

CAPÍTULO 5

Protocolos Básicos da Camada de Enlace

REDES DE COMPUTADORES 1

Engenharia de Telecomunicações

5. A CAMADA DE ENLACE

▶ PROTOCOLOS BÁSICOS DE ENLACE

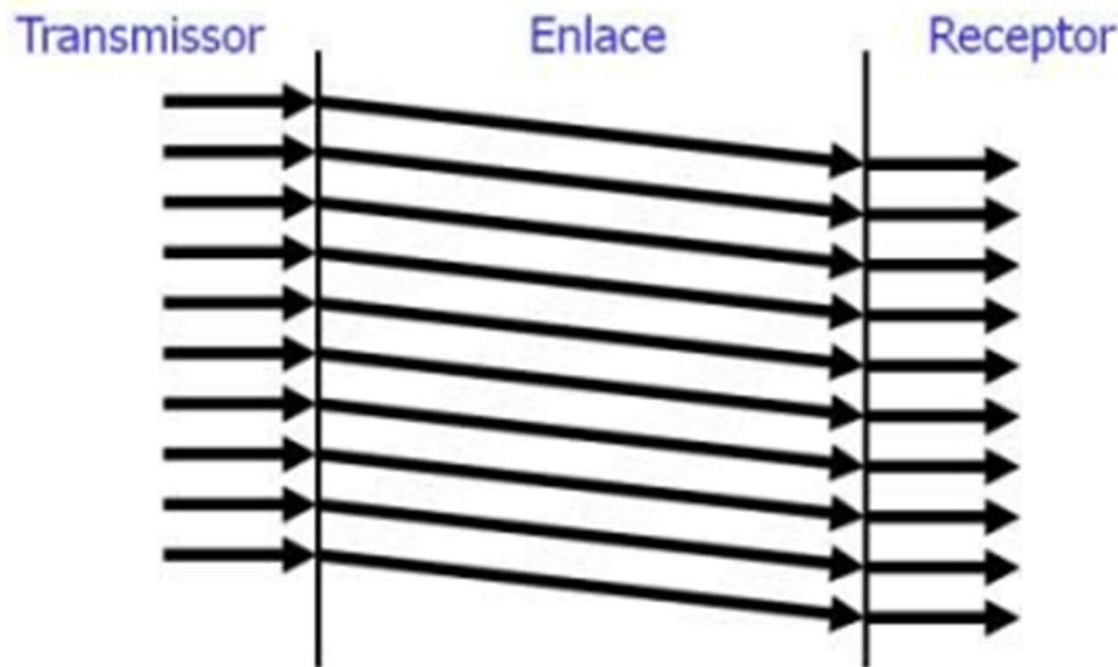
- ▶ Os protocolos reúnem os parâmetros necessários para que a camada de enlace desempenhe seu papel.

SIMPLEX SEM RESTRIÇÃO

- ▶ Os dados são transmitidos somente em um sentido. As camadas de rede do transmissor e do receptor estão sempre prontas à espera de informações.
 - Desconsidere o tempo de processamento, o espaço em buffer e que o canal nunca é danificado e nem perde quadros.
- ▶ O protocolo consiste em dois procedimentos distintos, um que envia e outro que recebe a informação. Neste caso, não são usados números de sequência ou de confirmação.

5. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ A parte referente aos dados é repassada à camada de rede, e a camada de enlace de dados volta a esperar pelo próximo quadro, ficando efetivamente em suspenso até a chegada de outro quadro.



5. A CAMADA DE ENLACE

```
typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include "protocol.h"

void sender1(void)
{
    frame s;                /* buffer para um quadro de saída */
    packet buffer;          /* buffer para um pacote de saída */

    while (true) {
        from_network_layer(&buffer);    /* pega algo para enviar */
        s.info = buffer;                /* copia para s, para transmissão */
        to_physical_layer(&s);          /* envia-o pelo caminho */
    }
    /* O amanhã, o amanhã, o amanhã,
    avança em pequenos passos, dia após dia,
    até a última sílaba da recordação.
    – Macbeth, V, v */

}

void receiver1(void)
{
    frame r;
    event_type event;        /* preenchido pela espera, mas não usado aqui */

    while (true) {
        wait_for_event(&event);        /* única possibilidade é frame_arrival */
        from_physical_layer(&r);        /* recebe o quadro que chega */
        to_network_layer(&r.info);      /* passa os dados a camada de rede */
    }
}
```

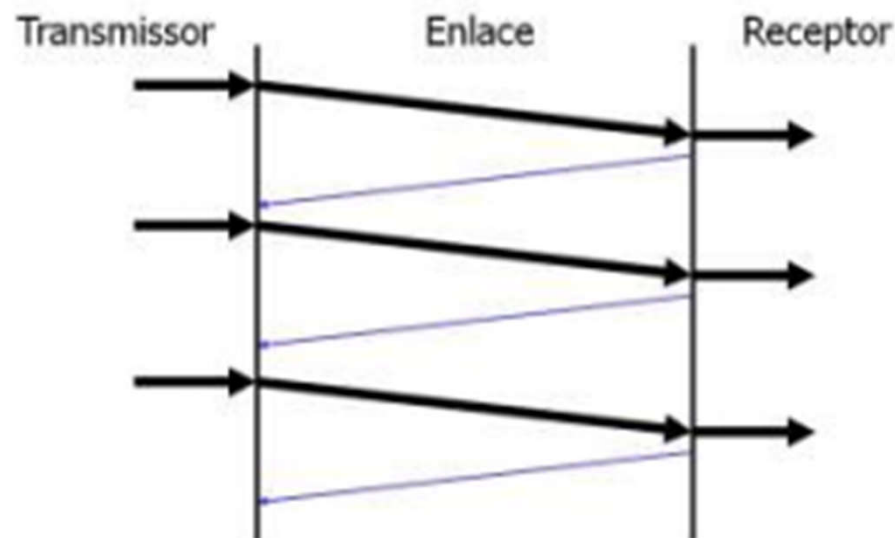
5. A CAMADA DE ENLACE

SIMPLEX STOP-AND-WAIT

- ▶ O principal problema que este protocolo veio lidar foi impedir que o transmissor inunde o receptor com dados, mais rapidamente do que este é capaz de processá-los.
- ▶ Uma vez enviado um frame, outro somente será enviado após o recebimento de um ACK pelo transmissor.
- ▶ O transmissor retém este frame na memória até receber o ACK confirmando.
- ▶ Embora o tráfego de dados seja simplex, há fluxo de quadros em ambos os sentidos.

5. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ A ideia é fazer o receptor enviar um feedback ao transmissor. Depois de enviar um pacote a sua camada de rede, o receptor envia um pequeno quadro fictício (dummy) de volta ao transmissor, permitindo a transmissão do próximo quadro. Após o envio de um quadro, o protocolo exige que o transmissor espere sua vez, até a chegada do pequeno quadro fictício (isto é, da confirmação)



5. A CAMADA DE ENLACE

```
typedef enum {frame_arrival}event_type;
#include "protocol.h"

void sender2(void)
{
    frame s;                /* buffer para um quadro de saída */
    packet buffer;          /* buffer para um pacote de saída */
    event_type event;       /* frame_arrival é a única possibilidade */

    while (true) {
        from_network_layer(&buffer); /* apanha algo para enviar */
        s.info = buffer;             /* copia para s, para transmissão */
        to_physical_layer(&s);       /* pequeno quadro de adeus */
        wait_for_event(&event);      /* não avança até um sinal verde */
    }
}

void receiver2(void)
{
    frame r, s;             /* buffers para quadros */
    event_type event;       /* frame_arrival é a única possibilidade */
    while (true) {
        wait_for_event(&event); /* a única possibilidade é frame_arrival */
        from_physical_layer(&r); /* apanha o quadro de entrada */
        to_network_layer(&r.info); /* passa os dados para a camada de rede */
        to_physical_layer(&s);     /* envia quadro fictício para acordar o transmissor */
    }
}
```

5. A CAMADA DE ENLACE

SIMPLEX COM RUÍDO

- ▶ Considerando erros, os quadros podem ser danificados ou completamente perdidos, e o receptor detectará essa ocorrência. Somente uma confirmação por parte do receptor não é suficiente.
- ▶ Caso a comunicação seja perdida, em muitos casos é necessário realizar uma retransmissão, e para isso é indispensável adicionar um número de sequência no cabeçalho de cada quadro enviado de modo que o receptor saiba que o quadro enviado novamente é o mesmo que fora enviado anteriormente.
- ▶ O receptor informa caso recepção corra sem problemas.
- ▶ Esse tipo de protocolo tem diversas variantes, a saber:
 - ▶ PAR (Positive Acknowledgement with Retransmission): Confirmação Positiva com Retransmissão
 - ▶ ARQ (Automatic Repeat reQuest): Solicitação de Repetição Automática.

5. A CAMADA DE ENLACE

```
#define MAX_SEQ 1                                /* deve ser 1 para o protocolo 3 */
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout} event_type;
#include "protocol.h"

void sender3(void)
{
    seq_nr next_frame_to_send;                    /* número seq do próximo quadro de saída */
    frame s;                                       /* variável auxiliar */
    packet buffer;                                /* buffer para pacote de saída */
    event_type event;
    next_frame_to_send = 0;                       /* inicia números de sequência de saída */
    from_network_layer(&buffer);                  /* busca primeiro pacote */
    while (true) {
        s.info = buffer;                         /* monta um quadro para transmissão */
        s.seq = next_frame_to_send;              /* insere número de sequência no quadro */
        to_physical_layer(&s);                   /* envia o quadro */
        start_timer(s.seq);                      /* se a resposta levar muito tempo, timeout */
        wait_for_event(&event);                  /* frame_arrival, cksum_err, timeout */
        if (event == frame_arrival){
            from_physical_layer(&s);              /* obtém a confirmação */
            if (s.ack == next_frame_to_send){
                stop_timer(s.ack);               /* desliga o timer */
                from_network_layer(&buffer);      /* pega o próximo quadro a enviar */
                inc(next_frame_to_send);          /* inverte next_frame_to_send */
            }
        }
    }
}
```

5. A CAMADA DE ENLACE

```
void receiver3(void)
{
    seq_nr frame_expected;
    frame r, s;
    event_type event;

    frame_expected = 0;
    while (true) {
        wait_for_event(&event);
        if (event == frame_arrival){
            from_physical_layer(&r);
            if (r.seq == frame_expected){
                to_network_layer(&r.info);
                inc(frame_expected);
            }
            s.ack = 1 - frame_expected;
            to_physical_layer(&s);
        }
    }
}
```

/ possibilidades: frame_arrival, cksum_err */*
/ chegou um quadro válido */*
/ pega quadro recém-chegado */*
/ é isso que estávamos esperando */*
/ passa os dados para a camada de rede */*
/ da próx. vez, espera outro núm. de sequência nr*/*

/ diz qual quadro está sendo confirmado */*
/ envia confirmação */*

5. A CAMADA DE ENLACE

JANELA DESLIZANTE

- ▶ O protocolo de janelas deslizantes é usado para a entrega confiável e ordenada de mensagens.
- ▶ É um protocolo orientado a conexão (primeiro garante que a conexão está ativa, para depois enviar as mensagens) que garante que todas as mensagens enviadas são entregues aos destinatários na ordem correta de envio.
- ▶ Se o ACK do receptor for perdido ou corrompido num tempo pré-estabelecido, o transmissor envia novamente o último frame armazenado.

5. A CAMADA DE ENLACE

JANELA DESLIZANTE

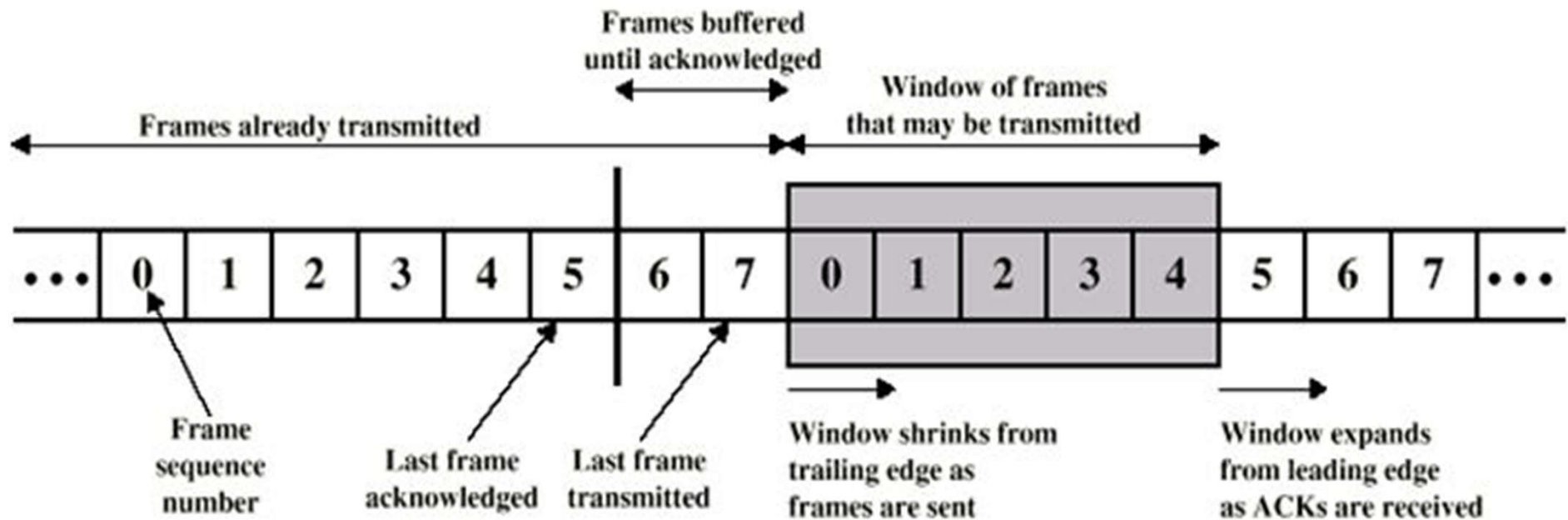
- ▶ O transmissor cria uma espécie de tabela, onde cada posição é uma janela, em que são gravadas todas as mensagens que foram enviadas.
- ▶ Para que o receptor não receba sempre o mesmo frame por causa de sucessivas perdas de ACK, os pacotes de ACK devem ser numerados ou conter a informação a qual ele se refere.
- ▶ Quando um frame chega ao destino, em vez de enviar um frame de controle isolado imediatamente, o receptor espera até a camada de rede enviar o próximo frame.

5. A CAMADA DE ENLACE

JANELA DESLIZANTE

- ▶ A confirmação é acrescentada ao quadro de dados que está sendo enviado (ACK do cabeçalho de frame).
- ▶ A técnica de retardar temporariamente as confirmações e enviá-las junto com outro frame é conhecida pelo nome de piggybacking (superposição).
- ▶ A principal vantagem do piggybacking é a melhoria na utilização da largura de banda disponível para o canal.

5. A CAMADA DE ENLACE



(a) Sender's perspective

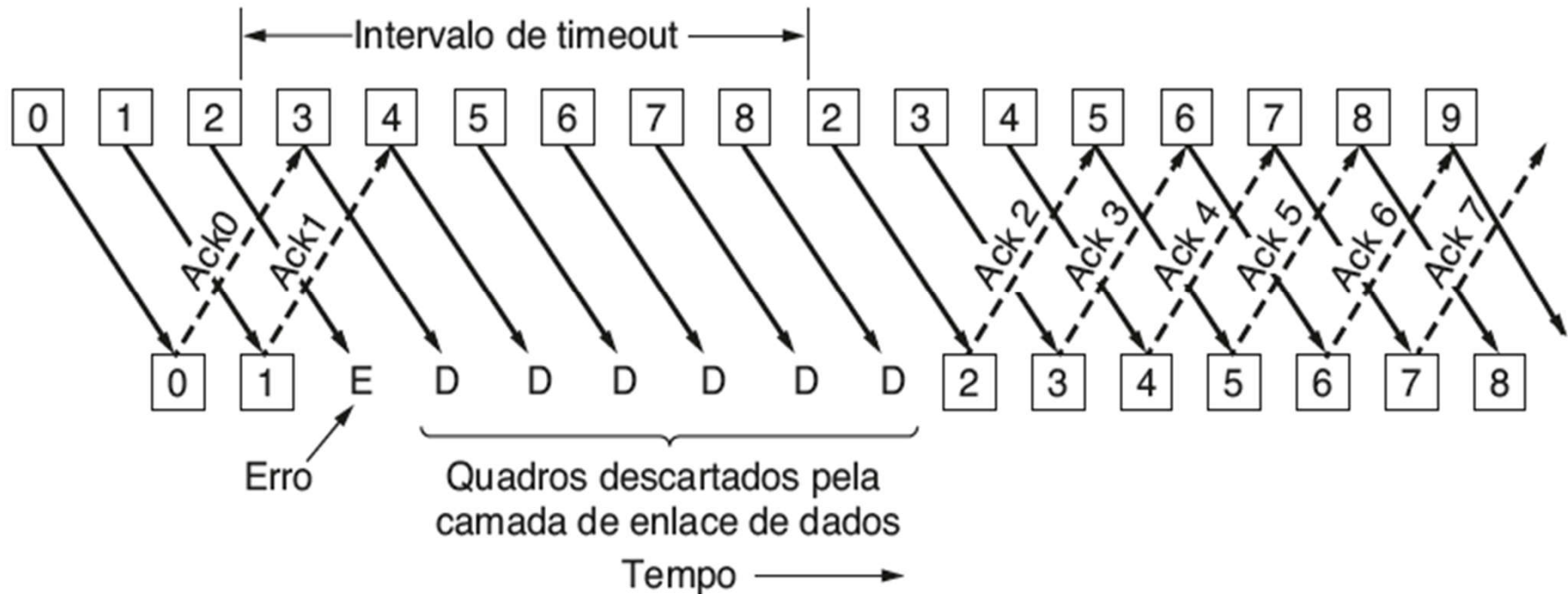
5. A CAMADA DE ENLACE

GO-BACK-N ARQ

- ▶ A confirmação é acrescentada ao quadro de dados que está sendo enviado (ACK do cabeçalho de frame).
- ▶ O GO-BACK-N ARQ prevê o envio de W frames antes que o primeiro ACK chegue.
 - ▶ O transmissor armazena todos os frames a espera das confirmações. Tanto o frame quanto o ACK devem conter a numeração correspondente do frame na memória.
 - ▶ Toda vez que um ACK é recebido o frame correspondente é eliminado da memória. A memória pode ficar ocupada até que todos os ACKs cheguem, tem-se uma janela fixa.
 - ▶ Na janela móvel, o frame que já foi confirmado é eliminado da memória do transmissor e um novo frame ocupa seu espaço, sendo transmitido.

5. A CAMADA DE ENLACE

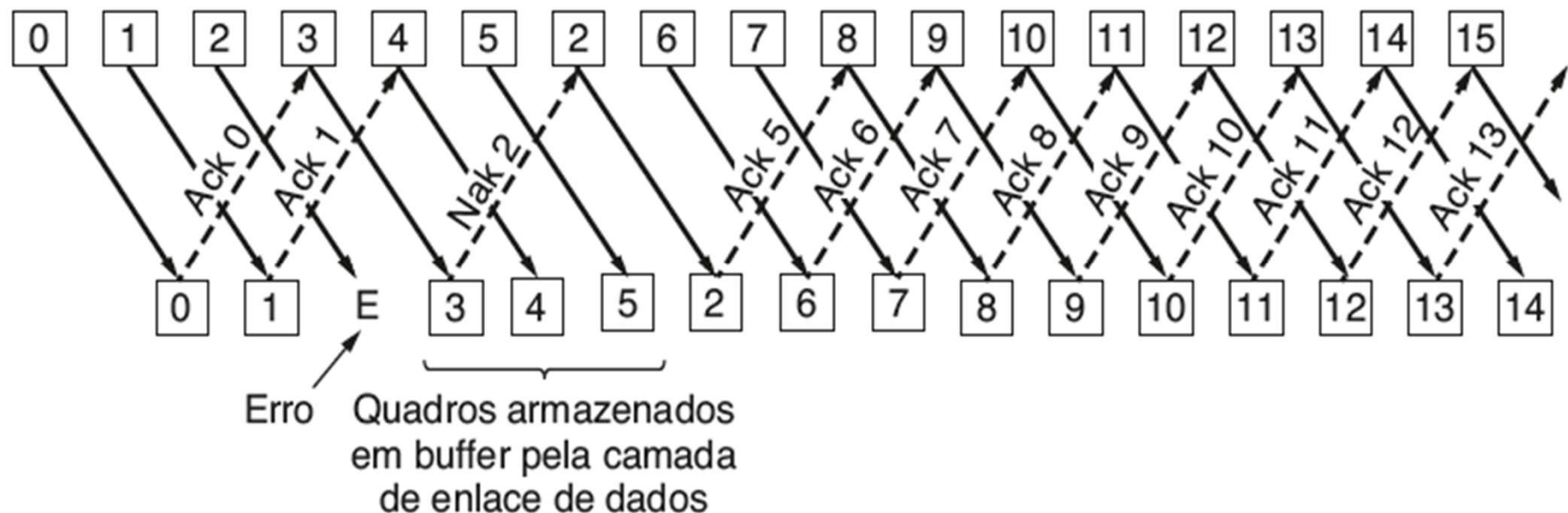
- Estratégia 1: Nessa estratégia de tratamento de erros, o receptor descarta todos os quadros subsequentes ao erro, até que o período de timeout ocorra e o transmissor transmita todos os quadros não confirmados.



Paralelismo e recuperação de erros. Efeito do erro quando o tamanho da janela do receptor é unitário (1).

5. A CAMADA DE ENLACE

- Estratégia 2: Nesta segunda abordagem, o quadro incorreto é descartado, porém os quadros subsequentes são armazenados no buffer do receptor. Expirado o tempo de timeout, o transmissor envia apenas o quadro perdido e o receptor confirma todos com um ack do ultimo quadro recebido. Um NAK (Negative ack) pode ser enviado para que não haja necessidade de aguardar o periodo de timeout..



Paralelismo e recuperação de erros. Efeito do erro quando o tamanho da janela do receptor é grande.

5. A CAMADA DE ENLACE

SELECTIVE REPEAT ARQ

- ▶ Em canais ruidosos, uma alternativa é permitir que o receptor aceite e coloque na memória os frames seguintes a um frame danificado ou perdido.
- ▶ Esse protocolo não descarta frames apenas porque um frame anterior foi danificado ou perdido, mas ele retransmite apenas o frame danificado.
- ▶ Apesar da eficiência em canais ruidosos, o processamento no receptor é muito maior. O transmissor retransmite cada frame que atingir o tempo limite.

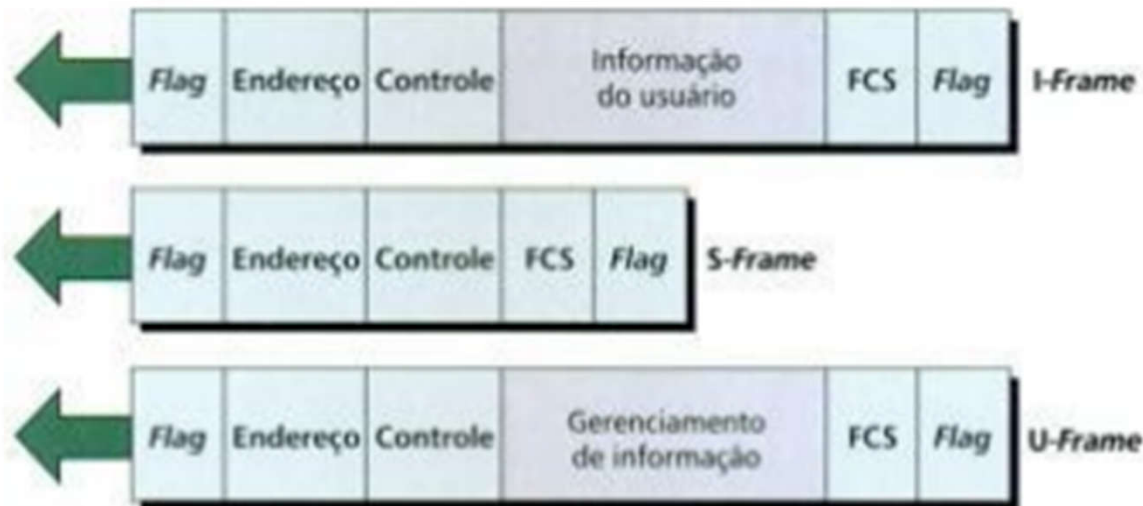
5. A CAMADA DE ENLACE

HDLC

- ▶ O HDLC (High-level Data Link Control) é um protocolo orientado a bit para comunicação em links ponto a ponto e multiponto, implementa métodos de ARQ e suporta comunicação half-duplex e full-duplex.
- ▶ O HDLC proporciona a transmissão em dois modos:
 - ▶ NRM (Normal Response Mode): Há uma estação que sempre envia dados e outra que só envia confirmações.
 - ▶ ABM (Asynchronous Balanced Mode): Usada em lin P2P, em que ambas estações transmitem dados e confirmações.

5. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ No HDLC há três tipos de frames, que enviam diferentes tipos de mensagens:
 - **L-frame** (frames de formação): transportam os dados da camada de rede e informações desses dados (*piggybacking*).
 - **S-frame** (frames de supervisão): transportam informações de controle de fluxo e de erro.
 - **U-frame** (frames não numerados): reservados ao gerenciamento do sistema, para gerenciamento do Link.



5. A CAMADA DE ENLACE

- **Flag** é uma sequência para identificar o início e o término do frame e por padrão é 01111110.
- **Endereço** é importante principalmente nas linhas com vários terminais, onde ele é utilizado para identificar cada um dos terminais. No caso de linhas ponto a ponto, às vezes esse campo é utilizado para fazer distinção entre comandos e respostas.
- **Controle** é usado para números de sequência, confirmações e outras finalidades.
- **Dados** pode conter qualquer informação, tendo comprimento variável.
- **Checksum** é para detectar erros.



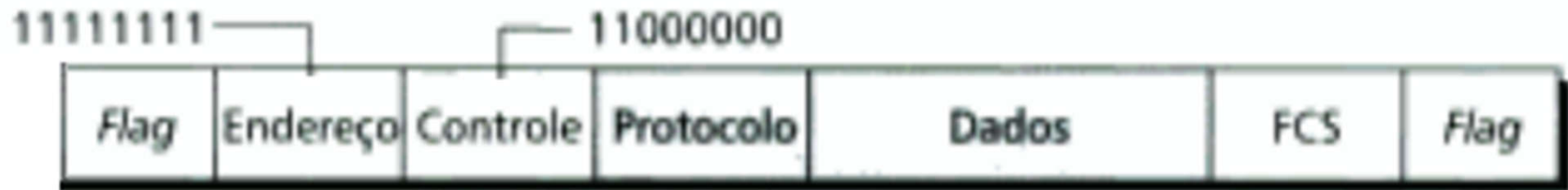
Figura 4: Formato de quadro para protocolos orientados a bits

5. A CAMADA DE ENLACE

PPP

- ▶ O protocolo mais comum é o PPP (Point to Point Protocol) que um protocolo orientado a byte, usado na Internet para cuidar do tráfego de roteador para roteador e do modem do usuário doméstico para ISP (provedor de serviços da Internet).
- ▶ O PPP trata da detecção de erros, aceita vários protocolos, permite que endereços IP sejam negociados em tempo de conexão, permite a autenticação e inclui muitas outras funcionalidades.

5. A CAMADA DE ENLACE



- ▶ Flag é uma sequência para identificar o início e o término do frame e por padrão é 01111110.
- ▶ Endereço é 11111111, broadcasting, pois o protocolo é P2P.
- ▶ Controle é 11000000, pois não há controle de fluxo, erros e não contém nenhuma sequências.
- ▶ Dados pode conter qualquer informação, tendo comprimento variável.
- ▶ FCS contém um CRC para detectar erros.

5. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ Três protocolos sustentam o PPP: NCP, LCP e PAP.
- ▶ O NCP (Networking Control Protocol) é o responsável por atribuir o endereço IP, passando o PC a ser um host da Internet podendo enviar e receber pacotes IP.
- ▶ O LCP (Link Control Protocol) é responsável pelo estabelecimento, manutenção, configuração e terminação de links. Ele provê as configurações do Link.
- ▶ O PAP (Password Authentication Protocol) é um simples procedimento de autenticação. O usuário manda a ID e senha, e o sistema verifica.

5. A CAMADA DE ENLACE

- O PPP dispõe de três recursos:
 - Um **método de enquadramento** que delinea de forma não ambígua o fim de um quadro e o início do quadro seguinte. O formato do quadro também lida com a detecção de erros.
 - Um **protocolo de controle de enlace** usado para ativar linhas, testá-las, negociar opções e desativá-las. É usado o LCP, admitindo circuitos síncronos e assíncronos, e também codificações orientadas a bytes e a bits.
 - Uma **maneira de negociar** as opções da camada de rede de modo independente do protocolo da camada de rede a ser utilizado. É usado o NCP para cada camada de rede aceita.

5. A CAMADA DE ENLACE

- ❑ O PPP é um mecanismo de enquadramento multiprotocolo, adequado para utilizações em modems e em linhas seriais.
- ❑ Ele aceita a detecção de erros, a negociação de opções, a compactação de cabeçalhos e, opcionalmente, a transmissão confiável com o uso de quadros de tipos especiais.