6. Nível de Rede

Artigos e livros de alguns anos atrás costumavam afirmar: “O Nível de Rede é específico para redes de longa distância e não é usado em redes locais”. Isto não é verdade, mas é fácil compreender a origem desta idéia. As redes de longa distância são implementadas com topologia em malha irregular e o nível de rede serve para levar os pacotes de nó em nó até chegar ao destino final. Na rede local não existem nós intermediários (ex.: Ethernet) ou, então, são tratados no nível físico (ex.: Token Ring). A figura 6.1 mostra a semelhança entre as redes de longa distância e um conjunto de redes locais interligados.

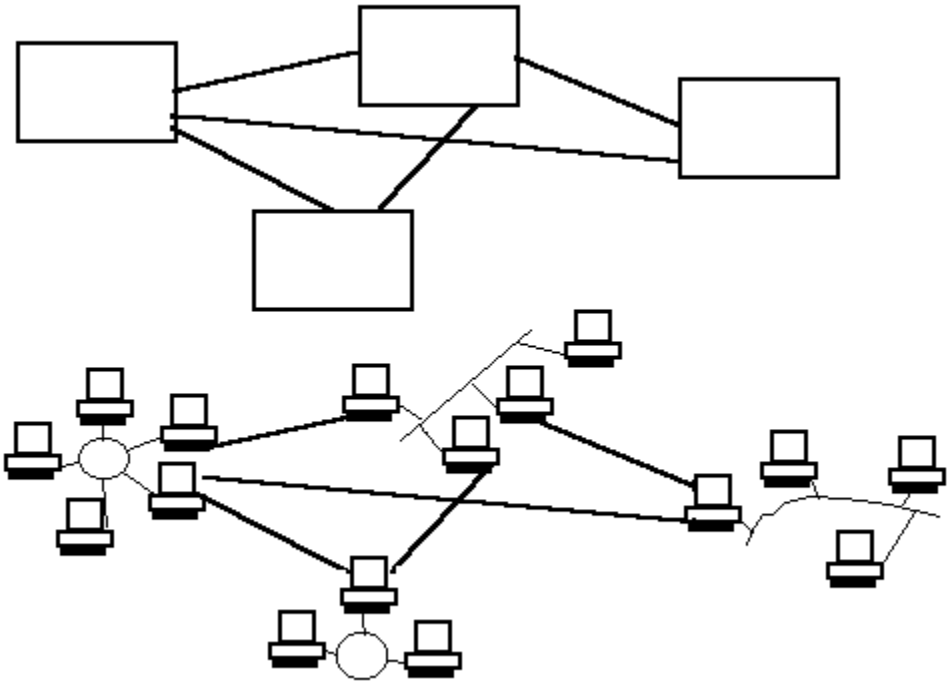


Figura 6.1 - Analogia entre Redes de Longa Distância e conjuntos de Redes Locais

Note que as redes locais da figura são ligadas por máquinas que pertencem a uma rede e possuem um canal de comunicação com uma máquina de outra rede. Quando as redes estão distantes umas das outras é comum este tipo de ligação (chamado WAN - Wide Area Network), mas redes próximas são normalmente ligadas por uma máquina que pertença simultaneamente às duas redes: o roteador.

6.1. Roteamento

Observando a figura 6.1 é fácil ver que um pacote que parta de um nó do lado esquerdo da figura pode seguir vários caminhos alternativos até um destino do lado direito. Quem escolhe qual caminho é o melhor é o **algorítmo de roteamento** do nível de rede. A implementação mais simples de algoritmo de roteamento é a consulta em tabelas. Se o endereço do nó for totalmente arbitrário será necessária uma

tabela com uma entrada para cada nó. Normalmente é mais conveniente usar endereços hierárquicos de dois níveis: o número da rede e número do nó dentro da rede. Neste caso a tabela precisa apenas de uma entrada para cada rede do sistema. Uma típica tabela de roteamento contém algo como:

[número da rede a ser atingida, endereço do próximo nó da rota, "custo" de usar esta rota]

Observe que o endereço do próximo nó da rota se refere a uma máquina ligada à mesma rede que o nó que contém a tabela. O custo da rota é um número que indica distância, e outros fatores, que permite escolher a melhor entre duas rotas possíveis. Da mesma forma que dividindo o endereço do nó em duas partes permite reduzir bastante a tabela, se for adotado algum esquema hierárquico para o número da rede poderemos ter uma única entrada da tabela indicando uma rota para todo um conjunto de redes.

Uma alternativa é escolher os endereços dos nós de tal forma que seja possível determinar o caminho a seguir sem usar nenhuma tabela. Na prática este tipo de implementação fica muito complicado à medida que o sistema cresce e que passa a ser administrado por mais de uma pessoa. Esta técnica é limitada ao **roteamento fixo** em que cada pacote de dados segue o mesmo caminho para chegar a um destino. Em muitos casos pode ser mais interessante o **roteamento adaptativo** que leva em consideração fatores como congestionamento e outras váriaveis de tempo de execução para escolher a rota. Neste caso, pacotes diferentes podem seguir caminhos diferentes para chegar a um mesmo destino.

Vamos dividir os algorítmos adaptativos em três tipos: o **local** (usa apenas informações presentes no próprio nó para tomar decisões), o **centralizado** (um único nó da rede recebe informações de todos os outros e usa esta "visão global" do sistema para calcular as melhores rotas. Em seguida envia os resultados a todos os nós) e o **distribuído** (cada nó troca informações com seus vizinhos fazendo com que os resultados locais lentamente se propagem pelo sistema inteiro). É fácil imaginar que o algorítmo local obtém o menor ganho de desempenho em relação ao roteamento fixo, mas os outros dois implicam em um trafego adicional nos mesmos canais em que circulam os dados normais, o que pode por a perder quaquer aumento de eficiência. Os sistemas com roteamento adaptativo que estudaremos usam a técnica distribuída por ser mais robusta do que a centralizada. Normalmente a preocupação será em como escolher rotas alternativas em caso de falhas e não uma coisa mais dinâmica como o evitar congestionamentos. O segundo caso exige um tempo de resposta muito menor do que as técnicas mais populares fornecem.

6.2. X.25 em Redes Locais

O padrão X.25 engloba os níveis 2 e 3 do modelo de referência OSI e é muito usado em redes de longa distância como a RENPAC. Como o padrão ISO para nível de rede ainda estava sendo desenvolvido quando foram iniciados os esforços de padronização de redes locais no Brasil, foi definido que o nível 3 do X.25 é uma opção para interligar redes locais (conforme a idéia da firgura 6.1). Os endereços, pela recomendação X.121 que normalmente é usada com o X.25, são números decimais de 14 digitos divididos em três campos: código do país, número da rede nacional e nó dentro da rede (3, 1 e 10 digitos respectivamente).

Implementando um serviço de circuitos virtuais, cada pacote tem um campo de canal lógico de 12 bits. No PDU "Request Call" existem campos com o endereço de origem e de destino. Este é o único pacote com o qual opera o algorítmo de roteamento. Uma vez estabelecida a conexão, a informação sobre a rota fica guardada em cada nó intermediário junto com os "buffers" do canal. A passagem do PDU "Clear" vai liberando estes recursos em cada máquina. No nível de rede, portanto, se os circuitos virtuais gastam recursos de memória mesmo entre pacotes, por outro lado eles economizam tempo de processamento fazendo o roteamento uma única vez.

Os pacotes de dados possuem campos P(R) e P(S) de 3 bits, o que permite janelas de tamanho máximo 8. Outros pacotes usados são: "Restart", "Reset", "Interrupt", "Receive Ready", "Receive Not

Ready", "Reject" e "Clear Confirmation".

6.3. ISO 8473 - CLNS

Em contraste com o X.25, o CLNS (Connectionless Network Service) é um serviço de nível de rede sem conexões - ou seja: oferece um serviço de datagramas. Isto facilita a operação sobre uma variedade muito grande de redes físicas. O número ISO do padrão indica que o ano em que foi iniciada sua definição foi 1984..

6.3.1. Formato do PDU

A figura 6.2 mostra os campos do PDU do nível de rede ISO 8473.

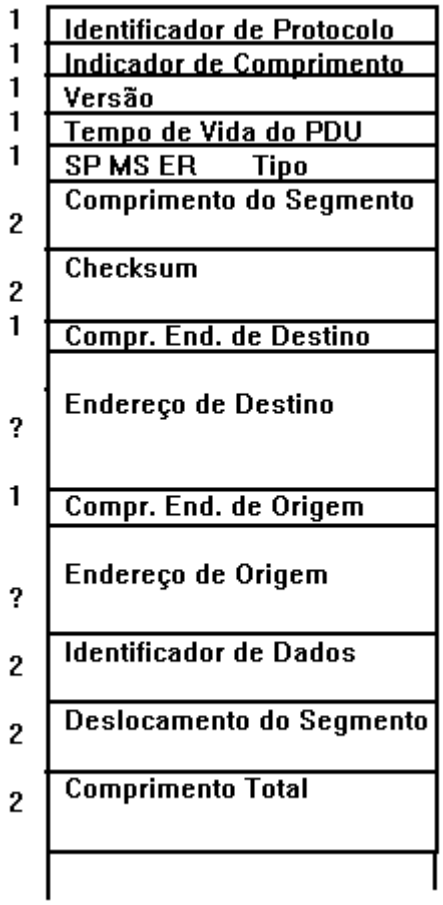


Figura 6.2 - Formato do PDU do CLNS

O número antes de cada campo indica o comprimento do campo em bytes. É interessante observar que os campos de endereço de destino e de origem têm comprimento variável e são precedidos por um campo que informa qual é este comprimento. Depois do Comprimento Total podem seguir uma ou mais opções e, depois, a PDU do nível de transporte.

O Identificador de Protocolo permite ao software confirmar que realmente se trata de um pacote CLNS. Quando o destino fica na mesma rede que a origem, é possível colocar um valor neste campo para indicar uma PDU de rede nula. Neste caso não existem nenhum dos outros campos da figura, o que poupa o tempo para calculá-los e intrepretá-los.

O Indicador de Comprimento permite ao software saber onde começa o PDU de transporte mesmo com a presença de opções de tamanho variável. O campo Versão serve para confirmar que a definição dos campos segue a mesma versão do protocolo em todos os nós pelo qual passa o pacote.

Existe a possibilidade de erros transientes ou permanentes no roteamento causarem laços nos quais um pacote circula eternamente. Para evitar que tais laços se tornem o fator de grave degradação no funcionamento da rede, cada pacote tem um campo de Tempo de Vida. A cada 0,5 segundos ou passagem por um nó este campo é incrementado. Se seu valor ultrapassar um limite predeterminado o pacote é descartado como sendo velho demais. Isto não elimina a causa deste erro, o laço de roteamento, mas apenas reduz um pouco seus efeitos.

Os campos SP e MS serão explicados na parte sobre fragmentação. O bit ER indica se o sistema deve enviar mensagens de erro para a origem deste pacote em caso de problemas de roteamento. O Tipo indica se é um pacote normal ou de mensagem de erro.

O Comprimento do Segmento diz quantos bytes de nível superior estão presentes neste pacote. O campo de Checksum é a soma de todos os campos de nível de rede para detectar erros de operação.

Em um certo sentido, os campos de endereço de destino e de origem são os mais importantes desta PDU. Como seus comprimentos podem variar, um byte inicial indica sua extensão. É baseado no campo de endereço de destino que o algorítmo de roteamento opera. O endereço de origem poderia até fazer parte dos dados de mais alto nível se não fosse a possibilidade (conforme o bit ER) de se ter que enviar um aviso de erro para a origem dentro do nível de rede mesmo.

6.3.2. Fragmentação

Os campos Identificador de Dados, Deslocamento de Segmento e Comprimento Total implementam, junto com os bits SP e MS, a função de fragmentação. Para entender esta função é preciso lembrar do objetivo de se dividir o sistema em camadas: cada nível deve poder ser trocado sem afetar as demais camadas. Se trocarmos no nível físico uma rede Ethernet, que opera com pacotes de até 1500 bytes, por uma ARCNet, limitada a um terço disto, será que não provocará nenhum efeito no nível de sessão (por exemplo)? O tamanho máximo dos pacotes de nível físico impedem a independência das camadas. Uma solução seria supor o pior caso sempre e trabalhar em cima disto. A alternativa é a fragmentação.

Implementada no nível de rede (pode também aparecer em outros níveis, mas é raro) a fragmentação permite que uma única PDU de nível de transporte seja quebrada em pedaços aceitáveis para os níveis inferiores e enviadas em várias PDUs de rede. A máquina destino junta os diversos pedaços para recriar a PDU de transporte original. A implementação dos níveis superiores fica, portanto, completamente independente das características físicas das redes.

Os campos de Comprimento Total e de Identificador de Dados têm o mesmo valor para todos os fragmentos (ou segmentos) de um pacote. O Comprimento Total indica quantos bytes fazem parte do pacote original e o Identificador de Dados é um valor qualquer que permite distinguir fragmentos de diferentes pacotes.

O bit SP (Segmentation Permitted - segmentação permitida) deve estar ligado para que o nível de rede possa efetuar a fragmentação. Se esta for necessária para passar por uma rede com tamanho de pacotes menor e o bit SP estiver desligado, o pacote é descartado e uma mensagem de erro pode ser enviada para a origem. O bit MS (More Segments - mais segmentos) indica se este é o último fragmento de um pacote ou não. O Deslocamento do Segmento indica a posição do primeiro byte deste fragmento

dentro do pacote original e podemos usar o campo comprimento do segmento para descobrir o último.

O exemplo a seguir mostra o valor dos diversos campos de um pacote que é roteado por redes com limitações físicas diferentes. O pacote chega por uma rede com limite de 4096 bytes em um único fragmento a um roteador e passa para uma rede com limite de 1500 bytes e, em seguida, por uma com limite de 600 bytes.

SP	MS	Comprimento de Segmento	Identificador de Dados	Deslocamento de Segmento	Comprimento Total
Sim	Não	2300	798	0	2300
Sim	Sim	1500	798	0	2300
Sim	Não	800	798	1500	2300
Sim	Sim	600	798	0	2300
Sim	Sim	600	798	600	2300
Sim	Sim	300	798	1200	2300
Sim	Sim	600	798	1500	2300
Sim	Não	200	798	2100	2300

O nó destino acaba recebendo cinco fragmentos que devem ser juntados para formar o pacote original. Note que os fragmentos podem chegar em qualquer ordem e a intervalos diferentes (ou até serem perdidos) por se tratar de um serviço de datagramas. Ao receber o primeiro fragmento o destino criar uma área de memória do tamanho certo (2300 bytes, neste caso) e associa o Identificador de Dados a este "buffer". Um contador é iniciado e cada fragmento que chega é colocado na posição correta da memória e o contador é reinicializado. Quando o pacote original foi totalmente recebido, ele é passado para o nível de transporte. Se o contador se esgotar à espera de um fragmento, o buffer é descartado e o pacote terá que ser retransmitido pelo nível de transporte (pode ser enviado um aviso para a origem conforme o bit ER).

Exercícios

1. No protocolo de nível de rede CLNS, o campo Identificador de Dados é preenchido com o valor de um contador que é incrementado a cada pacote enviado. Outras máquinas podem estar usando exatamente o mesmo valor para seus pacotes. Isto não pode causar problemas na hora de juntar fragmentos de um pacote? Explique.

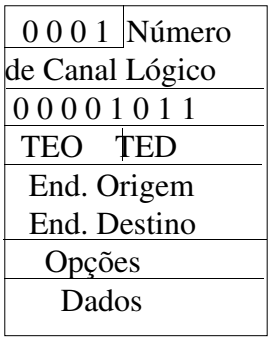
2. Por que níveis de rede com circuitos virtuais podem usar algoritmos de roteamento mais sofisticados do que os com serviço de datagramas?

3. Qual é a única camada do Modelo de Referência OSI que tem que "conhecer" a topologia de um conjunto de redes? Por que?

4. Os endereços de administração universal do Ethernet são garantidamente únicos no mundo para cada máquina. Por que a maior parte das implementações de nível de rede não adota este endereço, mas define o seu próprio endereço lógico?

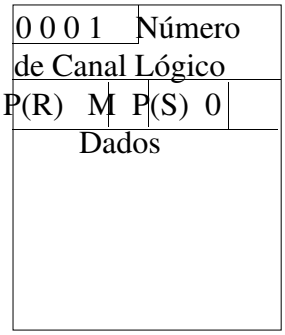
5. a) Observando o formato de alguns pacotes do nível de Rede do X.25 já podemos afirmar que se trata de um protocolo de Circuitos Virtuais e não de Comutação de Pacotes. Por que?

Pedido de Conexão:



TEO = tamanho de endereço de origem
TED = tamanho de endereço de destino

Dados:



b) Explique se uso de um protocolo de Circuitos Virtuais a nível de Rede facilita ou complica o projeto do nível de Transporte.

6. Como a implementação da fragmentação em protocolos de nível de rede (como o CLNS e o IP) ajuda a manter a independência das camadas do Modelo de Referência OSI?