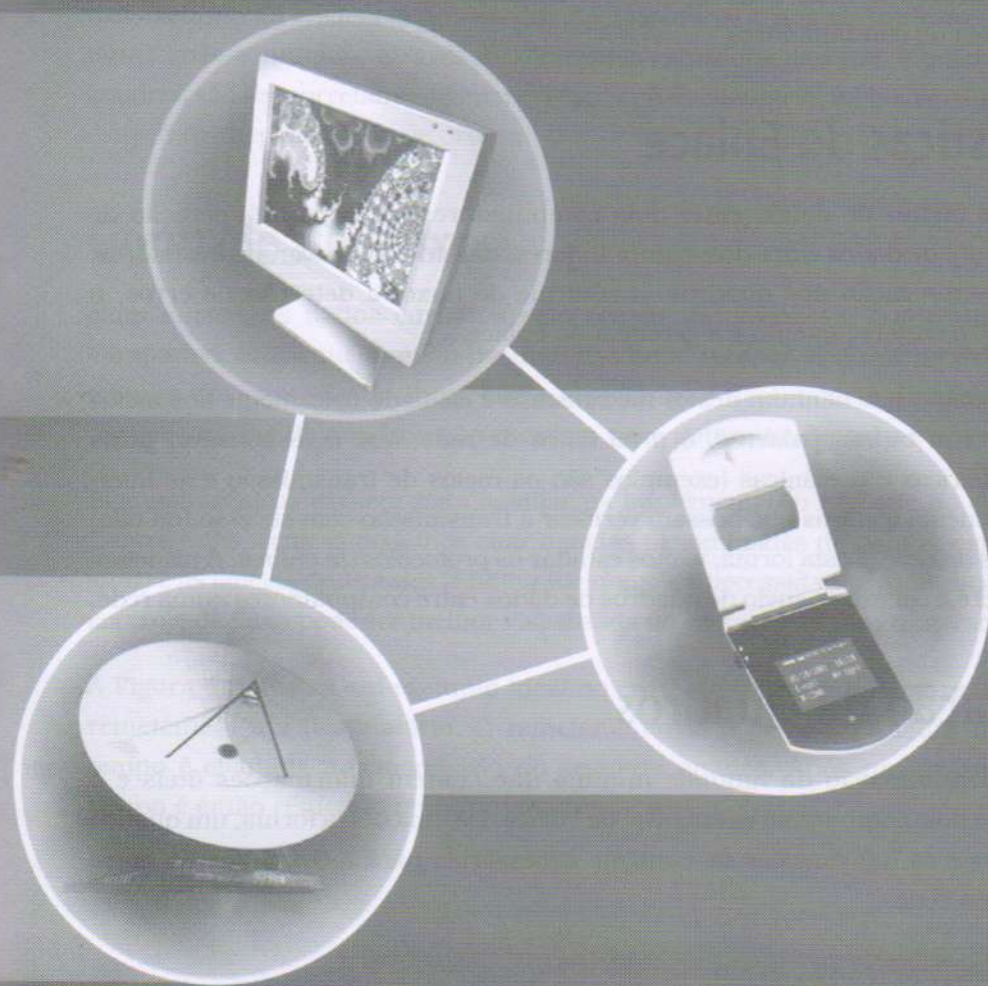


Capítulo

4

Protocolos de Enlace



Introdução

Nos capítulos anteriores, abordamos aspectos gerais relacionados com a comunicação de dados. Examinamos os princípios básicos de comunicação, a transmissão digital e analógica, técnicas de multiplexação, apresentamos alguns meios físicos de transmissão e interfaces padrões.

Neste capítulo, vamos focar nossa atenção em como é que ocorre efetivamente a transmissão dos dados entre um determinado remetente e a sua recepção por um destinatário. Os *protocolos de enlace* são os responsáveis pelo sucesso da comunicação entre dois pontos numa determinada rede. Assim, estes protocolos definem os limites da unidade de transmissão (o início e o fim de um quadro), fazem o controle de fluxo dos quadros e efetuam uma gerência na transmissão entre dois pontos da rede.

Abordaremos neste capítulo, também, algumas redes de comunicação que são responsáveis pela interligação das redes de computadores que estão geograficamente dispersas. Em última análise, iniciaremos uma formalização no conceito de redes em camadas e procuraremos fazer uma ligação das redes de comunicação com os demais capítulos de redes de computadores.

Características do Enlace

Na comunicação efetiva de dados entre dois computadores, ou seja, na operação de envio e recebimento de dados entre dois computadores, devemos observar alguns fatores, tais como: a sincronização dos quadros, o controle de fluxo, a detecção de erros, o controle do erro, o endereçamento e a gerência do enlace.

É importante ressaltar que nenhum destes mecanismos é efetuado fisicamente nos meios de transmissão. Em outras palavras, o nível físico de rede, que é responsável pelas características elétricas e mecânicas (exemplos são os meios de transmissão e as interfaces), não implementa técnicas que possam verificar a transmissão com sucesso (ou não) entre dois pontos da rede. Desta forma, vamos estudar os *protocolos de enlace*. A principal função deste nível é a conexão e envio de quadros de dados entre computadores numa rede.

Sincronização de Quadros

O *quadro* é a denominação da unidade mínima que contém informações úteis e é transmitido entre dois computadores em nível de enlace. De uma outra forma, um quadro contém os dados e as informações de controle necessárias para a comunicação entre dois pontos numa rede.

Para que possamos realizar uma sincronização dos quadros, é importante primeiro serem estabelecidos os limites de um quadro. Entendemos por limites de um quadro o estabelecimento do seu início e do seu fim. A Figura 4.1 exemplifica a forma geral de um quadro.

Delimitador de início	Campo de controle	Campo de dados	Campo de controle	Delimitador de fim
-----------------------	-------------------	----------------	-------------------	--------------------

Figura 4.1 Forma genérica de um quadro.

A função dos delimitadores de início e fim é a identificação unívoca de cada quadro numa determinada comunicação. Em outras palavras, as mensagens a serem transmitidas pelo remetente são divididas em quadros e podem ser enviadas para uma rede qualquer de comunicação com tamanhos apropriados e suportados pela rede de comunicação. No destinatário, à medida que os quadros vão chegando, podem ser distintos uns dos outros por causa dos seus delimitadores de início e fim.

Um exemplo da eficiência no uso dos delimitadores é nos permitir o envio de quadros numa rede comutada, através de diferentes caminhos na rede, e a garantia de que os quadros vão ser corretamente interpretados no destinatário, inclusive quando os mesmos estiverem chegando fora de ordem.

Controle de Fluxo

Num enlace, os dados enviados pelo remetente devem ser transmitidos numa taxa compatível com aquela que o destinatário pode receber. Em outras palavras, devemos efetuar um controle de fluxo entre remetente e destinatário visando que descartes desnecessários de quadros não ocorram num determinado enlace de comunicação.

Algumas técnicas existem para auxiliar na implementação eficiente do controle de fluxo. Dentre estas técnicas podemos citar aquelas denominadas de parar-e-esperar (*Stop-and-Wait*) e as janelas deslizantes (*Sliding Windows*). A necessidade de utilização de técnicas de controle de fluxo pode ser melhor visualizada no exemplo de caso mostrado na Figura 4.2.

A Figura 4.2 ilustra um exemplo ideal no envio de três quadros entre um determinado remetente e um destinatário. O remetente envia o primeiro quadro e após um certo tempo é efetuada a transmissão do segundo quadro. Após um segundo intervalo de tempo é então remetido o último quadro.

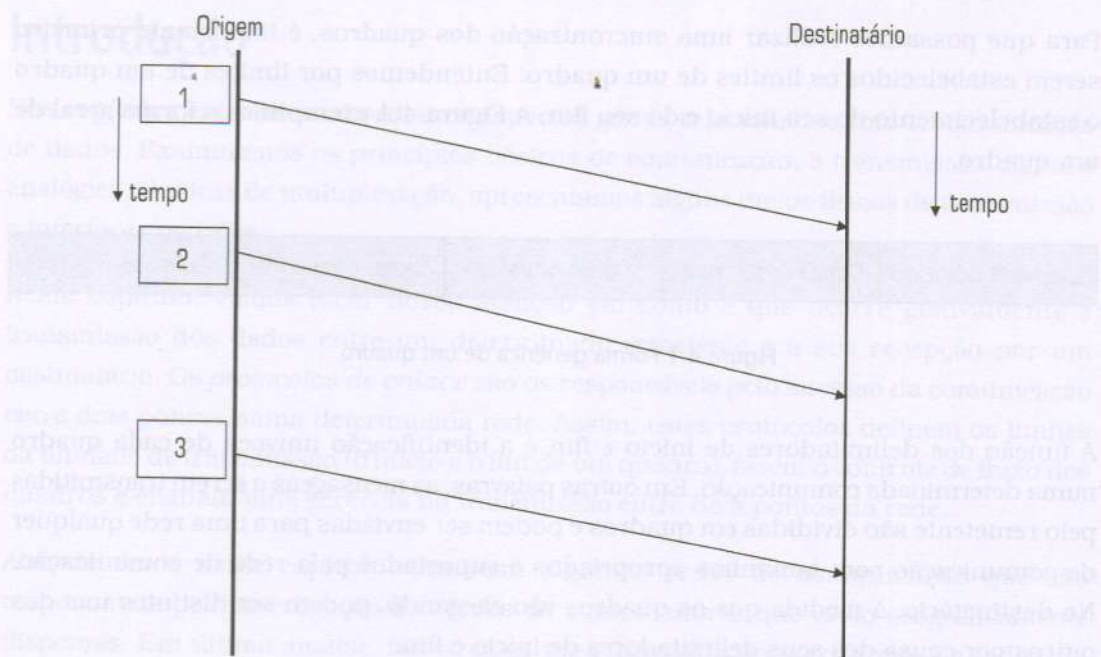


Figura 4.2 Exemplo de um enlace de comunicação entre remetente e destinatário.

No exemplo da Figura 4.2, consideramos que todos os quadros foram enviados e chegaram no destinatário com sucesso. Todavia, a rede de comunicação pode apresentar problemas e um determinado quadro pode se perder. Por outro lado, o uso da rede de comunicação não é eficiente quando esperamos pela chegada de cada quadro individualmente. Assim, vamos observar a Figura 4.3.

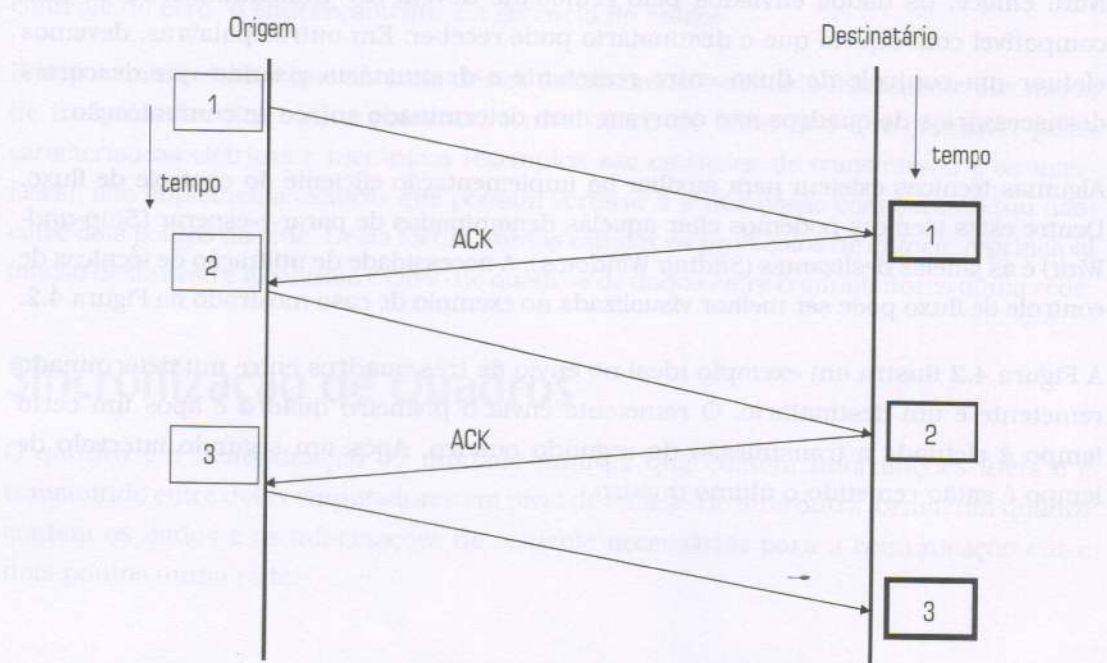


Figura 4.3 Enlace usando um protocolo parar-e-esperar (Stop-and-Wait).

A Figura 4.3 exemplifica o uso de um protocolo de parar-e-esperar (*Stop-and-Wait*). Nesta abordagem, temos o envio de um quadro e somente após o seu recebimento no destinatário é então enviado um quadro de recebimento. Este quadro é conhecido como ACK (*de acknowledgement*) e representa o recebimento com sucesso do quadro. Como já foi comentado, este processo garante o controle no envio e recebimento de quadros, todavia existe um desperdício no uso do enlace uma vez que é necessário o recebimento da confirmação de recebimento.

Na Figura 4.4, podemos verificar a utilização de um protocolo de janelas-deslizantes (*Sliding Window*) na transmissão dos três quadros apresentados nos dois exemplos anteriores. Nesta abordagem, temos primeiro uma transmissão de um conjunto de quadros. Após o recebimento (ou não) desses quadros, considerando um determinado intervalo de tempo, temos a confirmação (ou não) no sentido do destinatário para o remetente.

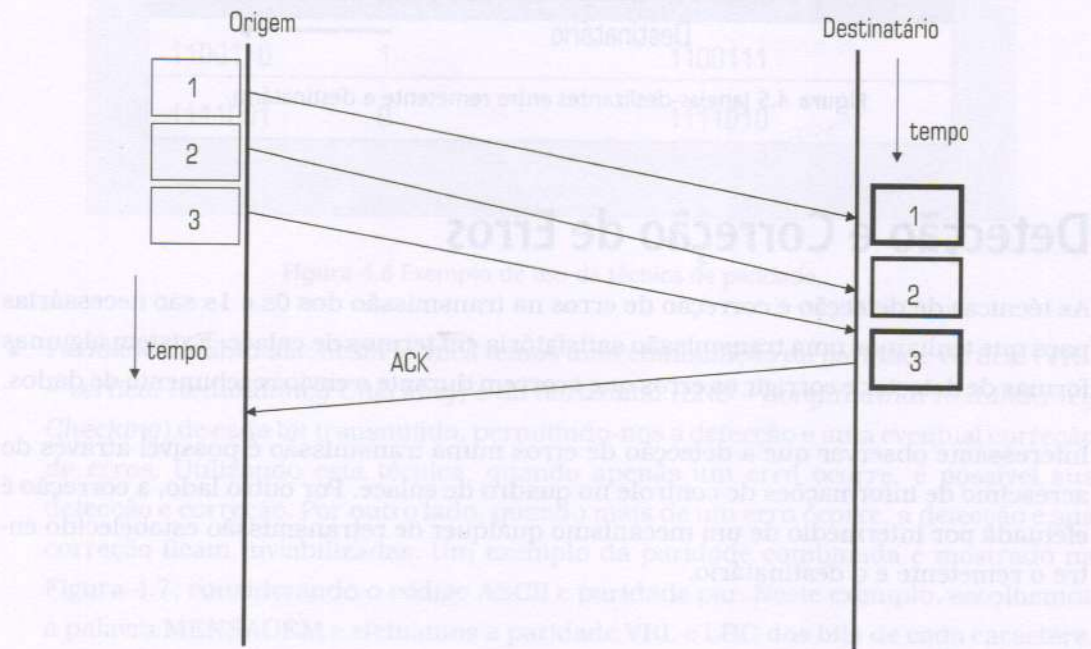


Figura 4.4 Enlace usando um protocolo de janelas-deslizantes (*Sliding Windows*).

Um outra forma de visualizarmos a utilização do protocolo de janelas-deslizantes é apresentada na Figura 4.5. Nesta figura, temos um conjunto de quadros numerados de 1 a 7 e um jogo de dois quadros iguais, um no remetente e outro no destinatário. No remetente, temos uma janela entre os quadros 4, 5 e 6, o que significa dizer que o remetente está efetuando a transmissão destes quadros. O remetente aguarda a notificação do destinatário para saber se deve prosseguir a transmissão de quadros ou se deverá fazer uma nova transmissão dos quadros caso ocorra um erro. No destinatário, a janela

nos quadros 4, 5 e 6 significa dizer que os quadros chegaram com sucesso. Assim, através das setas da figura, ilustramos que tanto o remetente quanto o destinatário podem começar a transmissão/recebimento dos quadros seguintes.

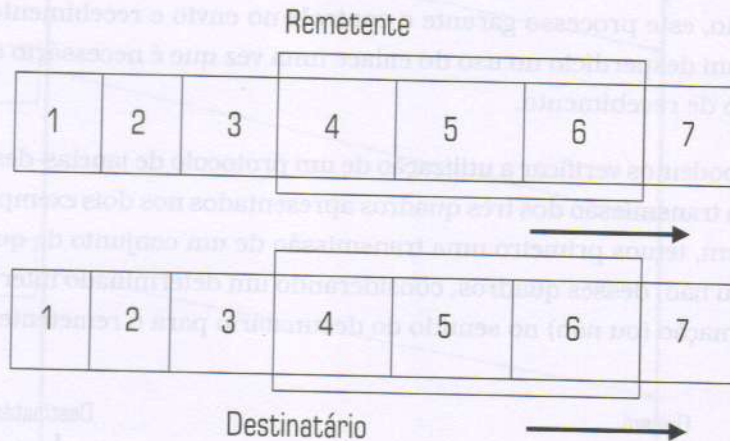


Figura 4.5 Janelas-deslizantes entre remetente e destinatário.

Detecção e Correção de Erros

As técnicas de detecção e correção de erros na transmissão dos 0s e 1s são necessárias para que tenhamos uma transmissão satisfatória em termos de enlace. Existem algumas formas de detectar e corrigir os erros que ocorrem durante o envio/recebimento de dados.

Interessante observar que a detecção de erros numa transmissão é possível através do acréscimo de informações de controle no quadro de enlace. Por outro lado, a correção é efetuada por intermédio de um mecanismo qualquer de retransmissão estabelecido entre o remetente e o destinatário.

Detecção

Algumas técnicas de detecção conhecidas são:

- Echoplex: abordagem de detecção utilizada em dispositivos assíncronos, na qual se faz uma comparação do caractere digitado no transmissor e ecoado pelo receptor. Caso exista diferença, o caractere é reenviado.
- Paridade: técnica de detecção na qual se acrescenta um bit extra ao caractere transmitido, provocando um número par (ou ímpar) em relação ao número total de bits 1s. É importante notar que quando um número par de erros ocorre, não é possível detectar a ocorrência do problema. A Figura 4.6 ilustra o uso da paridade.

PAR		
Caractere	Bit de Paridade	Seqüência a Transmitir
1100110	0	1100110
1111001	1	1111011

ÍMPAR		
Caractere	Bit de Paridade	Seqüência a Transmitir
1100110	1	1100111
1111001	0	1111010

Figura 4.6 Exemplo de uso da técnica de paridade.

- **Paridade Combinada:** nesta técnica temos uma combinação da paridade vertical (VRL – *Vertical Redundancy Checking*) e da horizontal (LRC – *Longitudinal Redundancy Checking*) de cada bit transmitido, permitindo-nos a detecção e uma eventual correção de erros. Utilizando esta técnica, quando apenas um erro ocorre, é possível sua detecção e correção. Por outro lado, quando mais de um erro ocorre, a detecção e sua correção ficam inviabilizadas. Um exemplo da paridade combinada é mostrado na Figura 4.7, considerando o código ASCII e paridade par. Neste exemplo, escolhemos a palavra MENSAGEM e efetuamos a paridade VRL e LRC dos bits de cada caractere.

Bit	M	E	N	S	A	G	E	M	
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	0	1	0	0	1
3	1	1	1	0	0	1	1	1	0
4	1	0	1	0	0	0	0	1	1
5	0	0	0	1	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0
VRC	0	1	0	0	0	0	1	0	

LRC

Figura 4.7 Exemplo de uso da paridade combinada.

- CRC (Cyclic Redundancy Checking): este método de detecção e correção é mais sofisticado, pois emprega um polinômio que permite que seja detectada qualquer ocorrência de um grupo de erros e que este seja corrigido. Ver Figura 4.8.

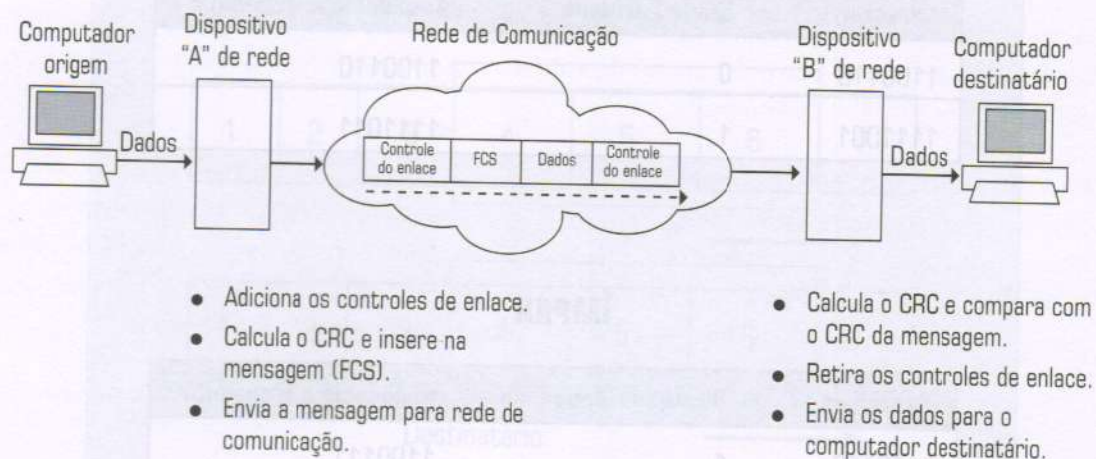


Figura 4.8 Exemplo do uso do CRC.

Correção

Antes de decidirmos qual o melhor mecanismo de correção dos quadros que devemos empregar em uma determinada situação, é importante considerar que dois tipos clássicos de erros são passíveis de ocorrer em uma determinada transmissão.

O primeiro tipo de erro é uma perda dos quadros devido a uma falha operacional na rede. Em outras palavras, a rede de comunicação não foi capaz de entregar ao destinatário os quadros enviados pelo remetente.

Num segundo cenário, o problema é caracterizado pela chegada de quadros, porém com erro. Desta forma, as abordagens mais comuns para a correção dos erros são:

- Reconhecimento positivo: o destinatário utiliza-se dos quadros do tipo ACK (acknowledgment) para avisar ao remetente da chegada dos quadros sem erro.
- Retransmissão por tempo: o destinatário, após passar um determinado tempo sem confirmação de recebimento dos quadros enviados, começa a retransmissão dos mesmos.
- Reconhecimento negativo e retransmissão: diferente da primeira abordagem, agora o destinatário utiliza-se de quadros para avisar que não recebeu os quadros enviados. Estes quadros de reconhecimento negativo são conhecidos por *nack*. Desta forma, uma retransmissão é efetuada pelo remetente.

As abordagens de correção apresentadas acima podem ser implementadas nas formas de stop-and-wait, go-back-n e retransmissão seletiva.

Apesar de ser conhecido pela sua simplicidade quando comparado com outras técnicas, o paradigma de *stop-and-wait* prevê as situações de perda e dano dos quadros de enlace. No caso de uma situação de perda, o uso de temporizadores no remetente (Figura 4.9) acusa que o destinatário não enviou um reconhecimento positivo (ACK) de um determinado quadro. Por causa desta situação, o remetente sempre guarda o quadro enviado até o recebimento da confirmação do destinatário. Por outro lado, a técnica de *stop-and-wait*, numa situação de dano de um quadro (como o exemplo ilustrado na Figura 4.10 na perda de um quadro de reconhecimento (ACK)), implementa um controle de numeração de ACK. Em outras palavras, cada quadro de reconhecimento positivo (ACK) ganha um valor 0 ou 1. Desta forma, o remetente sabe que deverá receber um ACK 0 (ou ACK1) dependendo do controle do quadro enviado.

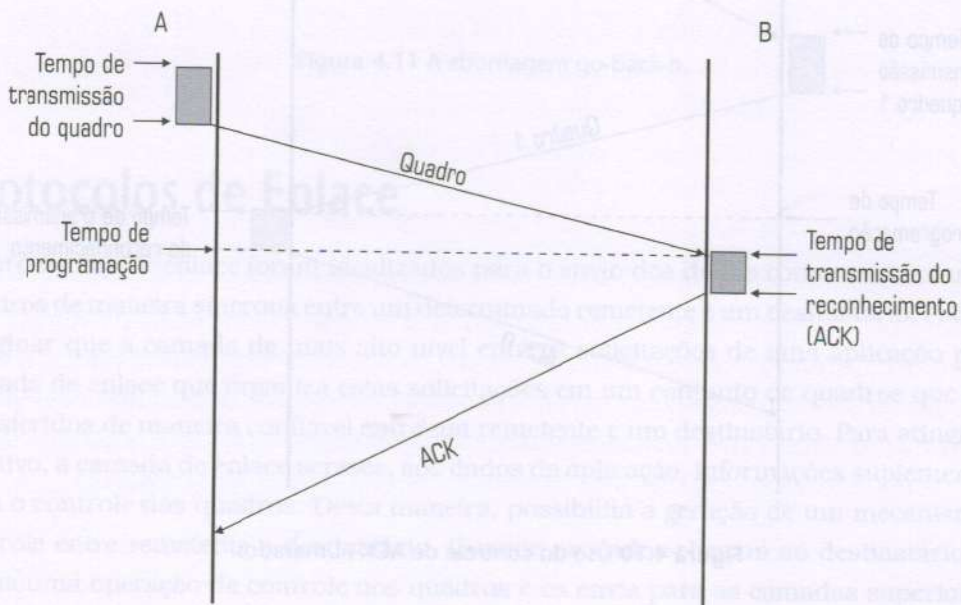


Figura 4.9 Uso de temporizadores no *stop-and-wait*.

Uma outra possível abordagem que podemos considerar na correção dos quadros é a denominada de *go-back-n*. É interessante observar que a técnica de *stop-and-wait* é inadequada, pois a janela deslizante é igual a 1. Em outras palavras, temos um desperdício de recursos, pois estamos enviando e recebendo apenas um quadro. Assim, na abordagem de *go-back-n* (ilustrada na Figura 4.11), temos o envio não apenas de um quadro, mas de um conjunto de quadros entre o remetente e o destinatário. Estes quadros são numerados de forma sequencial de 0 até um determinado número limite.

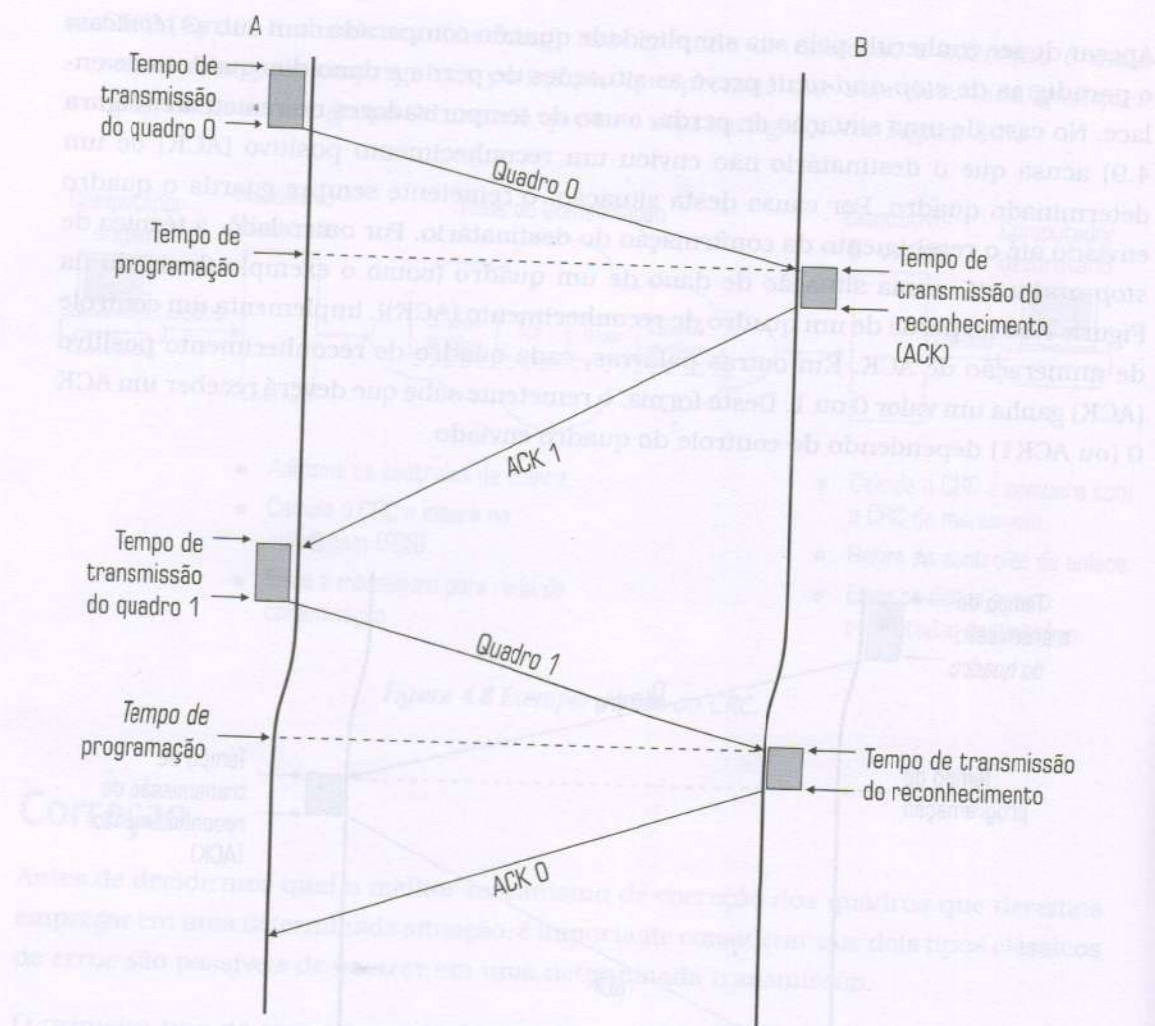


Figura 4.10 Uso do controle de ACK numerados.

O destinatário de tempos em tempos envia a confirmação de recebimento dos quadros. Este fato é interpretado pelo remetente como um novo conjunto de quadros que pode ser enviado. Por outro lado, caso o destinatário envie um quadro de reconhecimento negativo (nack) do quadro, por exemplo 3 de um conjunto de 8 quadros, todos os quadros de 3 até 8 serão remetidos novamente. A técnica de *go-back-n* foi batizada como tal porque existe uma volta (*go-back*) até o quadro perdido (n) e a retransmissão de todos os quadros desde o n perdido. Com certeza esta abordagem nos leva a um melhor desempenho quando comparada com a primeira abordagem, uma vez que temos o conjunto de quadros sendo enviado pelo meio físico ao invés de apenas um quadro.

Finalmente, uma melhoria na técnica de *go-back-n* é possível e conhecida como retransmissão seletiva. Nesta abordagem, ao invés do envio do conjunto de quadros da posição n até o final da janela, somente aqueles quadros que tiveram reconhecimento negativo (nack) serão enviados novamente.

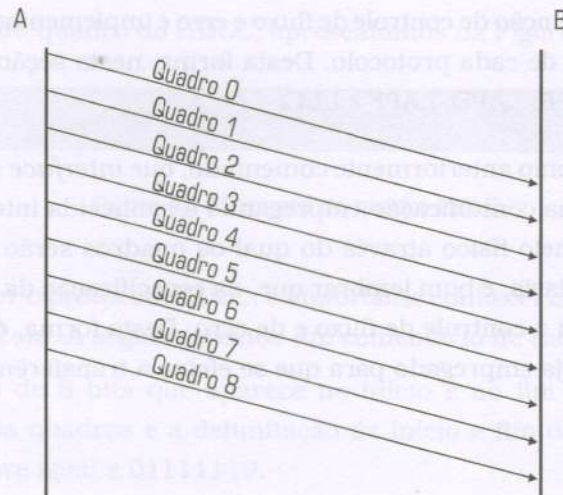


Figura 4.11 A abordagem go-back-n.

Protocolos de Enlace

Os protocolos de enlace foram idealizados para o envio dos dados como um conjunto de quadros de maneira síncrona entre um determinado remetente e um destinatário. Podemos imaginar que a camada de mais alto nível entrega solicitações de uma aplicação para a camada de enlace que organiza estas solicitações em um conjunto de quadros que serão transferidos de maneira confiável entre um remetente e um destinatário. Para atingir este objetivo, a camada de enlace acresce, aos dados da aplicação, informações suplementares para o controle dos quadros. Desta maneira, possibilita a geração de um mecanismo de controle entre remetente e destinatário. Quando os dados chegam ao destinatário, este efetua uma operação de controle nos quadros e os envia para as camadas superiores. A Figura 4.12 ilustra de maneira simplificada a operação de um protocolo de enlace.

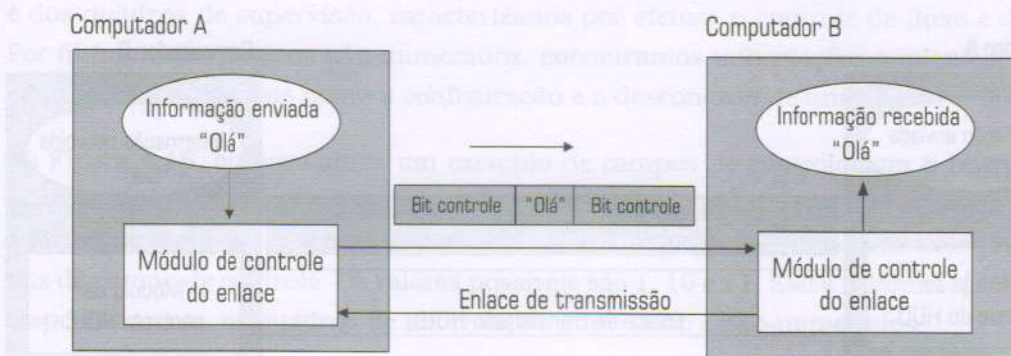


Figura 4.12 Exemplo básico de um protocolo de enlace.

A maneira pela qual a função de controle de fluxo e erro é implementada num determinado protocolo é particular de cada protocolo. Desta forma, nesta seção, vamos abordar os protocolos HDLC, LAPB, LAPD, LAPF e LLC.

Vale a pena lembrar, como anteriormente comentado, que *interface não é protocolo*. Um exemplo clássico é uma comunicação empregando a conhecida interface RS-232. A interface representa o meio físico através do qual os quadros serão enviados para uma determinada rede. Todavia, é bom lembrar que, na especificação da interface, não existe uma preocupação com o controle de fluxo e de erro. Desta forma, é necessário que um protocolo de enlace seja empregado para que se efetue a transferência dos quadros.

HDLC

O HDLC (*High-Level Data Link Control*) é um protocolo internacional definido pela ISO para comunicação de enlaces ponto-a-ponto e multiponto. O protocolo HDLC fornece suporte para ligações full-duplex e um modo de operação transparente. Por esta razão, o protocolo é bastante empregado em redes de comunicação e computadores.

NOTA

O protocolo HDLC algumas vezes é também conhecido por outros nomes. Exemplos são o SDLC (*Synchronous Data Link Control*) e o ADCCP (*Advanced Data Communication Control Procedure*). No caso do SDLC, este protocolo é o antecessor do HDLC empregado nos ambientes IBM. E o protocolo ADCCP é a forma de denominação utilizada pela ANSI (*American National Standards Institute*).

Na Figura 4.13, ilustramos o uso do protocolo HDLC nos ambientes ponto-a-ponto e multiponto. Nossa idéia é enfatizar sua característica de protocolo de enlace de propósito geral, onde os quadros enviados por uma estação primária são denominados de *comandos* e os quadros recebidos das estações secundárias são conhecidos como *respostas*.

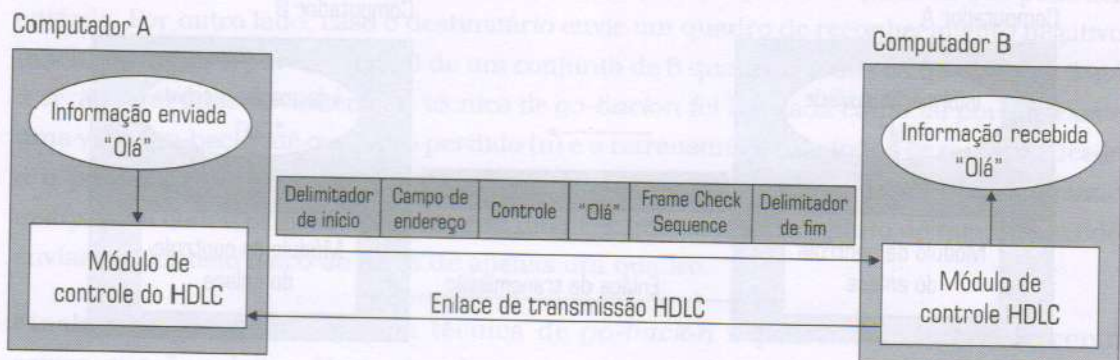


Figura 4.13 Exemplos de uso do HDLC.

Quanto ao formato do quadro do HDLC, apresentamos na Figura 4.14.

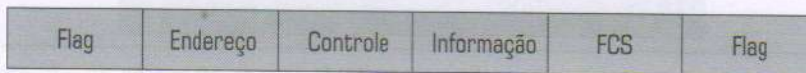


Figura 4.14 Formato do quadro HDLC.

Para melhor entender o protocolo HDLC, é importante conhecer a função de cada campo do quadro do protocolo. A seguir, faremos um comentário de cada campo.

- **Flag:** é o campo de 8 bits que aparece no início e no fim do quadro visando a sincronização dos quadros e a delimitação de início e fim de um quadro. O valor deste flag é sempre igual a 01111110.
- **Endereço:** composto de 8 bits, extensível até 16 bits, indica o endereço de uma estação secundária para a qual os quadros comandos estarão sendo enviados. Por outro lado, no caso de uma estação secundária estar enviando suas respostas, este endereço representa o endereço da estação primária.
- **Controle:** este campo de 8 bits (extensível, também, até 16 bits) indica a função e o propósito de cada quadro. No HDLC, temos três tipos de quadros, cada qual com seu campo de controle.
- **Informação:** este campo tem um tamanho variável de bits e contém a informação propriamente dita do usuário.
- **FCS (Frame Check Sequence):** este campo de 16 ou 32 bits contém o CRC (*Cyclic Redundancy Check*) empregado para detecção de erro.

O protocolo HDLC considera a existência de três classes de quadros, denominados de *informação (I)*, *supervisão (S)* e *não-numerados (U)*. Cada tipo de quadro no HDLC tem um campo de controle distinto. Desta forma, nos quadros de informação encontramos os dados de um usuário que devem ser enviados para uma determinada estação e, ainda, podem conter informações de controle de fluxo e erro. O segundo tipo de quadro é dos quadros de supervisão, caracterizados por efetuar o controle de fluxo e de erro. Por último, nos quadros não-numerados, encontramos informações suplementares de controle de enlace, tais como a configuração e a desconexão de um enlace.

Na Figura 4.15, apresentamos um exemplo de campos de controle com 8 bits para os quadros de (a) informação, (b) supervisão e (c) não-numerados. Nesta figura, apresentamos a forma de distinção de cada quadro através do uso do primeiro ou dos dois primeiros bits do campo de controle. Os valores possíveis são 1, 10 e 11. Estes valores representam, respectivamente, os quadros de informação, supervisão e não-numerados.

1	2	3	4	5	6	7	8
0	N(S)			P/F	N(R)		

(a) Quadro de Informação

1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	S		P/F	N(R)		

(b) Quadro de Supervisão

1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	M		P/F	M		

(c) Quadro Não-numerado

Figura 4.15 Formatos do campo de controle de quadros distintos.

Após a distinção inicial do quadro de controle através dos primeiros bits (como de informação, supervisão e não-numerado), temos nos demais bits os seguintes significados:

- N(S): número de sequência de envio.
- N(R): número de sequência de recebimento.
- S: bits de função de supervisão.
- P/F: P (poll) e F (final) são bits que aparecem nos três tipos de quadros e têm seu significado diferenciado pelo contexto utilizado. Num contexto onde os quadros são de comando, ou seja, quadros enviados pela estação primária, o valor P é configurado para 1 para solicitar um quadro resposta de uma estação secundária. Nos quadros de resposta, o valor é referenciado como F, e é configurado com o valor 1 como uma resposta a um quadro de comando.
- M: bits de funções não-numerados.

As fases de inicialização, transferência de quadros e desconexão caracterizam o funcionamento do protocolo HDLC entre duas estações quaisquer durante uma comunicação. Quadros de informação, supervisão e não-numerados são trocados durante estas fases. Em adição, apresentamos na Tabela 4.1 os comandos e respostas definidos pelo HDLC nas três fases de comunicação.

Tabela 4.1 Comandos e respostas padrões do HDLC.

Nome	Comando/Resposta	Descrição
Informação (I)	C/R	Troca dados de usuário.
Supervisão (S)	C/R	Reconhecimento positivo, pronto para recebimento.
Destinatário pronto (RR)		
Destinatário não-pronto (RNR)	C/R	Reconhecimento positivo, não está pronto para recebimento.
Rejeitado (REJ)	C/R	Reconhecimento negativo, go-back-n.
Rejeição Seletiva (SREJ)	C/R	Reconhecimento negativo, Rejeição seletiva.
Sem numeração (U)		Configuração de modo; estendido = sequência de números de 7 bits.
Modo de resposta	C	Término de conexão de enlace lógico normal/estendida (snrm/snrme).
Configurar para modo assíncrono/estendido (SARM/SARME)	C	Configuração de modo; estendido = sequência de números de 7 bits.
Configurar para modo assíncrono balanceado/estendido (SABM/SABME)	C	Configuração de modo; estendido = sequência de números de 7 bits.
Configuração de modo de inicialização (SDM)	C	Inicialização das funções de controle de enlace na estação endereçada.
Desconectar (Desc)	C	Término de conexão de enlace lógico.
Reconhecimento não-numerado (UA)	R	Aceite de reconhecimento de um dos comandos de configuração.
Modo de desconexão (DM)	C	Término de conexão de enlace código.
Modo de solicitação inicialização (RIM)	R	Necessidade de inicialização; solicitação para comando SIM.
Informação não-numerada (UI)	C/R	Usada para troca de informação de controle.
Solicitação não-numerada (UP)	C	Usada para solicitação de informação de controle.
Reset (R)	C	Usada para recuperação.
Troca de identificação	C/R	Usada para solicitação/relatório de estado.
Teste (test)	C/R	Troca de informação de campos idênticos para teste.
Rejeição de quadro	R	Relata o recebimento de quadro não esperado.

Vamos considerar um exemplo no qual duas estações desejam se comunicar empregando o protocolo HDLC. Desta forma, podemos imaginar o seguinte cenário:

1. Inicialização. Um dos dois lados pode solicitar o início de uma comunicação através de um comando set. Este comando visa a notificação de que um dos lados deseja se comunicar, qual a forma de comunicação desejada e quantos bits serão usados na numeração seqüencial. Quanto à forma de comunicação, esta pode ser caracterizada pelo nó primário sendo responsável pelo controle da comunicação e pela responsabilidade compartilhada no controle de comunicação entre os nós primário e secundário. A numeração seqüencial usada pode considerar 3 ou 7 bits dependendo do tamanho do campo de controle, ou seja, no caso de o campo ser de 8 bits, podemos usar apenas 3 bits para a numeração dos quadros. Por outro lado, no caso de quadros com campo de controle com 16 bits, podemos utilizar 7 bits para a numeração dos quadros.
2. Transferência de dados. Quando a inicialização é efetuada com sucesso, a próxima fase é a transferência de dados entre ambos os lados através dos quadros I (informação). Estes quadros devem ter um número seqüencial cujo valor inicial é 0. A numeração seqüencial pode variar de 8 até 128, dependendo do número de bits reservados no campo de controle. Caso o campo de controle tenha 3 bits, temos até oito números. Por outro lado, com 7 bits podemos ter 128 quadros numerados. Num quadro I, os campos N(S) e N(R) são responsáveis pelos mecanismos de controle de fluxo e controle de erro, respectivamente.
3. Desconexão. Cada ponta numa comunicação HDLC pode iniciar uma desconexão, por motivos normais ou por causa de alguma falha. A desconexão é efetuada através de um quadro Disconnect (Disc – veja a Tabela 4.1); a outra ponta envia um quadro não-numerado de reconhecimento (UA – veja a Tabela 4.1).

LAPB

O protocolo LAPB (*Link Access Procedure, Balanced*), também conhecido como protocolo de acesso versão B, é um subconjunto do protocolo HDLC. Este protocolo é empregado para o controle de quadros de informação em termos de enlace de dados, em redes full-duplex ponto-a-ponto, na conexão entre um computador e uma rede pública (ou privada) de comutação de pacotes. Um exemplo da utilização deste protocolo é encontrado no padrão X-25 de comutação de pacotes (vamos estudar o padrão X-25 no final deste capítulo).

LAPD

O protocolo LAPD (*Link Access Procedure D Channel*) é o subconjunto do HDLC usado em redes digitais de serviços integrados (RDSI). Por este motivo, o protocolo é responsável pelo fluxo de controle dos quadros de informação associados com o canal D. Este canal

pode ser entendido como o canal lógico da interface do usuário RDSI. Algumas distinções deste protocolo em relação ao HDLC são:

- Uso 7 bits nos números de sequência dos quadros. O HDLC permite que campos de 3 ou 7 bits sejam usados para numeração sequencial dos quadros.
- O campo FCS (*Frame Check Sequence*) no LAPD é sempre o CRC de 16 bits.
- O campo de endereço é composto por 16 bits que contém dois subendereços. O primeiro é usado para identificar um dos possíveis dispositivos do lado da interface do usuário. O outro endereço é utilizado para identificar um dos possíveis múltiplos usuários lógicos do LAPD.

LAPF

O protocolo LAPF (*Link Access Procedure Frame Relay*) fornece o serviço de controle de enlace nas redes Frame Relay. As diferenças entre o protocolo LAPF e o HDLC são:

- Uso 7 bits nos números de sequência dos quadros. O HDLC permite que campos de 3 ou 7 bits sejam usados para numeração sequencial dos quadros.
- O campo FCS (*Frame Check Sequence*) no LAPD é sempre o CRC de 16 bits.
- O campo de endereço é caracterizado por dois, três e quatro octetos contendo 10, 16 ou 23 bits DLCI (*Data Link Connection Identifier*).

LAPM

O protocolo LAPM (*Link Access Procedure Modems*) é o protocolo usado para correção de modems, como por exemplo aqueles que seguem a especificação V.32. Estes modems aceitam dados assíncronos oriundos de um DTE (*Data Terminal Equipment*), como por exemplo um computador. Todavia, os modems V.32 efetuam a transmissão dos dados em quadros usando uma abordagem de transmissão orientada a bits síncronos e um protocolo cujo controle de erro seja semelhante ao HDLC.

LLC

O protocolo LLC (*Logical Link Control*) é uma derivação do HDLC para Redes Locais (LANs). Vamos discutir com mais detalhes o LLC no capítulo de Redes Locais e Metropolitanas (MANs).

Outros Protocolos de Enlace

A seguir, apresentamos um conjunto de protocolos de enlace visando enriquecer o conhecimento do leitor sobre estes protocolos.

- 2740 Asynchronous Control: antigo protocolo de enlace usado em terminais IBM 2740, cuja característica era o uso da técnica de transmissão assíncrona half-duplex.
- XMODEM: é considerado o mais empregado protocolo assíncrono de enlace no mundo. Desenvolvido por Ward Christensen, algumas vezes é denominado de protocolo de Christensen. O protocolo XMODEM é encontrado em muitos dos produtos de comunicação vendidos para computadores pessoais. O XMODEM é um protocolo que adota o mecanismo stop-and-wait.
- Kermit: protocolo assíncrono, desenvolvido na Universidade de Columbia (por Frank Cruz e Bill Catchings), para a transferência de dados de modo transparente e independente dos sistemas operacionais envolvidos na operação. De forma similar ao protocolo XMODEM, o protocolo Kermit é um protocolo orientado ao paradigma de stop-and-wait. Desta forma, este protocolo é interessante para ser utilizado na comunicação entre computadores pessoais e em ambientes com uma baixa taxa de transferência de dados, como por exemplo aqueles que empregam modems.
- BSC (Binary Synchronous Communications Control): protocolo de enlace da IBM mais utilizado no mundo nos anos 80, também chamado de *bisync*. Por esta razão, vários fabricantes ofereciam produtos compatíveis com o BSC ou pacotes de software que faziam emulação do BSC. O protocolo opera com os códigos EBCDIC, ASCII ou Transcode. O BSC provê uma comunicação na forma half-duplex, na qual a transmissão é efetuada entre dois nós somente em um sentido por vez.
- SDLC (Synchronous Data Link Control): é o protocolo de enlace da IBM para transmissões síncronas orientadas a bit e empregando o mecanismo go-back-n. O protocolo SDLC é muito similar ao protocolo HDLC. Uma das facilidades oferecidas pelo protocolo é o controle de uma linha simples configurada como ponto-a-ponto, multiponto ou loop. O protocolo pode operar em ambientes half-duplex, duplex, comutados ou linhas privadas. Quando considerando o uso do ambiente duplex, o protocolo permite a operação multiponto. Esta operação de multiponto para o SDLC é caracterizada por permitir que uma transmissão seja efetuada por determinada estação, e, em paralelo, permite o recebimento de quadros de uma outra estação.

Redes de Comunicação

Nas seções que se precederam, estudamos sobre as funcionalidades e características dos protocolos de enlace e apresentamos alguns exemplos de implementação. Com o objetivo de uma melhor visualização da importância desses protocolos, nesta seção, vamos abordar as redes de comunicação.

As redes de comunicação são os ambientes geograficamente distribuídos, responsáveis pela transmissão transparente da voz, imagem, vídeo e dados (numérico e texto). Em outras palavras, podemos dizer que as redes de comunicação se preocupam com a comutação dos dados sem a preocupação com o conteúdo dos mesmos.

NOTA

O termo dados ao longo deste livro será empregado de forma mais geral. Em outras palavras, o termo compreende voz, imagem, vídeo e dados (numérico, gráfico e texto).

NOTA

As redes de comunicação são, geralmente, representadas como as nuvens de ligação entre os ambientes de redes de computadores. Como discutimos no Capítulo 2, é importante que saibamos como é efetuada a operação de comutação no interior da nuvem.

Na Figura 4.16, apresentamos uma rede de comunicação comutada na qual é ilustrada a ligação de várias estações conectadas à rede. O interior da nuvem é composto por módulos de comutação, denominados de nós de comutação, cada qual interligado por um enlace de transmissão. A operação de comutação pode ser efetuada de forma distinta, dependendo do pacote de software de comutação utilizado.

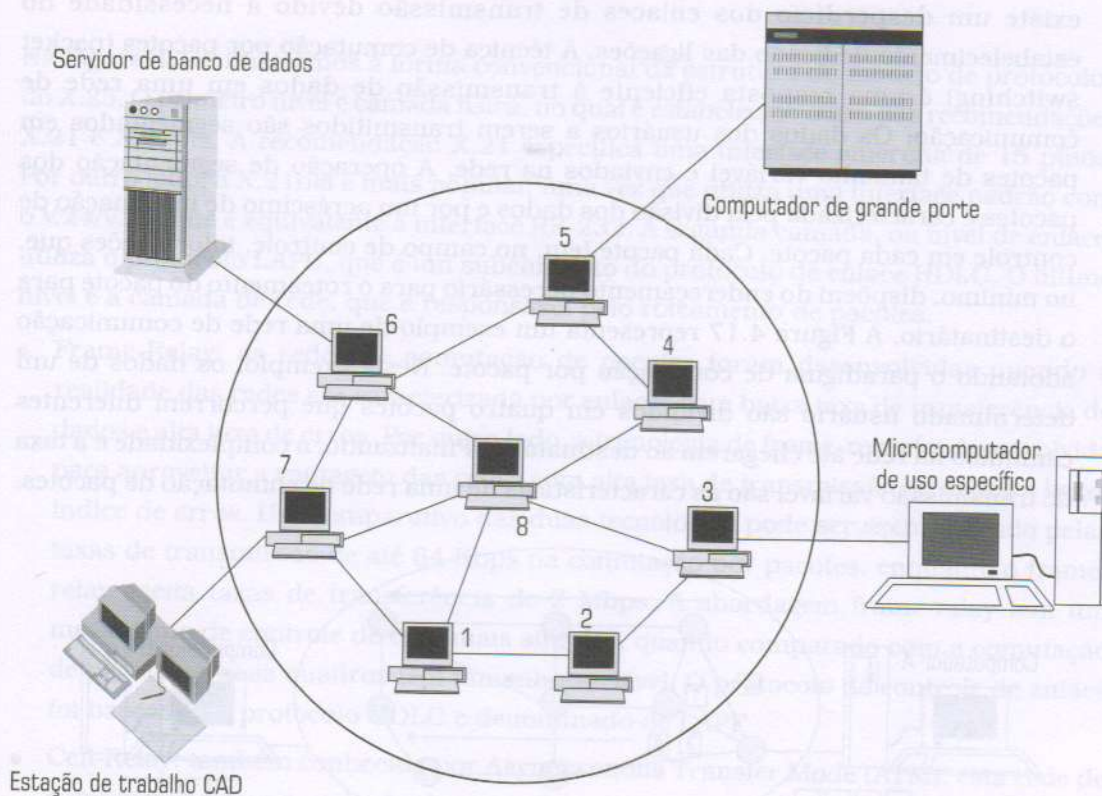


Figura 4.16 Exemplo de uma rede de comunicação comutada.

Quanto aos mecanismos empregados nos pacotes de comutação, podemos dizer que existe um espectro de opções que varia de acordo com a complexidade e a taxa (fixa ou variável) de transmissão de bits. Exemplos de técnicas de comutação utilizadas nas redes de comunicação são:

- Comutação por circuitos (Circuit Switching): um exemplo clássico desta técnica é a rede telefônica, posto que para que uma transmissão seja efetuada é preciso que um canal dedicado faça a interconexão entre o remetente e o destinatário. Três operações caracterizam o procedimento de funcionamento de um ambiente de circuit switching: o estabelecimento do circuito, a transferência de dados e o fechamento do circuito. Os tipos de dados transferidos podem ser tanto analógicos como digitais. No primeiro caso, temos a ligação telefônica entre duas pessoas na qual a voz representa os dados transferidos. Por outro lado, no caso da transmissão digital, podemos considerar o caso de acesso de um computador a outro utilizando a rede. Quando a Figura 4.16 representar uma rede de comunicação do tipo de comutação por circuitos, a simplicidade e a taxa fixa de transmissão de bits serão as características típicas da rede.
- Comutação por pacotes (Packet Switching): a utilização das redes de comunicação com a abordagem de comutação de circuitos é razoável para a aplicação de transporte de voz. Todavia, quando os dados a serem transmitidos representam não só a voz, existe um desperdício dos enlaces de transmissão devido à necessidade do estabelecimento dedicado das ligações. A técnica de comutação por pacotes (packet switching) é uma resposta eficiente à transmissão de dados em uma rede de comunicação. Os dados dos usuários a serem transmitidos são segmentados em pacotes de tamanho variável e enviados na rede. A operação de segmentação dos pacotes é caracterizada pela divisão dos dados e por um acréscimo de informação de controle em cada pacote. Cada pacote tem, no campo de controle, informações que, no mínimo, dispõem do endereçamento necessário para o roteamento do pacote para o destinatário. A Figura 4.17 representa um exemplo de uma rede de comunicação adotando o paradigma de comutação por pacote. Neste exemplo, os dados de um determinado usuário são divididos em quatro pacotes que percorrem diferentes caminhos na rede até chegarem ao destinatário. Finalizando, a complexidade e a taxa de transmissão variável são as características de uma rede de comutação de pacotes.

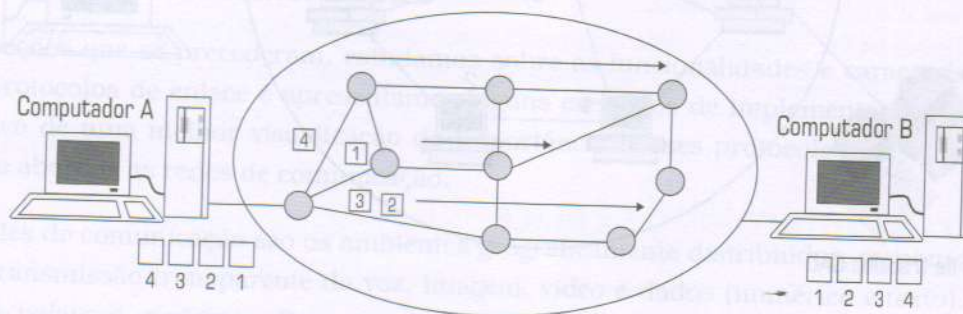


Figura 4.17 Rede de comutação por pacotes.

Um exemplo clássico de rede de comutação de pacotes é o sistema de pacote X.25. O padrão X.25 faz parte da coleção de recomendações do ITU, denominada de X, para redes públicas de dados. O padrão descreve três níveis funcionais apresentados na Figura 4.18.

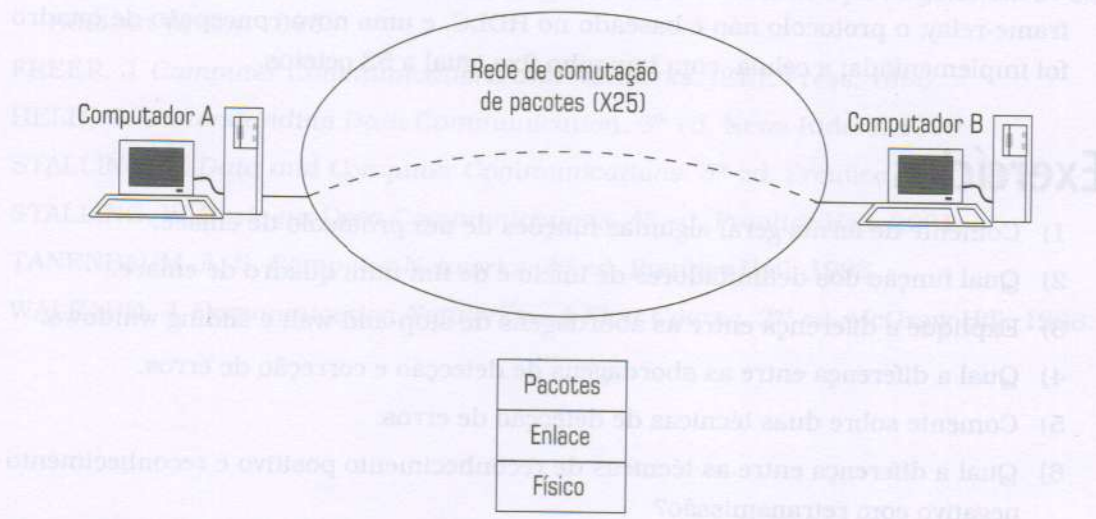


Figura 4.18 Os níveis funcionais do X.25.

Na Figura 4.18, ilustramos a forma convencional da estrutura do modelo de protocolos do X.25. O primeiro nível é camada física, no qual é estabelecido o uso das recomendações X.21 e X.21bis. A recomendação X.21 especifica uma interface síncrona de 15 pinos. Por outro lado, a X.21bis é mais popular, uma vez que utiliza uma interface padrão com o V.24/V.28, que é equivalente à interface RS-232. A segunda camada, ou nível de enlace, utiliza o protocolo LAPB, que é um subconjunto do protocolo de enlace HDLC. O último nível é a camada de rede, que é responsável pelo roteamento de pacotes.

- **Frame-Relay:** as redes de comutação de pacotes foram desenvolvidas quando a realidade das redes era caracterizada por enlaces com baixa taxa de transferência de dados e alta taxa de erros. Por outro lado, a tecnologia de frame-relay foi desenvolvida para aproveitar a vantagem das redes com alta taxa de transmissão de dados e baixo índice de erros. Um comparativo das duas tecnologias pode ser exemplificado pelas taxas de transmissão de até 64 Kbps na comutação por pacotes, enquanto o frame-relay aceita taxas de transferência de 2 Mbps. A abordagem frame-relay tem um mecanismo de controle de erro mais simples, quando comparado com a comutação de pacotes, e seus quadros têm tamanho variável. O protocolo de controle de enlace foi baseado no protocolo HDLC e denominado de LAPF
- **Cell-Relay:** também conhecida por Asynchronous Transfer Mode (ATM), esta rede de comunicação é uma evolução das tecnologias de redes de circuitos comutados e rede de pacotes. Utiliza quadros denominados de células, as quais têm tamanho fixo. Por este motivo, existe um menor retardo de processamento das células quando

comparadas com os quadros do frame-relay. As taxas de transmissão nas redes de comunicação baseadas no mecanismo de cell-relay podem atingir até centenas de Mbps. Outra facilidade encontrada nas redes cell-relay é a possibilidade de definição de canais virtuais com taxas de transferência dinamicamente alocadas. Diferente do frame-relay, o protocolo não é baseado no HDLC, e uma nova concepção de quadro foi implementada: a célula, com tamanho fixo igual a 53 octetos.

Exercícios

- 1) Comente de forma geral algumas funções de um protocolo de enlace.
- 2) Qual função dos delimitadores de início e de fim num quadro de enlace.
- 3) Explique a diferença entre as abordagens de stop-and-wait e sliding windows.
- 4) Qual a diferença entre as abordagens de detecção e correção de erros.
- 5) Comente sobre duas técnicas de detecção de erros.
- 6) Qual a diferença entre as técnicas de reconhecimento positivo e reconhecimento negativo com retransmissão?
- 7) Explique de forma detalhada a diferença entre as formas stop-and-wait, go-back-n e retransmissão seletiva de correção de erros.
- 8) Comente sobre as principais características do protocolo HDLC.
- 9) Considerando um quadro HDLC, explique a função de cada campo.
- 10) Apresente três exemplos de protocolos de enlace e explique em quais ambientes estes protocolos são empregados.
- 11) Faça uma comparação funcional entre as redes de comunicação orientadas à comutação de circuitos, pacotes, frame-relay e cell-relay.

Referências

Neste capítulo, abordamos a forma pela qual efetivamente ocorre a transmissão dos dados entre um determinado remetente e seu destinatário. Os protocolos de enlace são os responsáveis pelo sucesso na transmissão dos dados, através da detecção e correção de possíveis erros. Em adição, apresentamos algumas redes de comunicação visando construir uma ponte de ligação entre as redes de comunicação e as redes de computadores. Nossa recomendação de leitura complementar sobre o assunto pode ser encontrada em Back (1993), Halsall (1996), Held (1999) e Stalling (1997, 2001).

Bibliografia

- BLACK, U. *Data Communications and Distributed Networks*. 3rd ed. Prentice Hall, 1993.
- HALSALL, F. *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*. 4th ed. Addison Wesley, 1996.
- FREER, J. *Computer Communications and Networks*. IEEE Press, 1996.
- HELD, G. *Understanding Data Communication*. 6th ed. News Riders, 1999.
- STALLING, W. *Data and Computer Communications*. 5th ed. Prentice Hall, 1997.
- STALLING, W. *Business Data Communications*. 4th ed. Prentice Hall, 2001.
- TANENBAUM, A. S. *Computer Networks*. 3rd ed. Prentice Hall, 1996.
- WALRAND, J. *Communication Networks – A First Course*. 2nd ed. McGraw Hill, 1998.

Referência e Arquiteturas
de Protocolos

