

Capítulo 4

A CAMADA DE REDE

A camada de rede é a terceira e última camada onde o fluxo de informação leva em conta as peculiaridades da subrede de comunicação, tais como a existência de roteadores, como os roteadores se interconectam, etc. A partir desta, as camadas acima empregam mecanismos de comunicação host a host, abstraindo a existência da subrede de comunicação. Para que a camada de transporte venha se tornar independente da topologia e tecnologia da subrede de comunicação, a camada de rede deve prover:

- entrega de pacotes: recolher um pacote do host emissor e entregá-lo ao host receptor;
- roteamento: escolha da rota de comunicação por onde os pacotes oriundos da camada de transporte irão trafegar;
- controle de congestionamento: evitar que roteadores fiquem congestionados de pacotes devido a surtos de tráfego ou roteamento mal conduzido;
- interconexão de redes (*internetworking*): possibilitar que hosts em subredes heterogêneas possam se comunicar (por exemplo, um host em uma subrede Ethernet e outro em uma subrede Token Ring).

4.1 Entrega de Pacotes

Pacote é a unidade de informação que trafega entre os roteadores de uma subrede de comunicação. Quando um host necessitar transferir um pacote a outro não diretamente conectado, este o entrega a um roteador em sua subrede de comunicação. Este roteador decide o próximo roteador do caminho, enviando o pacote a este roteador.

O tráfego de pacotes entre os roteadores pode se dar através de uma conexão lógica (ou caminho virtual) pré-estabelecida ou sem o estabelecimento prévio de conexão. No primeiro caso diz-se que a camada de rede é *orientada a conexão*. Se a camada de rede não suporta conexões virtuais, diz-se que a mesma opera *sem conexão* ou é *orientada a datagrama*.

A camada de transporte acessa o serviço de entrega de pacotes através de NSAPs (Network Service Access Points). NSAPs são endereços que identificam no nível de rede as entidades provedoras do serviço. O modelo OSI especifica um NSAP (figura 4.1) contendo

valores decimais, não ocupando mais que 40 dígitos (20 bytes). O NSAP é dividido em três campos:

1. AFI (Authority and Format Indicator): indica o tipo de numeração presente no terceiro campo (número de telefone, endereço Internet, etc). Ocupa 1 byte codificando dois dígitos decimais com valores entre 10 e 99;
2. IDI (Initial Domain Identifier): especifica o domínio ao qual o terceiro campo pertence. Por exemplo, se o terceiro campo armazena o número de um telefone, o IDI pode conter o código do país. Este campo armazena um número variável de bytes, função do campo AFI;
3. DSP (Domain Specific Part): armazena o endereço do serviço propriamente dito. Contém um número variável de bytes, função dos campos AFI e IDI.

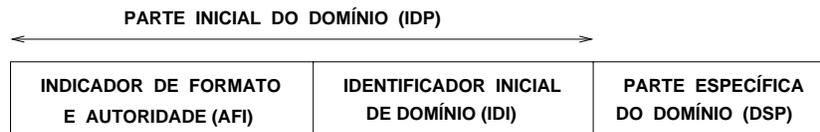


Figura 4.1: Formato de NSAP para redes OSI.

4.1.1 Camadas de Rede Orientadas a Conexão

No caso de redes locais, conexões no nível de camada de rede são similares às conexões no nível de camada de enlace: apenas dois hosts são envolvidos e apenas estes dela tomam parte. Em redes de longa distância, uma conexão no nível da camada de enlace envolve também dois computadores: o host e o roteador ao qual se conecta (via DCE). O objetivo desta conexão é a entrega confiável de quadros mesmo que o DCE esteja fisicamente conectado ao roteador através de um canal sujeito a erros.

Uma conexão no nível de camada de rede, por outro lado, requer a intermediação de múltiplos roteadores, pois a conexão se estende de host a host, via roteadores. No estabelecimento de uma conexão deste tipo, escolhe-se uma rota (vide próxima seção) e o tráfego de pacotes se dará sempre por esta rota. Um roteador que toma parte de uma conexão, recebe um pacote do roteador antecessor (ou host emissor), armazena-o temporariamente até que pacotes recebidos previamente possam fluir, e o entrega ao roteador sucessor (ou host de destino).

As vantagens de se estabelecer conexão é a alocação de recursos a priori para a transmissão de pacotes, garantindo que pacotes não serão descartados por falta de recursos para seu armazenamento quando em trânsito. Como desvantagem do emprego de conexões podemos citar:

- se um roteador que toma parte da conexão falhar, a mesma estará comprometida;
- a rede se torna mais susceptível a congestionamentos, dada a impossibilidade de se reorientar conexões já estabelecidas;

- os recursos alocados a uma conexão se tornam sub-utilizados se a taxa de transmissão de pacotes pela conexão for baixa.

4.1.2 Camadas de Rede Orientadas a Datagrama

Camadas de rede orientadas a datagrama não estabelecem conexão para o envio de pacotes. O serviço de entrega é pouco confiável, cabendo à camada de transporte gerenciar pacotes perdidos, duplicados ou que chegam fora de ordem. Como recursos não são previamente alocados para o tráfego de pacotes, estes estão sujeitos ao descarte quando um roteador não for capaz processá-los.

Cada pacote é roteado individualmente, independente dos demais. Neste caso, a garantia de entrega de pacotes na ordem em que foram emitidos não é verificada. Pacotes podem ser duplicados caso sejam retransmitidos desnecessariamente pela camada de enlace (por exemplo, devido a perda de um quadro de reconhecimento).

A vantagem das camadas de rede orientadas a datagrama está na sua simplicidade e capacidade de se adaptar prontamente às condições de tráfego da rede e a falhas de roteadores. Como desvantagens, uma sofisticada camada de transporte é requerida. Em outras palavras, fica a cargo dos hosts (isto é, dos usuário da subrede de comunicação) gerenciar a confiabilidade do serviço de entrega de pacotes. Nas camadas de rede orientadas a conexão, esta confiabilidade recai sobre os roteador (isto é, sobre a própria subrede de comunicação).

A tabela 4.1 ilustra as primitivas OSI oferecidas pela camada de rede à camada de transporte para serviços sem e com conexão.

4.2 Roteamento

O problema de rotear pacotes inexistente quando a comunicação se dá em uma rede local: o pacote atinge o host destinatário sem a intermediação de roteadores. Em redes de campus, metropolitanas e de longa distância, a existência de roteadores obriga, na transmissão de um pacote, a se proceder a escolha de um circuito virtual entre o emissor e o destinatário do pacote. No circuito, um ou mais roteadores irão receber o pacote, armazená-lo temporariamente e retransmití-lo ao próximo roteador do circuito.

Roteamento é um problema presente em muitas atividades. Imagine um serviço de entrega rápida com vários depósitos e uma frota de veículos. Quando um veículo apanha uma encomenda de um cliente, vários procedimentos podem ser adotados:

1. entregar a encomenda imediatamente ao destinatário com o mesmo veículo;
2. armazenar a encomenda em um depósito para ser entregue com outras encomendas destinadas à mesma região;
3. mover a encomenda de depósito em depósito até atingir o mais próximo do cliente, de onde será entregue.

N-UNITDATA.request(end_local, end_remoto, QoS, dados) N-UNITDATA.request(end_local, end_remoto, QoS, dados)
N-FACILITY.request(QoS) N-FACILITY.indication(end_remoto, QoS, motivo) N-REPORT.indication(end_remoto, QoS, motivo)
N-CONNECT.request(NSAP_local, NSAP_remoto, ACK, EXP, QoS, dados) N-CONNECT.indication(NSAP_local, NSAP_remoto, ACK, EXP, QoS, dados) N-CONNECT.response(NSAP_remoto, ACK, EXP, QoS, dados) N-CONNECT.confirm(NSAP_remoto, ACK, EXP, QoS, dados)
N-DISCONNECT.request(requerente, motivo, dados, end_resposta) N-DISCONNECT.indication(ent_solicitante, motivo, dados, end_resposta)
N-DATA.request(dados) N-DATA.indication(dados) N-DATA-ACKNOWLEDGE.request() N-DATA-ACKNOWLEDGE.indication() N-EXPEDITED-DATA.request(dados) N-EXPEDITED-DATA.indication(dados)
N-RESET.request(ent_solicitante, motivo) N-RESET.indication(ent_solicitante, motivo) N-RESET.response() N-RESET.confirm()

Tabela 4.1: Serviços oferecidos pela camada de rede: as primitivas N-UNITDATA, N-FACILITY e N-REPORT são empregadas em serviços sem conexão; as demais em serviços com conexão.

A última opção é análoga a redes de computadores. Os roteadores são depósitos de pacotes e somente o roteador diretamente conectado à subrede do host destinatário é que está habilitado a fazer a entrega.

O problema de roteamento é de natureza combinatória, sendo portanto computacionalmente complexo caso desejamos obter a solução ótima¹. A área de Pesquisa Operacional tem produzido vários algoritmos para este problema, bem como heurísticas para a obtenção de soluções sub-ótimas. Infelizmente, tais algoritmos e heurísticas requerem o conhecimento prévio do fluxo dos objetos roteados, ou uma boa estatística do mesmo.

Em redes de computadores não dispomos da informação antecipada quanto ao fluxo de pacotes. Isto demanda o cômputo do fluxo *on-line*, periodicamente, ou frente a uma condição de congestionamento na rede. Em outras palavras, em redes de computadores o roteamento deve ter característica dinâmica.

A forma mais simples de rotear pacotes em uma subrede é dotar cada roteador de uma *tabela de roteamento* contendo o melhor circuito ligando este roteador aos demais. Via de regra, a tabela armazena mais de um circuito entre dois roteadores, na eventualidade de uma rota de comunicação ou um roteador do circuito sair de serviço. Em roteamento dinâmico, a tabela de roteamento varia de acordo com as condições de tráfego da subrede.

Em redes de computadores, o roteamento dinâmico pode ser centralizado ou distribuído.

Roteamento Centralizado

No roteamento centralizado, os roteadores enviam periodicamente informações de tráfego a uma central de roteamento (NCC: *Network Control Center*). A central dispõe de informações sobre:

- os roteadores que estão ativos e os que estão inativos (por falha, manutenção, etc);
- as rotas de comunicação que estão ativas e as que estão inativas;
- o fluxo médio de pacotes nas rotas ativas;
- o tempo médio que um pacote fica armazenado em um roteador;
- etc.

A partir destas informações o NCC, computa qual seria o roteamento ótimo ou sub-ótimo de pacotes para uma dada situação de tráfego. Computado o roteamento, o NCC distribui novas tabelas de roteamento aos roteadores.

O roteamento centralizado é viável apenas nos domínios da operadora da subrede de comunicação.

¹O critério de otimalidade pode ser: mínimo tempo de trânsito, caminho mínimo, máxima confiabilidade, etc

Roteamento Distribuído

O roteamento distribuído não utiliza um elemento centralizador como o NCC. A primeira consequência da distribuição é a indisponibilidade de uma visão global do tráfego na subrede. No roteamento distribuído, cada roteador é responsável pela atualização de sua tabela de roteamento. Em geral, esta atualização se dá de duas maneiras:

1. via troca de informações de topologia e parâmetros de tráfego entre roteadores diretamente conectados.
2. via propagação por toda a rede de informações sobre estado dos enlaces (*links*).

Protocolos operando de acordo com o primeiro esquema são denominados “Protocolos Baseados em Vetor de Distâncias”, enquanto os que operam de acordo com o segundo esquema são denominados “Protocolos Baseados em Estado do Enlace” (*Link State*). Estas denominações são oriundas ao tipo de informação que estes protocolos propagam.

A tabela de roteamento armazena informações de roteamento para os circuitos iniciando no roteador detentor da tabela. Cada posição na tabela tem como índice o endereço de uma subrede de comunicação para qual a rota se destina, e armazena pelo menos duas informações: o custo para total para se atingir o destino, e a interface (endereço de enlace) conectada ao próximo *hop* (roteador) da rota.

4.3 Controle de Congestionamento

Vimos no capítulo anterior que a camada de enlace é capaz de controlar o fluxo de quadros entre dois nós de rede comunicantes. Cabe a camada de rede controlar o fluxo de pacotes entre roteadores evitando que um roteador receba mais pacotes do que é capaz de processar. Tal como roteamento, esta atividade é inexistente em redes locais, bastando neste caso um controle entre as camadas de rede e de enlace no mesmo host (como é feito no IEEE 802.2 - ver Cap. 3).

Vamos examinar duas estratégias de controle de congestionamento: pré-alocação de buffers e descarte de pacotes. A primeira é mais empregada para comunicação conectada e a segunda para comunicação sem conexão.

Pré-alocação de Buffers

Um recurso importante que um roteador dispõe para o processamento de pacotes são buffers de memória. Em caso do estabelecimento de uma conexão (no nível de camada de rede), todos os roteadores envolvidos alocam buffers capazes de abrigar tantos pacotes quanto for o tamanho da janela, garantindo que pacotes que trafegam nos dois sentidos terão espaço de armazenamento alocado a priori. Caso este espaço não possa ser alocado no momento do estabelecimento da conexão por um roteador, outro circuito pode ser escolhido ou a conexão é recusada.

Esta estratégia, entretanto, pode representar uma sub-utilização dos recursos, no caso de uma conexão ser estabelecida e poucos pacotes circularem por ela. Pior ainda, novas conexões podem ser recusadas em favor de “conexões ociosas” já estabelecidas. Este problema pode ser

resolvido criando-se um *pool* de buffers e ir alocando e desalocando à medida da necessidade. Utilizando-se um *pool* de buffers corre-se o risco de um pacote chegar em um roteador e não existir buffer disponível para armazená-lo. Neste caso, o pacote é descartado. Caso o protocolo de rede suporte retransmissão, o pacote descartado é retransmitido por ausência de confirmação de recebimento.

Descarte de Pacotes

Esta estratégia de controle de congestionamento é oposta à apresentada acima. Cada roteador possui um conjunto de buffers de armazenamento (por interface de saída do roteador) para o armazenamento local de pacotes antes de sua transmissão. Caso um pacote seja recebido e não exista espaço disponível para armazená-lo, o mesmo é simplesmente descartado.

Em geral, pacotes de controle não são descartados, sendo processados no próprio buffer de recepção. A razão para tal é que pacotes de controle geralmente causam a liberação de pacotes de dados armazenados. Por exemplo:

- pacotes de reconhecimento liberam pacotes de dados já transmitidos mas ainda armazenados caso sua retransmissão se faça necessária;
- pacotes de encerramento ou reiniciação de conexão causam o descarte de pacotes ainda fluindo pela conexão.

Seja um roteador com k buffers disponíveis para armazenamento de pacotes (buffers alocados à recepção não contam) e s interfaces de saída. Como cada pacote recebido é roteado para uma dada interface de saída, pode-se dizer que os buffers armazenando pacotes são alocados às interfaces de saída. Obviamente, uma única interface não pode monopolizar os k buffers do *pool*. Então, qual o número máximo de buffers, m , que devemos alocar por interface? Estudos empíricos mostram um número adequado de buffers é dado pela relação $m = k/\sqrt{s}$.

4.4 Interconexão de Redes

Dois fatos são marcantes em redes de computadores: redes são heterogêneas e redes necessitam ser interligadas. Redes são heterogêneas porque cada fornecedor desenvolveu e comercializa sua própria arquitetura de rede. É o caso da arquitetura SNA da IBM, DEC-NET da Digital, NetWare da Novell, e assim por diante. Se todas as redes empregassem o modelo OSI/ISO com idêntica pilha de protocolos, a interconexão de redes seria uma tarefa trivial.

Redes necessitam ser interconectadas para possibilitar o compartilhamento de recursos e informação. A interconexão pode ocorrer no nível de:

- LAN-LAN: conexão entre duas LANs em uma mesma organização;
- LAN-WAN: conexão entre uma LAN e uma rede pública ou corporativa;
- WAN-WAN: conexão entre duas redes públicas ou corporativas operadas por diferentes entidades;

- LAN-WAN-LAN: conexão entre duas LANs de uma mesma organização por intermédio de uma rede pública ou corporativa, formando as chamadas Redes Privadas Virtuais (VPN: Virtual Private Network).

A figura 4.2 ilustra estas possibilidades.

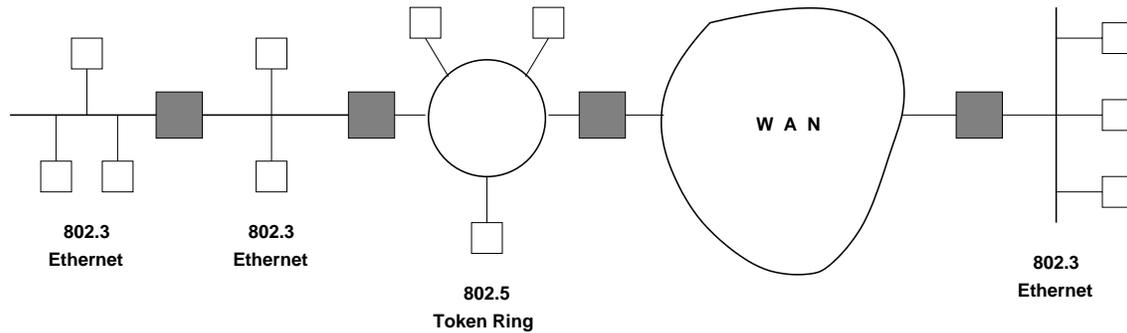


Figura 4.2: Exemplo de interconexão de redes. Retângulos sombreados representam dispositivos de interconexão.

4.4.1 Dispositivos para Interconexão de Redes

De acordo com a heterogeneidade das redes sendo interligadas, os dispositivos de interconexão variam em complexidade. Tais dispositivos se classificam em:

Repetidores

Repetidores regeneram o sinal entre segmentos de uma mesma rede. Por exemplo, uma rede Ethernet possui um limitante de 500m para o comprimento do cabo coaxial em banda larga. Entretanto, pode-se estender uma Ethernet até 2500m utilizando-se 4 repetidores. Repetidores estão relacionados unicamente com a camada física do modelo OSI.

Pontes (Bridges)

Pontes interconectam redes cujas diferenças não passam da camada de enlace do modelo OSI. É o caso, por exemplo, das redes padrão IEEE 802.3, 802.4 e 802.5, que possuem o mesmo protocolo de enlace (802.2-LLC) mas formato de quadros, protocolo de acesso ao meio e camada física diferenciados. Pontes convertem o enlace de dados, o protocolo de acesso ao meio e os padrões da camada física de uma rede para outra, atuando nas duas primeiras camadas do modelo OSI (ou unicamente na camada interface de rede da arquitetura TCP/IP).

Roteadores Multiprotocolo

Roteadores multiprotocolo interconectam redes cujas diferenças chegam até a camada de rede (protocolo de enlace, formato dos pacotes, etc). Por exemplo, a conexão de uma rede

local TCP/IP a uma rede pública Frame Relay se dá através de um roteador multiprotocolo (formato dos pacotes e quadros, protocolos de enlace e acesso ao meio, e padrões da camada física requerem conversão). Roteadores multiprotocolo atuam nas três primeiras camadas do modelo OSI (ou nas duas primeiras da arquitetura TCP/IP).

Conversores de Protocolos

Conversores de protocolos interconectam redes cujas diferenças ultrapassam a camada de rede. Por exemplo, um sistema de gerência de rede TCP/IP troca informação com um sistema de gerência OSI através de um conversor de protocolo.

4.4.2 Interconexão de Redes e o Modelo OSI

Interconexão de redes não teve a devida atenção por parte da ISO na elaboração do modelo OSI. No modelo OSI, interligação de redes é propiciada pela divisão da camada de rede em três subcamadas:

1. subcamada de acesso à subrede: trata do processamento dos protocolos das camadas de rede referentes às subredes sendo interconectadas;
2. subcamada de aprimoramento: compatibiliza os diferentes serviços oferecidos pelas subredes interconectadas;
3. subcamada inter-redes: processa os pacotes como se as redes interconectadas fossem homogêneas.

A figura 4.3 mostra a interconexão entre duas subredes utilizando a proposta do modelo OSI (subdivisão da camada de rede). Esta proposta nada mais é que estabelecer uma camada de rede padrão na subcamada inter-redes (OSI, obviamente), cabendo a subcamada de aprimoramento processar as devidas conversões de e para esta camada padrão. Como veremos, conversões causam invariavelmente degradação do desempenho e perda de funcionalidades.

Por exemplo, seja as subredes da figura 4.3 redes pública distintas. Quando um pacote enviado da subrede 1 se destinar a subrede 2, o pacote obrigatoriamente passará pelo roteador. A subcamada de acesso a subrede processará o pacote, fornecendo eventualmente um reconhecimento ao emissor (no protocolo da subrede 1). O pacote é então passado à subcamada de aprimoramento, que o converte em um formato dado pelo padrão da subcamada inter-redes. Na subcamada inter-redes, o pacote é processado como se o mesmo circulasse por uma subrede homogênea. Feito este processamento, o pacote é passado para a subcamada de aprimoramento da subrede 2, onde será convertido para o formato requerido por esta subrede e encaminhado a subcamada de acesso a subrede. Esta, completa a transmissão do pacote, recebendo eventualmente o reconhecimento do destinatário (no protocolo da subrede 2).

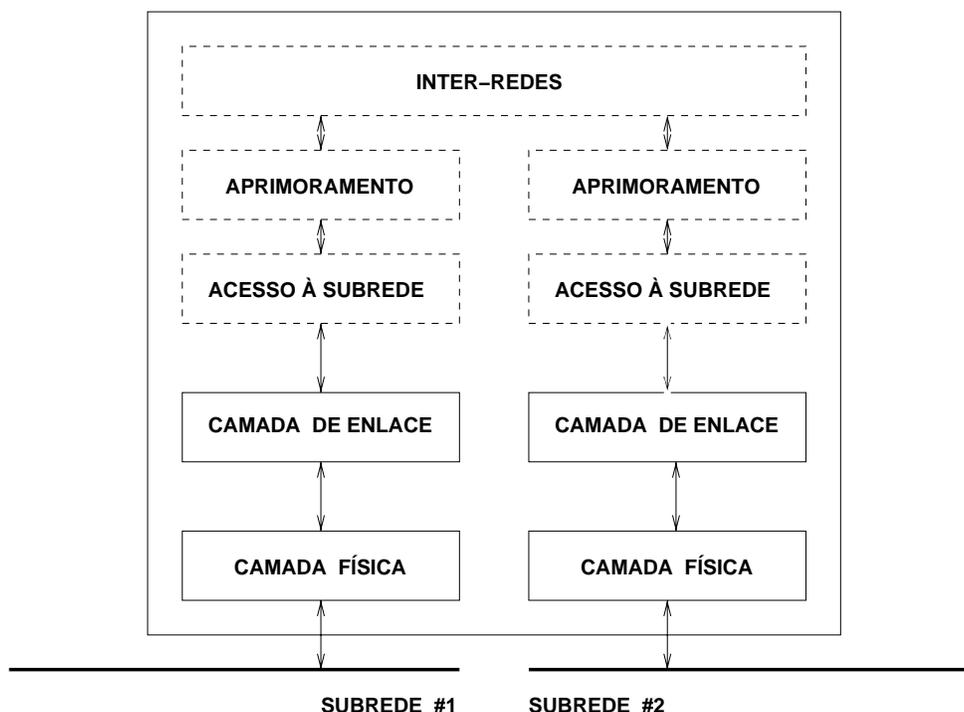


Figura 4.3: Proposta do modelo OSI para interconexão de redes.

4.4.3 Pontes

Dado que redes locais se limitam à camada 2 do modelo OSI, pontes são comumente empregadas para interconectá-las. Neste caso é imprescindível que as subredes interconectadas operem com o mesmo protocolo nas camadas de 3 a 7 (caso contrário, conversores de protocolos devem ser empregados).

A figura 4.4 ilustra uma ponte interconectando duas subredes da família IEEE 802 (802.3 e 802.5). Estas subredes utilizam o mesmo protocolo de enlace, mas formatos de quadros, disciplina de acesso ao meio e camada física distintos. O mesmo conceito de interconexão de redes proposto pelo modelo OSI é empregado, exceto que, neste caso, a conversão se dá no nível de quadros (não de pacotes).

A ponte converte o formato de pacote e o protocolo de enlace (quando for o caso) de uma rede para outra. A ponte dispõe de tantas camadas físicas e subcamadas de acesso ao meio quantas forem as subredes por ela conectadas. A subcamada de enlace lógico é quem perfaz o elo de ligação entre as subredes.

Infelizmente, muitos problemas decorrem da interligação de subredes. Vamos exemplificar alguns para o caso da interconexão de subredes IEEE 802.3 (CSMA-CD) e 802.5 (Token Ring).

Tamanho dos Quadros

Quadros no padrão 802.3 têm um comprimento máximo da ordem de 1500 bytes enquanto no padrão 802.5 é limitado pela taxa de transmissão e pelo tempo máximo de posse do *token*,

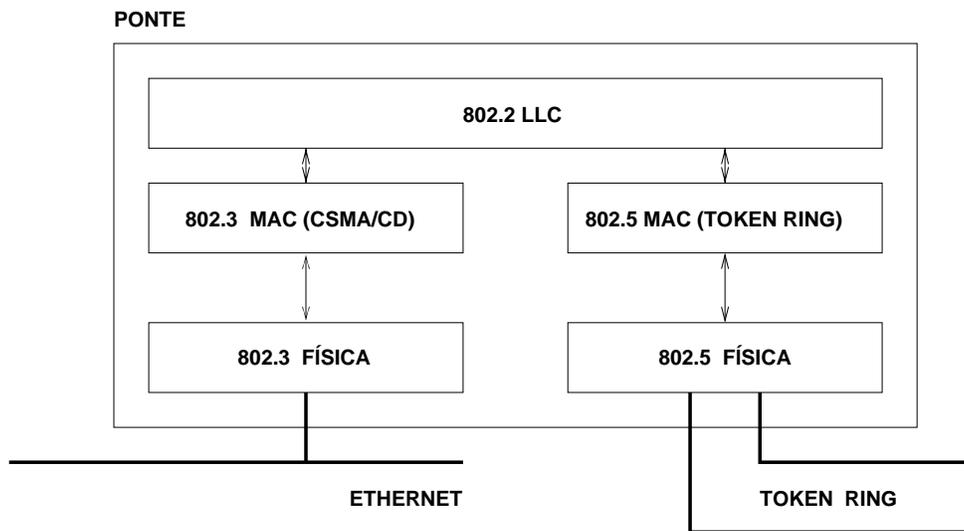


Figura 4.4: Ponte interconectando subredes IEEE 802.3 e 802.5.

tipicamente 5000 bytes. O que ocorre quando uma subrede 802.5 envia um quadro de, por exemplo, 3000 bytes para a subrede 802.3? Como o protocolo LLC impõe a indivisibilidade do quadro, tal quadro simplesmente é descartado pela ponte.

Taxa de Transmissão

Suponha a subrede 802.3 operando a 100 Mbits/seg e a subrede 802.5 operando a 16 Mbits/seg. Se um host na 802.3 enviar uma rajada de quadros para outro na subrede 802.5, a ponte irá receber quadros em uma taxa mais alta que é capaz de escoar. Como consequência, pode ocorrer uma exaustão de buffers na ponte acarretando a perda de quadros.

Perda de Funcionalidades

O padrão 802.5 suporta priorização no envio de quadros e reserva do meio. A transmissão de um quadro de altíssima prioridade de uma rede 802.5 para outra 802.3 não garante sua pronta recepção. Ocorre que a ponte, ao receber e converter o quadro necessita executar o procedimento CSMA-CD para acessar o meio no lado 802.3. Este procedimento não suporta prioridade, sendo o tempo de acesso função do nível de tráfego na subrede.

Atraso na Comunicação

Pontes invariavelmente impõem um atraso na comunicação entre dois hosts. A ponte adiciona ao tempo de comunicação normal dois procedimentos de acesso ao meio, um cômputo do *checksum* e a conversão do pacote de um formato para outro (desprezando-se o tempo extra na propagação do sinal). Este atraso na comunicação pode causar a ocorrência de *timeouts* no lado emissor gerando retransmissões desnecessárias (que contribuem para mais atrasos!).

Perda de Confiabilidade

Ao receber um pacote da subrede 802.5, a ponte computa o *checksum*, e, se livre de erros, o converte e retransmite para a subrede 802.3, enviando imediatamente um reconhecimento positivo ao emissor no lado 802.5. Este reconhecimento é “mentiroso” pois nada garante que o receptor na subrede 802.3 recebeu o quadro livre de erros. Isto causa perda de confiabilidade nos protocolos de transporte onde a garantia de entrega de pacotes é amarrada à garantia de entrega de quadros na camada de enlace (como o protocolo UDP, por exemplo).

4.4.4 Roteadores Multiprotocolo

Roteadores multiprotocolo conectam subredes no nível da camada 3. O emprego de um único roteador na interconexão de duas redes públicas pode gerar conflitos entre as operadoras, pois aquela que operar o roteador tem influência na operação da outra rede. A solução é se empregar dois roteadores, um de cada lado, e interconectá-los por uma via de comunicação.

Roteadores podem estabelecer conexão ou operar sem conexão, dependendo do protocolos presente camada 3 da rede.

Camadas de Rede Orientadas a Conexão

Se ambas as subredes interconectadas são baseadas em conexão, os roteadores tomam parte do circuito virtual (conexão), como mostrado na figura 4.5. Neste tipo de operação, o roteador aloca os recursos requeridos pela conexão, antes de estabelecê-la, garantindo uma entrega confiável dos pacotes que fluem de uma subrede para outra. Como desvantagem temos:

- se um roteador falhar, a conexão e os pacotes em trânsito estarão comprometidos;
- inflexibilidade no roteamento, pois uma vez estabelecida uma conexão, o fluxo de pacotes associados a esta conexão permanece fixo.

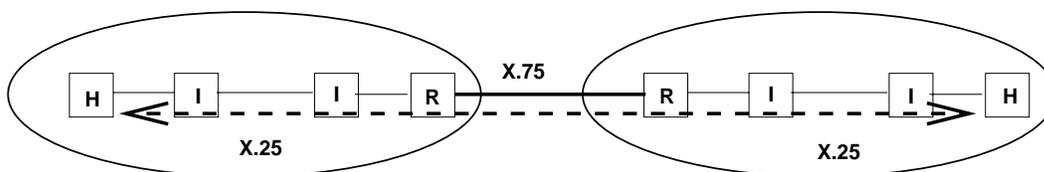


Figura 4.5: Interligação de duas subredes via roteadores operando com conexão (R: roteador multiprotocolo; H: host; I: outros equipamentos de interconexão). A linha pontilhada indica uma conexão.

Camadas de Rede Orientadas a Datagrama

Roteadores operando sem conexão são empregadas quando uma ou ambas as subredes interconectadas não suportam circuitos virtuais no nível da camada de rede. Neste caso, os pacotes que compõem uma dada mensagem podem fluir por rotas diferentes (figura 4.6).

Esta propriedade facilita o roteamento, adaptando-o prontamente às condições de tráfego na interligação.

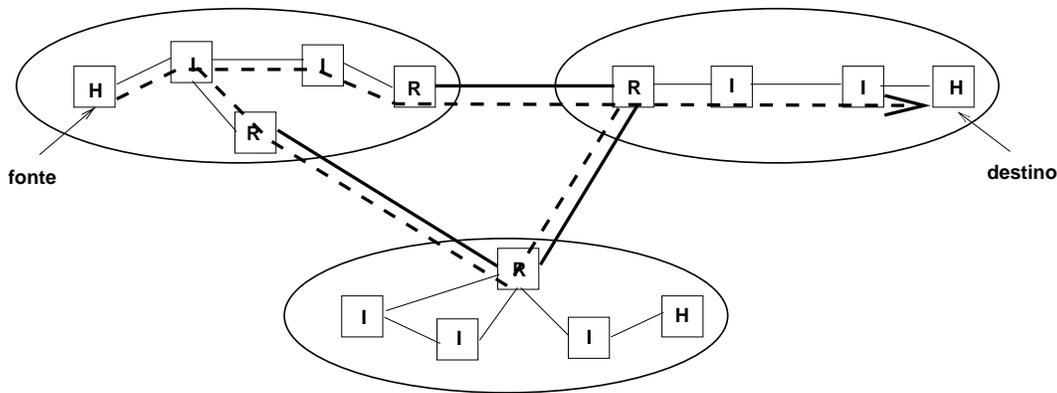


Figura 4.6: Interligação de duas subredes sem conexão. As linhas tracejadas indicam duas possíveis rotas de datagramas.

Quando a camada de rede opera sem conexão, pacotes podem se perder (por falta de buffer em um roteador, por exemplo), ou serem recebidos fora de ordem (caso fluam por diferentes roteadores, por exemplo). Cabe a camada de transporte nos hosts comunicantes tratar estas situações.

4.5 O Protocolo X.25/Camada 3

O protocolo X.25 para a camada de rede difere dos correspondentes X.25 para as camadas 1 e 2 no que tange ao estabelecimento das conexões. No X.25/camada 1 a conexão DTE-DCE é física (tipicamente elétrica) e estabelecida permanentemente. No X.25/camada 2, uma conexão envolve apenas dois computadores: o host (DTE) e o roteador a ele conectado (via DCE). Aqui, o DTE deve iniciar a conexão com o roteador utilizando uma via física permanente ou temporária (linha discada, por exemplo). Para o X.25/camada 3, a conexão une dois DTEs e se estende por pelo menos 1 (tipicamente vários) roteador. Diferente das situações anteriores, o estabelecimento de uma conexão irá envolver múltiplas entidades (DTEs e roteadores).

O protocolo X.25 para a camada de rede define um endereçamento para os hosts segundo a recomendação X.121 do ITU-T. Este endereçamento é diferente dos NSAPs padrão OSI, e composto de 14 dígitos decimais. Os primeiros 3 dígitos identificam o país (exemplo: 302 a 307 para o Canadá), o quarto dígito a rede pública naquele país (totalizando $6 \times 10 = 60$ para o Canadá), e os últimos 10 dígitos o roteador da rede.

O X.25/camada 3 utiliza um protocolo denominado PLP (Packet Layer Protocol). Este protocolo define 3 tipos de pacotes: um tipo para a requisição de conexões, um tipo para controle, e um para dados. A figura 4.7 ilustra o formato de um pacote utilizado no estabelecimento de conexões.

Neste pacote, os campos GRUPO e CANAL ocupam 12 bits e armazenam o identificador do circuito virtual sendo estabelecido. A seguir vem os endereços (formato X.121)

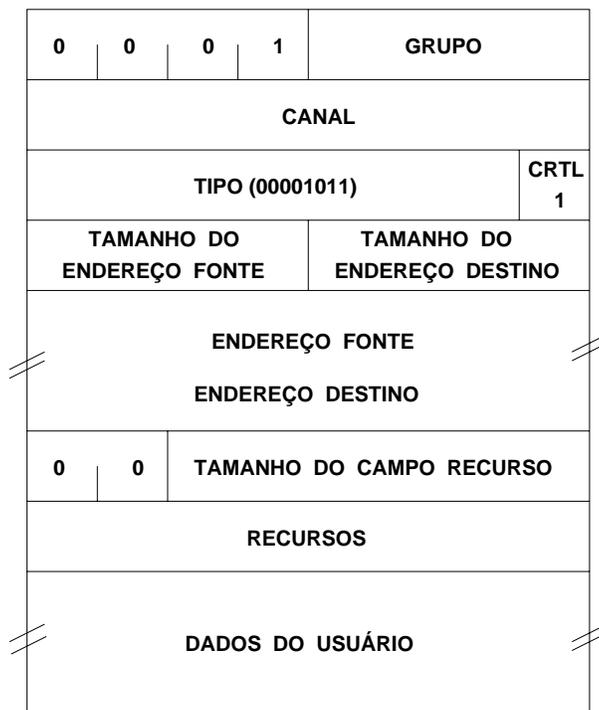


Figura 4.7: Pacote X.25 utilizado no estabelecimento de conexões.

dos roteadores de origem e destino. O campo RECURSOS é utilizado para requerer alguns serviços providos pela rede, por exemplo, tipo de circuito (full-duplex, simplex, etc), tamanho da janela (controle de fluxo), velocidade de comunicação (tipicamente 64 Kbps), taxação no roteador destino (chamada a cobrar), etc. Finalmente, o DTE que iniciou a conexão pode dispor de, no máximo, 16 bytes no campo DADOS-DO-USUÁRIO. Este campo é interpretado pelo DTE sendo conectado e ignorado pela rede.

Um pacote de controle (figura 4.8) possui campos para identificar a conexão GRUPO-CANAL e ação de controle sendo tomada. Um ou dois bytes de informação adicional acompanha o cabeçalho e indica tipicamente o porque da ação de controle (por exemplo, a recusa do estabelecimento de uma conexão).



Figura 4.8: Pacote X.25 de controle.

As ações de controle possíveis são:

- **CALL_ACCEPT**: indica o aceite de pedido de conexão;
- **CLEAR_REQUEST**: indica o término de conexão (ou o não aceite);
- **CLEAR_CONFIRMATION**: confirma o término de conexão;
- **RECEIVER_READY**, **RECEIVER_NOT_READY**, **REJECT**: utilizados no controle do fluxo do pacotes de dados;
- **INTERRUPT**: envio de, no máximo, 32 bytes fora de sequência (com alta prioridade);
- **INTERRUPT_CONFIRMATION**: reconhece um **INTERRUPT**;
- **RESET_REQUEST**: reinicia uma conexão (zerando o número de sequência dos pacotes de dados);
- **RESET_CONFIRMATION**: reconhece um **RESET_REQUEST**;
- **RESTART_REQUEST**: reinicia todas as conexões que este DTE participa (emitido após a volta de um *crash*);
- **RESTART_CONFIRMATION**: reconhece um **RESTART_REQUEST**;
- **DIAGNOSTIC**: informa o DTE de problemas ocorridos na subrede de comunicação (por exemplo, campo TIPO inválido).

Pacotes de dados apresentam o formato da figura 4.9. O bit Q indica *dados qualificados* e é utilizado pela camada de transporte para distinguir seus PDUs de dados dos de controle. O bit D estipula o significado do campo *piggyback*. Se D for igual a 1, *piggyback* indica um reconhecimento por parte do host (DTE) receptor. Caso contrário (D igual a zero), o reconhecimento da entrega é oriundo do DCE local. O campo módulo pode assumir o valor 01 para numeração em módulo 8, ou 10 para numeração em módulo 128.

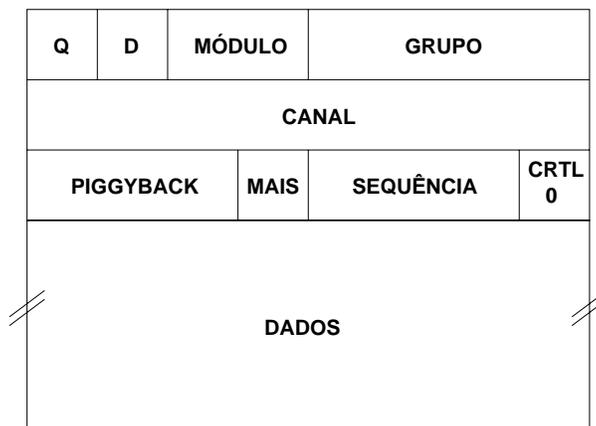


Figura 4.9: Pacote X.25 de dados.

Piggyback é um reconhecimento sem a utilização de pacotes de controle. Se o host receptor necessitar enviar um pacote de dados durante a recepção de uma sequência de pacotes, este, voluntariamente, informa o último pacote da sequência recebido sem erros (permitindo o outro lado avançar a janela). Isto minimiza a necessidade de pacotes de reconhecimento quando a comunicação é intensa nos dois sentidos.

O campo MAIS indica que mais pacotes pertencentes a este grupo estão por vir. Somente quando MAIS for zero, a mensagem é entregue ao receptor. O campo SEQUÊNCIA numera os pacotes (em módulo 8 ou 128 conforme o campo Q).

4.6 Problemas

1. Quais os serviços providos pela camada de rede?
2. Como se dá o roteamento no nível da camada de rede?
3. Quais as vantagens e desvantagens das camadas de rede orientadas a conexão e sem conexão?
4. Quais as técnicas mais empregadas para controle de congestionamento em subredes de comunicação?
5. Quais os dispositivos existentes para a interconexão de redes e em que situações são empregados ?
6. Cite algumas perdas de funcionalidades causadas pela interconexão de redes 802.3 (CSMA-CD) e 802.5 (Token Ring).
7. Como o modelo OSI trata a interconexão de redes?
8. Como é estabelecida uma conexão no nível da camada de rede no protocolo X.25?
9. Quais os pacotes de controle empregados no X.25/Camada 3? Faça um diagrama temporal mostrando os pacotes emitidos pelas duas entidades.
10. O que é *piggybacking*?