc.	Etc.	Etc.

A interface de rede ignora os símbolos IDLE, portanto, uma “portadora” só é detectada quando símbolos de dados válidos são vistos no canal, mantendo a compatibilidade com o método CSMA/CD.

3.5 100BASE-X

O identificador 100BASE-X representa o 100BASE-TX e 100BASE-FX, que operam a 100Mbit/s com par trançado e fibra ótica, respectivamente.

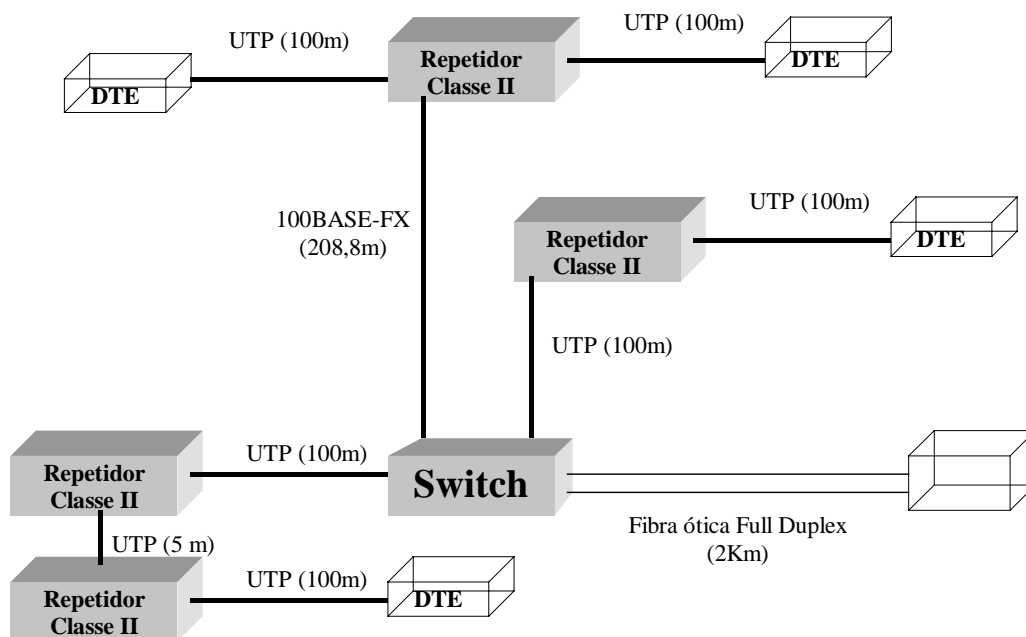
3.5.1 100BASE-TX

O 100BASE-TX (100Mbps, banda base, **par trançado categoria 5**) é a variação mais utilizada do Fast-Ethernet, e funciona sobre dois pares de fios, um para transmitir e outro para receber sinais.

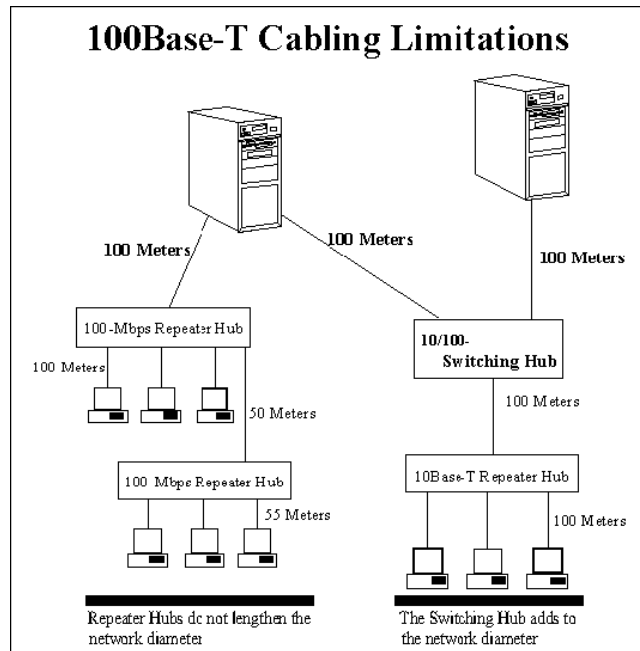
Como o padrão preserva o tipo de acesso ao meio físico (CSMA/CD), o diâmetro de redes desse tipo não deve ultrapassar 205m (ver tabela), sendo apropriada para conectar estações e servidores com uma velocidade mais alta que o Ethernet. A tabela a seguir ilustra as distâncias máximas em metros nos padrões de cobre e fibra [SPU 00] pg 184.

Tipo do repetidor	Só Cobre	Só Fibra	Cobre e fibra (TX e FX)
DTE-DTE simples	100	412	N/A
Repetidor Classe I	200	272	260,8 (100m UTP e 1 link fibra)
Repetidor Classe II	200	320	308,8 (100m UTP e 1 link fibra)
Dois repetidores Classe II	205	228	216,2 (105m UTP e 1 link fibra)

A figura a seguir ilustra as distâncias máximas em algumas configurações do Fast-Ethernet.



Outro exemplo somente UTP 100BASE-T é mostrado na figura a seguir, para repetidores classe II. <http://www.compaq.com/support/techpubs/whitepapers/407a0796.html>



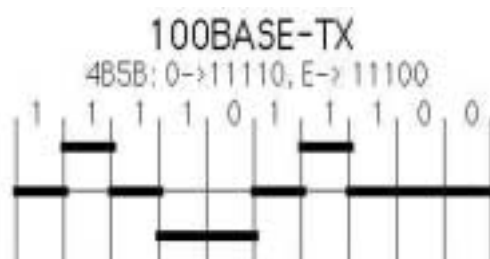
3.5.2 Sinalização física no 100BASE-TX

A sinalização de linha efetivamente utilizada para transmitir os códigos de 5 bits do 4B/5B sobre par de fios é baseada numa sinalização chamada MLT-3 (*MultiLevel Threshold 3*). Durante cada transição de sinal (4 bits convertido para 5 bits) o sinal pode assumir um entre 3 níveis. Durante cada ciclo de relógio, uma mudança de um nível marca bit “1”, enquanto que um sinal constante marca bit “0”. Como o nível de sinal não muda durante os bits “0”, reduz a frequência necessária no fio, entretanto, torna necessário o uso de um *scrambler*, a fim de espalhar os padrões de emissão eletromagnética nos dados (/***/?). Os três níveis são conseguidos através de tensões diferenciais que variam de 0 a +1 no fio positivo e de 0 a -1 no fio negativo.

Apesar dessa redução na frequência necessária, é bom lembrar que o sinal ainda trafega numa taxa de 125Mbauds, e cabos categoria 5 de boa qualidade devem ser usados [SPU 00] pg 144.

A figura a seguir mostra a transmissão do sinal hexadecimal “0E”, que é primeiramente dividido em pedaços de 4 bits, depois passa pela tabela do 4B/5B e então é transmitido através do par trançado na sinalização MLT-3.

<http://www.optimized.com/COMPENDI/>.



3.5.3 100BASE-FX

O 100BASE-FX (100Mbps, banda base, fibra ótica) permite distâncias de até 2Km sobre fibra ótica multimodo (62,5/125 μ m com $\lambda=1350$ nm) **quando operando em Full-Duplex**.

Distâncias maiores (20 Km ou mais) podem ser conseguidas com fibra ótica monomodo, mas sempre operando em full-duplex.

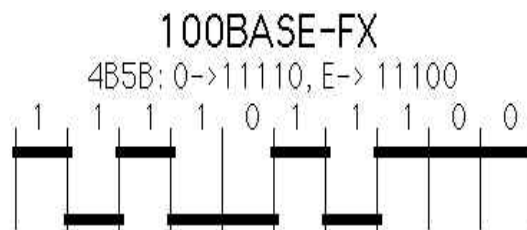
Quando opera em half-duplex, o comprimento máximo entre dois segmentos em fibra multimodo é 412m, e se utilizar um repetidor em alguma ponta, este comprimento diminui /**/
/* completar – cap 13 */

3.5.4 Sinalização física no 100BASE-FX

A sinalização física para enviar a codificação de 5 bits obtida pelo 4B/5B é uma variante do NRZ, conhecido como NRZI (*Non-Return-to-Zero, Invert-on-Ones*). Este sistema não modifica o sinal quando envia bit “0”, e inverte o sinal do estado anterior quando enviando bit “1”.

A figura a seguir mostra a transmissão do sinal hexadecimal “0E”, que é primeiramente dividido em pedaços de 4 bits, depois passa pela tabela do 4B/5B e então é transmitido através da fibra na sinalização NRZI.

<http://www.optimized.com/COMPENDI/FE-NRZI.htm>.



3.6 100BASE-T4 e 100BASE-T2

O 100BASE-T4 (100Mbps, banda base, **4 pares trançados de categoria 3** ou maior) não fez muito sucesso, pois a diferença de preço do cabo categoria 3 para o categoria 5 é pequena, e os usuários preferiram a utilização de apenas 2 pares, o que utiliza menos canaletas e é mais garantido para melhorias futuras na velocidade da rede.

O 100BASE-T2 (100Mbps, banda base, **2 pares trançados de categoria 3** ou maior) nunca foi desenvolvida pelos fabricantes, e equipamentos para este padrão são inexistentes [SPU 00].

3.7 Protocolo MAC

O protocolo MAC utilizado no Fast-Ethernet é igual ao do Ethernet. Como a sinalização física de linha é contínua, como descrito anteriormente, não necessitaria o preâmbulo, mas ele foi mantido por questões de compatibilidade.

4. Gigabit Ethernet

4.1 Introdução

Em novembro de 1995, a Comissão do IEEE 802.3 encarregou o *Speed Study Group* para viabilizar um incremento na capacidade das redes Fast Ethernet, buscando o que se consideraria uma rede Gigabit. Em meados de 1996, o IEEE aprovou a solicitação do projeto de desenvolvimento para o Gigabit Ethernet, e formou o *802.3z Gigabit Ethernet Task Force*, com 13 objetivos iniciais:

- Alcançar a velocidade de 1000 Mbit/s;
- Usar o formato de quadros do padrão Ethernet 802.3;
- Alcançar os requisitos funcionais do 802;
- Possibilitar a comunicação entre 10Mbit/s, 100Mbit/s e 1000Mbit/s;
- Manter o tamanho mínimo e máximo de quadros dos padrões anteriores;
- Prover operações de half-duplex e full-duplex;
- Suporte à topologia estrela;
- Utilizar o método de acesso CSMA/CD com suporte para ao menos um repetidor por sub-rede;
- Suporte à Fiber Channel ANSI FC-1 e FC-0 e, se possível, cabo de cobre;
- Fornecer uma família de especificações de nível físico com suporte:
 - para um link de distância mínima de 500 m em fibra multi-modo;
 - para um link de distância mínima de 25 m em cabo de cobre (preferência para 100 m);
 - para um link de distância mínima de 3 Km em fibra monomodo.
- Suporte à mídia selecionada da ISO/IEC 11801;
- Permitir controle de fluxo;
- Especificar uma Interface Independente de Mídia Lógica (GMII).

Com esses objetivos em mente surgiu, em 1998, o padrão Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z – 1000BASE-X), que oferece uma largura de banda de 1000 Mbit/s (1 Gbit/s), sendo 100 vezes mais rápida que o Ethernet, compatível com ele, e ainda utilizando os mesmos protocolos CSMA/CD e MAC.

4.2 Topologia

Gigabit Ethernet é padronizado para uma topologia estrela, sendo essencialmente uma "tecnologia de campus", quer dizer, para uso como um backbone em uma rede campus ampla. Usado entre roteadores, switches e hubs, e também pode ser usado para conectar servidores e workstations.

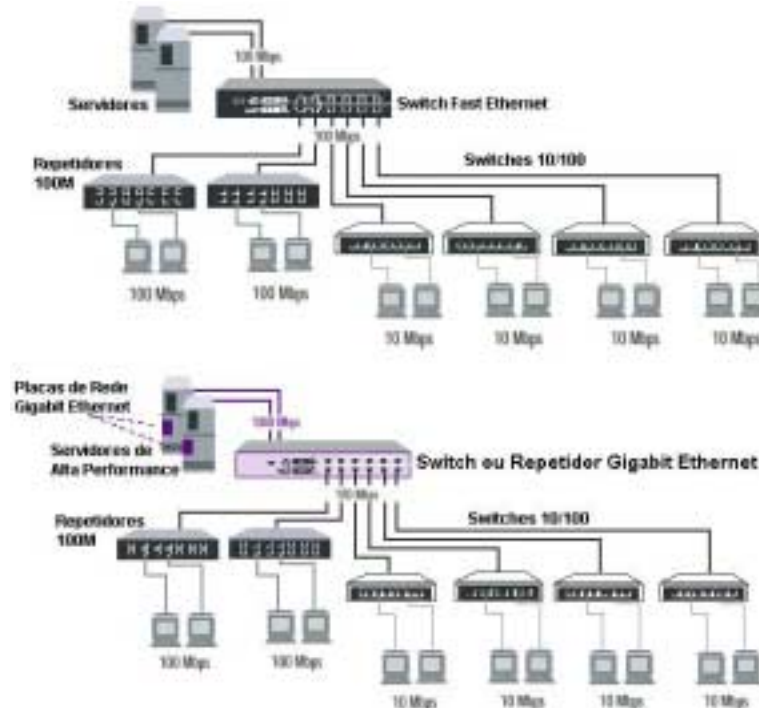
Essencialmente, são necessários quatro tipos de hardware para efetuar um upgrade em uma rede Ethernet / Fast Ethernet para Gigabit Ethernet:

- Cartões Interface de Rede Gigabit Ethernet (NICs)
- Switches que conectam vários segmentos de Fast Ethernet para Gigabit Ethernet
- Switches Gigabit Ethernet
- Repetidores Gigabit Ethernet (ou Buffered Distributors)

Os quatro upgrades mais prováveis são dados nos itens a seguir.

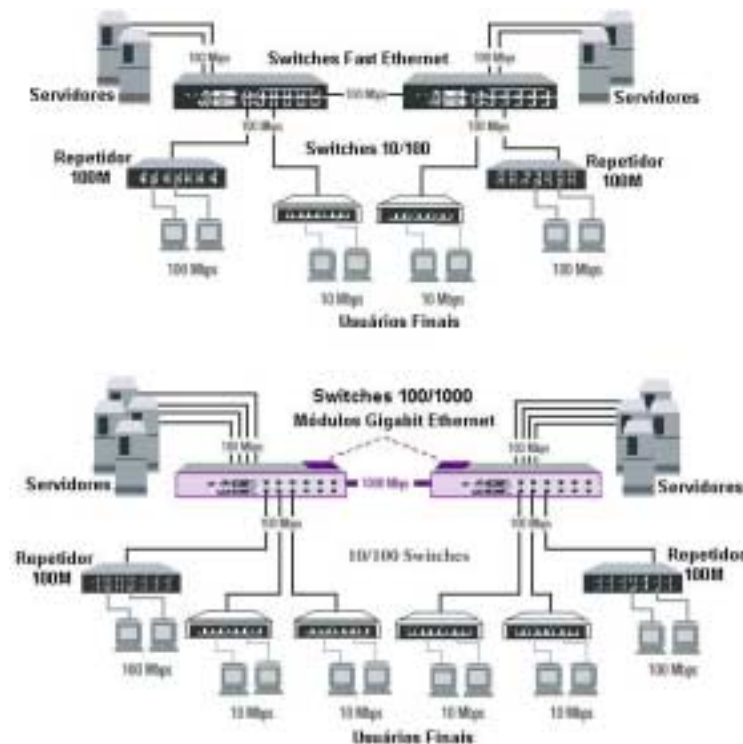
4.2.1 Upgrade de conexões de switch-servidor

A maioria das redes centralizou servidores de arquivo e servidores de processamento. Um servidor obtém pedidos de um grande número de clientes, precisando mais largura de banda para enviar todas as respostas. Servidores conectados a switches com Gigabit Ethernet melhoram seu desempenho na rede.



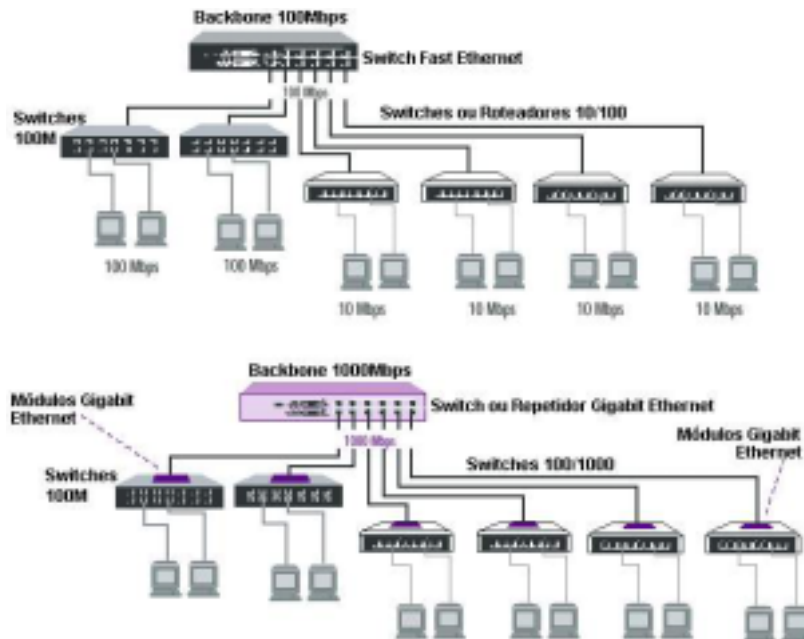
4.2.2 Upgrade de Conexões de switch-switch

Outra versão simples de upgrade envolve melhoria nos links **entre switches** Fast Ethernet para Gigabit Ethernet.



4.2.3 Upgrade no backbone Fast Ethernet

Um switch de backbone Fast Ethernet agregado com múltiplos switches de 10/100 Mbit/s pode ser melhorado para um switch Gigabit Ethernet - o qual suporta múltiplos switches de 100/1000 Mbit/s, como também roteadores e hubs que têm interfaces Gigabit Ethernet. Uma vez que o backbone tenha sido melhorado, pode-se ter servidores de alto desempenho conectados diretamente ao backbone. Isto aumentará substancialmente o processamento para aplicações que requerem grande largura de banda.



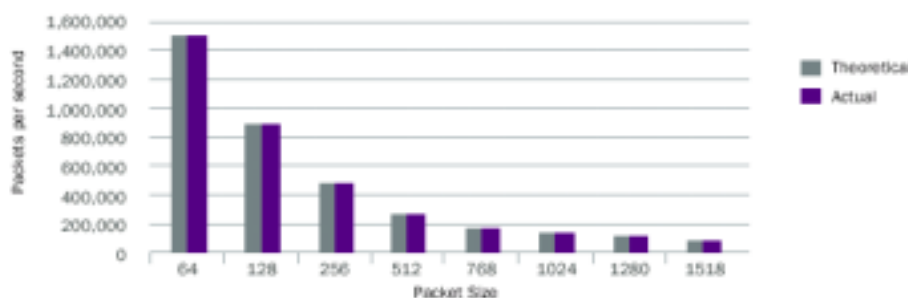
4.2.4 Upgrade de Workstations de Alta Performance

Como as workstations adquiriram mais e mais poder de processamento, elas necessitam de conexões à redes com altas largura de banda. Atualmente os PCs têm barramentos onde podem tráfegar mais de 1000 Mbit/s. O Gigabit Ethernet pode ser usado para conectar tais máquinas de alta velocidade.



4.3 Desempenho

A figura a seguir mostra resultados de teste de desempenho de um switch Gigabit Ethernet com pacotes de diversos tamanhos, desde 64 bytes até 1518 bytes [GEA 99].



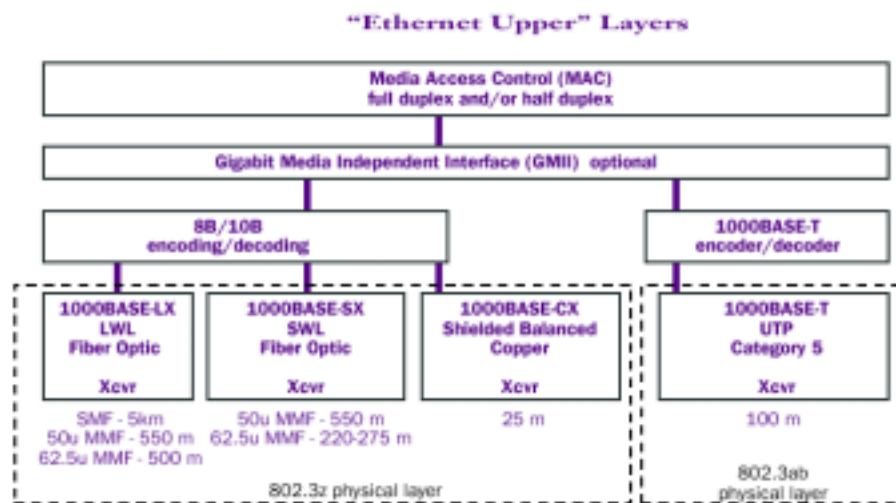
Source: Extreme Networks.

O teste mostrou praticamente 100% de eficiência. O cálculo teórico do número de pacotes por segundo foi conseguido da seguinte forma, sendo que todo pacote tem 12 bytes de InterFrame Gap (IFG) e 8 pacotes de preâmbulo:

- **Pacote de 64 bytes:** $N. \text{ pps} = 1 \text{ Gbps} / (12 + 8 + 64) * 8 \text{ bits/byte}$. $N. \text{ pac/s} = 1.488.095 \text{ pps}$.
- **Pacote de 1518 bytes:** $N. \text{ pps} = 1 \text{ Gbps} / (12 + 8 + 1518) * 8 \text{ bits/byte}$. $N. \text{ pac/s} = 81.274 \text{ pps}$.

4.4 Sinalização de nível físico

A Camada Física de Gigabit Ethernet usa uma mistura de tecnologias do Ethernet original e a especificação de Fiber Channel ANSI X3T11. O Gigabit Ethernet padroniza 4 tipos de meios físicos. Estes meios são definidos nos padrões 802.3z (1000Base-X) e 802.3ab (1000Base-T), e serão vistos com maiores detalhes nos itens posteriores. A figura a seguir mostra as camadas do Gigabit Ethernet [GEA 99].



4.5 1000BASE-X

Três tipos de meios são incluídos no padrão 1000Base-X:

- **1000Base-SX** laser de 850 nm em fibra de multimodo.
- **1000Base-LX** laser de 1300 nm em fibra de monomodo e multimodo.
- **1000Base-CX** cabo coaxial STP (Par Trançado Blindado)

As distâncias suportadas nos cabeamentos são mostradas na Tabela a seguir [GEA 98]:

Tipos de Cabeamento e Distâncias	
Tipo de cabo	Distância
Fibra Monomodo (9 micron)	5000 m (LX)
Fibra Multimodo (62.5 micron)	275 m (SX) 550 m (LX)
Fibra Multimodo (50 micron)	550 m (SX) 550 m (LX)
Coaxial STP	25 m

Entretanto, muitos fabricantes estão vendendo versões de equipamento para 1000BASE-LX voltados a atingir 10Km sobre fibra monomodo. Além disso, desenvolveram outras versões para o 1000BASE-LX monomodo que permite distâncias de mais de 100Km [SPU 00] pg 167.

4.5.1 Sinalização física no 1000BASE-X

O padrão 1000Base-X está baseado na codificação 8B/10B, adaptado da camada física do Fiber Channel. O Fiber Channel é uma tecnologia de interconexão para conectar workstations, supercomputadores, dispositivos de armazenamento e periféricos. O Fiber Channel tem uma arquitetura de 5 camadas (FC0 a FC4). As duas camadas mais baixas FC-0 (Interface e meio) e FC-1 (Encode/Decode) são usados no Gigabit Ethernet. Considerando que o Fiber Channel é uma tecnologia provada, optou-se pelo reaproveitamento dos padrões, reduzindo o tempo de desenvolvimento do Gigabit Ethernet.

No sistema de codificação 8B/10B, 8 bits de dados são transformados em 10 bits de símbolos para transmissão no meio físico. Com 8 bits dá para obter 256 códigos, e com 10 bits dá para obter 1024. Com 1024 códigos, dá para escolher um conjunto específico de 256 códigos que contenham informações de sincronismo suficientes para a boa recuperação do sinal pelo receptor. Além disso, os códigos são distribuídos de tal forma que assegurem que o número de bits “0” e “1” sejam iguais, evitando que surjam tensões parasitas no cabo.

Outros códigos especiais são utilizados para enviar o sinal “IDLE” (que é continuamente enviado quando não existem dados presentes), ou para enviar os bits de extensão de portadora (*carrier extension*), ou para definir o início e fim do quadro.

A **sinalização física** utilizada para enviar os 10 bits (por byte) é a NRZ (*non-return-to-zero*), com nível alto significando luz e nível baixo ausência de luz. Essa codificação provoca um aumento na frequência de transmissão, **tornando uma taxa de 1.000 Mbps em 1.250 Mbauds** na fibra ótica. Como a frequência máxima obtida através de LEDs é aproximadamente 622MHz, os transceivers de fibra ótica devem usar lasers para lidar com esse tipo de sinal.

4.6 1000BASE-T

1000BASE-T (1000 Mbps, banda base e **par trançado categoria 5** ou melhor) permite distâncias de 100m sobre 4 pares de cabos categoria 5. Este padrão foi desenvolvido pela força tarefa 802.3ab.

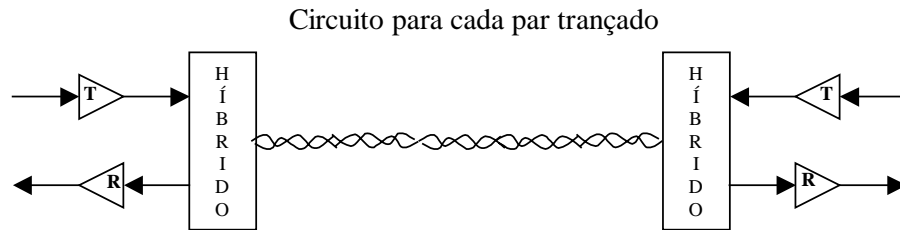
4.6.1 Sinalização física no 1000BASE-T

Para enviar 1 Gbps através de 4 pares de fios levou a engenharia de redes a desenvolver um sistema no estado da arte, chamado 4D-PAM5. Este esquema traduz 8 bits de dados em uma transmissão simultânea de quatro símbolos (4D) através dos quatro pares de fios. Os símbolos são transmitidos utilizando um sistema com 5 níveis de amplitude (PAM5). Os cinco níveis incluem um sinal de correção de erros para melhorar a razão sinal ruído no cabo [SPU 00] pg 122.

Os sinais codificados são transmitidos usando PAM5, que envia 2 bits de dados por vez (dibit). Como são enviados quatro sinais simultaneamente (4D), o resultado é de 8 bits de dados com uma alteração na portadora. Como é necessário enviar 1Gbits por segundo, o resultado é a necessidade de que cada par trançado suporte 125Mbauds, o equivalente ao necessário para o 100BASE-TX [SPU 00].

As voltagens diferenciais utilizadas no fio variam de zero a um volt no fio positivo e de zero a menos um volt no fio negativo.

O enlace 1000BASE-T transmite e recebe dados por todos os quatro fios simultaneamente, e cada transceiver está conectado ao circuito de transmissão e recepção através de um dispositivo híbrido, como mostra a figura a seguir.



4.7 Protocolo MAC

O Gigabit Ethernet segue a mesma linha dos seus antecessores, utilizando o protocolo CSMA/CD para half-duplex, e desligando este protocolo para full-duplex.

No caso do full-duplex, o formato do pacote é exatamente igual ao Ethernet original (e também ao Fast Ethernet). Porém, no half-duplex, isso daria problemas, principalmente na detecção de colisões com o tamanho mínimo de quadro, e teve que ser modificado.

Ethernet tem um tamanho mínimo de quadro de 64 bytes. A razão disto é prevenir uma estação de completar a transmissão de um quadro de dados antes de o primeiro bit chegar ao ponto mais distante do cabo, onde poderia hipoteticamente colidir com outro quadro, e retornar à estação, a fim de que ela detecte colisão (tempo conhecido como 2τ). Logo, o tempo mínimo para detectar uma colisão é o tempo gasto pelo sinal para propagar-se de um ponto-fim do cabo para outro e retornar à origem. Este tempo mínimo é denominado *Slot Time*.

O comprimento máximo permitido para um cabo Ethernet 10BASE5 é 2,5 Km (com um máximo de 4 repetidores). No Gigabit Ethernet, como a taxa de transmissão aumenta, o emissor transmite o quadro mais rápido. Como resultado, se mesmos tamanhos de quadro e comprimento de cabo são mantidos, então a estação pode transmitir um quadro mais rapidamente e não detectar uma colisão que ocorreu na outra ponta do cabo. Existem duas soluções para esse tipo de problema:

- a) Manter o comprimento máximo de cabo e aumentar o *slot time* (e, portanto, o tamanho mínimo de quadro);
- b) Manter o mesmo *slot time* e reduzir o comprimento de cabo.

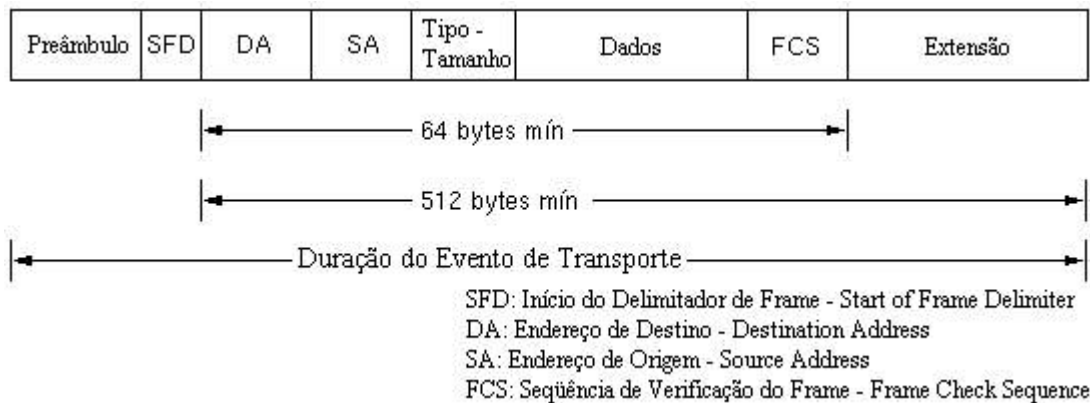
Gigabit Ethernet mantém o tamanho mínimo e máximo de quadros Ethernet. Considerando que o Gigabit é 10 vezes mais rápido que Fast Ethernet, para manter o mesmo tempo de *slot* o comprimento máximo de cabo deveria ser reduzido cerca de 10 vezes, o que seria problemático. Ao invés disso, Gigabit usa um tamanho de *slot* de 512 bytes no half-duplex. Para manter a compatibilidade com Ethernet, o tamanho mínimo de quadro não é aumentado, mas sim o tempo de portadora na linha. Se o quadro é menor que 512 bytes, então ele é "completado" com símbolos de extensão. Estes símbolos especiais são denominados *carrier extensions*.

4.7.1 Carrier Extensions para half-duplex

Gigabit Ethernet deve ser compatível com redes 802.3 preexistentes. A *Extensão de Portadora (Carrier Extension)* é a forma para manter os tamanhos mínimo e máximo do 802.3 com as relativas distâncias de cabeamento.

Para quadros estendidos, os símbolos de extensão são inclusos na *janela de colisão*, ou seja, o quadro inteiro é considerado para colisão e eliminado. Porém, a seqüência de verificação do quadro (*Frame Check Sequence - FCS*) é calculada apenas no quadro original (sem símbolos de extensão). Os símbolos de extensão são removidos antes da FCS pelo receptor. Então, a

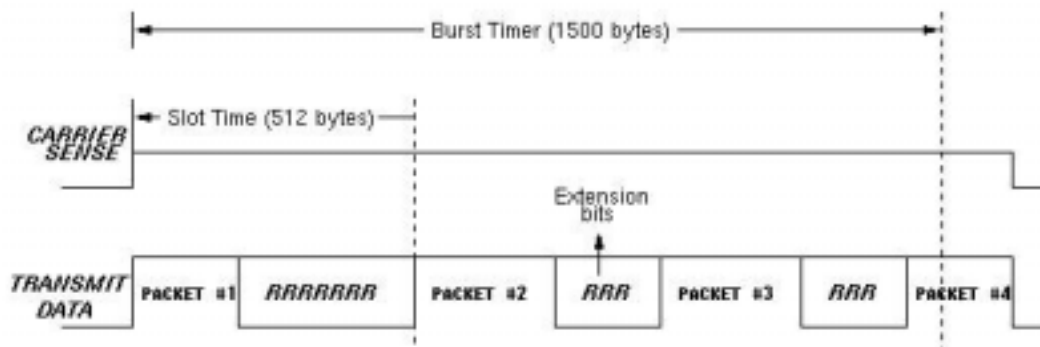
camada LLC não tem conhecimento da *carrier extension*. A figura a seguir mostra o formato de um quadro Ethernet com extensão de portadora.



4.7.2 Packet Bursting para half-duplex

Carrier Extension é uma solução simples, mas que desperdiça largura de banda principalmente para quadros pequenos (no pior caso, 448 bytes de extensão são enviados). Isso pode resultar numa baixa vazão de dados. Para pacotes pequenos, a vazão é pouco melhor que Fast Ethernet.

Packet Bursting permite a uma estação adicionar mais de um pacote na mesma transmissão. Quando uma estação tem um número de pacotes para transmitir, o primeiro pacote deve ter o tamanho do *slot time*, mesmo que seja necessário utilizar *carrier extension*. Pacotes subsequentes são transmitidos com um espaçamento mínimo entre os pacotes (IPG - Inter-Packages Gap) até que o tempo de fluxo expire (1500 bytes). Com o *Packet bursting*, tem-se um aumento substancial na vazão. A figura a seguir exhibe o seu funcionamento.



4.7.3 Operação em Full-Duplex e Half-Duplex

Na especificação IEEE 802.3x, dois nós conectados por meio de um caminho full-duplex comutado podem simultaneamente enviar e receber dados. Gigabit Ethernet segue este padrão para comunicar-se no modo full-duplex. **Segundo [GEA 99], todos os produtos Gigabit Ethernet no mercado em 1999 são full-duplex.**

Dispositivos que operam em modo full-duplex não estão sujeitos a *carrier extension*, extensão de *slot time* e mudanças de *packet bursting*. Os quadros seguem exatamente o padrão Ethernet original.

4.8 Gigabit Ethernet X ATM

Quando o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) foi introduzido, ofereceu uma largura de banda de 155 Mbit/s que era 1,5 vezes mais rápida que o Fast Ethernet (porém, o ATM tinha a vantagem da perspectiva de futuro, pois seu meio físico é baseado em SONET/SDH, com

equipamentos, na época, de 622M (STM-4) e surgindo o 2,4Gbps (STM-16)). O ATM era ideal para as novas aplicações que tinham uma demanda muito maior de largura de banda, especialmente multimídia (por permitir a diferenciação em classes de tráfego CBR, VBR, etc).

ATM ainda tem algumas vantagens sobre o Gigabit Ethernet:

- O ATM é mais bem caracterizado que o Ethernet para aplicações como vídeo, porque o ATM tem QoS (Qualidade de Serviço) e diferentes serviços como CBR (taxa de bit constante) que são mais adequados para tais aplicações. Apesar do IETF estar trabalhando com RSVP, o qual promove QoS sobre o Ethernet, RSVP tem limitações. É o "melhor protocolo de esforço", ou seja, a rede pode reconhecer um pedido de QoS mas não entregá-lo. No ATM é possível garantir parâmetros de QoS como o máximo atraso de entrega.
- O ATM permite atingir maiores distâncias e velocidades, pois sabe-se quais velocidades virão. Ex: 2,4 GB, 4,8 GB, 9,6 GB, etc...

Gigabit Ethernet tem suas próprias vantagens:

- A principal é ser Ethernet. Considera-se uma migração facilitada de redes Ethernet para Gigabit - todas as aplicações que trabalham em Ethernet trabalharão em Gigabit Ethernet. Este não é o caso do ATM. Aplicações atuais no ATM requerem alguma quantia de tradução entre a aplicação e a camada de ATM, que significa mais overhead.
- O Gigabit Ethernet por ser muito popular e de fácil implementação possui um custo menor.
- O Gigabit Ethernet está tendo sua própria evolução, com o 10Gbit Ethernet, e deverá continuar evoluindo.

5. Comparação nos padrões Ethernet

5.1 Distância com par trançado

	Ethernet 10 BaseT	Fast Ethernet 100 BaseT	Gigabit Ethernet* 1000 Base x
Taxa de Dados	10 Mbit/s	100 Mbit/s	1000 Mbit/s
Cat 5 UTP	100 m (min)	100 m	100 m
STP/Coax	500 m	100 m	25 m
Fibra Multimodo	2 km	412 m (hd)** 2 km (fd)*	550 m
Fibra Monomodo	25 km	20 km	5 km

**IEEE spec half duplex

* IEEE spec full duplex

6. IEEE 802.5: Token Ring

6.1 Introdução

A rede Token Ring foi criada pela IBM, por volta do ano de 1987, formando a base para a norma IEEE 802.5.

Em uma rede Token Ring, um padrão especial de bits (chamado *token*), circula ao redor do anel sempre que todas as estações estão livres. Quando determinada estação quer transmitir uma mensagem, ela executa os seguintes passos:

1. Remove o token do anel;
2. Executa a transmissão de sua mensagem;
3. Conforme os bits mensagem vão retornando após terem dado a volta, a estação deve retirá-los do anel, a fim de que não fiquem circulando indefinidamente;
4. Recoloca o *token* no anel com a prioridade adequada.

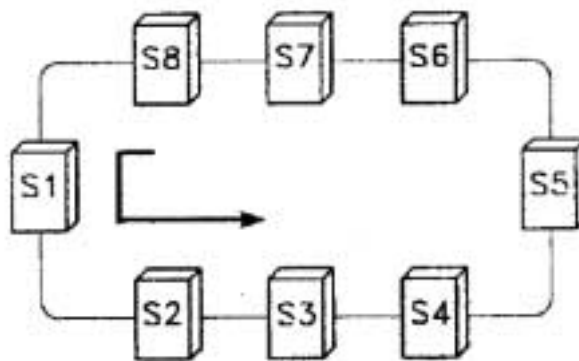
Como somente a estação que possui o *token* tem permissão de executar a transmissão, não existem colisões nesse tipo de rede.

Para diminuir o tempo que uma estação tem que esperar por um token livre, uma alternativa chamada "*Early Token Release*" permite a uma estação enviar um token livre logo depois de ter terminado sua transmissão, sem esperar o quadro enviado retornar.

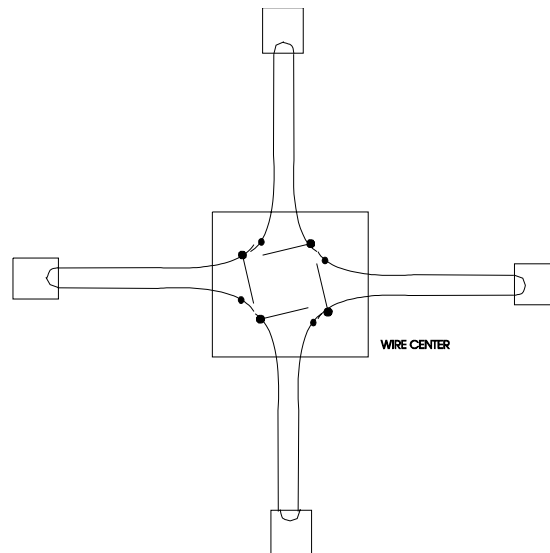
Um outro dado importante nesse tipo de rede é a existência de prioridades, que servem para permitir que aplicações que necessitam uma transmissão mais freqüente (como o controle de uma linha de montagem) sejam executadas antes de outras que podem aguardar um pouco mais para serem atendidas (como edição de texto). Nas redes tipo Token Ring, são permitidos 7 níveis de prioridades, como será visto adiante.

6.2 Topologia

A rede Token Ring possui uma topologia em anel, como mostra a seguinte figura. Até 260 equipamentos podem estar conectados num único anel [FOL 00].



Um dos problemas desta topologia é que se o anel quebra em algum ponto, toda a rede pára de funcionar. Esse problema é resolvido através de "wire centers", que transformam a rede em uma topologia **estrela físico e anel lógico**, como mostra a figura a seguir.



No interior do "wire center", existem relés que são energizados pelas estações. Se o anel quebra ou a estação é desligada, o relé é desenergizado e aquela estação é eliminada, sem prejuízo algum para o funcionamento normal da rede. Esse esquema é utilizado pela maioria das redes Token Ring.

6.3 Desempenho

Atualmente já está padronizado o Token Ring nas velocidades de 4 Mbit/s, 16 Mbit/s e 100Mbit/s, tanto em half-duplex como em full-duplex (que dobra a velocidade conseguida no anel). http://www.rs6000.ibm.com/resource/hardware_docs/english/a4az1m05.html.

O grupo de estudos IEEE 802.5v é para Token Ring a 1Gbps, e [FOL 00] previu que sua aprovação aconteceria até final de 2000.

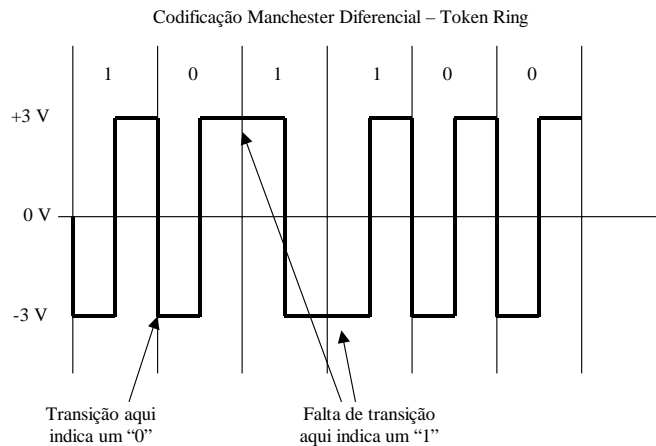
Nas redes Token Ring não existem colisões, mas se somente uma estação quiser transmitir, ela deve esperar o *token*, capturá-lo e efetuar a transmissão. Após o tempo máximo que pode segurar o *token*, deve liberá-lo e esperar ele dar a volta até poder capturá-lo novamente e continuar sua transmissão. Isso causa um desperdício de tempo com baixa carga. Por outro lado, com alta carga o *token* está sempre sendo aproveitado, elevando o rendimento dessa rede a quase 100%.

A conclusão é que quanto maior a carga em uma rede Token-Ring, maior se notará sua eficiência. Em baixa carga, utilizando "*Early Token Release*", a eficiência cai muito pouco, funcionando praticamente a 100% da velocidade máxima da rede.

6.4 Sinalização de nível físico

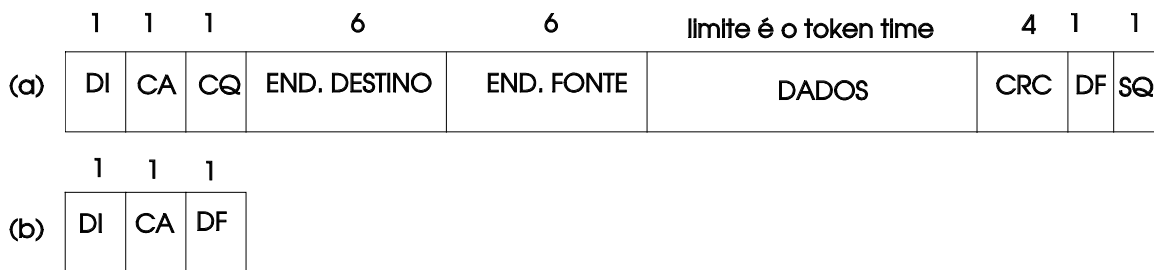
No nível físico, a rede Token Ring utiliza a codificação Manchester diferencial, com os bits "0" e "1" correspondendo respectivamente aos níveis de tensão +3 a +4,5V e -3 a -4,5V.

A codificação Manchester diferencial (utilizada em redes Token Ring) é uma variação da Manchester, onde o bit "1" é indicado pela ausência de transição no início do intervalo e o bit "0" é indicado pela presença da transição no início do intervalo. Em ambos os casos, existe uma transição no meio do bit. Esse tipo de codificação exige um equipamento mais complexo, mas oferece uma melhor imunidade a ruído.



6.5 Protocolo MAC

O Token Ring é um protocolo do subnível MAC do nível de enlace do modelo OSI, e existem dois tipos de quadros no seu protocolo: o quadro de *token* e o quadro de dados, como mostra a figura a seguir.



(a) Formato do quadro de dados
 (b) Formato do token

A definição de cada *byte* é descrita a seguir:

- **Delimitador Inicial do quadro (DI):** é um *byte* com um padrão inválido na codificação Manchester Diferencial marcando o início do pacote. Vale lembrar que na codificação Manchester deve existir sempre uma transição no meio do bit, e para criar um padrão inválido basta enviar o bit todo em "1" (H) ou todo em "0" (L). O padrão utilizado para o DI é o seguinte: "HLOHL000".
- **Controle de Acesso (CA):** é um *byte* especial com diversas informações de controle, como pode ser visto a seguir:
 - **bits 0, 1 e 2: reserva** - quando um pacote de dados passa através do anel, uma estação pode tentar reservar o próximo token escrevendo sua prioridade nos bits de reserva. Entretanto, se uma reserva de maior prioridade já foi feita, a estação não consegue fazer sua reserva. Quando a estação que está transmitindo o pacote de dados atual termina sua transmissão, deve gerar um token na prioridade dos bits de reserva;
 - **bit 3: monitor** - é um bit setado pela estação monitora para detectar falhas na rede (pacotes perdidos). Para tanto, a estação monitora liga este bit cada vez que passa um pacote por ela. Caso algum pacote já chegar com este bit ligado, significa que o pacote está perdido e deve ser retirado do anel. Cada pacote deve passar somente uma vez pelo anel, e se passar duas é porque deu algum problema na estação transmissora;

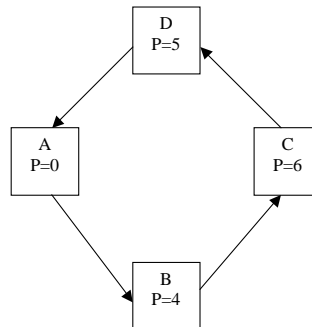
- **bit 4: token** - em "0" indica que o pacote é *token*, e em "1" indica que é um pacote de dados;
- **bits 5, 6 e 7: prioridade** - quando uma estação quer transmitir um pacote de prioridade *n*, deve esperar até capturar um token cuja prioridade é menor ou igual a *n*.
- **Controle de Quadro (CQ):** está associado diretamente com a estação monitora do anel. Cada anel possui uma estação monitora que controla seu funcionamento. Caso essa estação seja desligada, é eleita outra estação imediatamente. O campo do byte de controle de quadro possui os seguintes códigos:
 - **00000000 - teste de endereço duplicado:** testa se duas estações tem o mesmo endereço;
 - **00000010 - beacon:** utilizado para localizar quebras no anel;
 - **00000011 - solicitação de token:** quando o anel inicializa e alguma estação percebe que não há monitor, ela envia o pedido de solicitação de *token*. Se o quadro passa por todo anel e não há outro pedido, a estação torna-se então a nova monitora do anel;
 - **00000100 - purge:** reinicializa o anel;
 - **00000101 - monitor ativo presente:** enviado periodicamente pelo monitor p/ avisar que ele está "vivo";
 - **00000110 - monitor reserva presente:** anuncia a presença de monitores potenciais.
- **Endereço destino e endereço fonte:** campo idêntico à rede Ethernet;
- **Dados:** Os quadros Token Ring podem conter até 17.800 bytes de informação. Um processo de negociação é necessário nas estações para determinar o máximo tamanho de quadro que eles vão utilizar;
- **CRC:** o algoritmo de *Cyclic Redundancy Check* utilizado pela rede Token Ring é exatamente igual ao utilizado no padrão Ethernet;
- **Delimitador Final (DF):** marca o final do pacote. Da mesma forma que o DI, consiste de um padrão inválido da codificação Manchester. O padrão utilizado pelo DF é o seguinte: "HL1HL1IE". O bit I (intermediário) em "1" indica que se trata de um único pacote ou do último pacote de uma série. O bit E (erro) está normalmente em "0", e pode ser modificado para "1" por qualquer estação que detecte algum erro no pacote;
- **Status do Quadro (SQ):** contém os bits A e C do quadro, além de quatro bits reservados para futuras aplicações (r), na seguinte seqüência: "ACrrACrr". Quando um quadro passa pela estação destino, esta liga o bit A. Se a estação destino copia o quadro, também liga o bit C (uma estação destino pode deixar de copiar o quadro devido à falta de memória ou outro motivo). Quando a estação transmissora retira a mensagem do anel, ela examina os bits A e C, obtendo assim um **ACK** imediato da sua mensagem. Três combinações são possíveis:
 - **A=0 e C=0:** destino não existente ou estação desligada;
 - **A=1 e C=0:** destino presente mas quadro rejeitado;
 - **A=1 e C=1:** destino presente e quadro aceito.

6.6 Prioridade no Token Ring

(<http://www.optimized.com/COMPENDI/L1-TRing.htm>)

As redes Token Ring permitem 7 níveis de prioridades, fazendo com que estações com altas prioridades tenham acesso ao token mais vezes que estações com baixas prioridades. O processo de uso das prioridades é descrito a seguir.

Suponha uma rede com quatro estações: A (prioridade 0), B (prioridade 4), C (prioridade 6) e D (prioridade 5), dispostas conforme mostra a figura a seguir. A identidade do monitor ativo é irrelevante neste momento.



As regras básicas do esquema de passagem de token são:

1. Qualquer estação que queira capturar o token pode fazer isso somente se a prioridade atual do token for menor que sua prioridade. Se a prioridade do token é maior que a prioridade da estação, esta deve setar a reserva de prioridade, mas somente se outra estação não fez isso com um valor mais alto que a prioridade da estação.
2. Qualquer estação que levantar a prioridade do token deve baixa-la de novo (para seu valor original) quando liberar o novo token. Isso garante que todos tenham uma chance de falar eventualmente.

O exemplo a seguir mostra o comportamento de uma rede token ring usando token passing com prioridade.

1. O token está circulando no anel normalmente e, em determinado momento, chega na estação A. Neste momento, as estações A, B e C tem dados a transmitir. A prioridade do token é zero.
2. A estação A captura o token e o utiliza para transmitir o quadro desejado.
3. A estação B recebe o quadro de A. Como é um quadro de dados e a estação B quer ganhar o próximo token, ela seta os bits de reserva de prioridade para 4.
4. A estação C recebe o quadro e, como tem uma prioridade mais alta que a estação B, muda os bits de reserva de prioridade para 6.
5. A estação D repete o quadro, pois não tem dados a transmitir.
6. A estação A inicia a retirar os dados do anel.
7. A estação A libera um novo token. Como a prioridade dos bits de reserva era igual a 6, a prioridade do novo token fica igual a 6. A reserva de prioridade fica igual a zero.
8. A estação B recebe o token de prioridade 6, mas não pode capturá-lo, pois sua prioridade é menor da prioridade do token. A estação B seta de novo os bits de reserva para 4.
9. A estação C recebe o token de prioridade 6 e, como sua prioridade é igual ou maior, pode capturá-lo. A estação C começa a transmissão do seu quadro, e os bits de reserva de prioridade são mantidos em 4.
10. O quadro transmitido pela estação C circula o anel normalmente. As estações A e D não tem quadros a transmitir, e a estação B vê que a reserva de prioridade já é igual à sua.
11. A estação C recebe o quadro e começa a retirar-lo do anel
12. A estação C libera um token com uma prioridade de 6 e reserva de 4
13. A estação A recebe o token. A estação A estava esperando para baixar a prioridade desde a última vez que ela a levantou (de zero para quatro). De acordo com as regras, qualquer estação que levanta a prioridade deve baixa-la na próxima vez que ver o token. A estação A lembra que levantou de prioridade zero para quatro, mas também vê que a prioridade

atual é 6, e a reservada é 4. A estação A baixa a prioridade do token para 4 (lembre que ela ainda é responsável por baixá-la para zero), e rege o token com prioridade 4 e reserva de prioridade zero.

14. A estação B recebe o token e pode capturá-lo.
15. A estação B transmite o quadro de dados, que passa sem modificações pelo anel.
16. A estação B tira o quadro do anel e gera novo token com prioridade 4. Ela não muda a prioridade do token pois nenhuma outra estação requisitou que esta prioridade seja mudada, portanto, a estação B não é responsável por baixar a prioridade até a próxima vez que ver um token livre.
17. A estação A recebe o token de prioridade 4, ficando apta finalmente a retornar o token para sua prioridade original de zero (lembre-se que a estação A tem esperado todo este tempo para retornar o token à prioridade original, pois foi ela quem levantou a prioridade).
18. O anel agora está no seu estado original.

7. BIBLIOGRAFIA

- [DER 95] DERFLER, Frank J. Freed, Les. **Tudo Sobre Cabeamento de Redes**. Editora Campus, 1995.
- [FOL 00] Follows, Jonathan. **Token Ring Solutions**. Whitepaper. International Technical Support Organization, 2000. www.redbooks.ibm.com.
- [GEA 99] Gigabit Ethernet Alliance. **Gigabit Ethernet - accelerating the standard for speed**. Whitepaper. 1999. <http://www.gigabit-ethernet.org/technology>.
- [SPU 00] SPURGEON, Charles E. **Ethernet, the definitive guide**. Sebastopol: O'reilly. February, 2000. 500p.
- [TAN 97] TANENBAUM, Andrew C. **Redes de Computadores** - 3a edição. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1997.

7.1 Referências Adicionais

<http://www.rnp.br/newsgen/9802/gbe-intr.shtml> - Gigabit Ethernet: Um novo Horizonte

[BOX 99] Glossário de Conectividade Black Box. 1999.

[COM 97] ATG's Communications & Networking Technology Guide Series - Gigabit Ethernet at the Core of the Network. Compaq, The Applied Technologies Group, 1997.

[HPC 97] Gigabit Ethernet at the Core of the Network. Hewlett-Packard, 1997.

[HPD 97] Gigabit Ethernet Development and Testing - The Right Protocol Analyzer. Hewlett-Packard, 1997.

[MIC 99] Mick, Colin; Tolley, Bruce; Wery, Willem. Running 1000BASE-T Gigabit Ethernet over Copper Cabling. Gigabit Ethernet Alliance, 30 março 1999.

[STE 94] STEVENS, W. Richards. TCP/IP Illustrated I. Editora Addison Wesley, 1994.