

Padrões Ethernet, parte 1: 10 e 100 megabits

(Carlos E. Morimoto - 09/01/2008)

Padrões de 10 megabits

Depois do padrão Ethernet original (de 3 megabits), surgiram os padrões 10BASE-5, 10BASE-2, 10BASE-T e 10BASE-F, todos padrões de 10 megabits, diferenciados pelo cabeamento usado.

Os padrões **10BASE-5** e o **10BASE-2** são baseados em cabos coaxiais. O 10BASE-5 ganha tanto em alcance (500 metros, contra 185), quanto no número máximo de estações em cada segmento de rede (100 contra 30), mas perde no fator mais importante, que é o fator custo, de forma que, uma vez finalizado, o 10BASE-2 se tornou rapidamente o padrão mais popular.

Em seguida temos o **10BASE-T**, que é o primeiro padrão baseado no uso de cabos de par trançado (o "T" vem de twisted-pair). Na época, os cabos cat 5 ainda eram caros, de forma que o padrão permitia o uso de cabos cat 3, que eram mais comuns, já que eram utilizados também em instalações telefônicas de aparelhos de PABX. O comprimento máximo do cabo é de 100 metros, ainda menos que no 10BASE-2, mas os sinais eram retransmitidos pelo hub, de forma que era possível usar cabos de até 100 metros até o hub e mais 100 metros até o micro seguinte, num total de 200 metros. É possível também estender o alcance da rede usando repetidores adicionais (o próprio hub atua como um repetidor, de forma que é possível simplesmente interligar vários hubs, usando cabos de até 100 metros), estendendo a rede por distâncias maiores.

Existiu ainda o padrão **10BASE-F** ("F" de fiber optic) que utilizava cabos de fibra óptica. Ele foi pouco popular devido ao custo do cabeamento, mas oferecia como vantagem um alcance de 2000 metros por segmento, que também podiam ser estendidos com a ajuda de repetidores.

As placas de 10 megabits foram as únicas que foram produzidas em versão ISA, já que a taxa de transferência efetiva do ISA (devido aos tempos de espera e ao overhead da sinalização) é de pouco mais de 5 MB/s, o que é lento demais para uma placa de 100 megabits, que precisa de um barramento capaz de transmitir a pelo menos 12.5 MB/s.

Lembre-se de que um byte tem 8 bits, logo 12.5 MB (megabytes, com o B maiúsculo) correspondem a 100 megabits (Mb, com o b minúsculo), 125 MB correspondem a 1000 megabits assim por diante. Ao contrário das taxas de transferência de outros componentes, que são geralmente medidas em megabytes por segundo, as taxas de transferência das redes de das conexões web são quase sempre medidas em megabits, o que às vezes causa uma certa confusão. É muito comum ver usuários reclamando que não consegue downloads a mais do que cento e poucos kbytes no ADSL de 1 megabit ou que o ponto de acesso 802.11g transmite a no máximo 3 MB/s, quando o problema é apenas de interpretação.

Fast Ethernet

Em 1995 foi finalizado o padrão Fast Ethernet (802.3u), que multiplicou por 10 a velocidade de transmissão, atingindo 100 megabits. O Fast Ethernet é composto por três padrões distintos:

O mais usado é o **100BASE-TX**, que é o padrão para cabos de par trançado categoria 5 que é usado em mais de 80% das instalações atuais. No 100BASE-TX foi mantida a distância máxima de 100 metros, mas foi adicionado o suporte ao modo modo-full duplex, onde as estações podem enviar e receber dados simultaneamente, 100 megabits em cada direção, desde que usado um switch.

Como os cabos categoria 5 atendem a especificação com folga, foi possível fazer tudo usando apenas dois dos quatro pares de cabos (os pares laranja e verde), sendo um par usado para enviar e o outro para receber.

É justamente devido ao uso de apenas dois dos pares de cabos que algumas placas de rede 10/100 possuem apenas 4 contatos, eliminando os que não são usados no 100BASE-TX, como você pode ver na Figura 1.

Cabos Ethernet Cat 5 possuem oito fios (quatro pares), mas tanto no padrão 10BaseT quanto no 100BaseT (10 Mbps e 100 Mbps, respectivamente) apenas quatro desses fios (dois pares) são realmente utilizados. Um par é usado para transmissão dos dados e o outro par é usado para recepção dos dados.

Pino	Cor	Função
1	Branco com Verde	+TD
2	Verde	-TD
3	Branco com Laranja	+RD
4	Azul	Não usado
5	Branco com Azul	Não usado
6	Laranja	-RD
7	Branco Marrom	Não usado
8	Marrom	Não usado

O padrão Ethernet usa uma técnica contra ruído eletromagnético chamada cancelamento. Assim que a corrente elétrica passa por um fio, um campo eletromagnético é criado ao seu redor. Se este campo for forte o suficiente, ele pode criar uma interferência elétrica nos fios próximos a ele, corrompendo os dados que estavam sendo lá transmitidos. Este problema é chamado diafonia (crosstalk).

O que a técnica de cancelamento faz é transmitir o mesmo sinal duas vezes, com o segundo sinal “espelhado” (polaridade



Figura 1: Placa Encore

invertida) comparado ao primeiro, como você pode ver na Figura 1. Então, quando os dois sinais são recebidos (que devem ser iguais, mas “espelhados”) o dispositivo receptor pode compará-los. A diferença entre esses dois sinais é ruído, o que faz com que o dispositivo receptor reconheça-o facilmente e descarte-o. O fio “+TD” significa “Transmissão de Dados” e o fio “+RD” significa “Recepção de Dados”. “-TD” e “-RD” são as versões “espelhadas” do mesmo sinal sendo transmitido nos fios “+TD” e “+RD”, respectivamente.

Como você pode imaginar, é possível usar os 4 pares do cabo para crimpar dois cabos separados, cada um com dois pares. Isso não é previsto no padrão e não é recomendável, mas não deixa de ser uma curiosidade. Para isso, você usaria o par laranja nos pinos 1 e 2 e o verde nos pinos 3 e 6 do primeiro cabo, com o par azul nos pinos 1 e 2 e o par marrom nos pinos 3 e 6 do segundo cabo. O uso de duas transmissões separadas vão gerar interferência, reduzindo o alcance da transmissão, de forma que isso só funciona em cabos relativamente curtos e além disso o cabo deixa de ser utilizável em redes gigabit (veja detalhes a seguir), de forma que a economia não justifica as desvantagens.

Existe uma idéia bastante enraizada no meio técnico de que redes de 10 megabits exigem cabos de 10 MHz, redes de 100 megabits exigem cabos de 100 MHz e assim por diante. Esta é uma explicação simples e aparentemente lógica, mas que é incorreta. Pense que se as coisas funcionassem assim, precisaríamos de cabos de 1000 MHz para as redes gigabit e de 10.000 MHz para as redes 10G, o que seria impossível com tecnologia atual.

Para evitar isso, os padrões Ethernet de 100, 1000 e 10000 megabits utilizam sistemas complicados de modulação, de forma a reduzir a frequência efetiva da transmissão e assim aproveitar melhor os recursos do cabo. Um paralelo poderia ser traçado com relação ao ADSL, que consegue transmitir dados a longas distâncias e a até 8 megabits, utilizando um único par de cabo telefônico, originalmente projetado para transportar apenas o sinal de voz.

Na realidade, o padrão 100BASE-TX utiliza uma frequência efetiva de apenas 31.25 MHz. Como se não bastasse, o 1000BASE-T (o padrão de 1000 megabits para cabos de par trançado) conseguiu multiplicar por 10 a taxa de transmissão aumentando a frequência para apenas 62.5 MHz efetivos. É por isso que ambos os padrões suportam cabos de par trançado categoria 5, que são certificados para

freqüências de apenas 100 MHz.

Se você achou pouco, saiba que os cabos de categoria 6 (certificados para até 250 MHz) oferecem suporte também ao 10GBASE-T, que é o padrão de 10.000 megabits. Se você era adepto do mito dos 100 MHz, isso deve ter dado um nó na sua cabeça. Vamos então entender como estes aparentes milagres foram obtidos.

Em primeiro lugar, um padrão de rede de 100 megabits não transmite apenas 100 megabits por segundo, pois junto com os dados é necessário transmitir o conjunto de informações de controle que possibilita a conexão. Para transmitir 100 megabits de dados úteis, a placa precisa transmitir um pouco mais do que isso.

No 100BASE-TX é usada uma sinalização de 125 megabauds, utilizando o sistema 4B/5B, onde cada grupo de 4 bits são transmitidos usando um grupo de 5 bauds, cada um deles enviando um bit zero ou um.

Como bem sabemos, 5 bits correspondem a 32 combinações, o que permite enviar os 4 bits (16 combinações) e mais um bit adicional, usado para transmitir informações de controle e de redundância, que garantem a confiabilidade da conexão. Com isso, os 125 milhões de bauds resultam na transmissão de 100 megabits de dados "úteis".

Como a construção dos frames Ethernet e dos pacotes TCP/IP exigem o uso de mais alguns bits adicionais, os 100 megabits transmitidos pela placa de rede resultam em taxas efetivas de transmissão progressivamente menores a cada camada, fazendo com que, a taxa de transferência "real" da rede (ao transferir um arquivo, por exemplo) acabe sendo mais baixa. Entretanto, é graças a estas "perdas" que as redes são confiáveis em primeiro lugar.

Continuando, 125 megabauds equivaleriam, a princípio, a uma freqüência de 125 MHz, o que ficaria acima dos 100 MHz suportados pelos cabos categoria 5 e categoria 5e. Para evitar isso, foi adotado o sistema de codificação MLT-3, onde são utilizadas três tensões diferentes (+1, 0 e -1) e os bits são transmitidos através de transições entre os níveis.

No MLT-3, um bit 1 é transmitido chaveando para o próximo estágio de tensão, enquanto um bit 0 é transmitido mantendo o mesmo estágio anterior. Por exemplo, para a sequência binária "1111" os sinais transmitidos seriam "+1, 0, -1, 0" e para a sequência "0101" seria "+1, 0, 0, -1":

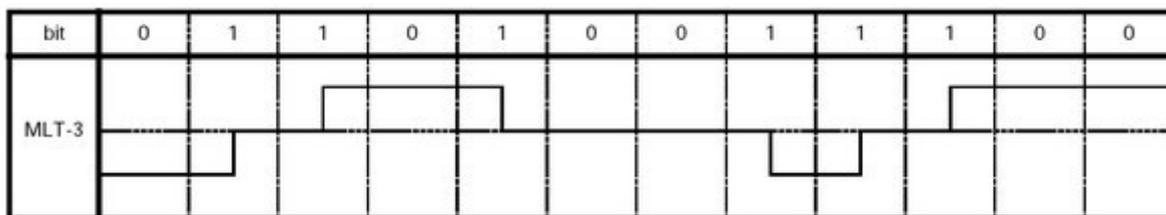


Figura 2: Sistema de codificação MLT-3

Esta sinalização mais simples permite "pegar carona" com o sinal de clock (que se comporta como uma onda), realizando 4 transferências por ciclo de clock. Isso reduz a freqüência real de 125 para apenas 31.25 MHz, de forma que a rede pode funcionar tranquilamente dentro dos 100 MHz oferecidos pelos cabos de categoria 5.

Em seguida temos o padrão de 100 megabits para cabos categoria 3, o **100BASE-T4**, que elimina o modo full-duplex e utiliza todos os quatro pares do cabo, reduzindo assim a taxa de sinalização.

O 100BASE-T4 utiliza uma sinalização mais complexa onde um dos pares envia dados da estação para o hub, outro envia do hub para a estação e os outros dois são alocados para uma direção ou outra, de acordo com quem está transmitindo, de forma que apenas três dos pares são usados para transmitir dados simultaneamente.

Como os cabos de categoria 3 suportam freqüências de até 16 MHz, mais de 6 vezes menos que os de categoria 5, foi necessário criar um sistema complicado de codificação, que utiliza uma sinalização ternária, com o uso de três sinais diferentes (em vez de dois, como no sistema binário). Com três combinações por par de cabo e três pares de cabo, temos um total de 27 combinações possíveis por ciclo, suficiente para transmitir 4 bits (16 combinações), combinados com sinais adicionais de redundância.

Este sistema, baseado no uso do 8B6T e da codificação PAM-3 permite reduzir a taxa de sinalização para apenas 25 megabauds. Utilizando um sistema de sinalização similar ao usado no 100BASE-TX, são

transmitidos 2 bauds em cada ciclo de clock, resultando em uma frequência efetiva de apenas 12.5 MHz, o que ainda está dentro do suportado pelos cabos de categoria 3.

Apesar disso, o 100BASE-T4 foi relativamente pouco usado, de forma que muitas placas de rede sequer oferecem suporte a ele (como no caso das placas com apenas 4 pinos).

Existiu ainda o **100BASE-FX**, o padrão de 100 megabits para cabos de fibra óptica multimodo. Assim como o 10BASE-F, ele foi pouco usado, mas oferecia a possibilidade de criar links de longa distância, com cabos de até 2 KM e a possibilidade de usar repetidores para atingir distâncias maiores.

Existia a possibilidade de usar um único cabo de fibra em modo half-duplex, mas nesse caso a distância máxima era de apenas 400 metros (devido à necessidade de detectar colisões), o que eliminava a maior parte das vantagens práticas sobre o 100BASE-TX, onde os 100 metros máximos podem ser estendidos com a ajuda de repetidores.

Embora inicialmente fossem caras, as placas 100BASE-TX em versão PCI caíram assustadoramente de preço durante a vida útil do padrão.

As placas mais baratas, de fabricantes como a Encore e a LG, chegaram a ser vendidas no atacado, em países da ásia por menos de 3 dólares. Isso aconteceu devido à concorrência acirrada entre os fabricantes e o avanço das técnicas de fabricação, que tornou a fabricação dos chipsets de rede cada vez mais barato.

Como todas as placas mãe passaram a vir com placas de rede onboard, a demanda por placas offboard passou a ser cada vez menor, o que levou os fabricantes a passarem a produzir apenas placas de padrões mais recentes, que permitem a eles trabalhar com margens de lucro um pouco maiores. Com isso, as placas de rede PCI baratas que nos acostumamos a ver, começaram a se tornar cada vez mais difíceis de encontrar, dando lugar às placas gigabit.



Figura 3: Placas de rede mais comuns no mercado

Placas de rede PCI geralmente possuem um soquete para a instalação de um chip de boot, usado em clientes de boot remoto, que dão boot através da rede, como no LTSP. É possível obter ROMs de boot em diversos formatos no <http://rom-o-matic.org> e gravá-las usando um gravador de EPROM, mas isso está entrando em desuso, pois as placas-mãe incorporam imagens de boot no próprio BIOS, permitindo que a placa de rede onboard seja usada para dar boot via rede diretamente.

Cabos de categoria 3 e cabos de categoria 5:

Existem cabos de cat 1 até cat 7. Como os cabos cat 5 são suficientes tanto para redes de 100 quanto de 1000 megabits, eles são os mais comuns e mais baratos.

Categoria 3: Este foi o primeiro padrão de cabos de par trançado desenvolvido especialmente para uso em redes. O padrão é certificado para sinalização de até 16 MHz, o que permitiu seu uso no padrão 10BaseT, que é o padrão de redes Ethernet de 10 megabits para cabos de par trançado. Existiu ainda um padrão de 100 megabits para cabos de categoria 3, o 100BaseT4, mas ele é pouco usado e não é suportado por todas as placas de rede.

Categoria 5: Os cabos de categoria 5 são o requisito mínimo para redes 100BaseTX e 1000BaseT, que são, respectivamente, os pacotes de rede de 100 e 1000 megabits usados atualmente. Os cabos cat 5 seguem padrões de fabricação muito mais estritos e suportam frequências de até 100 MHz, o que representa um grande salto sobre os cabos cat 3.

Apesar disso, é muito raro encontrar cabos cat 5 à venda atualmente, pois eles foram substituídos pelos cabos **categoria 5e** (o "e" vem de "enhanced"), uma versão aperfeiçoada do padrão, com normas mais estritas, desenvolvidas de forma a reduzir a interferência entre os cabos e a perda de sinal, o que ajuda em cabos mais longos, perto dos 100 metros permitidos.

É fácil descobrir qual é a categoria dos cabos, pois a informação vem decalcada no próprio cabo,

como na foto:



Figura 4: Cabo UTP categoria 5e

Padrões Ethernet, parte 2: Gigabit Ethernet

Depois dos padrões de 10 e 100 megabits, o passo natural para as redes Ethernet seria novamente multiplicar por 10 a taxa de transmissão, atingindo 1000 megabits. E foi justamente o que aconteceu. O padrão Gigabit Ethernet começou a ser desenvolvido pelo IEEE em 1995, assim que o padrão de 100 megabits foi ratificado (como muitos dizem, antes mesmo que a tinta tivesse tempo de secar) e acabou sendo ratificado em 1998, dando origem ao 802.3z, composto por quatro padrões diferentes.

O **1000BASE-LX** é o padrão mais caro, que suporta apenas cabos de fibra óptica. Até o 100BASE-FX, os transmissores de rede para fibra óptica podiam utilizar LEDs, que são uma tecnologia muito mais barata. O problema é que os LEDs não são capazes de mudar de estado rápido o suficiente para atenderem os requisitos do sistema de modulação adotado no gigabit Ethernet, de forma que a única saída foi adotar a tecnologia long-wave laser, com o uso de lasers de 1300 nanômetros.

Em troca, o 1000BASE-LX oferece um alcance muito maior do que o oferecido pelos padrões anteriores. Oficialmente, usando cabos de fibra óptica monomodo com núcleo de 9 microns, o sinal é capaz de percorrer distâncias de até 2 km, mas na prática o sinal é capaz de atingir distâncias muito maiores, o que fez com que muitos fabricantes anunciassem produtos baseados no 1000BASE-LX com alcance de até 10 km. Isso tornou o padrão atrativo para uso em backbones, interligando diferentes segmentos de rede no campus de uma universidade ou em prédios próximos, por exemplo. É possível também utilizar cabos multimodo com núcleo de 50 ou 62.5 microns (que são os cabos mais baratos), mas nesse caso o sinal percorre apenas 550 metros.

O segundo padrão é o **1000BASE-SX**, que também utiliza cabos de fibra óptica, mas utiliza uma tecnologia de transmissão mais barata, chamada short-wave laser, que é uma derivação da mesma tecnologia usada em CD-ROMs, com feixes de curta distância. Justamente por já ser utilizado em diversos dispositivos, esta tecnologia é mais barata, mas em compensação o sinal é capaz de atingir distâncias menores. Utilizando cabos multimodo com núcleo de 50 microns a distância máxima é de 500 metros e usando cabos com núcleo de 62.5 microns a distância máxima é de 275 metros (sinalização de 200 MHz) ou 220 metros (sinalização de 160 MHz).

Foi criado também um padrão para distâncias curtas, o **1000BASE-CX**, que ao invés de fibra óptica utiliza dois pares de cabo de par trançado blindado STP ou SSTP (de forma similar ao 100BASE-TX, onde são também utilizados apenas dois pares do cabo). Embora pouco usados, são suportados também cabos twinax, que são um tipo de cabo coaxial duplo, também blindado.

O problema é que no 1000BASE-CX o alcance é de apenas 25 metros, o que limita bastante o seu uso. Ele é usado em alguns modelos de blade servers e outros produtos destinados ao uso em data-centers (onde vários servidores são instalados no mesmo rack e a distância a cobrir é pequena), mas ele praticamente desapareceu depois que o padrão 1000BASE-T foi finalizado.

Inicialmente, parecia impossível desenvolver um padrão Gigabit Ethernet para cabos de par trançado sem blindagem que fosse capaz de atingir 100 metros, já que o padrão Fast Ethernet já havia explorado grande parte do potencial dos cabos categoria 5. Mas, contra todas as expectativas, o grupo de trabalho conseguiu finalizar o padrão **1000BASE-T** (802.3ab) em 1999, abrindo uma nova fronteira para as redes domésticas.

O 1000BASE-T, também chamado de GoC ou "Gigabit over Copper", permite utilizar os mesmos

cabos de par trançado categoria 5 que as redes de 100 megabits. Isso representa uma enorme economia, não apenas por eliminar a necessidade de trocar os cabos atuais por cabos mais caros, mas também nas próprias placas de rede, que passam a ser uma evolução das atuais e não uma tecnologia nova. O alcance continua sendo de 100 metros e os switches compatíveis com o padrão são capazes de combinar nós de 10, 100 e 1000 megabits, sem que os mais lentos atrapalhem os demais. Toda esta flexibilidade torna a migração para o 1000BASE-T bastante simples, já que você pode aproveitar o cabeamento já existente.

A solução para conseguir multiplicar por 10 a taxa de transmissão, mantendo o uso de cabos cat 5 foi adotar um sistema de sinalização mais complexo, que utiliza todos os 4 pares do cabo, de forma similar ao 100BASE-T4, que utilizava um artifício similar para conseguir transmitir 100 megabits utilizando cabos cat 3.

Em primeiro lugar, é usado o sistema PAM-5 de modulação (diferente dos outros padrões gigabit, onde é usado o 8B10B) que consiste no uso de 5 sinais distintos (em vez de apenas dois), que permitem o envio de 2 bits por baud, junto com informações de controle.

Com o uso dos 4 pares de cabos, é possível enviar então 8 bits por baud, o que resulta em uma taxa de sinalização de apenas 125 megabauds. Aplicando um sistema similar ao usado no 100BASE-TX, é possível reduzir a frequência efetiva para apenas 62.5 MHz, transmitindo 2 bauds por ciclo. A frequência é o dobro do usado no 100BASE-TX, mas ainda fica dentro dos limites dos cabos de categoria 5.

Esta idéia de transmitir vários bits por baud, utilizando vários níveis de sinal distintos é uma técnica antiga, que foi usada ao limite nos modems discados para obter taxas de transferências mais altas usando o sistema telefônico comutado. Um modem V92 de 56k, por exemplo, transmite 7 bits por baud, de forma a fazer seu trabalho transmitindo apenas 8.000 bauds por segundo. Entretanto, esta tecnologia exige uma modulação mais complexa, o que aumenta o processamento necessário para realizar a transmissão. É por isso que ela passou a ser usada em redes apenas quando as limitações do cabeamento se tornaram evidentes.

Continuando, temos o segundo "milagre" do 1000BASE-T, que é o suporte ao modo full-duplex. Como você deve lembrar, o 100BASE-TX obtinha full-duplex utilizando dois pares de cabos, um para transmitir e outro para receber. Como o 1000BASE-T utiliza todos os 4 pares ao mesmo tempo, transmitir e receber simultaneamente parecia impossível.

Para resolver o problema, foi desenvolvido um sistema engenhoso, que permite que os mesmos pares de cabos sejam usados para enviar e receber dados simultaneamente. Enviar duas transmissões ao mesmo tempo, no mesmo cabo, faz com que as duas transmissões colidam, gerando um eco que é a combinação das duas. Como cada estação tem armazenado na memória o conteúdo da transmissão que acabou de fazer, é capaz de subtrair sua própria transmissão do sinal recebido, obtendo assim o sinal enviado pelo interlocutor.

Com isso, é possível transmitir 1 gigabit em cada direção permitindo que, em situações onde a estação envie e receba um grande volume de dados simultaneamente, seja possível atingir 2 gigabits somando o tráfego nas duas direções. Entretanto, o mais comum é uma relação assimétrica, com uma falando e a outra apenas enviando os pacotes de confirmação, cenário em que o uso do full-duplex traz um ganho marginal.

Apesar disso, alguns fabricantes tiram proveito do full-duplex para anunciar suas placas gigabit como placas de "2 gigabits", assim como alguns vendiam placas fast Ethernet como sendo placas de "200 megabits", novamente em alusão ao modo full-duplex.

O uso dos 4 pares e o sistema de sinalização mais complexo torna o 1000BASE-T muito mais exigente com relação à qualidade do cabeamento que os padrões anteriores. Por exemplo, as placas 100BASE-TX utilizam apenas dois pares do cabo, de forma que a rede pode funcionar com cabos mal crimpados, ou mesmo com cabos com alguns dos fios internos rompidos, desde que os dois pares usados para transmitir dados estejam intactos.

O sistema mais simples de sinalização também torna a rede menos sensível a interferência, ou ao uso de cabos de baixa qualidade, ou mais longos que os 100 metros permitidos. No 1000BASE-T, todos estes problemas saltam à vista, reduzindo a velocidade da rede (devido às retransmissões), tornando-a instável, ou simplesmente impedindo seu funcionamento. Mesmo detalhes como o comprimento da parte destrançada do cabo ao crimpar o conector acabam fazendo diferença, de forma que é necessário dobrar o cuidado ao crimpar os cabos.

Outro fator digno de nota é que, como em quase todo novo padrão, as placas 1000BASE-T eram originalmente muito mais caras que as de 100 megabits, já que o maior processamento necessário tornava o design da placa muito mais complexo, demandando o uso de dois ou mais controladores complexos.

Mas, com a miniaturização dos componentes, logo surgiram soluções integradas em um único chip e o maior volume de produção fez com que os preços fossem caindo progressivamente. Hoje em dia, a maioria das placas mãe já trazem chipsets de rede gigabit onboard e os switches gigabit também estão cada vez mais acessíveis, de forma que muitos acabam migrando para o novo padrão sem sequer perceber, enquanto atualizam os equipamentos de rede.

Temos aqui uma placa gigabit de 1999, produzida pela Intel, ao lado de um chip Marvell Yukon 88E8052, usado em muitas placas-mãe atuais com rede gigabit onboard, que ilustra a diferença de complexidade (e de custo) entre as duas gerações:



Figura 6: Placa Gigabit da Intel



Figura 5: Chip Marvell Yukon 88E8052

Assim como no caso das placas de 100 megabits, existe um grande número de placas Gigabit Ethernet em versão PCI. O problema é que, por um conjunto de fatores, o barramento PCI oferece, na prática, pouco mais de metade da taxa teórica de transmissão. Com isso, embora os 133 MB/s sejam suficientes para uma placa de rede gigabit, na prática as placas gigabit em versão PCI acabam sendo limitadas pelo barramento, oferecendo taxas de transmissão de 500 a 700 megabits, variando de acordo com a placa e o chipset usados. Além das placas offboard, muitas placas gigabit onboard são internamente liadas ao barramento PCI do chipset e tem por isso sua taxa de transmissão limitada.

Com isso, tivemos a terceira migração de barramento na história das placas de rede (sem contar as placas em versão PCI-X, destinadas a servidores), que passaram a utilizar o barramento PCI-Express, que oferece 250 MB/s em cada direção por linha de dados (um slot PCI Express pode ter de uma a 16 linhas), o que permite que mesmo um slot x1 atenda com folga uma placa Gigabit Ethernet.



Figura 7: Placa Gigabit Ethernet em versão PCI Express

A próxima fronteira são as placas de 10 Gigabits, que em teoria precisam de um slot PCI

Express x8 (com oito linhas de dados, ou seja, 2 GB/s) para mostrarem todo o seu potencial.

Continuando, assim como as placas de 100 megabits, as placas gigabit são completamente compatíveis com os padrões anteriores. Você pode até mesmo ligar uma placa Gigabit Ethernet a um hub 10/100 se quiser, mas a velocidade terá de ser nivelada por baixo, respeitando a do ponto mais lento.

A exceção fica por conta de alguns switches nível 3 (modelos mais inteligentes e caros, que

incorporam recursos dos roteadores), que são capazes de "rotear" pacotes de diversas estações operando a 100 megabits, agrupando-os em um único link de 1 gigabit ligado ao servidor. Neste caso, você poderia ter (em teoria) 10 estações baixando arquivos a 100 megabits cada, simultaneamente, a partir de um único servidor com uma placa gigabit.

Todos esses padrões de Gigabit Ethernet são intercompatíveis a partir da camada 2 (link de dados) do modelo OSI. Abaixo desse nível está apenas a camada física da rede, que inclui o tipo de cabos e o tipo de modulação usado pela placa de rede para transmitir dados através deles. Os dados transmitidos, incluindo camadas de correção de erro, endereçamento, etc. são idênticos em qualquer um dos padrões. Assim como muitos hubs antigos permitiam juntar redes que utilizavam cabo de par trançado e cabo coaxial, é muito simples construir dispositivos que interliguem esses diferentes padrões. Isso permite conectar facilmente segmentos de rede com cabeamento e cobre e segmentos com fibra óptica, que podem ser usados para interligar várias redes distantes entre si.

Padrões Ethernet, parte 3: 10 Gigabit

Com o lançamento do padrão 1000BASE-T, em 1999, os membros do grupo de trabalho 802.3 ficaram livres para iniciar os trabalhos no padrão seguinte. Mantendo a tradição, decidiram desenvolver um padrão capaz de atingir taxas de transferência 10 vezes maiores que o anterior, dando origem ao 10 Gigabit Ethernet (10G), que trabalha a espantosos 10 gigabits por segundo.

Aumentar por 10 a taxa de transferência a cada novo padrão de rede pode parecer um exagero, mas como a migração para novos padrões de redes é bem mais lento que para novos processadores ou novas tecnologias de memória, por exemplo, passos maiores acabam sendo necessários, caso contrário poucos se dariam o trabalho de atualizar os equipamentos.

Como previsto na célebre lei de Moore, o poder de processamento dos processadores e controladores em geral dobra em média a cada 18 meses, sendo que o custo continua mais ou menos constante. Com isso, em um período de 54 meses temos controladores 8 vezes mais rápidos, e assim por diante, o que torna a tarefa de desenvolver novos padrões de rede relativamente simples.

O maior problema é que o cabeamento não evolui na mesma velocidade dos controladores, o que obriga o comitê a levar os cabos popularmente usados até o limite antes de jogar a toalha e migrar para um padrão de cabos mais caros e de melhor qualidade.

Um exemplo disso são os cabos de par trançado categoria 5, que foram desenvolvidos para o uso em redes de 100 megabits, mas que acabaram tendo sua vida útil estendida com o padrão 1000BASE-T graças à adoção de um sistema mais sofisticado de modulação e ao uso dos quatro pares do cabo.

Assim como no Gigabit Ethernet, o desenvolvimento do 10 Gigabit Ethernet começou nos cabos de fibra óptica, que oferecem um desafio técnico menor, com o padrão cara fio de cobre sendo finalizado por último. Muitos julgavam que seria impossível criar um padrão 10G para cabos de par trançado (afinal, estamos falando de uma taxa de transmissão 1000 vezes maior que o padrão 10BASE-T original), mas no final acabaram conseguindo, embora com algumas baixas.

Os padrões 10G para cabos de fibra óptica se dividem em duas categorias, os padrões de longa distância, que utilizam cabos de fibra monomodo e os padrões de curta distância, que utilizam cabos de fibra multimodo e transmissores mais baratos.

O objetivo dos padrões de longa distância é complementar os padrões de 100 e 1000 megabits, oferecendo uma solução capaz de interligar redes distantes com uma velocidade comparável ou superior a dos backbones DWDM e SONET, tecnologias muito mais caras, utilizadas atualmente nos backbones da internet.

Suponha, por exemplo, que você precise interligar 5.000 PCs, divididos entre a universidade, o parque industrial e a prefeitura de uma grande cidade. Você poderia utilizar um backbone 10 Gigabit Ethernet para os backbones principais, unindo os servidores dentro dos três blocos e ligando-os à internet, usar uma malha de switches Gigabit Ethernet para levar a rede até as salas de aula e departamentos e, finalmente, usar switches baratos de 100 megabits para levar a rede até os alunos e funcionários, complementando com pontos de acesso 802.11bg para oferecer também uma opção de rede sem fio.

Isso estabelece uma pirâmide, onde os usuários individuais possuem conexões relativamente lentas,

de 11, 54 ou 100 megabits, interligadas entre si e entre os servidores pelas conexões mais rápidas e caras, formando um sistema capaz de absorver várias chamadas de videoconferência simultâneas, por exemplo.

Outra aplicação em destaque é o próprio uso em backbones de acesso à internet. Usando o 10G, um único cabo de fibra óptica transmite o equivalente a mais de 600 linhas T1 (de 1.5 megabits cada), cada uma suficiente para atender uma empresa de médio porte, um prédio residencial ou mesmo um pequeno provedor de acesso via rádio. Ou seja, com um único link 10G temos banda suficiente para atender com folga a uma cidade de médio porte.

Entre os padrões de longa distância temos o **10GBASE-LR** (Long Range) que utiliza lasers de 1310 nm e oferece um alcance de até 10 km (com a possibilidade de atingir distâncias maiores utilizando cabos de alta qualidade), o **10GBASE-ER** (Extended Range), que utiliza lasers de 1550 nm e é capaz de cobrir distâncias de até 40 km e o novo **10GBASE-ZR**, desenvolvido de forma independente pela Cisco e outros fabricantes, que estende o alcance máximo para incríveis 80 km.

Nos três casos, a distância máxima pode ser estendida usando amplificadores de sinal e repetidores, de forma o que o link pode ser estendido a distâncias muito grandes, criando backbones e interligando redes.

Em seguida temos os padrões de curta distância, destinados ao uso em datacenters e em redes locais. Como citei, eles são baseados em fibras multimodo, que ao contrário das fibras monomodo usadas nos padrões de longa distância, já são bastante acessíveis.

Atualmente temos apenas dois padrões: o **10GBASE-SR** (Short Range) utiliza a tecnologia short-wave laser, similar à utilizada no 1000BASE-SX e é capaz de atingir até 300 metros, dependendo da qualidade do cabo usado, enquanto o **10GBASE-LRM**, que permite o uso de fibras com núcleo de 62.5 microns, um tipo de fibra de baixa qualidade, tipicamente usadas em redes 100BASE-FX. Quando usadas no 10GBASE-SR, estas fibras suportam distâncias muito curtas (até 26 metros), mas no 10GBASE-LRM elas suportam até 220 metros, daí a sigla LRM, de "Long Reach Multimode".

Tradicionalmente, o mais comum é que os padrões de fibra de curta distância sejam usados para criar backbones, interligando os switches e roteadores em diferentes segmentos da rede, enquanto os padrões para cabos de cobre, sejam usados nos pontos individuais.

Assim como fez no Gigabit Ethernet, o grupo de trabalho começou desenvolvendo um padrão para cabos de cobre de curta distância para uso em datacenters,

o padrão para cabos de cobre de curta distância para uso em datacenters, **10GBASE-CX4**, que utiliza quatro pares de cabos twinax para transmitir dados a até 15 metros. Os cabos 10GBASE-CX4 utilizam um conector especial, similar ao utilizado no InfiniBand, uma tecnologia de redes utilizada em clusters e SANs. Não é possível crimpar os cabos CX4; eles são comprados já no comprimento desejado. Aqui temos uma placa PCI-Express x8 e o detalhe do conector:



oFigura 8: Placa 10GBASE-SR em versão PCI-X



Figura 10: Placa PCI-Express x8



Figura 9: Conector para cabos CX4

O 10GBASE-CX4 é um padrão mais barato que os baseados em cabos de fibra, já que não é necessário usar o transceiver (um componente bastante caro, que contém os transmissores e receptores ópticos). Mas, como era de se esperar, ele entrou em desuso com a popularização do padrão **10GBASE-T** (ou 802.3an), que é o padrão baseado em cabos de par trançado.

Inicialmente, falou-se no uso de cabos categoria 7 combinados com conectores TERA e no possível suporte a cabos de categoria 5a no padrão 10GBASE-T, mas ambas as idéias acabaram sendo descartadas em favor dos cabos categoria 6 e categoria 6a.

Usar cabos categoria 5e no 10G exigiria um sistema de modulação muito complexo, que encareceria excessivamente as placas e switches. Além disso, a distância seria muito curta (possivelmente algo próximo dos 15 metros do 10GBASE-CX4), o que acabaria com a utilidade prática do padrão.

Para entender a dificuldade em criar um padrão 10G para cabos cat 5e, nada melhor do que entender um pouco melhor como o 10GBASE-T funciona. Se você achou as explicações sobre o 100BASE-TX e sobre o 1000BASE-T complicadas, se prepare pois esta é ainda mais indigesta :).

Você deve se lembrar que no 1000BASE-T é usado o sistema PAM-5 de modulação, onde 5 sinais distintos são usados para transmitir 2 bits por baud (combinados com informações de controle). Com isso, os 1000 megabits são transmitidos em apenas 500 megabauds, 125 em cada um dos 4 pares de cabos.

O 10GBASE-T adota um sistema de modulação bem mais complexo, o PAM-16 que, como o nome sugere, é baseado no uso de 16 sinais distintos em cada par, cada um representado por um nível de tensão diferente. Para efeito de comparação, no 100BASE-TX existe uma diferença de 1V entre cada nível, no 1000BASE-T a diferença cai para apenas 0.5V e no 10GBASE-T cai para apenas 0.13V, o que torna a questão do cabeamento progressivamente mais crítica:

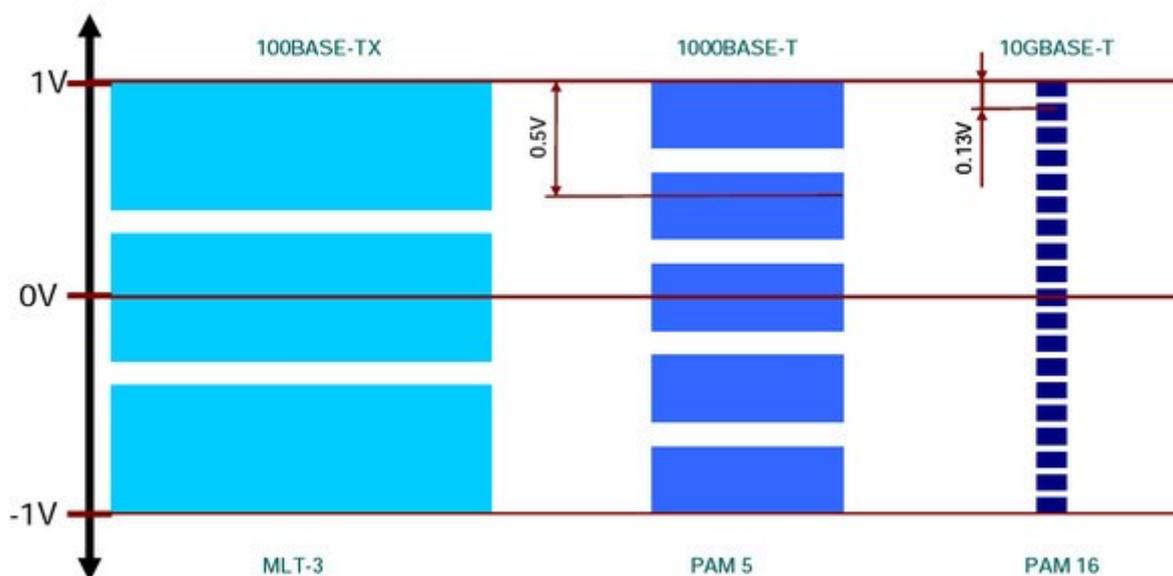


Figura 11: Padrões de modulação para 100, 1000 e 10G

Originalmente, 16 estados permitiriam o envio de 4 bits por baud, por par. Mas, como de praxe, é necessário enviar também informações de controle, de forma que são transmitidos o equivalente a 3.125 bits por baud (3 bits e mais um bit adicional a cada 8 bauds), o que permite que os 10.000 megabits sejam transmitidos em apenas 3200 megabauds. Como os 4 pares de cabos são usados simultaneamente, temos então 800 megabauds por par de cabos.

Assim como no 1000BASE-T, cada baud demora apenas meio ciclo para ser transmitido, o que reduz a frequência de transmissão. Mesmo assim, os 800 megabauds resultam em uma frequência de 400 MHz, muito além dos 100 MHz dos cabos cat 5.

Os próximos da lista são os cabos de categoria 6, que suportam frequências de até 250 MHz e são construídos dentro de normas muito mais estritas com relação à atenuação do sinal e ao crosstalk. Apesar da frequência ser mais baixa que o exigido, foi possível incluir suporte a eles dentro do padrão, mas apenas para distâncias curtas, de apenas 55 metros.

Isso acontece por que a frequência suportada pelo cabo não é um valor exato, mas sim a frequência para a qual ele é certificado para transmissão a 100 metros. Um cabo cat 5 poderia transportar sinais a mais de 100 MHz, mas a atenuação faria com que eles não chegassem ao final dos 100 metros com uma qualidade aceitável. Reduzindo o comprimento do cabo, reduzimos a atenuação. No caso dos cabos cat 6, foi comprovado que eles são capazes de transmitir os sinais de 400 MHz do 10GBASE-T, mas apenas a até 55 metros, daí a especificação.

Na prática, alguns cabos cat 5e que excedem a especificação também suportam a frequência de 400 MHz em distâncias mais curtas. Se você tiver sorte, pode ter sucesso usando um cabo de 10 ou 20 metros por exemplo. Entretanto, padrões precisam funcionar "sempre" e não "às vezes" e justamente por isso os cat 5e foram removidos da especificação final.

Para que fosse possível o uso de cabos de até 100 metros, como nos padrões anteriores, foi criado o padrão cat 6a, que suporta frequências de até 500 MHz e é baseado em normas ainda mais estritas.

Embora ainda sejam mais caros, os cabos cat 6a tendem a cair de preço conforme a tecnologia for se popularizando, permitindo uma migração gradual. A partir do momento em que a diferença de preço não for um impedimento, vale à pena passar a utilizar cabos categoria 6a em todas as novas instalações, mesmo nas destinadas a redes de 100 e 1000 megabits, já que o padrão super-excede o padrão cat5e e o cat6.

Atualmente, ainda estamos assistindo à migração do Fast Ethernet para o Gigabit Ethernet, por isso a migração para o padrão 10G nas redes domésticas ainda deve demorar. As placas 10GBASE-T do início de 2008 ainda custam acima de 1000 dólares, além de consumirem muita energia (muitas consomem mais de 25 watts), o que restringe seu uso aos servidores.

Mesmo que a lei de Moore continue em vigor ao longo dos próximos anos, ainda vai demorar até que sejam desenvolvidos controladores 10G compactos e baratos o suficiente para serem integrados às placas-mãe, como no caso dos chips Gigabit Ethernet.

Além disso, existe a questão prática. Como a maioria das redes são usadas para acessar a web e transferir arquivos entre os PCs e servidores da rede, existe pouca demanda por um padrão de rede mais rápido, pois mesmo o Gigabit Ethernet raramente tem chance de mostrar seu potencial, já que é gargalado pelo desempenho dos HDs e outros periféricos. De nada adianta uma interface de rede mais rápida, se o HD o servidor do servidor é capaz de ler os dados a apenas 60 MB/s e o HD do seu PC é capaz de gravá-los a apenas 20 MB/s, por exemplo.

A médio prazo, as redes locais continuarão sendo baseadas em interfaces de 100 e 1000 megabits e o 10G passará a ser utilizado para interligar os switches da rede, evitando o gargalo causado pelo uso de um único link gigabit para interligar switches com 24 ou 48 clientes cada um. Só bem adiante é que devemos assistir à popularização do 10G nos desktops.

O 10G representa também o fim dos hubs, dos repetidores e dos links half-duplex, que foram substituídos pelo uso exclusivo de links full-duplex ponto a ponto, entre as estações, switches e roteadores da rede. Com isso, deixa de ser usado também o CSMA/CD, o sistema de detecção de colisões que é utilizado desde os primeiros padrões Ethernet.

Embora você ainda possa ligar vários switches em cascata, com cabos cat 6a de 100 metros cada um para obter distâncias maiores, a idéia é que você utilize um dos padrões de cabos de fibra óptica quando precisar atingir distâncias maiores. Com os 10 km oferecidos pelo 10GBASE-LR e os 40 km oferecidos pelo 10GBASE-ER, cobrir grandes distâncias deixou de ser um problema.