

## Capítulo 6

# Redes IP e o Transporte de Dados Multimídia

Este capítulo apresenta um estudo sobre os recursos e viabilidade do uso da rede Internet como suporte de comunicação para aplicações multimídia. Serão apresentadas as vantagens e desvantagens do protocolo de rede IP e dos protocolos de transporte TCP e UDP.

## 6.1 A Arquitetura Internet

A arquitetura Internet está organizada em quatro níveis: Físico, Rede, Transporte e Aplicação. A Figura 1 ilustra estes quatro níveis (algumas referências adotam com 5 os níveis da arquitetura Internet, dividindo o nível físico em enlace e físico).



Figura 1. Arquitetura Internet

### 6.1.1 Nível de Aplicação

Este nível oferece ao usuário o acesso à Internet, que para isto pode usar um conjunto de protocolos e serviços padronizados de comunicação para as tarefas mais frequentemente realizadas na rede: o correio eletrônico (protocolo SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol*), a conexão remota (TELNET) e a transferência de arquivo (o protocolo FTP - *File Transfert Protocol*), entre outros.

### 6.1.2 Nível de Transporte

Este nível oferece um serviço confiável de transferência de dados fim-a-fim entre aplicações. Os serviços providos a este nível devem oferecer total transparência com respeito aos níveis inferiores e garantir a integridade dos dados trocados na rede, utilizando mecanismos de segurança como *checksum*, controle de fluxo, seqüenciamento, etc. Além disso, dada a sua orientação para um conjunto diversificado de aplicações, ele deve dar suporte para o controle de vários canais de comunicação entre as aplicações, simultaneamente.

Os principais protocolos definidos para este nível da Internet são o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*). O IP é um protocolo de rede que opera no modo sem conexão, enquanto o TCP é um protocolo de transporte orientado à conexão. Desta forma, a combinação TCP/IP pode oferecer um serviço de alta confiabilidade. Para o uso de redes de alta qualidade, onde o problema de confiabilidade não é crítico, pode-se usar o protocolo UDP, que opera no modo sem conexão e possui funcionalidades bem mais simplificadas do que o TCP.

### 6.1.3 Nível de Rede

Os serviços e protocolos implementados a este nível asseguram o poder de conectividade da Internet, sendo a interconexão de diversas redes a função básica deste nível.

Neste nível foi adotado o protocolo IP (*Internet Protocol*) que implementa um serviço de comunicação sem conexão, baseado em comutação de mensagens. O IP implementa um mecanismo de roteamento das mensagens que permite que um programa de aplicação troque informações com outro, mesmo que eles estejam executando em estações conectadas a redes completamente diferentes.

### 6.1.4 Nível Físico

Este nível não define um padrão próprio de protocolo, uma vez que o objetivo da Internet é justamente acomodar os diversos tipos de rede existentes. Isto significa que, neste nível, é possível utilizar padrões de redes locais como aqueles definidos no IEEE (IEEE 802.2, 802.3, 802.4, etc.), padrões como o HDLC (norma X.25), ou mesmo protocolos proprietários para redes de longa distância (SDLC, BDLC, etc.).

## 6.2 Protocolo IP e a Multimídia

Existem várias versões do protocolo IP definidos. A versão utilizada na Internet atual é a IPv4, que será abreviada IP nesta apostila. IPv6 (visto mais adiante) é uma evolução do IPv4, chamada IPng (*Internet Protocol Next Generation*). A Internet baseada IPv4 deve migrar para uma nova Internet principalmente baseada no IPv6.

### 6.2.1 IPv4

O protocolo IP não oferece um serviço de comunicação adequado para o transporte de áudio e vídeo. A principal deficiência deste protocolo está relacionada ao tipo de serviço oferecido, o melhor esforço. Nenhum recurso explícito é reservado para uma dada comunicação entre computadores. Com isto, não há garantia quanto à taxa de bits oferecida pela rede, do atraso de transmissão dos pacotes, da variação de atraso de transmissão dos pacotes e da taxa de perda de pacotes.

No caso de sobrecarga, a rede pode descartar pacotes. Geralmente a perda de pacotes ocorre nas filas dos roteadores IP.

Os roteadores, através do protocolo IP, são responsáveis pelo encaminhamento dos datagramas do host (estação conectada a rede) de origem ao host de destino, que são identificados por endereços IP. Existem vários protocolos de roteamento nas redes IP. Este tipo de protocolos implementa mecanismos para decidir qual é a rota mais apropriada para tomar quando um pacote é submetido por uma fonte para o transporte até um destino remoto. Alguns protocolos são estáticos, no sentido que as rotas apenas mudam no caso de falhas de um componente ao longo do caminho. Assim, na ausência de falhas, pacotes são liberados em seqüência. Outros protocolos tentam balancear a carga sobre a rede, estimando a carga instantânea de cada rota. Pacotes podem assim serem liberados fora de seqüência. Mas os protocolos de roteamento tradicionalmente utilizados não garantem o uso eficiente de recursos de rede.

### 6.2.2 IP Multicast

IP multicast é uma extensão do IPv4 que permite que um datagrama IP seja transmitido para um conjunto de máquinas que formam um grupo multicast identificado por um endereço IP único.

A rede diferencia pacotes normais e pacotes multicast olhando no formato do endereço destino contido no pacote. Na versão 4 do padrão, o endereço IP é de 32 bits; se os 4 primeiros tem o valor "1101", isto significa que o pacote é multicast (da classe D), o resto do endereço serve para identificar o grupo multicast.

#### **Roteadores IP Multicast**

O IP multicast pode ser utilizado em uma rede física única ou através da Internet. Neste último caso, os datagramas são transmitidos por roteadores com capacidade multicasting denominados roteadores multicast, que podem ser os mesmos ou diferentes dos roteadores Internet. No caso de uma rede física única, uma estação transmite um datagrama multicast na rede local, que atingirá todos os membros do grupo multicast pertencentes à rede local.

Para operar no modo multicast, os roteadores IP devem ser estendidos para entender endereços de grupo, duplicação de pacotes que chegam e retransmissão dos pacotes às ligações corretas. Para fazer isto de maneira eficiente, apenas as funções de duplicação de pacotes e roteamento são executados em um roteador IP multicast em tempo de execução; o cálculo das rotas multicast ótimas, entrada e saída de membros, etc., são manipulados por um protocolo separado chamado IGMP (*Internet Group Management Protocol*).

### Grupos Multicast

IP multicast é uma extensão do IPv4 que permite que um datagrama IP seja transmitido para um conjunto de máquinas que formam um grupo multicast. Um grupo multicast é identificado por um endereço IP único e são formados por um conjunto de zero ou mais máquinas que podem estar espalhadas ao longo de redes físicas separadas.

Os membros de um grupo são dinâmicos: estações podem entrar ou deixar grupos a qualquer momento. Não há autoridade central para que pedidos tenham que ser feitos. Assim não há restrições para o número de membros de um grupo, e uma estação pode participar de mais de um grupo simultaneamente. Pertencer a um grupo determina se o host receberá os datagramas enviados para o grupo multicast, sendo permitido que uma estação envie datagramas para um grupo mesmo sem pertencer a ele.

Um grupo pode ser permanente ou transiente. Grupos permanentes são aqueles que possuem um endereço conhecido e fixo. Apenas o endereço é permanente. Os membros deste grupo não são permanentes, e num dado momento um grupo permanente pode ter qualquer número de membros, inclusive zero. Os endereços IP multicast que não são reservados para nenhum grupo permanente estão disponíveis para atribuição dinâmica de grupos temporários que existem somente enquanto possuem membros. Estes grupos são criados quando necessário, e descartados quando o número de membros atinge zero ou seu tempo de vida terminar.

Existem 3 diferentes membros de um grupo IP multicast: uma estação da rede (*host*) pode apenas enviar (não pode fazer parte do grupo), apenas receber ou enviar e receber pacotes multicast.

### Criação de um grupo multicast

Antes de um multicast ser iniciado no nível IP, o emissor tem que reservar um endereço de grupo disponível, e os receptores têm que encontrar este endereço. Na Internet, os protocolos SAP (*Session Announcement Protocol*) e SDP (*Session Description Protocol*) foram definidos para estes propósitos. Eles informam aos roteadores multicast a existência do grupo de maneira que o mapeamento do endereço do grupo para as funções de roteamento e duplicação de pacotes possam ser feito.

### Entrada em um grupo multicast

Um dado host desejando se juntar ou deixar um grupo não propaga ele mesmo sua informação de membro pela rede. Ele faz isto indiretamente, via um roteador multicast que propaga a informação do membro para outros roteadores multicast. O mecanismo de entrada no grupo é portanto um procedimento iniciado pelo receptor.

Um hospedeiro pode simultaneamente fazer parte de vários grupos. Isto é particularmente importante para multimídia, como na distribuição de áudio e vídeo baseado em IP, o som é distribuído para um dado grupo - ou para vários grupos com diferentes graus de qualidade - e o vídeo é em um grupo diferente.

### Características de confiabilidade do IP Multicast

A entrega de um datagrama multicast é realizada com as mesmas características de confiabilidade que os datagramas *unicast* regulares IP, o que significa que não há garantia contra perda, retardo, ou entrega fora de ordem para nenhum dos membros do grupo.

### IP Multicast está sendo usado?

Atualmente, IP multicast é ainda considerado um experimento. Mas desde que IP multicast será completamente integrado em IPv6, os protocolos companheiros serão também inteiramente integrados na próxima geração de hosts e roteadores Internet.

A fim de testar o IP multicast, uma rede dentro da rede Internet, chamada MBone (Multicast Backbone) foi criada. Os nós participantes desta rede são roteadores IP Multicast.

## 6.2.3 IPv6

IP versão 6 (ou IPv6) é uma nova versão do protocolo Internet IP. O IETF decidiu em 1992 desenvolver uma nova versão do IP, pois o espaço de endereçamento disponível do IPv4 provavelmente terminaria

no início do século 21. Atualmente, IPv4 está em uso por todo o mundo. IPv6 foi projetado para ser um passo evolucionário do IPv4.

Uma meta importante de projeto do IPv6 é a compatibilidade com IPv4. Em uma rede grande e heterogênea como a Internet, seria impossível a migração de todos os nós para uma nova versão de protocolo no mesmo tempo. Novos hosts e roteadores executando IPv6 serão capazes de coexistirem com velhos hosts IPv4, habilitando assim uma migração gradativa da Internet.

IPv6 é baseado nos principais paradigmas das velhas versões do IP: sem conexão (um protocolo datagrama), sem controle de erro e de fluxo na camada de rede. Os novos objetivos que devem ser alcançados com esta nova versão do protocolo IP são [Tanenbaum, 97] [Kuo, 98]:

- Suporte a bilhões de hosts, através da expansão do espaço de endereçamento e uma hierarquia mais versátil (mais níveis). Sendo o espaço de endereçamento ampliado para 128 bits (são 23 bits no IPv4);
- Suporta o multicast. O campo scope dentro de um endereço multicast limita o domínio de validade deste endereço (por exemplo, para uma Intranet em uma empresa);
- Os novos campos flow label, traffic class e flow ID no cabeçalho permitem a identificação de todos os pacotes de um mesmo fluxo de dados (chamado um fluxo no IP). Um fluxo é uma sequência de pacotes enviados por um host para um endereço unicast ou multicast. Assim, todos os roteadores no caminho podem identificar os pacotes de um fluxo e tratar eles de um modo específico ao fluxo. O campo traffic class é muito similar às classes de tráfego ATM apresentadas no capítulo 10. A classe de tráfego para fluxos contínuos (Por exemplo, vídeo e áudio) terá mais alta prioridade nos roteadores que a classe de tráfego para fluxos de dados tradicionais. O flow label foi considerada uma das características chaves do IPv6 para reserva de recursos e QoS no nível IP na Internet. Nas velhas versões do IP não foi possível identificar pacotes pertencendo a um fluxo multimídia particular (os endereços fonte e destino não são obviamente suficientes), e assim a reserva de recursos e garantias de QoS eram impossíveis de implementar.
- Redução da tabela de roteamento e melhorias no roteamento, inclusive no que tange a hosts móveis;
- Protocolo passível de expansão, através do uso de cabeçalhos de extensão;
- Simplificação do cabeçalho do protocolo, diminuindo o tempo de processamento na análise dos cabeçalhos, por parte de roteadores e hosts;
- Garantia de mais segurança (autenticação, integridade e criptografia) em relação à versão atual;
- Permissão de máquinas wireless mudarem fisicamente de lugar sem mudança em seus endereços IP;
- Habilitação de máquinas se auto-configurarem (número IP, servidor de nome...) ao serem ligadas na rede (operação "plug and play");
- Um novo tipo de endereço chamado anycast, conceitualmente uma "cruz" entre unicast e multicast: esse tipo de endereço identifica um conjunto de nós, onde um pacote enviado para um endereço anycast será entregue a um destes nós;
- Coexistência das duas versões do protocolo por um bom tempo, pois não se pode determinar uma data específica para que todas as máquinas no mundo troquem seus softwares.

## 6.3 Requisitos para Protocolos de Transporte

A função básica de qualquer protocolo de transporte é fornecer funções e serviços necessários às aplicações pelo uso dos protocolos de níveis mais baixo e a rede física. No caso de aplicações multimídia, um protocolo de transporte deve fornecer funções apropriadas para estas aplicações. Este capítulo analisa os principais requisitos para protocolos de transporte multimídia e a partir deste estudo analisa alguns protocolos.

Protocolos de transporte multimídia diferem dos protocolos de transporte de dados convencionais no sentido que estes primeiros devem suportar garantias de QoS para aplicações multimídia. A função do protocolo de transporte multimídia é então estabelecer e manter uma conexão com garantias de QoS e fornecer uma interface para as aplicações. Os dois principais requisitos são alta vazão e suporte ao *multicast*.

### 6.3.1 Alta Vazão

Dados multimídia, especialmente vídeo, necessitam de uma grande largura de banda. Por exemplo, um vídeo de alta qualidade compactado necessita cerca de 1.4 Mbps (como apresentado no capítulo 9). Todos os dados passam pela pilha de transporte, assim o protocolo de transporte deve ser rápido suficiente para suportar este requisito de grande largura de banda. Do ponto de vista da aplicação, como uma aplicação pode envolver vários fluxos de dado, a velocidade do protocolo de transporte deve ser maior que a largura de banda agregada destes fluxos.

Outra maneira de ver o requisito de vazão de um protocolo de transporte é a partir do sistema de comunicação. A vazão do protocolo de transporte deveria ser maior ou próximo a velocidade de acesso a rede. Senão a largura de banda fornecida pelos pontos de acesso à rede não poderiam ser inteiramente usados e o protocolo de transporte seria então o gargalo no sistema de comunicação.

Protocolos otimizados a velocidade, mas não suportando garantias de QoS e/ou *multicast* são chamados *protocolos de transporte de alta velocidade* ou *lightweight* (leves).

### 6.3.2 Capacidades Multicast

Muitas aplicações multimídia envolvem múltiplos participantes, sendo assim elas necessitam de capacidades *multicast* do sistema de transporte. O *Multicast* é normalmente implementado na camada de rede. Muitos sistemas de transporte multimídia usam o algoritmo IP *multicast* ou assumem a existência de certos algoritmos de roteamento *multicast*.

## 6.4 Protocolo TCP

O protocolo de transporte mais comum é o TCP (*Transmission Control Protocol*). Este protocolo foi projetado para a comunicação de dados confiável em redes de baixa largura de banda e altas taxas de erro. Como resultado, ele não é otimizado para operações de alta velocidade, além de não fornecer suporte de QoS e *multicast*. Portanto eles são indesejáveis para comunicações multimídia. Os principais aspectos indesejáveis deste protocolo para aplicações multimídia são: controle de fluxo, controle de congestionamento, controle de erro e não fornecimento de suportes de QoS.

### 6.4.1 Controle de Erro

O TCP fornece uma comunicação de dados confiável. Quando um pacote é perdido ou corrompido ele é retransmitido. Esta estratégia de retransmissão não é ideal para comunicação multimídia por várias razões:

- A implementação de estratégias de retransmissão envolve temporizadores e buffers grandes e tornam o protocolo complicado e lento.
- Dados multimídia toleram algum erro ou perda, sendo assim o controle de erro é desnecessário para as tecnologias de rede atuais.
- Retransmissão causa atrasos para dados subseqüentes, resultando geralmente em mais dados sem utilidade no receptor (pois dados multimídia que chegam atrasados normalmente são descartados).

Para comunicações multimídia, somente a detecção de erros deve ser fornecida. Na detecção de um erro, a aplicação deveria ser notificada e é ela que deveria decidir se a retransmissão é necessária ou não. Se necessária, apenas os pacotes perdidos são retransmitidos (retransmissão seletiva). Outra solução é a codificação *forward error correction* (FEC) em que informações extras são enviadas para permitir correções de erro no receptor sem necessidade de retransmissão. O problema desta solução é o consumo adicional de largura de banda.

### 6.4.2 Controle de Fluxo

O mecanismo de controle de fluxo mais comum é o controle de fluxo por janela deslizante, que permite um número fixo de bytes (uma janela de bytes) serem transmitidos sem necessidade de confirmação ou reconhecimento pelo receptor. Após o envio de uma janela de bytes, o transmissor deve aguardar um reconhecimento. O tamanho da janela de escorregamento do TCP é 64 Kbytes. Para redes lentas, este tamanho é muito grande. Por exemplo, uma rede de 64 Kbps leva 8s para transmitir 64 Kbytes. O atraso

de ida-e-volta normal é muito menor que 8s, assim o transmissor receberá um reconhecimento antes de acabar o envio dos bits de uma janela.

Para transmissões em alta velocidade, o mecanismo de controle de fluxo por janela de escorregamento do TCP não é satisfatório. Isto pois o tamanho da janela é muito pequeno e o transmissor aguardará muito para receber a permissão de transmissão. Assim, a largura de banda não é inteiramente utilizada. Por exemplo, o transmissor enviará 64 Kbytes em 50 ms na velocidade de 10 Mbps. Para uma WAN o atraso ida-e-volta é normalmente muito maior que 50 ms (estamos nos dirigindo para um atraso fim-a-fim de cerca de 150 ms). Uma solução parcial seria aumentar o tamanho da janela.

Este mecanismo de controle de fluxo não é adequado para multimídia. Ele assume que a taxa de transmissão pode se adaptar às condições da rede e do receptor. Isto não é possível para mídias contínuas que deveria ser enviada numa taxa intrínseca. Por exemplo, se um sinal de áudio é amostrado a 8000 amostras por segundo com 8 bits por amostra, 8000 amostras deveriam ser transmitidas e recebidas todo segundo (com uma pequena variação) para uma apresentação de boa qualidade.

O controle de fluxo mais apropriado para transmissão de dados contínuos em alta velocidade é o controle baseado em taxa. O transmissor, rede e receptor entram em acordo com a taxa de transmissão em termos de média, taxa de pico e assim por diante antes da transmissão do dado. Quando a taxa é aceita por todas as partes, o transmissor envia nesta taxa, a rede fornece certas garantias para este tráfego, e o receptor aloca recursos suficientes para receber e apresentar o dado na taxa especificada.

### 6.4.3 Controle de Congestionamento

Informalmente, congestionamento de rede pode ser visto como um “Excessivo número de fontes enviando grande quantidade de dados mais rápido que a rede possa manipular”. O congestionamento de rede se manifesta pela perda de pacotes (overflow dos buffers nos roteadores) e grandes atrasos (enfileiramento nos buffers dos roteadores). Sendo considerado um grande problema de rede.

O controle de congestionamento do TCP controla a taxa de rede oferecida pela aplicação dependendo do estado da rede. Estabelecida a conexão TCP, ela entra no estado de partida lenta. Neste estado, a taxa oferecida cresce exponencialmente, como ilustrado na Figura 61. Inicialmente um pacote é transmitido. Na recepção do reconhecimento do pacote, dois novos pacotes podem ser transmitidos. Na recepção dos dois reconhecimentos, quatro pacotes podem ser enviados. E assim sucessivamente.

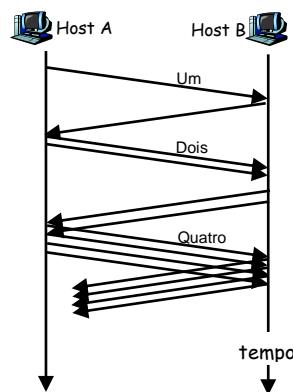
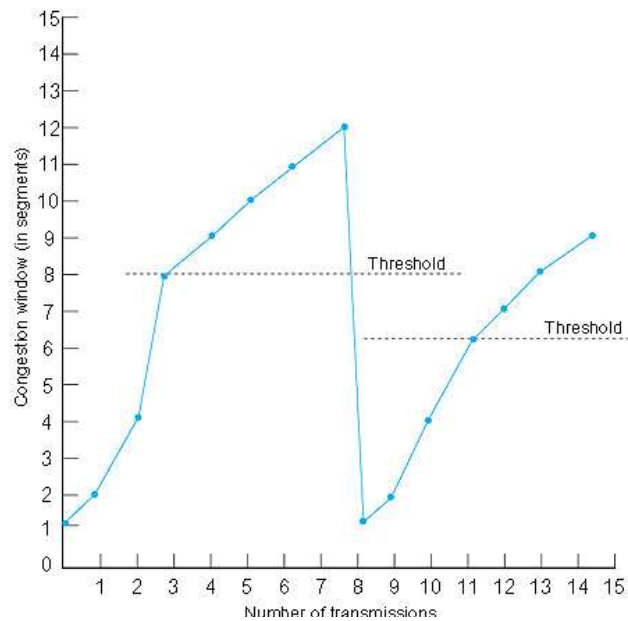


Figura 61. Partida Lenta

A partida lenta termina quando o número de pacote alcançar um limiar (*threshold*) ou ocorrer um timeout de retransmissão ou o recebimento de três reconhecimentos duplicados. Caso o número de pacotes transmitidos sem reconhecimento for igual ao limiar, o crescimento passa a ser linear e não mais exponencial, conforme apresentado na Figura 62. Esta fase é chamada de prevenção de conexão.



**Figura 62.** Controle de congestionamento do TCP

Na ocorrência de um timeout ou um reconhecimento triplicado, o processo se reinicia e a conexão entra novamente no estado de partida lenta. Neste momento, o limiar é setado como a metade do número de pacotes transmitidos sem reconhecimento. Por exemplo, no estado apresentado na Figura 62, a partida lenta durou até a transmissão de 8 pacotes. Como o limiar é 8, a conexão entrou no estado de prevenção de conexão. Quando foram transmitidos 12 pacotes, houve uma detecção de perda de pacote. Com isto, o limiar foi setado para 6 e o processo reinicializou.

Da mesma forma que o controle de fluxo, o controle de Congestionamento TCP força que a aplicação se adapte a situação da rede via controle da taxa de bits oferecida. Isto não é interessante para multimídia, que requer que a rede suporte a taxa de apresentação (mais sobrecargas de protocolos).

#### 6.4.4 Falta de Suporte de QoS

As questões anteriores estão associadas com a eficiência e vazão de protocolos de transporte. Estas questões podem ser resolvidas até certo ponto e protocolos de transporte de alta velocidade podem ser obtidos por otimizações, paralelismo e implementação por hardware. Por exemplo, existem otimizações de TCP que podem chegar a velocidades de gigabits/s. Mas as redes IP oferecem um serviço de transporte de datagramas do tipo melhor esforço. Portanto, as redes IP de hoje não fornecem isocronismo. Além disso, a ausência do modo orientado a conexão torna a reserva de recursos pela rede difícil. Portanto, a taxa de bits não pode ser garantida e os atrasos de trânsito podem variar na ordem de segundos. Neste modelo, a mais alta garantia da rede é a transferência confiável usando protocolos como TCP, sendo que a retransmissão TCP causa variação de atraso adicional. Isto é desnecessário, pois o transporte de mensagens confiáveis não é necessário para áudio e vídeo, pois eles toleram a perdas de quadros (perdas são raramente fatais, embora elas reduzam a qualidade de imagens e sons). Portanto, o suporte de aplicações com mídias contínuas tempo-real é, portanto, dificultado nas redes TCP/IP.

#### 6.4.5 Multicast

O TCP, por ser um protocolo orientado a conexão, não tem suporte a multicast. Assim, para aplicações de comunicação de grupo, caso adotarem o TCP, necessitam criar várias conexões ponto-a-ponto. Com isto, o uso da rede será ineficiente.

### 6.5 Protocolo UDP

O protocolo UDP não tem várias das deficiências do TCP para multimídia, com um serviço orientado datagrama simples sem confiabilidade. Aplicações podem rodar no topo do UDP com funções adicionais integradas nas aplicações, delegando-se às estações o recobrimento das dificuldades que a rede tem

quanto a garantias de serviço. Para suportar aplicações necessitando transmissões tempo-real, técnicas de recobrimento usadas pelas estações incluem técnicas de bufferização, o uso de protocolos de transporte mais adaptados, como o RTP, e mecanismos de admissão pelo qual as estações tentam estimar antes do lançamento de uma aplicação se esta tem alguma chance de ser satisfatoriamente suportada.

A integração na aplicação de estratégias de controle de fluxo ou retransmissão corresponde ao conceito *Application Level Framing* (ALF) [Clark, 90]. Integrar funções do protocolo de transporte tradicional tal como suporte de confiabilidade requer que as aplicações controlem o tamanho do pacote de rede. ALF propõe um tamanho de pacote único para todas as funções da pilha de comunicação, que aumenta o desempenho do sistema e permite a implementação mais eficiente e avançada. Para suportar a interoperabilidade, os protocolos ALFs são definidos pela especificação principalmente dos formatos da unidade de dados de protocolo. As abordagens de protocolo ALF não definem algoritmos para controle de fluxo e retransmissão, estes são baseados nos requisitos das aplicações. O Protocolo RTP é um bom exemplo de projeto de protocolo baseado no ALF.