

Engenharia de Computação
Disciplina: Redes de Computadores II – 8º Período
Professor: José Maurício S. Pinheiro

AULA 3 - Padrão ETHERNET

O padrão ethernet surgiu em 1972 nos laboratórios da Xerox, com o pesquisador Robert Metcalfe. Inicialmente utilizava uma rede onde todas as estações compartilhavam do mesmo meio de transmissão, um cabo coaxial, com configuração em barramento e taxa de transmissão de 2,94 Mbps.

A falta de padronização dificultava pesquisas e a venda de equipamentos. Com o intuito de resolver este problema foi homologado ao IEEE - *Institute of Electrical and Electronic Engineers*, em 1980, a responsabilidade de criar e administrar a padronização do padrão Ethernet. Desde a sua regulamentação pelo IEEE suas especificações foram totalmente disponibilizadas.

1. TECNOLOGIA ETHERNET (IEEE 802.3)

O padrão Ethernet, basicamente, consiste de três elementos: o meio físico, as regras de controle de acesso ao meio e o quadro ethernet. O padrão define como os dados serão transmitidos através dos cabos da rede. Sua função é agrupar os dados entregues pelos protocolos de alto nível (TCP/IP, por exemplo) e inseri-los dentro dos quadros (frames) que serão enviados através da rede.

É importante observar que, quando os dados são transmitidos na rede local, falamos das unidades de dados como quadros, pois o endereço MAC é o necessário para ir do equipamento (host) de origem até o equipamento (host) de destino. Mas se precisarmos enviar os dados a outro host pela Internet, os pacotes se tornarão a unidade de dados, isso porque o endereço da rede no pacote contém o endereço de destino final do host para o qual os dados (pacote) estão sendo enviados. O padrão define também como esses dados serão transmitidos fisicamente (o formato do sinal, por exemplo), sendo uma arquitetura que opera nas camadas 1 (Física) e 2 (Enlace ou Link de Dados), do modelo OSI (Figura 1).

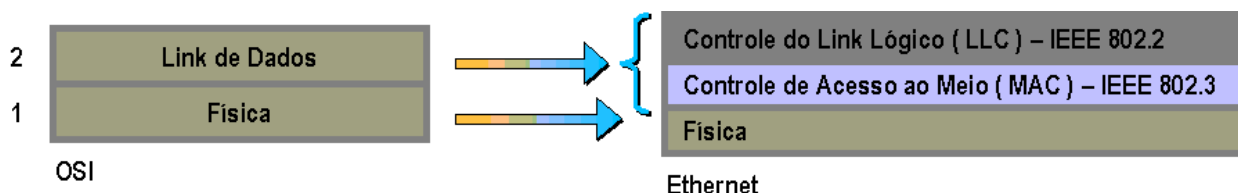


Figura 1 - Arquitetura Ethernet

As três camadas da arquitetura Ethernet possuem as seguintes funções:

- **Controle do Link Lógico** (LLC, IEEE 802.2): inclui informações do protocolo de alto nível que entregou o pacote de dados a ser transmitido. Com isso, a máquina receptora tem como saber para qual protocolo de alto nível ela deve entregar os dados de um quadro que ela acabou de receber.
- **Controle de Acesso ao Meio** (MAC, IEEE 802.3): Monta o quadro de dados a ser transmitido pela camada física, incluindo cabeçalhos próprios dessa camada aos dados recebidos da camada de Controle do Link Lógico.
- **Física**: Transmite os quadros entregues pela camada de Controle de Acesso ao Meio usando o método CSMA/CD. Define como os dados são transmitidos através do cabeamento da rede e também o formato dos conectores usados na placa de rede.

A subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) controla a transmissão, a recepção e atua diretamente com o meio físico; conseqüentemente cada tipo de meio físico requer características diferentes da camada MAC. As características da camada de MAC são:

- Modo de transmissão half-duplex, evoluindo para full-duplex;
- Encapsulamento dos dados das camadas superiores;
- Desencapsulamento dos dados para as camadas superiores;
- Transmissão dos quadros;
- Recepção dos quadros.

1.1. Codificação

As redes 802.3 não usam uma codificação direta, com 0 volt para representar um bit 0 e 5 volts para representar um bit 1, pois isso gera ambigüidade. Se uma estação enviar uma palavra 00010000, outras poderão interpretá-la erroneamente como 10000, pois não conseguem discernir entre uma estação inativa (0 volt) e um bit 0 (0 volt).

Esse problema pode ser resolvido usando-se, por exemplo, +1 volt para representar um bit 1 e -1 volt para representar um bit 0. Mesmo assim, o receptor pode ter problemas para delinear o início e fim de cada bit.

A solução para estes problemas veio com o uso da Codificação Manchester (Figura 2), onde os valores (alto e baixo) para o padrão 802.3 correspondem a $\pm 0,85$ V.

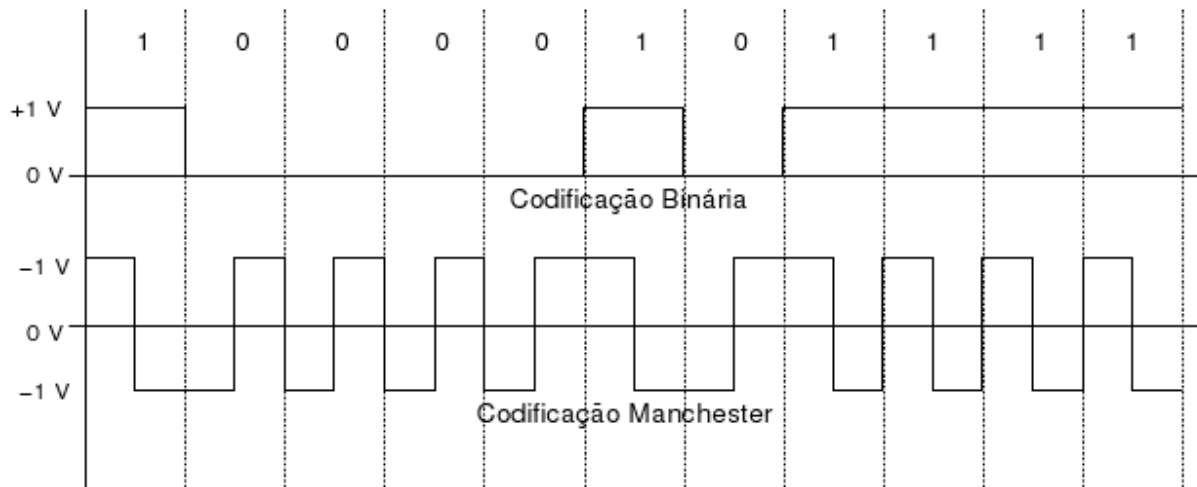


Figura 2 - Codificação Manchester

1.2. Características Gerais

Ethernet é um padrão de camada física e camada de enlace que opera de forma síncrona em 10 Mbps, com quadros que possuem tamanho variável entre 64 e 1518 bytes. Originalmente foi criado para operar numa topologia em barramento (Figura 3), onde todos os dispositivos recebem todos os pacotes transmitidos.

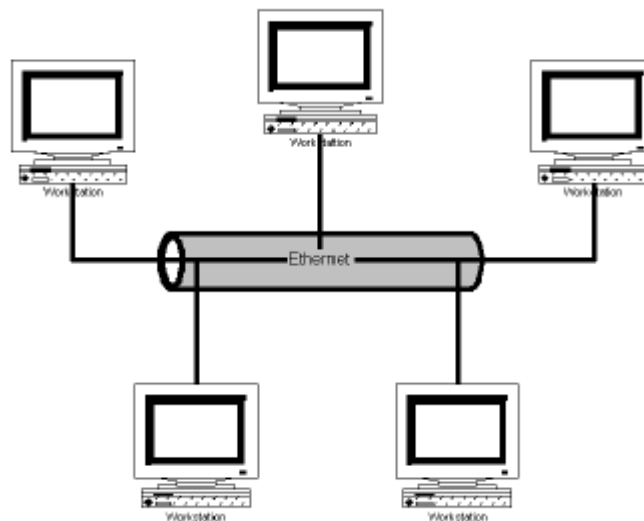


Figura 3 - Topologia Ethernet

Como o padrão Ethernet utiliza uma arquitetura de difusão onde cada nó recebe tudo o que é transmitido pelos outros ao mesmo tempo, em redes com tráfego muito intenso e vários servidores seu desempenho cai não alcançando seus valores nominais. Esse fator

"carga" se torna mais importante à medida que mais aplicações, em particular sistemas especializados e aplicações que empregam grandes arquivos de mapas de bits utilizam a rede. Nesses casos, a taxa de utilização da rede e dos dispositivos fica comprometida. Estatisticamente, Ethernet possibilita um rendimento máximo de 37%, ou seja, para cada 10 Mbps, temos a utilização de 3,7 Mbps ou para 100 Mbps, temos, na prática, a utilização de 37 Mbps.

1.3. Endereçamento

O endereçamento da rede é feito através de uma numeração única para cada host com 6 bytes, sendo os primeiros 3 bytes para a identificação do fabricante e os 3 bytes seguintes para o número sequencial da placa. Este numeração é conhecida como endereço MAC – *Media Access Control*. Os endereços MAC são representados em números em hexadecimal. Cada algarismo em hexadecimal equivale a um número de quatro bits. Dessa forma, um byte é representado por dois algarismos em hexadecimal e, com isso, o endereço MAC é sempre representado como um conjunto de 12 algarismos em hexadecimal. O IEEE padronizou os endereços MAC conforme mostra a Figura 4. Os três primeiros bytes são o endereço OUI (*Organizationally Unique Identifier*), que indicam o fabricante da placa de rede. Os três últimos bytes são controlados pelo fabricante da placa de rede, e cada placa de rede produzida por cada fabricante recebe um número diferente.

O fabricante que quiser produzir uma placa de rede deverá se cadastrar no IEEE para ganhar o seu número OUI. Cada fabricante é responsável por controlar a numeração MAC das placas de rede que produz.

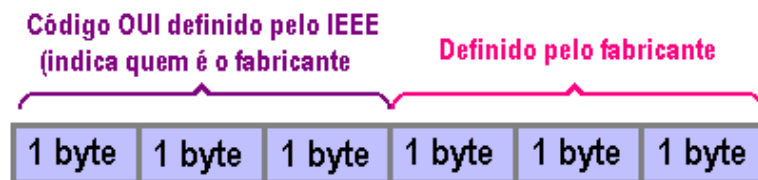


Figura 4 – Estrutura do endereço MAC segundo o IEEE

Já o quadro ethernet é dividido em campos. Os principais campos podem ser descritos da seguinte maneira (Figura 5):

Preâmbulo	S o F	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Tam.	Dados	Preench.	CRC
-----------	-------------	------------------------	-----------------------	------	-------	----------	-----

Figura 5 - Quadro Ethernet

- **Preâmbulo:** padrão alternado de “uns” e “zeros” (10101010...1010) com 7 bytes que informa às estações receptoras que um frame está começando;
- **SOF (Start-Of-Frame):** campo de 1 byte denominado delimitador de início de frame. Este byte termina com 2 bits “1” (10101011) consecutivos que servem para sincronizar a parte de recepção de frame de todas as estações da LAN.
- **Endereço de Destino:** campo de 6 bytes que contém o endereço MAC do destinatário dos dados;
- **Endereço de Origem:** campo de 6 bytes que contém o endereço MAC do remetente;
- **Tamanho:** campo de 2 bytes que indica o tamanho (em bytes) do campo de dados (802.3);
- **Dados:** contém os dados a ser passados para a próxima camada; deve ter tamanho mínimo de 46 bytes e máximo de 1500 bytes. No caso da IEEE 802.3, o protocolo deve ser definido dentro do campo de dado. Se o dado no frame for insuficiente para preencher o mínimo de 64bytes (somados do endereço de destino até o campo FCS), bytes de preenchimento são inseridos para garantir o número mínimo de bytes.
- **FCS – Frame Check Sequence:** contém o Cyclic Redundancy Check (CRC). Este campo de 4 bytes contém o valor de verificação de redundância cíclica (CRC). O CRC é criado pelo dispositivo transmissor e recalculado pelo dispositivo receptor para verificar por danos aos dados que podem ter ocorrido ao frame na transmissão.

É importante observar que o endereço de origem é sempre um endereço unicast (nó único), enquanto o endereço de destino pode ser unicast, multicast (grupo) ou broadcast (a todos).

Endereços de Multicast e Broadcast são todos aceitos numa rede de computadores utilizando o padrão Ethernet. A aplicação é quem define se será aceito o Multicast (mais raro) ou o Broadcast (mais comum). A Figura 6 exemplifica esses tipos de tráfego.

- **Multicast Ethernet** – consiste no envio de um pacote de dados onde todos os bits de endereço do destinatário são “1”, exceto o primeiro;
- **Broadcast Ethernet** – consiste no envio de um pacote de dados onde todos os bits do endereço do destinatário são “1”.

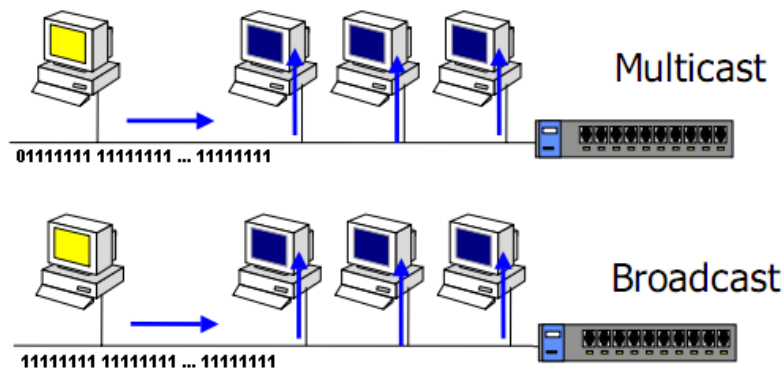


Figura 6 - Tipos de tráfego no padrão Ethernet

2. DETECÇÃO DE ERROS

Durante a transmissão de dados entre dois dispositivos, informações podem se perder pelo meio de transmissão devido a vários fatores: ruídos eletromagnéticos, falhas de sincronização entre transmissor e receptor, defeitos em componentes eletrônicos, etc. Um sistema de comunicação seguro deve ser capaz de identificar e, se possível, corrigir esses erros evitando que dados incorretos cheguem ao receptor.

Existem duas classes de métodos para resolver tal problema:

- **Códigos de Correção de Erros** - em cada bloco de dados enviado são incluídas informações redundantes o suficiente para que o receptor possa deduzir qual a informação correta transmitida;
- **Códigos de Detecção de Erros** – são incluídas informações para o receptor deduzir com eficiência que houve um erro (mas sem identificar qual) e solicitar uma nova transmissão. Nesta classe enquadram-se os algoritmos de CRC.

A grande maioria dos métodos de detecção de erros se baseia em realizar algum cálculo com os dados antes da transmissão e enviar ao receptor um pacote contendo os dados e o resultado deste cálculo. Ao receber o pacote, o mesmo cálculo é feito pelo receptor. Se o resultado for diferente significa que o dado transmitido foi alterado durante seu trajeto. Um cálculo muito simples que pode ser usado é a soma algébrica dos bytes.

Por exemplo: O transmissor enviou o pacote 6 23 4 com byte verificador 33 e o receptor recebeu o pacote corrompido 6 27 4 33. O receptor refaz a soma e verifica que $6 + 27 + 4$ é diferente de 33. Logo, é verificado pelo receptor que o pacote está corrompido e este solicita nova transmissão. O exemplo mostra como uma simples operação de soma pode ser usada para identificar erros em um sistema de transmissão. De fato, é necessário pensar em algo mais sofisticado, pois esse sistema pode falhar:

- Mensagem que se deseja enviar: 6 23 4
- Mensagem com byte de verificação: 6 23 4 33
- Mensagem depois da transmissão: 8 20 5 33

Embora a mensagem tenha sido corrompida, não foi possível para o receptor identificar que houve erro. A forma de resolver esse problema é substituindo a fórmula de soma por algo mais sofisticado, o CRC, por exemplo.

Um dos métodos de detecção de erros mais utilizado atualmente é o CRC (Cyclic Redundancy Check), também conhecido como código polinomial. Esse método se baseia em dividir a cadeia de bits de dados a serem transmitidos por outra cadeia de bits e utilizar o resto dessa divisão como registro de verificação. As cadeias de bits são tratadas como polinômios de coeficientes de 0 e 1 apenas.

Para executar um cálculo de CRC, deve-se escolher um divisor. Esse divisor é conhecido como polinômio gerador e é um parâmetro fundamental de qualquer algoritmo de CRC. A princípio poderíamos escolher qualquer polinômio e propor um algoritmo de CRC. Porém, alguns polinômios são melhores que outros. Sendo assim, deve haver um critério na escolha do polinômio. A largura é definida como a ordem do polinômio. Tipicamente, larguras de 16 ou 32 bits são escolhidas para simplificar a implementação. Por exemplo, a largura de 10011 é 4, não 5.

Como exemplo, vamos escolher o polinômio 10011 (de largura $W = 4$). O próximo passo agora é adicionar W zeros ao final da mensagem a ser enviada:

- Mensagem original: **1101011011**
- Polinômio gerador: **10011**
- Mensagem depois de adicionar W zeros: **11010110110000**

Em seguida, a divisão é efetuada:

$$\begin{array}{r}
 11010110110000 \overline{) 10011} \\
 \underline{10011} \\
 0011111 \\
 \underline{10011} \\
 011000 \\
 \underline{10011} \\
 0010111 \\
 100000 \\
 \underline{10011} \\
 011010 \\
 \underline{10011} \\
 00111
 \end{array}$$

A divisão rende um resto que será enviado junto com a mensagem original. O pacote completo a ser enviado é: **11010110110111** ($W = 4$). Basta agora o receptor refazer os cálculos e o quociente da nova divisão pelo polinômio gerador será o mesmo calculado anteriormente, se a transmissão ocorreu sem erros.

2.1. Controle de Acesso ao Meio

O modo de transmissão em half-duplex requer que apenas uma estação transmita enquanto que todas as outras aguardam em “silêncio”. Esta é uma característica básica de um meio físico compartilhado. O controle deste processo fica a cargo do método de acesso conhecido como CSMA/CD - *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*. Neste método, a detecção de colisão é realizada durante a transmissão. Ao transmitir, um nó fica o tempo todo escutando o meio e, notando uma colisão aborta a transmissão. Detectada a colisão, a estação espera por um tempo aleatório para tentar a retransmissão.

Qualquer estação pode transmitir quando “percebe” o meio livre. Pode ocorrer que duas ou mais estações tentem transmitir simultaneamente, nesse caso, ocorre uma colisão e os pacotes são corrompidos (Figura 7).

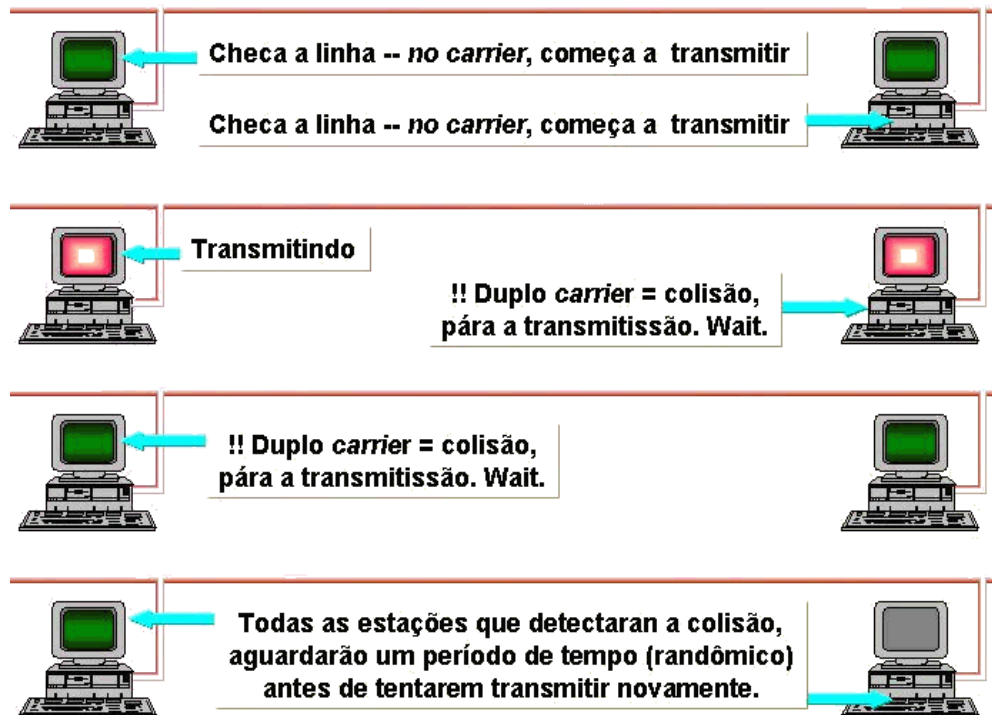


Figura 7 - Colisão em redes Ethernet

Quanto maior for o número de estações em um domínio de colisão, maior será a possibilidade da ocorrência de colisões. Por esse motivo, limita-se o número de equipamentos ativos por segmento de rede. Quando a colisão é detectada, a estação tenta retransmitir o pacote após um intervalo de tempo aleatório. Isto implica que o CSMA/CD pode estar em três estados: transmissão, contenção e repouso (Figura 7).

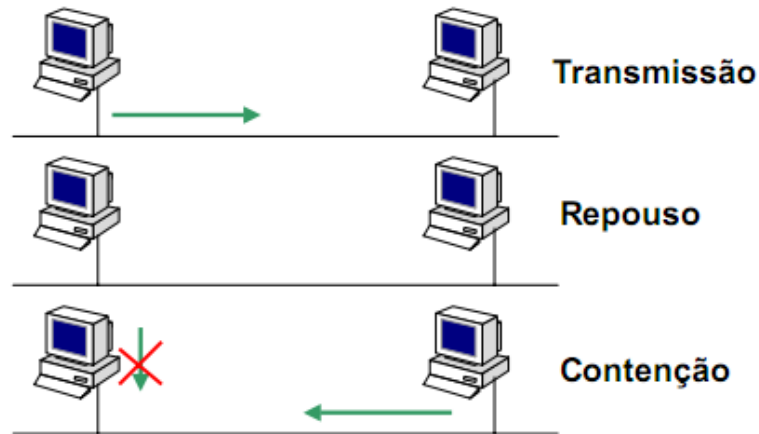


Figura 8 - Estados do padrão Ethernet

2.2. Tipos de Tráfego Ethernet

Tradicionalmente, os computadores de uma rede compartilham um mesmo cabo e, com isso, dentro de um segmento de rede (domínio de colisão) alguns ou todos os computadores recebem uma mesma informação ao mesmo tempo.

Na Figura 9, se o computador A quiser enviar um dado para o computador B, este dado também chegará ao computador C (broadcast).

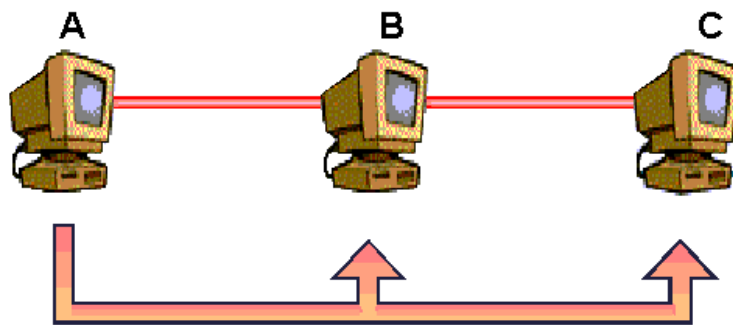


Figura 9 - Envio de dado de A para B

Quando uma transmissão está sendo feita entre dois dispositivos, a portadora está ocupada, portanto, nenhuma outra transmissão poderá ser feita ao mesmo tempo, mesmo que seja entre dois dispositivos que não estejam participando da transmissão em curso, já que o cabo já estará sendo usado.

Quando ocorre uma colisão, as estações executam um algoritmo denominado Recuo Binário Exponencial. Após a colisão, o tempo é dividido em slots (intervalos de tempo) discretos, cujo comprimento é igual ao pior tempo de propagação de ida e volta. Depois da primeira colisão, cada estação espera 0 ou 1 slot antes de tentar novamente. Se duas estações escolherem o mesmo número aleatório, elas colidirão novamente. Depois da

segunda colisão, cada uma seleciona ao acaso 0, 1 ou 3 slots e aguarda durante esse tempo.

Se ocorrer uma terceira colisão, na próxima vez a quantidade de slots que as estações terão que esperar será escolhido ao acaso no intervalo de 0 a $2^3 - 1$. Em geral, após i colisões, é escolhido um número aleatório entre 0 e $2^i - 1$ slots. Entretanto, após terem sido alcançadas dez colisões, o intervalo de randomização será congelado em 1.023 slots. Após 16 colisões, as tentativas de transmissão são abortadas definitivamente.

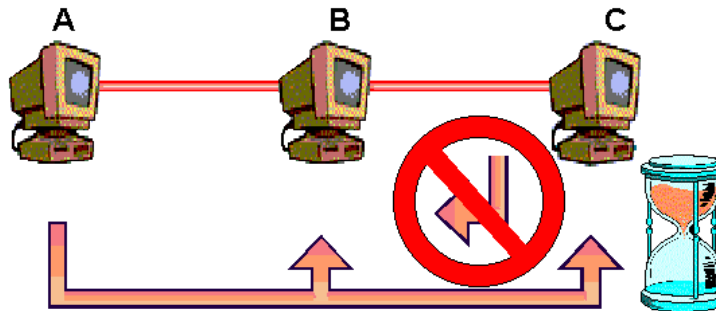


Figura 10 - B deve aguardar o fim da transmissão de A para usar o meio

Na Figura 10, o computador C não poderá enviar seus dados e deverá esperar que o computador A termine a transmissão para B e, então, usar o meio de comunicação e efetuar sua transmissão, ainda que seja para outro equipamento que não esteja participando da comunicação atualmente em curso.

3. FAST ETHERNET (IEEE 802.3u)

O padrão Fast Ethernet manteve do padrão Ethernet o endereçamento, o formato do pacote, o tamanho e o mecanismo de detecção de erro. As mudanças mais significativas em relação ao padrão Ethernet são o aumento de velocidade para 100 Mbps e o modo de transmissão que pode ser half-duplex ou full-duplex. Com modo de operação half-duplex não aconteceram mudanças no método de acesso – CSMA/CD. Porém no modo full-duplex aconteceram mudanças:

- Criação dos pause frames - pacotes que a máquina que está recebendo a informação envia a fonte para avisá-la que deve pausar a transmissão durante um período de tempo;
- Não existe mais diferenciação entre estar transmitindo e estar recebendo;
- Não é mais necessário “perceber” o silêncio da linha, a transmissão se faz quando o receptor se diz apto;
- Aumento da banda (200 Mbps).

Para manter a compatibilidade entre os padrões, passou a existir a partir do Fast Ethernet o recurso conhecido como autonegociação ou *autosense*, que consiste no envio de um

sinal pelo cabo de dados. Se o dispositivo não responder isto significa que ele opera a 10 Mbps; caso contrário, dependendo da resposta, ele pode operar a 100 Mbps ou superior. Esta facilidade é configurável na maioria dos dispositivos de rede atuais (switches, routers, bridges etc.).

4. GIGABIT ETHERNET (IEEE 802.3z)

A tecnologia Gigabit Ethernet surgiu da necessidade criada pelo aumento de largura de banda nas "pontas" das redes (por exemplo, servidores e estações de trabalho) e também pela redução constante dos custos entre as tecnologias compartilhadas e comutadas, juntamente com as demandas das aplicações atuais. Com isso, o "gargalo" passou a ser o backbone e as conexões dos servidores.

O padrão Gigabit Ethernet foi desenvolvido para suportar o quadro padrão Ethernet, isto significa manter a compatibilidade com dispositivos Ethernet e Fast Ethernet existentes e não requerer tradução do quadro. Possui taxa de transmissão de 1 Gbps e segue o padrão Ethernet com detecção de colisão; o tamanho mínimo do frame é 512B para garantir o sincronismo e evitar colisões. Para garantir essa condição, frames menores que 512B são agrupados e transmitidos como um único frame de 512B ou, o restante do espaço é preenchido com bits nulos (*padding*). O padrão aceita ainda os modos de transmissão half-duplex e full-duplex. Algumas mudanças foram necessárias para obter o suporte ao modo half-duplex:

4.1. Half-duplex

O controle da transmissão em modo half-duplex é realizado pelo CSMA/CD, com a finalidade de tornar possível a comunicação e a recuperação devido a colisões. O fato do CSMA/CD utilizar o tempo de espera torna necessária a criação de um quadro mínimo para o domínio de colisão. Um domínio de colisão é determinado pelo tempo de transmissão do menor quadro válido. Esta transmissão determinará o valor máximo entre duas estações terminais em um segmento compartilhado.

O crescimento da taxa de transmissão leva ao decréscimo do tempo de transmissão de um quadro, assim como diminui o diâmetro máximo de colisão. O tamanho do menor quadro para um domínio de colisão é determinado pelo atraso máximo dos vários dispositivos da rede, como repetidores, pela camada MAC das estações e pelo meio físico em si.

O crescimento de 10 Mbps para 1 Gbps criou alguns impasses em relação a implementação do CSMA/CD. Para taxas acima de 100 Mbps, os menores pacotes são menores que o tamanho do *slot-time* – unidade de tempo MAC ethernet para verificar colisões. Com a finalidade de resolver este problema foram adicionados bits ao quadro ethernet – um processo chamado *carrier extension*.

Outra mudança foi a introdução da rajada de quadros – *frame burst*. A rajada de quadros é uma característica opcional, através da qual uma estação pode transmitir vários pacotes para o meio físico sem perder o controle. A transmissão em rajada é feita preenchendo-se

o espaço entre os quadros com bits, de maneira que o meio físico não fique livre para as outras estações transmitirem (Figura 11).

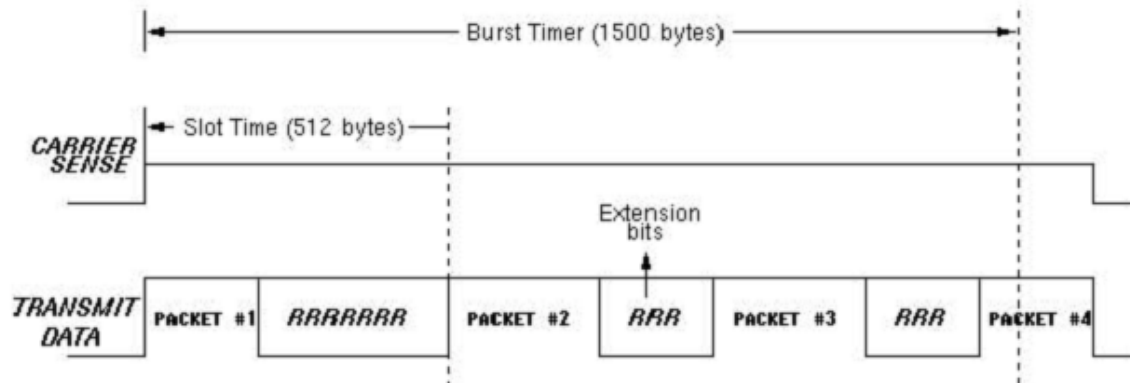


Figura 11 - Rajada de Quadros

4.2. Full-duplex

Sua utilização no Gigabit Ethernet aumenta a banda de 1 Gbps para 2 Gbps, aumenta as possíveis distâncias para meio e elimina a colisão. O controle não será mais feito pelo CSMA/CD e sim pelo *Flow Control*.

O mecanismo Flow Control deve ser utilizado em enlaces ponto-a-ponto. Quando a estação receptora se torna congestionada, ela envia de volta um quadro chamado *pause frame*; este quadro contém instruções para que seja parado o envio de informações durante um intervalo de tempo específico. A estação que estava enviando aguarda o tempo requisitado e então reinicia a transmissão, ou a estação receptora envia outro pacote com *time-to-wait* igual a zero e instruções para recomençar o envio de informações.

5. APLICAÇÕES

A Figura 12 apresenta aplicações para o padrão Ethernet em redes de comunicação e a Tabela 1 faz um comparativo de tempos de transmissão dos pacotes nos padrões Ethernet, Fast Ethernet e Gigabit Ethernet.

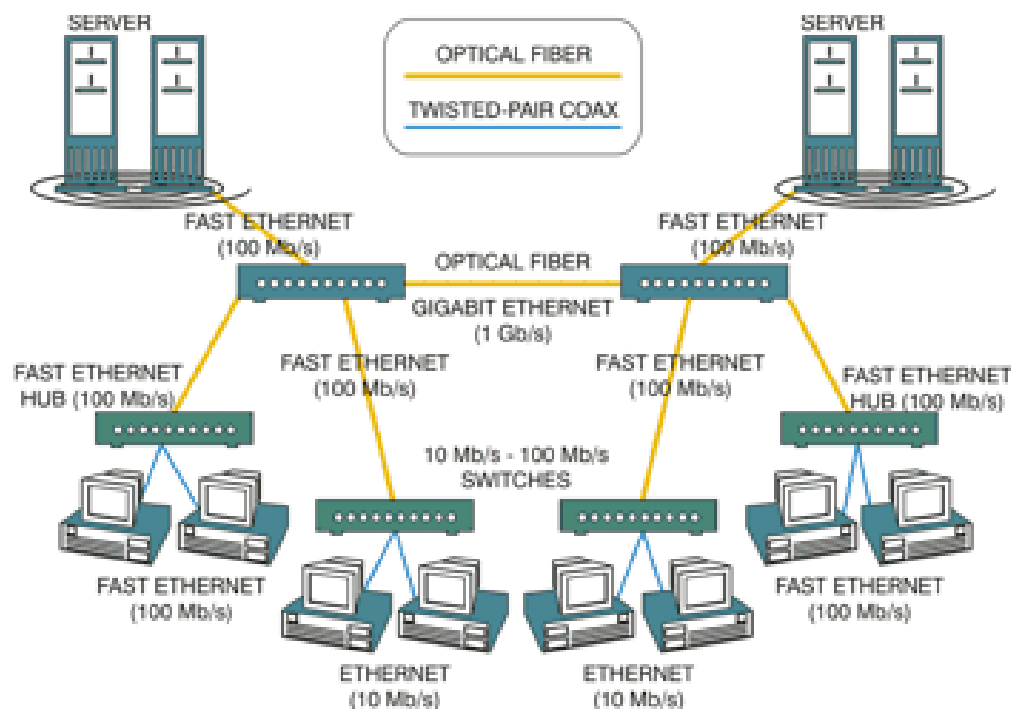


Figura 12 - Exemplos de aplicações Ethernet

Tabela 1- Comparativo de tempos de bits (Ethernet, Fast Ethernet e Gigabit Ethernet)

	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
bit rate	10 Mb/s	100 Mb/s	1 Gb/s
bit time	100 ns	10 ns	1 ns
Inter-packet gap	9.6 μ s	0.96 μ s	96 ns
slot time	51.2 μ s	5.12 μ s	4.096 μ s

6. 10 GIGABIT ETHERNET - 10GBE (802.ab)

O padrão 10 Gigabit Ethernet segue o padrão Gigabit Ethernet, porém seu modo de transmissão é, única e exclusivamente, full-duplex (CSMA/CD não é suportado) e o meio físico para transmissão recomendado é a fibra óptica.

O perfil de utilização do padrão 10 Gigabit Ethernet é mais abrangente do que do padrão Ethernet, uma vez que o uso de Ethernet está limitado a redes locais. Já o padrão 10 Gigabit Ethernet abrange desde redes locais até as redes metropolitanas.

É importante lembrar que o aumento da velocidade leva à reduzida duração do tempo de bit. Em transmissões 10 GbE, a duração de cada bit (o tempo de envio entre dois bits consecutivos) é 0,1ns. Em outras palavras, podemos ter 1.000 bits de dados na GbE, no mesmo intervalo de um só bit na 10 Mbps Ethernet.

EXERCÍCIOS

1. Quais são os três elementos básicos que constituem o padrão Ethernet?
2. Qual o papel da camada MAC na arquitetura Ethernet?
3. Qual o tamanho mínimo e máximo do quadro Ethernet?
4. Qual campo do quadro Ethernet é responsável por delimitar o início do frame?
5. O que é o CRC (Cyclic Redundancy Check)?
6. Supondo que se deseja transmitir a mensagem: 101001001 utilizando um polinômio gerador 1001, qual será o CRC da mensagem?
7. Após passar pelo meio transmissão, uma mensagem chega ao receptor: 1101011011111. Considerando que não houve erros e o polinômio gerador é de 3ª ordem, qual a mensagem transmitida?
8. O que ocorre no padrão Fast Ethernet quando duas estações da rede tentam transmitir simultaneamente pelo mesmo meio de comunicação?
9. Qual o tamanho mínimo do frame Gigabit Ethernet?
10. O padrão 10 Gigabit Ethernet apresenta modo de transmissão full-duplex, suportando CSMA/CD e o meio físico para transmissão é a fibra óptica. A afirmativa está correta? Comente.