

Curso de Tecnologia em Redes de Computadores
Disciplina: Redes I – Fundamentos - 1º Período
Professor: José Maurício S. Pinheiro

Material de Apoio VI

PROTOCOLOS DE JANELAS DESLIZANTES

Protocolos de Janelas Deslizantes ou *Sliding Windows* são recursos usados na camada de enlace de dados do modelo OSI, bem como no protocolo TCP (equivalente à camada de transporte do modelo OSI). Janela deslizante é uma característica de alguns protocolos que permite que o remetente transmita mais que um pacote de dados antes de receber uma confirmação. Depois de receber a confirmação para o primeiro pacote enviado, o remetente desliza a janela e manda outra confirmação. O número de pacotes transmitidos sem confirmação é conhecido como o tamanho da janela; aumentando o tamanho da janela melhora-se a vazão.

1. Por que Janelas Deslizantes?

Em sistemas distribuídos, supõe-se que uma mensagem enviada por um nó chegue integralmente ao seu destino, e que a ordem dos pacotes de informação é preservada entre os dois nós num meio de comunicação ideal. Entretanto, perdas de pacotes e erros de comunicação ocorrem no meio de comunicação real.

Contudo, protocolos que enviam um frame e aguardam sua confirmação são ineficientes do ponto de vista de um canal real de comunicação. Com o uso de um sistema de janelas deslizantes esse problema pode ser contornado. O emissor mantém uma janela de transmissão dos frames enviados mas, ainda, não confirmados. Assim, é possível ao transmissor enviar um número maior de frames enquanto aguarda a confirmação do receptor. Essa técnica de retardar temporariamente as confirmações e enviá-las junto com o próximo quadro de dados é conhecida pelo nome de *piggybacking* (superposição).

À medida que o receptor recebe os frames, envia para o emissor a confirmação até qual frame recebeu corretamente. Com base nas informações recebidas do receptor, o emissor desloca a janela de envio os frames já confirmados e transmite novos frames. Entretanto, o emissor deve manter um controle de *timeout* para cada frame transmitido. Esse *timeout* define o limite de tempo em que a confirmação deve chegar do receptor. Se a confirmação não chegar dentro desse tempo, o emissor assume que o frame não foi enviado ou não chegou ao seu destino.

2. TCP e Janelas Deslizantes

O TCP é um protocolo orientado à conexão que permite a entrega sem erros de um fluxo de bytes originados de uma determinada máquina para qualquer outra máquina da inter-rede. Esse protocolo atua na camada de transporte oferecendo um serviço de transferência de bytes fim a fim, de modo confiável, em uma inter-rede não-confiável. O TCP fragmenta o fluxo de entrada em mensagens e passa cada uma delas para a camada de redes. No destino, o TCP remonta as mensagens recebidas gerando o fluxo de saída. O TCP foi definido na RFC 1122.

O protocolo TCP define um cabeçalho para suas mensagens composto dos seguintes campos:

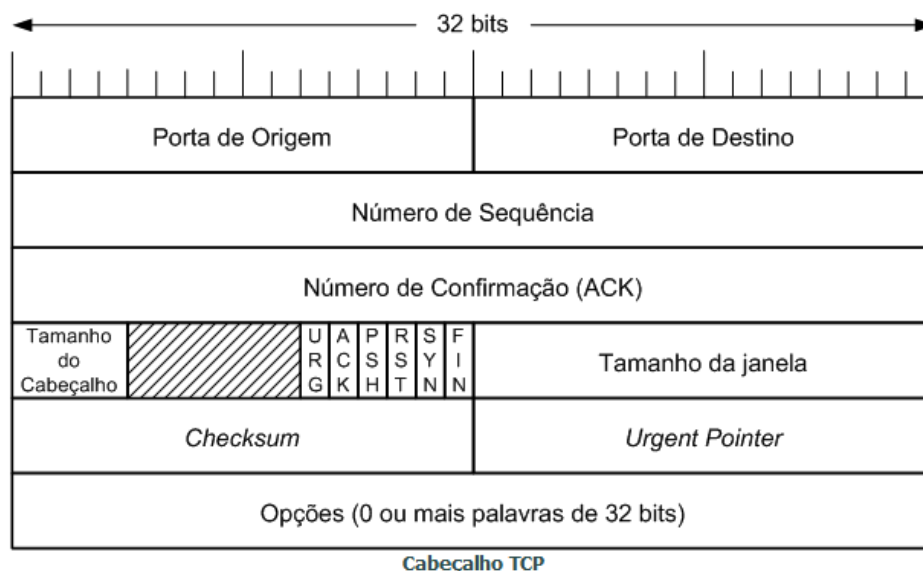


Figura 1 - Estrutura do cabeçalho TCP

- **Porta de Origem e Porta de Destino** – identificam os pontos terminais locais da conexão;
- **Número de Sequência** – Identifica o fragmento dentro de todo o fluxo gerado;
- **Numero de Confirmação** – Indica qual o próximo byte esperado;
- **Tamanho do Cabeçalho** – Informa quantas palavras de 32 bits compõem o cabeçalho TCP;
- **URG** – Indica a utilização do urgent pointer;
- **ACK** – É utilizado para indicar que este segmento é um ACK e que o campo Número de Confirmação deve ser interpretado;
- **PSH** – Indica que este segmento não deve ser enfileirado como todos os outros, mas sim posto à frente na fila;

- **RST** – É utilizado para reiniciar uma conexão que tenha ficado confusa devido a falhas no host ou por qualquer outra razão;
- **SYN** – Este bit é utilizado para indicar um pedido de conexão e a confirmação da conexão;
- **FIN** – Utilizado para indicar que o emissor não possui mais dados para enviar e deseja finalizar a conexão;
- **Tamanho da Janela** – Indica quantos bytes podem ser enviados a partir do byte confirmado. Este campo é utilizado no controle de fluxo do TCP;
- **Checksum** – Indicador de integridade do segmento;
- **Urgent Pointer** – Indica um deslocamento de bytes a partir do número de sequência atual em que os dados urgentes devem ser encontrados;
- **Opções** – Projetado para que o TCP possa oferecer recursos extras que não foram previstos em seu protocolo;

O TCP realiza o controle de fluxo utilizando os dados dos campos Número de Seqüência, Número de Confirmação e Tamanho da Janela. O controle de fluxo no TCP pode utilizar uma janela de tamanho fixo ou uma janela deslizante. O campo Tamanho da Janela indica, em tempo real, o número máximo de bytes sem confirmação que podem ser enviados. Com a utilização de janelas, um emissor só poderá enviar o número de bytes, previsto na janela, antes de receber alguma confirmação.

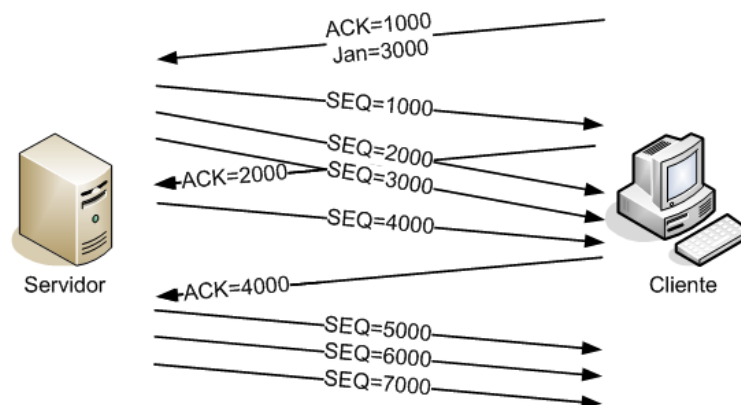


Figura 2 - Controle de fluxo com janela fixa

Na Figura 2 temos um controle de fluxo com janela fixa onde:

- O Cliente solicita o envio de pacotes de 1000 bytes dentro do tamanho da janela (3000 bytes);
- O servidor enviar três pacotes, mas o primeiro chega mais rápido e os dois últimos demoram um tempo maior;

- O cliente recebe o pacote de seqüência 1000, envia a confirmação (ACK) e solicita o próximo (2000);
- O servidor recebe esse ACK e verifica que enviou 3000 bytes, mas só 1000 foram confirmados, ou seja, 2000 bytes não confirmados e 1000 de espaço livre. Então ele envia mais 1000 bytes.
- O cliente recebe os pacotes e confirma até o 4000 (ACK) e solicita o seguinte;
- O servidor envia mais 3000 bytes.

No TCP, o protocolo da janela deslizante é usado para envio de arquivos de dimensão superior ao pacote (Max \approx 64KB). O emissor numera cada pacote, guardando os números do último pacote enviado e reconhecido. Para cada pacote enviado, a largura da janela aumenta. Se a distância for superior à largura da janela, o emissor suspende o envio de pacotes.

A solução consiste no envio e recebimento do sinal de ACK (*Acknowledge*), sinal eletrônico de reconhecimento usado em transmissões de dados para informar o status de recebimento dos pacotes. O emissor envia um número de pacotes w que representa o tamanho da janela, ou seja, o número de pacotes que podem ser enviados sem qualquer ACK do receptor. O tamanho de janela é conhecido tanto pelo emissor como pelo receptor, até porque este último tem de reservar inicialmente um *buffer* com capacidade para os w pacotes que espera receber.

Como se trata de um *buffer* finito sempre existe a probabilidade de este atingir sua capacidade máxima, com consequente “estouro” e perda de dados. Para evitar esta situação o receptor deve informar ao emissor o estado do seu *buffer* através de um mecanismo de controle de fluxo conhecido por *stop & wait*.

- O emissor envia um pacote de cada vez, e espera pela confirmação (ACK) do receptor; só após essa confirmação é que pode enviar outro pacote;
- O receptor só envia o ACK ao emissor se possui espaço suficiente no *buffer* de recepção.

Para garantir o funcionamento do mecanismo das janelas deslizantes, tanto os pacotes enviados como os ACK são numerados de 0 a w , isto evita que o receptor tenha de enviar ACK individuais para todos os pacotes. Quando um pacote é enviado, o transmissor aciona um temporizador e quando esse pacote chega ao destino, o TCP receptor retorna um segmento com um número de confirmação igual ao próximo número de seqüência que espera receber. O transmissor cria uma espécie de tabela, onde cada posição é uma janela, em que são gravadas todas as mensagens que foram enviadas.

Por exemplo, se o receptor envia ACK-8 quer dizer que já retirou do *buffer* todos os pacotes até o 8º pacote; nesta situação o emissor sabe que pode manter sem ACK os w pacotes depois do pacote de número 8 (PAC-8). Se o temporizador do transmissor expirar antes de a confirmação ser recebida, o segmento será retransmitido.

A principal vantagem dessa técnica de superposição em relação ao envio de quadros de confirmação distintos é a melhor utilização da largura de banda disponível para o canal. O campo ACK do cabeçalho de quadro precisa de apenas alguns bits, enquanto um quadro separado precisaria de um cabeçalho, da confirmação e de um total de verificação. Além disso, um número menor de quadros enviados significa menor quantidade de interrupções de "chegada de quadro", e menor quantidade de *buffers* no receptor, dependendo da forma como o software do receptor está organizado.

Com o controle por janelas deslizantes, o tamanho da janela irá variar ao longo da transmissão. Ao iniciar uma conexão a janela começa pequena e aumenta gradativamente até que ocorram erros ou o destinatário seja sobrecarregado. Ao serem detectados erros, a janela diminui e após um tempo o tamanho da janela começa a aumentar novamente. Caso o destinatário perceba uma sobrecarga, no próximo ACK enviado por ele haverá um novo tamanho de janela, o qual ele acredita ser apropriado para sua recuperação. Caso seja enviado um valor igual à zero o destinatário está informando que não possui condições de processar mais dados e a comunicação estará suspensa até que o remetente receba um tamanho de janela diferente de zero.

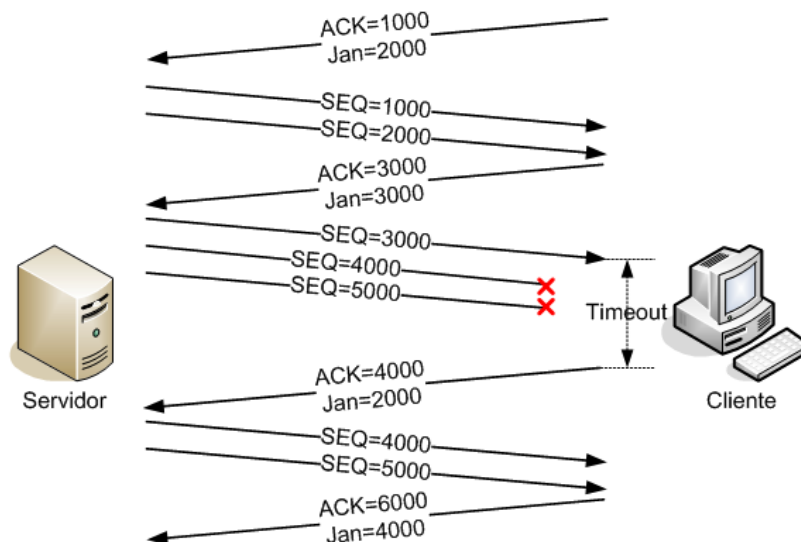


Figura 3 - Controle de fluxo com janela deslizante

Na Figura 3 temos um controle de fluxo com janela deslizante onde:

- A transmissão se inicia com uma janela de 2000 bytes
- A seguir, a janela é incrementada para 3000 bytes;
- O servidor envia os pacotes na seqüência;
- Ocorre *timeout* e o cliente solicita a redução do tamanho da janela para 2000;
- Como os demais pacotes chegam sem problemas, o cliente solicita o aumento da janela para 4000 bytes.

Nas transmissões com controle de fluxo, temos uma janela de duração variável, a qual permite que um remetente possa transmitir determinado número de unidades de dados antes que uma confirmação seja recebida ou que um evento especificado ocorra. O objetivo da janela deslizante é aumentar a taxa de transferência de pacotes melhorando a utilização do meio de transmissão. Em virtude desse comportamento, o tempo de um *download* é variável, pois o número de bytes transmitidos é variável. Por esse motivo, o início do download se dá com uma taxa de transferência baixa, que aumenta aos poucos e varia no decorrer do processo.

3. Janelas Deslizantes

Os Protocolos de janelas deslizantes são usados para a entrega confiável e ordenada de mensagens. Trata-se de protocolos orientados a conexão (primeiro garante que a conexão está ativa, para depois iniciar o envio das mensagens) que garantem que todas as mensagens enviadas serão entregues aos destinatários integralmente e na ordem correta de envio.

Uma das principais características das janelas deslizantes é que o transmissor mantém um conjunto de números de seqüência que indicam os quadros, reunidos na janela de transmissão, que este pode enviar (janela de transmissão). O receptor também possui um conjunto de números de seqüência que correspondem aos quadros que espera receber (janela de recepção).

O protocolo prevê o controle de fluxo dos quadros enviados e recebidos de uma estação para outra. Cada quadro enviado contém um número de seqüência, que varia de 0 a um valor máximo. O valor máximo, geralmente vai até $2^n - 1$, de forma que o número possa caber em um campo de n bits. Da mesma forma, o receptor mantém uma janela de recepção correspondente aos dados aptos a serem aceitos.

3.1. Tipos de Protocolos de Janelas Deslizantes

A essência de todos os protocolos de janelas deslizantes é o fato de que, em qualquer instante, o transmissor mantém um conjunto de números de seqüência correspondentes a quadros que ele pode enviar. Os protocolos seguintes são bidirecionais e pertencem à classe de protocolos de janelas deslizantes. Os três apresentam diferenças em termos de eficiência, complexidade e requisitos de *buffer*.

3.2. Janela Deslizante de Um Bit ou “*stop-and-wait*”

O protocolo de janela deslizante *stop-and-wait* utiliza $n = 1$, restringindo os números de seqüência a 0 e 1. Este protocolo é assim chamado porque o tamanho máximo da janela é de um bit, ou seja, só são aceitos os valores 0 ou 1. Ele envia um quadro e aguarda a confirmação para enviar o seguinte. Versões mais sofisticadas podem usar um valor arbitrário de n .

Outra característica é que não há combinação de erros no pacote ou por estouro de tempo que resultem na duplicação ou chegada de pacotes fora de ordem para a camada de rede.

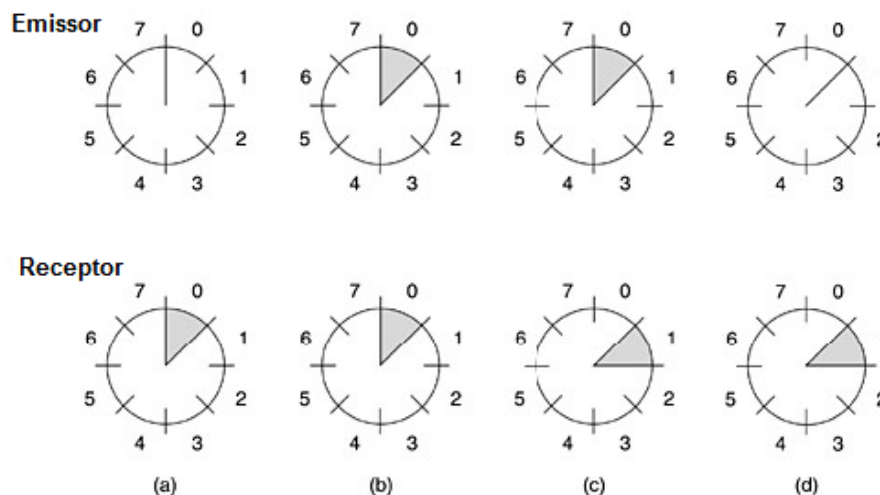


Figura 4 - Janela Deslizante de Um Bit

A Figura 4 mostra um exemplo de janela deslizante de tamanho máximo igual a 1 bit, com um número de seqüência de 3 bits. Inicialmente, não há quadros pendentes e a borda inferior e superior da janela do transmissor são iguais, mas, à medida que o tempo passa, a situação se desenvolve da maneira mostrada: Em (a) a condição inicial. Em (b) depois que o primeiro quadro é enviado. Em (c) depois que o primeiro quadro é recebido. Em (d) depois que a primeira confirmação é recebida.

3.3. Janela Deslizante Volte a N ou “go back n”

O protocolo de janela deslizante de um bit possui um problema de desempenho, visto que o canal de comunicação fica ocioso enquanto não chegar uma confirmação do receptor. Para tal situação, o protocolo de “volte a n” possibilita o transmissor enviar n quadros antes que o primeiro seja confirmado. Este valor será proporcional ao tempo em que se podem enviar quadros completos antes que a janela fique esgotada.

Neste protocolo, todos os quadros enviados, após um quadro com erro, serão descartados. O receptor simplesmente descarta todos os quadros subseqüentes ao erro e não envia qualquer confirmação desses quadros descartados. Essa estratégia corresponde a uma janela de recepção de tamanho 1. Em outras palavras, a camada de enlace de dados se recusa a aceitar qualquer quadro, exceto o próximo quadro que ela tem de entregar à camada de rede.

Se a janela do transmissor for totalmente preenchida antes do timer encerrar a contagem, o buffer começará a se esvaziar. Conseqüentemente, o transmissor interromperá a transmissão e retransmitirá todos os quadros não confirmados em ordem, começando pelo quadro danificado ou perdido. Convém salientar que essa abordagem poderá desperdiçar uma grande quantidade de largura de banda se a taxa de erros do canal for alta.

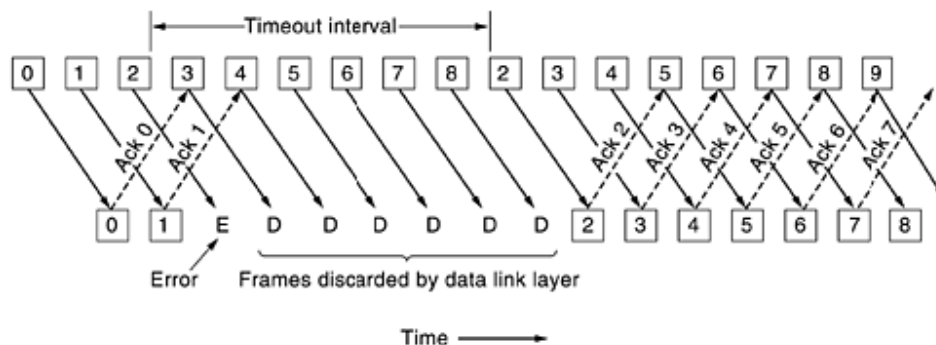


Figura 5 - Janela Deslizante Volte a N

Na Figura 5 temos o caso em que a janela do receptor é grande. Os quadros 0 e 1 são corretamente recebidos e confirmados. Porém, o quadro 2 está danificado ou perdido. O transmissor, desavisado desse problema, continua a enviar quadros até expirar o temporizador correspondente ao quadro 2. Em seguida, ele volta até o quadro 2 e começa tudo de novo a partir dele, enviando mais uma vez os quadros 2, 3, 4 etc.

3.4. Janela Deslizante com Retransmissão Seletiva ou “*selective repeat*”

Uma estratégia para lidar com os erros é permitir que o receptor aceite e armazene os quadros subseqüentes a um quadro danificado ou perdido. O protocolo com retransmissão seletiva não descarta quadros apenas porque um quadro anterior foi danificado ou perdido.

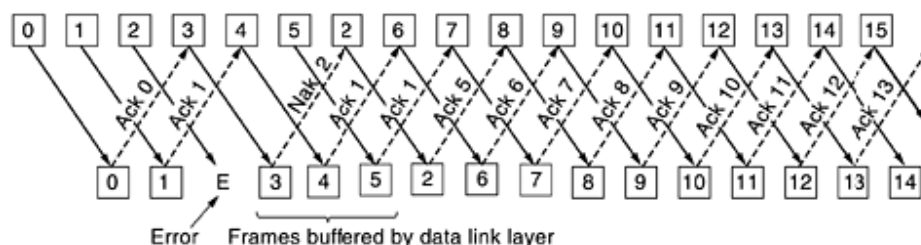


Figura 6 - Janela Deslizante com Retransmissão Seletiva

Na Figura 6, os quadros 0 e 1 são recebidos e confirmados corretamente, e o quadro 2 é perdido. Quando o quadro 3 chega ao receptor, a camada de enlace de dados do receptor percebe que perdeu um quadro e envia de volta um NAK (*No Acknowledge*), correspondente ao quadro 2, mas armazena no *buffer* o quadro 3. Quando os quadros 4 e 5 chegam, eles também são inseridos no *buffer* pela camada de enlace de dados, em vez de serem repassados à camada de rede.

Eventualmente, o NAK do quadro 2 volta ao transmissor, que retransmite de imediato o quadro 2 (na realidade, o NAK acelera a retransmissão de um quadro específico). Quando esse quadro chega, a camada de enlace de dados fica com os quadros 2, 3, 4 e 5, e pode repassar todos à camada de rede na ordem correta. Ela também pode confirmar todos os quadros até o quadro 5, inclusive, como mostra a figura. Se o NAK se perder, o transmissor chegará ao *timeout* correspondente ao quadro 2 e o enviará (e apenas esse quadro) por sua própria iniciativa, mas isso pode acontecer um pouco mais tarde.

4. Colisão em Redes Ethernet

A Ethernet utiliza o *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* (CSMA/CD) como método de controle de acesso ao meio. Quando uma estação deseja fazer uma transmissão, ouve o canal de comunicação para verificar se há alguma outra estação transmitindo (Detecção de Portadora). Qualquer estação pode acessar a rede se ela não estiver ocupada (Acesso Múltiplo), mas, caso uma portadora seja percebida, a estação aguardará um intervalo aleatório de tempo e em seguida tentará novamente a transmissão do pacote.

Uma vez completada a transmissão do pacote, a estação permanecerá em silêncio por $9,6\ \mu\text{s}$ a fim de permitir o necessário *interframe gap* (Figura 7). Ao completar o *interframe gap* de $9,6\ \mu\text{s}$, a estação será capaz de reiniciar o processo de transmissão verificando se o meio se encontra disponível.

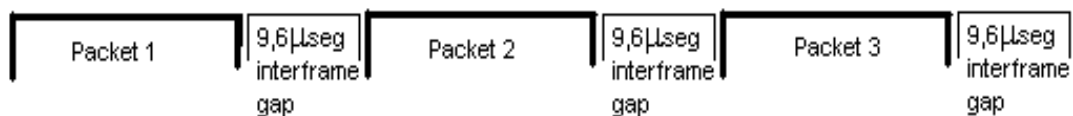


Figura 7 - Interframe gap

Na transmissão de um pacote, o sinal eletrônico leva um determinado tempo para ir de uma estação a outra na rede. A velocidade máxima, normalmente chamada de velocidade de propagação, é somente uma porcentagem da velocidade da luz. Cabeamento, equipamentos como *transceivers* e repetidores são elementos que adicionam retardos a um sinal Ethernet. Este tempo de retardo acumulado é chamado *retardo de propagação*. Devido a retardos de propagação é possível que duas estações encontrem o canal de comunicação disponível (portadora não detectada) quando ambas as estações começarem a transmitir pacotes. Quando os dois sinais se encontrarem no cabo, ocorrerá uma colisão.

É importante observar que, para que uma estação perceba que foi envolvida em uma colisão, ela ainda deve estar transmitindo no momento em que o sinal da colisão chegar à estação. Por esse motivo é que se define que o comprimento mínimo do pacote deve ser suficientemente longo, de forma que quando for atingido o tempo de retardo de propagação de ida e volta do sinal, a estação de transmissão ainda estará transmitindo. Detecta-se uma colisão em um meio multiponto pelos elevados níveis de sinal no barramento causados pela transmissão múltipla. Este tipo de detecção é chamado de *Detecção de Colisão no Modo de Recepção*.

Quando detectam uma colisão, ambas as estações continuam transmitindo o que se chama de sinal *jam*, por um tempo suficientemente longo na forma a garantir que a colisão seja detectada por todas as estações. O sinal *jam* contém 32 bits contendo uns e zeros intercalados (1010...1010). Em seguida, todas as estações envolvidas na colisão interrompem a transmissão e aguardam um período aleatório de tempo, conhecido como período de *back-off*, a fim de garantir oportunidade igual de acesso ao barramento e, em seguida, repetirão o processo de detecção de portadora e tentarão a transmissão. Caso ocorra nova colisão na segunda tentativa de transmissão, os dispositivos irão aguardar por um período aleatório de tempo, conforme definido pelo algoritmo de *back-off* de exponencial binário. Isto poderá ocorrer até 16 vezes antes que o erro seja enviado ao protocolo de camada superior notificando da ocorrência de um grave problema de comunicação.

Considerando que o tamanho mínimo de um pacote Ethernet é de 64 bytes (51,2 μ s), um pacote transmitido tem 25,6 μ s (1/2 de 51,2 μ s) para chegar ao final do domínio de colisão. Caso uma colisão ocorra no ponto mais distante, considerando-se uma rede de tamanho máximo, o sinal de colisão levaria mais 25,6 μ s para se propagar de volta à estação de transmissão utilizando assim o período total de 51,2 μ s de ida e volta. Observa-se que, se uma estação for capaz de transmitir um período de 51,2 μ s (comprimento mínimo de pacote) sem detectar uma colisão, a estação deve ter “adquirido o canal de comunicação”. Seu sinal deve ser o único sinal presente na rede e todas as outras estações devem detectar a portadora e ouvir no sentido de determinar a duração do sinal. Caso uma colisão seja detectada após a estação ter transmitido o tamanho mínimo de pacote necessário e caso esteja ainda transmitindo, ocorrerá uma colisão fora da janela, ou seja, a estação transmitiu por um período de 51,2 μ s sem uma colisão, mas detecta uma colisão após os 51,2 μ s.

Colisões ocorridas fora da janela indicam operação anormal da rede. Este tipo de colisão é normalmente causado pelo fato da rede ser demasiadamente longa onde o retardo de propagação da viagem de ida e volta é maior que 51,2 μ s (domínio de colisão muito grande), ou por uma estação violando o Detector de Portadora e transmitindo livremente, ou por um segmento físico (cabo de rede) ter falhado durante a transmissão do pacote.

Exercícios

- 1. Qual o objetivo do Protocolo de janela Deslizante?**
- 2. O protocolo da janela deslizante**
 - (A) só pode garantir eficiência de 100% em ligações full-duplex.
 - (B) numera os pacotes desde um até ao tamanho da janela.
 - (C) pode ser usado em ligações simplex.
 - (D) é usado para controle de erros, mas não para controle de fluxo.
 - (E) não pode ser usado em ligações half-duplex.
- 3. Qual o problema de desempenho que encontramos no protocolo de Janela Deslizante de 1 bit?**
- 4. Qual o propósito do uso do Protocolo de Janela Deslizante no TCP?**
- 5. Quais são as três implementações possíveis para os Protocolos de Janelas Deslizantes?**
- 6. O que é o Retardo de propagação?**
- 7. Quais as possíveis causas de colisão fora da janela em redes Ethernet?**