Implementando Redes Locais em ATM

Daniel Antunes Maciel Villela
daniel@gta.ufrj.br

Luís Henrique M. Kosmalski Costa
luish@gta.ufrj.br

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
COPPE/PEE - Programa de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

Atualmente, a tecnologia ATM constitui uma possibilidade de aumento de desempenho e eficiência em administração em redes locais. Entretanto, já há uma enorme base de serviços e aplicações instaladas. Por isto, buscam-se soluções para implementação de redes locais de forma eficiente e de baixo custo. Assume importância, também, a coexistência das novas redes ATM com as redes legadas. Há a proposta do Fórum ATM, em que há emulação de redes locais em ATM, chamada *LAN Emulation* (LANE). Já o *Internet Engineering Task Force* (IETF) especifica a utilização do protocolo *Internet Protocol* (IP) sobre o ATM (*IP over ATM*) como forma de possibilitar a integração dos atuais serviços e redes legadas com o ATM. Este trabalho descreve a analisa as duas possibilidades.

Abstract

Nowadays, ATM technology can increase performance and help the administration in Local Area Networks (LANs). Nevertheless, there is a huge base of installed services and applications. Thus, solutions for low cost LAN implementations are desired. Coexistence of legacy networks and ATM is important as well. The ATM Forum proposal is the LAN Emulation (LANE) recommendation. IP over ATM is the Internet Engineering Task Force (IETF) solution for the integration of service and legacy networks. This paper describes and analyses these possibilities.

1 Introdução

Atualmente, as redes locais (LANs - *Local Area Networks*) começam a se mostrar limitadas em termos de performance e de administração, não somente pela sua extensão geográfica, mas também pelo número crescente de estações conectadas a estas redes, e às novas aplicações que estão surgindo.

O aparecimento da tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) constitui uma possibilidade de crescimento do desempenho atingido pelas redes locais, apesar de esta ter sido projetada originalmente para as WANs (*Wide Area Networks*). A simples implantação de novas LANs, baseadas na tecnologia ATM, no entanto, mostra-se inviável dada a enorme base instalada. Os custos de mudança para novas redes totalmente ATM seriam muito grandes, o que inviabiliza a introdução da nova tecnologia a curto prazo. Esta exige uma migração suave para as redes ATM, com soluções intermediárias, que permitam que as aplicações existentes possam continuar a ser utilizadas, pelas novas estações ATM. Por outro lado, é necessária a interconexão destas novas redes ATM com as chamadas redes legadas, como redes Ethernet ou Token Ring. A idéia principal da emulação de uma rede local sobre uma rede ATM está ilustrada na figura 1.

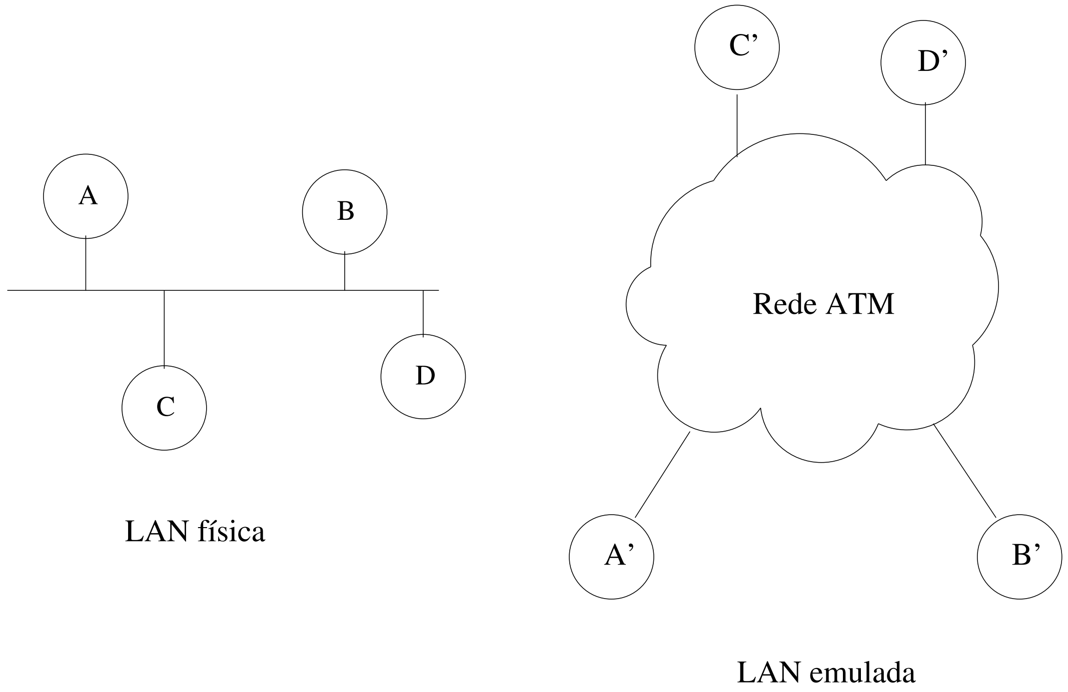


Figura 1: A emulação de LAN sobre a rede ATM.

A compatibilização das redes ATM com as LANs tradicionais apresenta alguns problemas importantes, fruto de diferenças fundamentais entre as duas tecnologias. O modo de acesso às LANs é não orientado a conexão, enquanto que o ATM se baseia no serviço orientado a conexão. Ou seja, a camada de adaptação deverá emular um serviço não conectado, utilizando-se de um serviço inferior orientado a conexão. Além disso, esta deve realizar a conversão de endereços MAC utilizados tradicionalmente em endereços ATM.

Nesta conversão de endereços devem ser considerados os mecanismos de *broadcast* e *multicast*, naturais numa rede de acesso compartilhado ao meio como nas LANs clássicas. Prover estes serviços numa rede com conexões ponto-a-ponto não é trivial. Outro problema diz respeito ao tamanho dos quadros ou mensagens, que chegam a 18k octetos nas LANs atuais. As células ATM são muito menores que os pacotes utilizados nas LANs clássicas, possuindo 53 octetos.

Existem basicamente três caminhos possíveis na implementação da emulação de LANs sobre uma rede ATM. O método escolhido pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) consiste na integração entre redes ATM e redes legadas por roteadores IP (*Internet Protocol*). Esta solução é conhecida como IP sobre ATM, sendo estudada neste trabalho e descrita no RFC 1577 [1]. Os protocolos de nível de Rede devem ser modificados, tomando a rede ATM como um nível de Enlace. Esta solução é atraente do ponto de vista do grande número de aplicações baseados na família de protocolos Internet. No entanto, outros protocolos de Rede são bastante utilizados, como o NetBios, IPX, AppleTalk, o que exigiria uma modificação semelhante para cada um deles.

Outra possibilidade que vem ganhando força é a implementação de um protocolo de Transporte para o ATM, ou mesmo a utilização de um existente. A interconexão com as redes legadas seria feita através de *gateways* a nível de Transporte. O maior problema encontrado por esta solução é a introdução no mercado de um protocolo totalmente novo, e o esforço de padronização que ainda precisa ser realizado.

A solução proposta pelo Forum ATM, estudada também neste trabalho, é a implementação de uma camada emulando os serviços da camada MAC das LANs tradicionais sobre a camada de adaptação ATM (AAL - *ATM Adaptation Layer*)[2, 3]. Na prática, a recomendação LAN Emulation Versão 1.0 (LANE) [4, 5], realiza a emulação da camada MAC das redes Ethernet IEEE 802.3 e Token Ring IEEE 802.5. Uma vez que os serviços da camada MAC são emulados, qualquer software escrito para as LANs legadas pode ser reutilizado sem alterações. Este é o principal argumento a favor do LANE, embora também um ponto fraco: os serviços de uma LAN legada são providos aos usuários, e não os de uma rede ATM.

2 Motivação e desafios

Com o advento de novas tecnologias para comunicações e comutação para difusão, tornou-se possível a transmissão eficiente de informação multimídia como voz e vídeo. Um exemplo com destaque crescente é o Modo de Transferência Assíncrono (*Asynchronous Transfer Mode* - ATM), que possibilita uma melhoria nas aplicações já existentes com garantia de qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS), com consequente disseminação, e crescimento de novas aplicações. O ATM é, por natureza própria, orientado à conexão. A transmissão de dados ocorre em canais virtuais, estabelecidos previamente. Para suportar a interconexão de LANs e MANs não orientadas à conexão sobre redes de larga área como uma Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga (RDSI-FL), deve-se criar meios de oferecer um serviço não orientado à conexão sobre uma tal tecnologia que não possui esta característica [6].

Há numerosas redes que são do tipo não orientadas à conexão por natureza própria devido aos seus métodos de acesso ao meio. Assim, podem ser citadas redes com característica de difusão, baseadas em fichas (*tokens*) e outros formas. Logo, tecnologias como Ethernet, *token ring*, FDDI e DQDB são tipicamente não orientadas à conexão. Isto significa que não há necessidade de estabelecimento de conexão, de sinalização prévia ou, ainda, de definição prévia das características de tráfego dos dados, de modo que a rede simplesmente difunde ou passa adiante pacotes utilizando para isto os protocolos comuns para acesso ao meio (*Medium Access Control* - MAC), para enlace lógico etc [7]. Os usuários simplesmente submetem seus dados à rede de modo que dinamicamente irá dividir a banda passante disponível por todos os usuários ativos. Ainda vale destacar que o padrão adotado na rede Internet também segue esta característica com a utilização de datagramas.

As redes ATM, como já foi comentado, são orientadas à conexão. Possui circuitos virtuais estabelecidos entre os sistemas finais de modo que os pacotes são comutados na transmissão de acordo com seus identificadores de conexão próprios, seguindo um caminho previamente determinado durante o estabelecimento de conexão. Há algumas vantagens neste tipo de serviço. As decisões de roteamento ocorrem somente no estabelecimento de conexão. Permite-se que a sequência de células transmitidas e recebidas seja mantida. Além disso, pode-se alocar recursos estatisticamente previamente para a conexão de modo a tornar possível garantia de QoS.

Para usufruir dos benefícios de redes orientadas à conexão em redes que não se encaixam nesta categoria, frequentemente oferece-se serviços com conexão. Desta forma, as camadas de Transporte oferecem, de uma maneira geral, serviços com conexão ao usuário, mantendo informações do estado da transmissão fim-a-fim e, portanto, emulando o comportamento de conexões.

Com o ATM ocorre justamente o contrário. Trata-se de uma tecnologia inerentemente orientada à conexão, mas objetiva-se serviços sem conexão para obter suas vantagens e permitir interoperabilidade. A questão de desempenho assume aspecto importante e implica em uma implementação cuidadosa dos sistemas [8, 9].

Com isto, há métodos que implementam estes sistemas com tais serviços em redes ATM. Um deles permite aos comutadores estarem interconectados a redes legadas rodando os protocolos IEEE 802 para redes locais. Trata-se da emulação de redes locais em ATM, padronizada pelo Forum ATM. É portanto, denominada Emulação de LAN (*LAN Emulation* - LANE). Outra possibilidade é a utilização do protocolo IP (*Internet Protocol*) sobre uma rede ATM configurada para o enlace dos dados e acesso ao meio. A esta configuração, atribui-se o nome IP sobre ATM. É definida pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*).

3 O protocolo IP

A Internet é uma coleção de LANs/MANs interconectadas por roteadores e *gateways*. Cada terminal ligado a Internet possui um endereço ao nível de Rede, nomeado simplesmente endereço IP. Trata-se de um endereço hierárquico utilizado para o roteamento de pacotes. Os endereços IP são compostos com 32 bits. O usual é escrevê-los em série de 4 octetos, indicando a hierarquia utilizada. Assim, em sua primeira parte há identificação na subrede e, em uma segunda, identifica-se uma máquina que faz parte desta rede.

O protocolo IP possui esta função e roteamento por meio de mecanismo sem conexão, ou seja, não há um caminho físico ou mesmo lógico fixo em que os pacotes percorrem até chegar ao destino especificado. Cada pacote pode seguir diversos caminhos diferentes chegando ao mesmo destino pretendido. Desta forma, necessariamente, a unidade básica de transmissão de dados, chamada datagrama, deve conter os endereços de origem e de destino em um cabeçalho próprio. O protocolo IP integra a família de protocolos TCP/IP utilizada na Internet, situado ao nível de rede do modelo de referência OSI. Maiores detalhes podem ser vistos em [10].

Cada datagrama IP é uma unidade básica no sentido de que é transmitido diretamente ao destino sem depender de qualquer outro datagrama anterior ou posterior. O serviço sem conexão possui alguns problemas. Um deles é a perda de sequenciamento de pacotes que deverá ser feita pelo TCP ou pelo usuário (no caso de UDP). A comunicação é dita não-confiável pois não é fim-a-fim e não há reconhecimento por parte do destinatário da chegada do datagrama. Não se utiliza controle de erros, excetuando-se sobre o cabeçalho a fim de que não haja perda de informação necessária aos roteadores. Também não há mecanismo de controle de fluxo. Por outro lado, diz-se que o roteamento é adaptativo e distribuído pois uma vez que um determinado caminho estabelecido esteja congestionado ou mesmo sem comunicação, pode-se adaptar a um novo caminho por meio de *gateways*.

4 O padrão IEEE 802

O padrão IEEE 802 corresponde a uma arquitetura definida pelo *IEEE Computer Society*. Pressupõe as funções mínimas e essenciais para comunicação em redes locais nos níveis 1 e 2 do modelo de referência da ISO. Uma grande parte de redes locais se baseia em meio compartilhado e emprega a família de protocolos IEEE 802. São exemplos o Ethernet, o *token ring* e *token bus*. Um protocolo de LAN define as camadas Física e Enlace do modelo de referência OSI da ISO. No modelo IEEE 802, o protocolo de enlace é dividido em duas subcamadas. Uma primeira define o protocolo de acesso ao meio de comunicação, *Medium Access Control* (MAC). Uma segunda subcamada, Controle de Enlace Lógico (*Logic Link Control* - LLC), define uma interface comum para diferentes protocolos de nível de rede para interagir com o protocolo MAC.

As redes locais IEEE 802 são tipicamente baseadas em acesso a um meio compartilhado. Desta forma, qualquer comunicação ocorre por difusão.

5 Modo de Transferência Assíncrono

O ATM define células de tamanho fixo, 53 octetos. Trata-se de uma variação do conceito de pacote. A célula é um pacote de tamanho reduzido. Possui tamanho fixo que garante maior simplicidade no tratamento. Com isso, obtém vantagens das redes que

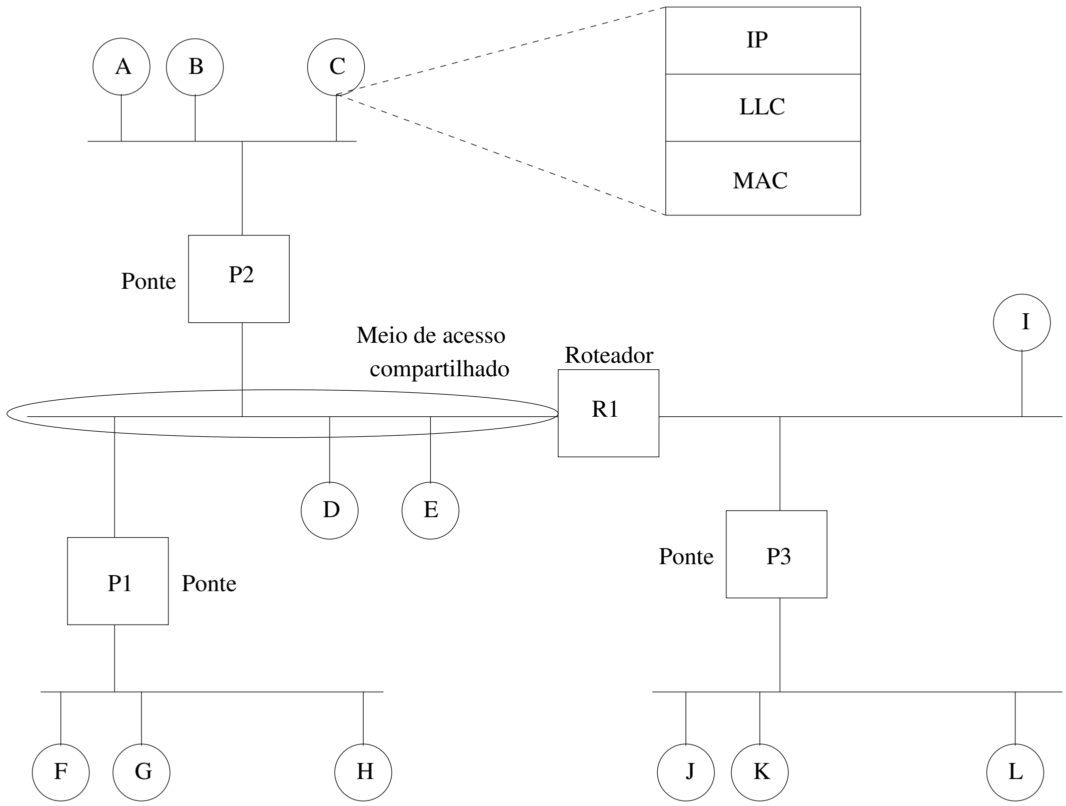


Figura 2: Exemplo de interconexão

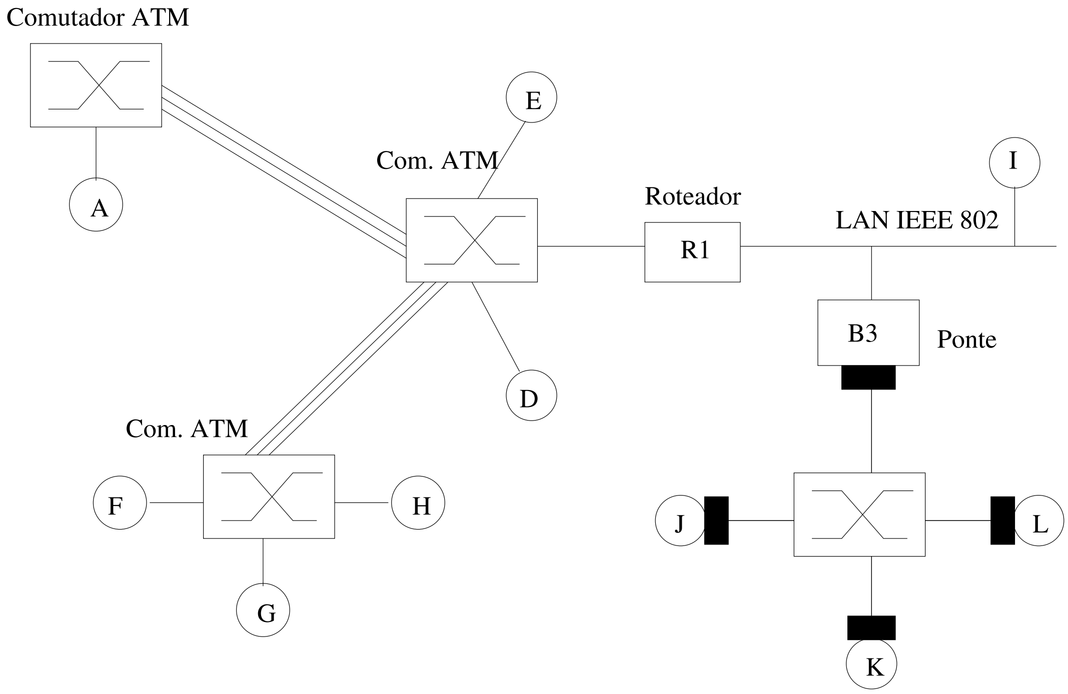


Figura 3: Interconexão de subredes homôgeneas e heterôgeneas

utilizam comutação de pacotes e ainda podem atender a requisitos de retardo máximo de transferência assegurado por meio de simplicidade de processamento nos nós de comunicação. O ATM, como já foi dito é orientado a conexão. Logo, antes de qualquer transferência de dados, deve ser estabelecida uma conexão, com base nos canais virtuais (*Virtual Channel* - VC). O canal virtual é bem identificado por um identificador próprio (*Virtual Channel Identifier* - VCI). Uma célula possui informação em seu cabeçalho relativa ao VCI em que deve seguir. Ao chegar em um comutador ATM irá ser encaminhada conforme for necessário ao seu destino ou ao próximo roteador [11].

A figura 4 representa um esquema de um comutador ATM. Cada porta de entrada e de saída possui um controlador, respectivamente IPC e OPC (*Input Port Controller* e *Output Port Controller*). Consistem em nada mais do que tabelas de mapeamento de VCI de entrada e VCI de saída e endereço da porta de saída.

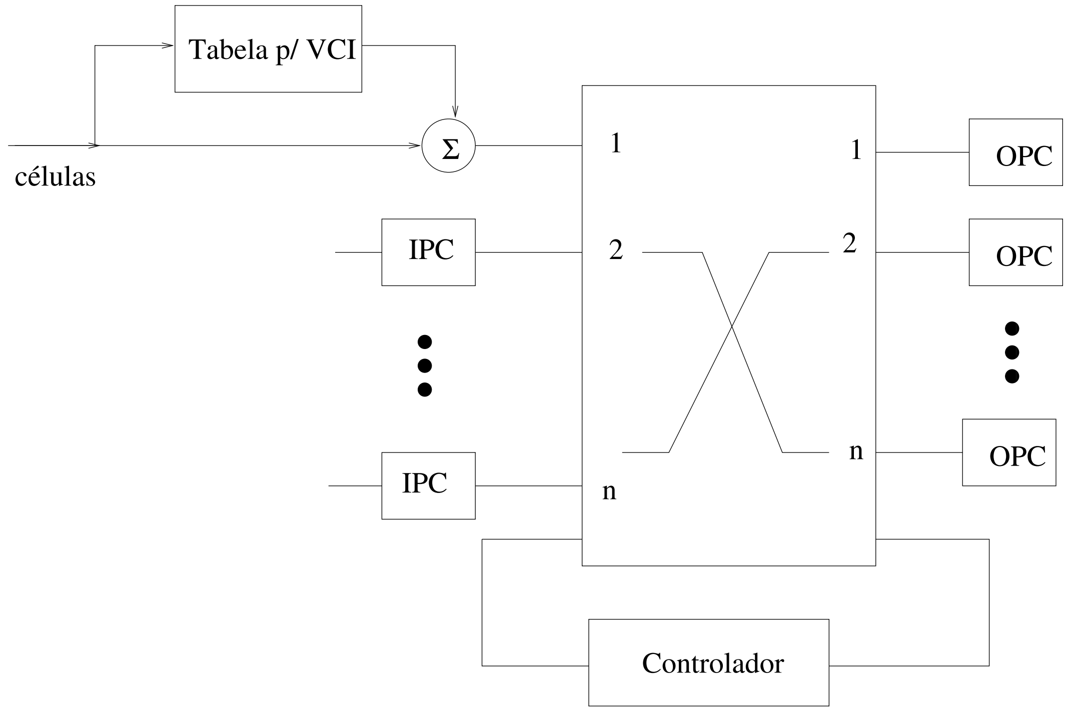


Figura 4: Modelo do comutador ATM

Para oferecer serviços com requisitos especifícos, utilizando-se do transporte de células da camada ATM, foi definida a camada de adaptação (AAL). De acordo com as classes de serviço especificadas pelo ITU-T, define-se os tipos de serviço que cada AAL deverá fornecer. A AAL é dividida em duas subcamadas: subcamada de convergência (*Convergence Sublayer* - CS) e subcamada de segmentação e remontagem (*Segmenting and Reassembly* - SAR). Como o próprio nome já diz e também será mais adiante detalhado, a subcamada SAR é responsável pela segmentação da PDU em fragmentos de tamanho compatível com o tamanho da área de dados da célula ATM e pela remontagem das células na recepção. A subcamada CS é responsável pela verificação de relação temporal na recepção, pela multiplexação e pela deteção de possível perda de células.

6 A emulação de LANs

Nesta seção, serão descritos os principais problemas encontrados na realização de uma emulação de LAN sobre uma rede ATM[12, 13]. A partir destas características, são concluídas as principais funcionalidades que um serviço de emulação de LAN deve prover. Na seção seguinte, será feita uma descrição do funcionamento do Serviço LANE, como definido na Recomendação do Forum ATM [4]. Os principais problemas são a diferença no tamanho das unidades de informação, levando à necessidade de segmentação e remontagem, a provisão de um serviço não orientado a conexão e os mecanismos de endereçamento *broadcast* e *multicast*.

6.1 Segmentação e Remontagem

A camada de adaptação ATM (AAL) provê a função de segmentação dos quadros para que estes sejam contidos em células de 53 octetos. Para comunicação de dados, existem duas AALs, a AAL3/4 e a AAL5. As principais diferenças entre estas duas camadas de adaptação são as seguintes:

- Proteção contra Erros e Integridade do Quadro - Na AAL3/4, cada segmento possui um campo de CRC (*Cyclic Redundance Check*) de 10 bits. O quadro só é remontado se todos os segmentos estão corretos. A integridade da mensagem é garantida por um tipo de segmento (início, meio e fim), um número de seqüência e tamanho do quadro. Já a AAL5 provê proteção contra erros através de um CRC de 32 bits, global, e um indicador de tamanho no último segmento. O último segmento é identificado por um tipo 1 para a carga útil, enquanto os outros segmentos são tipo 0.
- Multiplexação - AAL3/4 permite a multiplexação de células de diferentes quadros em uma única conexão ATM através de um campo Identificador de Multiplexação (MID) de 10 bits. Em contraste, a AAL5 não provê mecanismo de multiplexação, não possuindo campo MID.
- Carga útil disponível - Na AAL3/4 é de 44 octetos. Já na AAL5, é de 48 octetos, mais eficiente.

A AAL3/4 foi originalmente projetada para o transporte de dados através de uma WAN (*Wide Area Network*), onde o serviço não orientado a conexão deve ser provido através de servidores sem conexão. Neste caso, o campo MID é necessário para que os segmentos de cada quadro não precisem ser armazenados e o quadro reconstruído em cada servidor durante o percurso, podendo ser transmitidos de forma direta.

Num ambiente de rede local, onde outras possibilidades para a realização do serviço não conectado existem (como será visto na seção seguinte), não existem motivos para a utilização de mecanismos de controle de erro tão intensivos, por segmento, nem de mecanismos de multiplexação, ou seja, não é necessária uma camada de adaptação complexa como a AAL3/4.

Conseqüentemente, há uma preferência generalizada pela utilização da AAL5 para transmissão de dados, devido à sua simplicidade e baixo *overhead*. A AAL5 foi escolhida como a camada de adaptação para o Serviço LANE.

6.2 Provisão de um Serviço Não Orientado a Conexão

Numa LAN, cada estação precisa simplesmente adicionar ao quadro seu endereço de origem, o endereço de destino, e esperar uma ocasião para transmissão. Como uma LAN é baseada em um meio físico compartilhado, todas as estações recebem os quadros enviados a uma determinada estação, devendo filtrá-los. A simplicidade de funcionamento se reflete no protocolo MAC, que possui apenas duas primitivas de serviço para transferência de dados, uma para envio e outra para recepção.

Por outro lado, numa rede orientada a conexão, a estação deve realizar o estabelecimento de uma conexão antes que a transmissão de dados seja possível. Para este estabelecimento, a estação deve trocar informações de controle com a rede, de acordo com um protocolo de sinalização. No caso de redes ATM, o protocolo de sinalização utilizado é o Q.2931, como padronizado na especificação UNI (*User to Network Interface*) [14, 15]. Durante a fase de estabelecimento de conexão, a estação deve informar o endereço da estação destino e parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS) esperados da conexão.

Uma vez estabelecida, a conexão ATM é identificada por um identificador local, VPI/VCI (*Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier*) de 3 octetos. Este identificador é incluído no cabeçalho de toda célula desta conexão. O endereço de destino não é mais necessário durante a fase de transmissão de dados.

A seguir, serão descritas brevemente as principais soluções possíveis para a realização do serviço não orientado a conexão.

6.2.1 Métodos Baseados em Servidores

Estes métodos utilizam-se de servidores, comumente chamados servidores não conectados. Cada estação participando do serviço possui uma conexão com um servidor não conectado, e existem diversas conexões entre estes servidores. Estas conexões podem ser comutadas ou permanentes. Na transmissão de uma mensagem, a estação coloca o endereço de destino no quadro e o envia ao servidor não conectado. Este se encarrega de a enviar ao destino.

O envio das mensagens pode ser feito de duas formas: o servidor deve esperar todos os segmentos da mensagem, remontá-la, determinar o próximo destino para onde esta deve seguir, segmentá-la e enviar os segmentos; ou, no caso de existir a possibilidade de multiplexação (AAL3/4), os segmentos podem ser enviados imediatamente, graças à utilização do campo MID.

O principal argumento do método baseado em servidores é a sua simplicidade do ponto de vista das estações. Estas não têm que tomar qualquer decisão de roteamento. Além disso, este método não exige qualquer modificação nos comutadores ATM, o que torna o método atrativo principalmente para redes públicas, pois o protocolo está contido completamente nos servidores.

No entanto, aplicado à emulação de LANs, o método possui algumas desvantagens. Para melhorar as características de atraso de transferência de mensagens, este exige a utilização de passagem direta de segmentos nos servidores, o que implica na necessidade do campo MID, provido apenas pela AAL3/4. Se a AAL5 for utilizada, os servidores devem remontar todas as mensagens antes de reenviá-las. Esta seria uma desvantagem severa em termos de maiores atrasos.

Outro problema é que este método exige, além da rede ATM, uma rede de servidores não conectados, que precisam ser gerenciados e mantidos. Num ambiente privado, os custos são muito importantes, o que tende a inviabilizar esta solução.

Além disso, os servidores não conectados podem se tornar um gargalo para a transmissão a altas taxas, uma vez que estes vão concentrar o tráfego de toda a rede através de si. Para evitar este problema, estes servidores poderiam ser integrados nos comutadores ATM, o que, no entanto, seria indesejável, uma vez que estes teriam que ser reprojetados.

Uma outra desvantagem deste método é que ele não utiliza-se da alta capacidade de comutação da rede ATM, o que é desejável como será visto nas próximas seções.

6.2.2 O Método de Endereços Curtos

Este método é baseado na observação de que o número de entidades endereçáveis em uma LAN é geralmente pequeno, donde a utilização de endereços mais curtos seria viável. Através da utilização de endereços curtos, estes identificadores poderiam ser transportados no campo VPI/VCI de cada célula.

O principal problema deste método é a utilização não padronizada do campo VPI/VCI. Este exige a implementação de tabelas de roteamento especiais nos comutadores ATM, portanto não sendo suportado por comutadores tradicionais.

6.2.3 Método Baseado em Conexões

Neste tipo de método, uma conexão deve ser estabelecida entre quaisquer duas estações se comunicando na rede. Para mandar uma mensagem a outra estação, a estação de origem deve verificar a existência de uma conexão entre as duas. Se esta existir a mensagem pode ser enviada. Senão, a conexão deve ser estabelecida primeiramente.

Para estabelecer uma conexão com outra estação, a primeira deve conhecer o endereço ATM do destino. No entanto, *a priori*, é conhecido apenas o endereço MAC do destinatário. Torna-se então necessário um mecanismo de conversão de endereços MAC em endereços ATM, provido pelo Serviço LANE, descrito na seção seguinte.

O principal atrativo do método baseado em conexões é o uso direto e eficiente das capacidades da comutação ATM. Além disso, este método é também transparente para os comutadores ATM, o que permite sua utilização com equipamentos existentes.

O serviço não orientado a conexão é provido através de funções de convergência dentro das próprias estações, através das quais mensagens vindas das camadas superiores, sem conexão, são recebidas por uma camada do serviço de emulação de LAN e transmitidas nas conexões corretas estabelecidas na rede ATM. Por um lado, este esquema isola as camadas superiores da característica orientada a conexão da rede ATM e a complexidade correspondente, como controle de sinalização e gerenciamento de conexão. Por outro lado, a rede ATM é isolada das características não orientadas a conexão da interface com as camadas superiores. Do ponto de vista da emulação de uma LAN, o método consegue atingir exatamente os objetivos de um serviço MAC não orientado a conexão.

O método descrito parece ser o mais apropriado para o serviço de emulação de LANs. O método de servidores não conectados possui sua fraqueza na limitação das taxas de transmissão imposta pela utilização dos servidores, problema que poderia ser resolvido com sua integração ao comutador, o que no entanto impediria a utilização de comutadores ATM padrão. O mesmo problema, de não transparência para o comutador ATM, ocorre com a solução que se utiliza de endereços curtos, descrita anteriormente. Como será visto na seção seguinte, este foi o método escolhido pelo Fórum ATM na definição do Serviço LANE.

6.3 Serviços *broadcast* e *multicast*

Numa LAN com meio físico compartilhado, prover o serviço *broadcast* é inerente. Qualquer quadro emitido na LAN é recebido por todas as estações. O serviço *multicast* pode também ser simplesmente implementado, com cada estação na LAN contendo uma tabela com os endereços MAC dos grupos aos quais ela pertence.

Há uma característica dos comutadores ATM que facilita a implementação de um serviço *multicast* e *broadcast*, uma célula recebida por uma porta com um certo valor de VPI/VCI pode ser enviada em várias portas de saída. Baseado neste suporte de *hardware* dois tipos de conexão multiponto podem ser implementados.

A primeira delas é a ponto-a-multiponto, em que uma estação pode enviar quadros a um grupo de estações. Este tipo de conexão é padronizado pela UNI. A única restrição é que uma estação só pode ser adicionada ao grupo pela estação raiz, que estabeleceu a conexão.

No segundo tipo de conexão, multiponto-a-multiponto, qualquer estação é ao mesmo tempo emissora e receptora. Um quadro enviado chega a todas as outras estações. É necessário, no entanto, que cada quadro contenha o endereço de origem, uma vez que este vai ser segmentado, e os diversos segmentos de quadros enviados por diferentes estações podem chegar misturados a uma estação destinatária. Este tipo de conexão, no entanto, não estava ainda padronizada quando da realização da versão 1.0 do Serviço LANE.

Baseado nas características da rede ATM, existem algumas opções de fornecimento do serviço *broadcast*/*multicast*.

O primeiro método é baseado em um único VCC (*Virtual Channel Connection*) multiponto-a-multiponto. Como descrito acima, o problema com este método é a necessidade de identificação do endereço de origem. Como está se utilizando uma VCC, todas as células nesta possuem o mesmo campo VPI/VCI. Seria então necessária a utilização do campo de multiplexação MID, disponível apenas na AAL3/4. Para utilizar-se a AAL5, poderia-se utilizar um VPC (Virtual Path Channel) em vez de uma VCC. O valor VCI poderia ser utilizado na identificação da origem das células.

Existe outro método utilizando-se de uma conexão multiponto-a-multiponto, baseado na utilização de uma ficha. Em qualquer momento, apenas uma estação pode utilizar o VCC para envio de dados, a que possui a ficha.

Existem dois métodos de se implementar o serviço *broadcast/multicast* utilizando-se conexões ponto-a-multiponto. No primeiro, cada estação deve possuir uma conexão ponto-a-multiponto com as outras estações na qual ela é a raiz. O problema deste método é a complexidade acarretada quando o número de estações cresce. Todas estas conexões devem ser controladas e gerenciadas.

Uma possibilidade mais simples é a utilização dos serviços de um servidor *multicast*. Neste caso, há apenas uma conexão ponto-a-multiponto em que o servidor *multicast* é a raiz e as estações são as folhas. Além desta conexão, cada estação possui uma conexão ponto-a-ponto com o servidor *multicast*, através da qual esta envia seus quadros *multicast* e *broadcast*. O servidor é responsável então pela distribuição correta deste tráfego. Neste esquema, tanto a AAL3/4 quanto a AAL5 poderiam ser utilizadas.

O maior atrativo do método baseado em um servidor é a sua simplicidade. Do ponto de vista da rede, existe apenas uma conexão ponto-a-multiponto e N conexões ponto-a-ponto a serem mantidas, em vez de N conexões ponto-a-multiponto como no caso anterior, onde N é o número de estações conectadas. Além disso, na entrada ou saída de uma estação no serviço de emulação de LAN, há apenas uma conexão ponto-a-ponto a ser estabelecida ou encerrada.

No entanto, a utilização de um servidor tem as mesmas desvantagens do método baseado em servidores não conectados descrito anteriormente: este servidor passa a ser um gargalo de transmissão em potencial, e um ponto sujeito a falhas.

Apesar disso, este método mostra-se o mais adequado, considerando o estado atual das padronizações relativas às redes ATM, tendo sido a aproximação utilizada no Serviço LANE versão 1.0, como pode ser visto na seção seguinte.

7 O Serviço LANE

O Serviço LANE é composto por um conjunto de entidades de dois tipos básicos, clientes (LECs - *LANE Clients*) e servidores. A comunicação entre clientes ou entre clientes e os servidores do Serviço LANE é realizada através de VCCs, circuitos virtuais comutados (SVC - *Switched Virtual Circuit*) e circuitos virtuais permanentes (PVC - *Permanent Virtual Circuits*).

As figuras 5 e 6 apresentam a arquitetura em camadas dos equipamentos constituintes do Serviço LANE.

A camada de adaptação AAL5 é utilizada por responder bem às características das redes locais: transferências de dados assíncronas, vazões variáveis e serviço não orientado a conexão. Esta é responsável pela segmentação/remontagem.

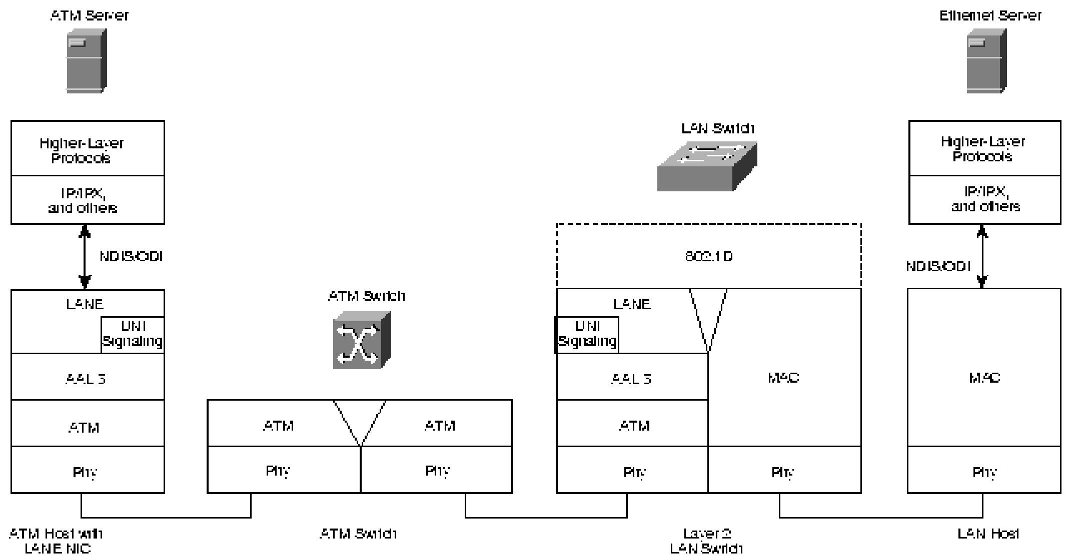


Figura 5: Estrutura em camadas dos diversos equipamentos.

7.1 A arquitetura e os serviços

A recomendação do Fórum ATM [4, 13] descreve as camadas internas a uma estação, especificando a interação entre a camada LAN Emulation e as outras, e por outro lado define a interface LUNI (*LANE User to Network Interface*), especificando a interação entre duas entidades do Serviço LANE.

7.1.1 Serviços providos pela camada LANE

A camada LANE provê para a camada superior a troca de dados do tipo Ethernet ou Token Ring. Estes serviços são providos apenas nos LECs, através das primitivas *LE_UNITDATA.request*, que permite à camada superior solicitar o envio de dados a uma ou outras estações pela camada LANE, e *LE_UNITDATA.indication*, através da qual a camada LANE transmite à camada superior um quadro recebido pelo LEC.

7.1.2 Serviços providos pela camada AAL5

Os serviços fornecidos pela camada AAL5, representados na figura 6, estão presentes em todas as entidades do Serviço LANE. Uma entidade dispõe de três tipos de interface AAL identificadas por SAP_ID (*Service Access Point Identifier*) distintos. Um SAP_ID é

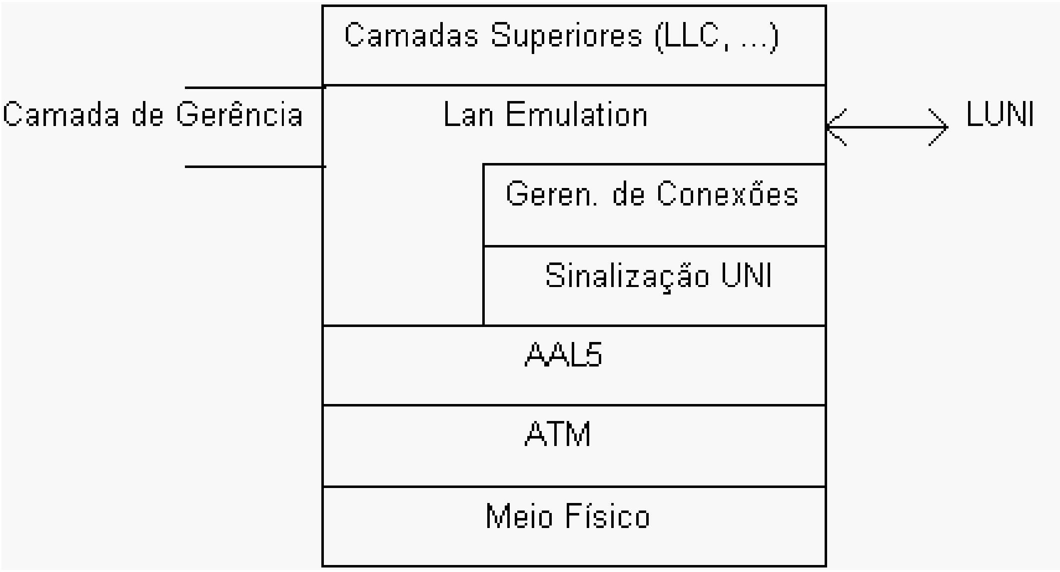


Figura 6: Estrutura em camadas do LEC.

identificado por um VCC ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto seguido de seu tipo. Estes pontos de acesso são os seguintes para um LEC:

- um ou dois SAPs de controle para a inicialização, os registros nas tabelas do servidor e a resolução de endereços;
- no mínimo dois SAPs para transferência de dados;
- um SAP de controle para a configuração da LAN.

Do ponto de vista da camada LANE, a primitiva *AAL_UNITDATA.request* permite a troca de uma *AAL_SDU* (*AAL Service Data Unit*) entre dois LECs. A primitiva AAL_UNITDATA.indication permite à camada AAL5 enviar o quadro recebido à camada LANE.

7.1.3 A camada de gerenciamento de conexões

A sub-camada de gerenciamento de conexões permite o estabelecimento e fechamento entre entidades clientes e as entidades do Serviço LANE. Esta utiliza-se ora de PVCs, ora de SVCs. Quando utilizando PVCs, os LECs devem ser configurados de forma a saber quais PVCs podem usar, que LECs estão associados a que PVCs, quais são os endereços ATM locais, distantes e os valores de BLLI (*Broadband Low Layer Interface*) associados a estes PVCs.

O gerenciamento de conexões SVCs utiliza o protocolo de sinalização UNI (*User to Network Interface*); os serviços oferecidos por esta camada são o estabelecimento de conexão, fechamento, entrada de uma estação em uma conexão e saída desta.

7.1.4 A camada de gerenciamento do Serviço LANE

A camada de gerenciamento do Serviço LANE permite a inicialização e o controle da camada LANE. Estes serviços possibilitam o controle das entidades do LANE, sendo diferentes para os LECs e os servidores.

Para os LECs, os serviços providos são os seguintes:

- *LM_LEC_INITIALIZE.request* é utilizada pela camada de gerenciamento para configurar um LEC e o integrar à LAN virtual;
- *LM_LEC_INITIALIZE.confirm* é gerada pelo LEC para confirmar a recepção da primitiva de request acima e indica se a interface do LEC está em serviço;
- *LM_LEC_LD_CONTROL.request* serve para gerar a base de dados de um LEC, esta contém endereços MAC e descritores de rota em caso de uma rede Token Ring;
- *LM_LEC_GET.request* é utilizada pela camada de gerenciamento para ler os valores da MIB (*Management Information Base*) de um LEC;
- *LM_LEC_SET.request* permite a modificação dos valores da MIB de um LEC;
- *LM_LEC_STATUS.indication* é utilizada por um LEC para informar a camada de gerenciamento seu estado;
- *LM_LEC_TOPOLOGY.request* é utilizada para indicar a outros LECs mudanças de topologia.

A interface LUNI permite inicializações, como a obtenção de endereços ATM do Serviço LANE, a entrada ou saída de uma LAN virtual; cadastramento no Serviço LANE (lista de endereços MAC representando um LEC, lista de descritores de roteamento no caso de Token Ring); resolução de endereços (conversão de endereços MAC em endereços ATM) e transferência de dados entre LECs (encapsulamento de uma unidade de dados LANE dentro de um quadro AAL5 e transmissão por um LEC, retransmissão do quadro AAL5 pelo Serviço LANE se necessário, recepção e desencapsulamento do quadro AAL5 pelo LEC destino).

O Serviço LANE pode ser implementado em sistemas intermediários como pontes ou roteadores, o que permite a comunicação das LANs legadas com as redes ATM; e em estações de trabalho ou PCs, o que permite a comunicação entre estações ATM e estações sobre LANs emuladas, com o suporte da rede ATM.

Os servidores do Serviço LANE podem existir com um ou mais LECs dentro de um mesmo equipamento.

7.2 Componentes do Serviço LANE

7.2.1 Entidade LAN Emulation Client (LEC)

Todo equipamento (estação de trabalho, servidor, roteador, etc.) conectado a uma rede ATM e cliente do Seviço LANE deve conter um LEC que representa um conjunto de usuários identificados por seus endereços MAC.

Através da oferta de um serviço não orientado a conexão de nível MAC às camadas superiores, o LEC permite a implementação das interfaces NDIS e ODI. Estas interfaces padronizadas permitem o acesso aos serviços da camada MAC.

O LEC permite não só a transferência de dados, mais também a resolução de endereços e certos controles. Ele possui dois endereços, um ATM e um MAC, individuais. O mecanismo de resolução de endereços MAC em endereços ATM é realizado pelo protocolo LE_ARP (*LAN Emulation Address Resolution Protocol*).

7.2.2 Servidores do Serviço LANE

O Serviço LANE possui três tipos de servidor:

- LAN Emulation Server (LES);
- Broadcast and Unknown Server (BUS);
- LAN Emulation Configuration Server (LECS).

O LES implementa as funções de controle de coordenação, de registro e de resolução de endereços MAC em endereços ATM e de roteamento. É um servidor *multicast* para o tráfego gerado pelo protocolo LE_ARP. Este contém uma tabela de correspondência entre os endereços MAC e ATM. Os endereços de todas as estações das redes legadas não são necessários; somente os de estações diretamente conectadas à rede virtual considerada e os de equipamentos de interconexão estão contidos na tabela do LES correspondente.

O BUS é um servidor *multicast* que distribui os dados enviados por um LEC com endereço MAC de *broadcast* ou de *multicast* às outras estações, e também é responsável pelos dados transmitidos antes da resolução do endereço MAC em endereço ATM; como será visto adiante, uma estação pode enviar dados sem que tenha efetuado a conversão, para um endereço ATM desconhecido, o BUS se encarregará de resolver o problema.

O BUS é indispensável, uma vez que ele permite além destas funcionalidades, a transmissão de informações de roteamento no caso de redes Token Ring.

Dentro de um ambiente SVC (os circuitos virtuais são comutados), o BUS deve participar na resolução de endereços para que os LECs possam o localizar. Ele gera também conexões ATM e seu grupo de distribuição.

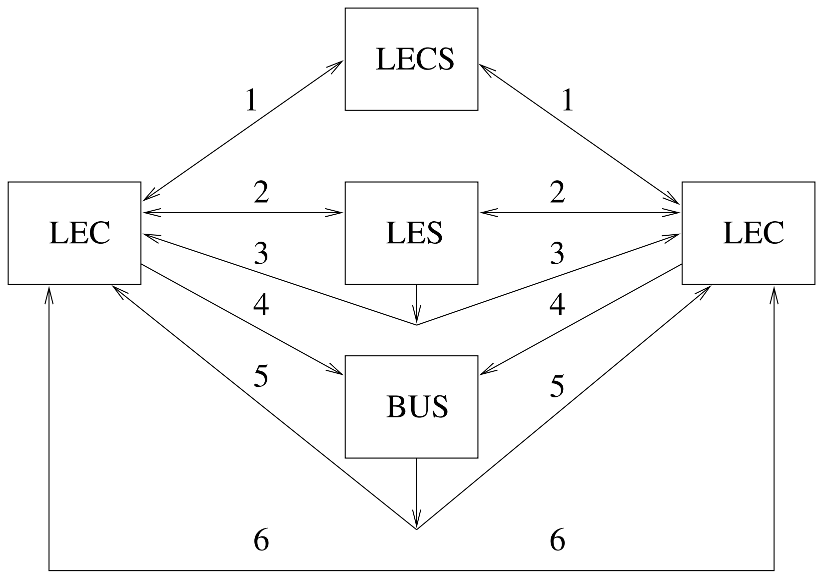
Uma das funcionalidades do LECS é permitir aos LECs conhecer o endereço ATM do LES. O LECS é responsável pela atribuição de LECs às diversas LANs emuladas.

Este método permite acrescentar um cliente a uma LAN emulada com base seja em seu endereço ATM, seja na identidade da LAN destinatária que este endereço representa.

7.2.3 Conexões

Os VCCs são diferentes para o controle do tráfego (como por exemplo a resolução de endereços) e para o controle de dados. Além disso, um VCC pode servir a apenas uma LAN emulada.

As conexões possíveis podem ser vistas na figura 7. Elas são estabelecidas entre os LECs e as entidades do Serviço LANE e se fazem de acordo com a interface LUNI.



1 - VCC de Configuração Direta
2 - VCC de Controle Direto
3 - VCC de Controle Distribuído
4 - VCC de Envio de Multicast
5 - VCC de Envio Direto de Multicast
6 - VCC de Transmissão Direta

Figura 7: Conexões utilizadas pelo LANE.

Existem três tipos de conexão para o controle de tráfego. A primeira delas é a chamada VCC de Configuração Direta (*Direct Configuration VCC*). Esta conexão é bidirecional e é estabelecida entre um cliente e o LECS; o estabelecimento desta é iniciado pelo cliente e esta é utilizada na obtenção de informações de configuração (como o endereço do LES) ou informações sobre outros clientes; esta conexão é mantida durante todo o tempo da participação do iniciador na emulação de LAN.

O segundo tipo é a VCC de Controle Direto (*Direct Control VCC*). Esta conexão é bidirecional, ponto-a-ponto entre um cliente e o LES; é de iniciativa do cliente e perdura durante toda a participação do cliente no serviço.

O último tipo é o VCC de Controle Distribuído (*Control Distribute VCC*). Esta é uma conexão unidirecional, ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto entre o LES e um ou vários de seus clientes; esta conexão dura todo o tempo da participação no serviço LANE e é iniciada por um ou vários clientes. Na figura a seguir existe um esquema em que são representados os equipamentos e as conexões de controle.

Para a transferência de dados são também utilizadas três tipos de conexão. A primeira delas é chamada VCC de Transmissão Direta (*Data Direct VCC*). Esta é uma conexão bidirecional ponto-a-ponto, utilizada pelos clientes que desejam transmitir dados de forma individual (em modo *unicast*); é iniciada pelo cliente que envia dados pela primeira vez.

Outra conexão de dados é a VCC de Envio *multicast* (*Multicast Send VCC*), conexão bidirecional e ponto-a-ponto entre um LEC e o BUS: esta é utilizada toda vez que o cliente deseja enviar dados em modo *multicast*, *broadcast*, ou *unicast*, no caso em que o cliente não conhece o endereço do destinatário, ou é utilizada pelo BUS na transmissão de dados a outros LECs.

A terceira conexão de dados possível é a de VCC de Envio Direto de *Multicast* (*Multicast Forward VCC*). Esta é uma conexão unidirecional, ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto entre o BUS e seus clientes; é iniciada pelo BUS; os clientes são obrigados a aceitar o estabelecimento desta conexão; como a VCC de Envio *Multicast*, ela é utilizada quando o BUS transmite dados *multicast* ou *broadcast* (o BUS transmite este tipo de tráfego pelos dois canais descritos).

7.3 Protocolos e Funções do Serviço LANE

Um certo número de operações devem ser realizadas numa ordem bem definida antes que as facilidades do Serviço LANE possam ser utilizadas para realizar LANs virtuais sobre redes ATM. Estas operações consistem a fase de inicialização do Serviço. A exploração dos serviços oferecidos consiste a seguir de permitir aos LECs registrar ou suprimir endereços MAC no LES correspondente, efetuar pedidos de resolução de endereços ATM e transferir dados do usuário.

7.3.1 Fases da Inicialização do LEC

A figura 8 mostra a ordem de execução das operações necessárias à inicialização de um cliente do Serviço LANE.

Inicialmente, o LES e os LECs devem conhecer alguns parâmetros característicos da configuração da LAN emulada (como seus endereços ATM, o tipo de LAN emulada, o tamanho máximo das mensagens, etc.); estes parâmetros são configurados na instalação dos programas ou das placas implementando as entidades do Serviço LANE.

A fase de conexão ao LECS consiste em estabelecer conexões VCC de Configuração Direta entre os LECs e o LECS. A utilização de um LECS não é obrigatória; neste caso, cada LEC utiliza um circuito SVC ou PVC fixo com o LES; esta fase de conexão e a fase seguinte de configuração perdem o sentido.

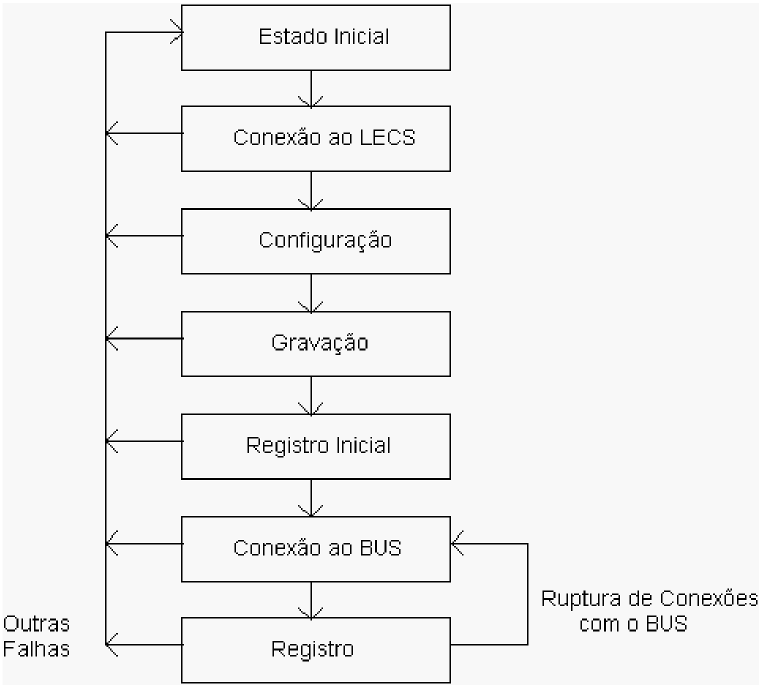


Figura 8: Fases da inicialização do LEC.

O provedor do Serviço LANE deve encontrar um LECS com o qual o LEC iniciador possa estabelecer uma conexão.

De acordo com as especificações do Fórum ATM [4], cada LEC deve efetuar as seguintes operações em ordem se o endereço do LECS não estiver configurado previamente nas estações implementando um LEC:

- obter o endereço ATM do LECS através de primitivas *Get* e *GetNext* providas pela interface ILMI (descrita nas especificações UNI), se o endereço ATM do LECS estiver contido na MIB do equipamento implementando o LEC;
- em caso de fracasso, deve utilizar um endereço de grupo pré-configurado (*Anycast Address*) para estabelecer uma conexão de configuração PVC (ainda sendo especificada pelo Fórum ATM);
- em caso de novo fracasso, utilizar uma conexão reservada do tipo PVC com o LECS.

A fase de configuração permite aos LECs obter informações do LECS sobre o Serviço LANE (como por exemplo o endereço ATM do LES, ou os parâmetros característicos da LAN emulada à qual o cliente pertence). Dois tipos de informações de controle circulam entre os LECs e o LECS durante esta fase: a primitiva *LE_CONFIGURE_REQUEST* enviada pelos LECs (ou por uma entidade servidora) ao LECS a fim de obter informações de configuração e a primitiva *LE_CONFIGURE_RESPONSE* enviada pelo LECS em resposta à precedente.

A primitiva *LE_CONFIGURE_REQUEST* endereçada ao LECS deve conter no mínimo o endereço ATM principal do cliente. Em caso de fracasso, o cliente deve retornar ao estado inicial, ou seja, antes da fase de conexão ao LECS. Caso contrário, o cliente pode alterar seus parâmetros através das informações recebidas na primitiva *LE_CONFIGURE_RESPONSE*. A primitiva pode também indicar um fracasso se ao cliente não for permitido passar à fase seguinte (fase de registro).

Por motivos de segurança, o endereço ATM do cliente iniciador pode ser utilizado pelo LECS para decidir a aceitação ou rejeição da conexão. Uma conexão VCC de Configuração Direta pode ser fechada a qualquer momento, tornando a troca de informações de controle impossíveis.

A fase de gravação serve para o estabelecimento de uma conexão VCC de Controle Direto (e eventualmente uma VCC de Controle Distribuído) entre um LEC e o LES; no caso em que a conexão é estabelecida o LEC recebe um identificador único (LECID - *LAN Emulation Client Identifier*) e ao final desta fase, ele conhece no mínimo o tamanho máximo das mensagens de dados e o tipo de LAN emulada à qual ele pertence.

Dois tipos de primitivas de controle trafegam entre os LECs e o LES durante esta fase: as primitivas *LE_JOIN_REQUEST* enviadas pelos LECs, supondo que os LECs estejam autorizados a participar da LAN virtual; e as primitivas *LE_JOIN_RESPONSE* enviadas pelo LES em resposta às primitivas anteriores.

Na primitiva *LE_JOIN_REQUEST*, o LEC deve fornecer pelo menos seu endereço ATM principal, o tipo de LAN, o tamanho máximo dos dados, a utilização ou não de um *proxy* e a identidade da LAN emulada. O LEC deve abandonar a LAN virtual se a resposta do LES indica um fracasso ou se os parâmetros fornecidos pelo LES na primitiva de *response* não convêm ao LEC. A ruptura de uma VCC de Controle Direto ou VCC de Controle Distribuído obrigam o LEC a abandonar a LAN virtual igualmente.

Assim que o LES recebe uma primitiva de *request* do LEC, ele pode estabelecer uma VCC de Controle Distribuído com o LEC antes de enviar a primitiva de *response*. No caso em que esta conexão não puder ser estabelecida, o LES deve parar a LAN virtual e neste caso todos os LECs antes conectados devem retornar à fase de configuração. O LES deve parar a LAN virtual no caso em que ocorre um fracasso no estabelecimento de uma VCC de Controle Direto ou de uma VCC de Controle Distribuído. Enfim, no caso em que o LEC recebe uma primitiva *LE_JOIN_RESPONSE* com uma indicação de erro, se ele não fechar a conexão VCC de Controle Direto, o LES deve parar o funcionamento da LAN virtual, embora isto não seja imposto pela recomendação do Fórum ATM.

Na fase de registro inicial, os LECs registram seus endereços MAC e seus descritores de roteamento (no caso de emulação de Token Ring) no LES. Estas informações estão contidas em duas listas, uma de endereços locais *unicast*, a outra de descritores de rota (se o LEC estiver implementado em uma ponte que implemente o algoritmo de *SourceRouting*). Estas listas fazem parte de um conjunto de parâmetros único para cada LEC. Esta fase permite aos LECs também verificar a unicidade de seus endereços locais.

A fase de conexão ao BUS permite ao LEC estabelecer uma conexão VCC de Envio *Multicast* com o BUS e este uma conexão VCC de Envio Direto de *Multicast* com o LEC correspondente. Para tanto o LEC já deve conhecer o endereço ATM do BUS, o que é feito através do envio da primitiva de requisição de resolução de endereço, *LE_ARP_REQUEST*, ao LES.

Se um LEC constatar a quebra da conexão VCC de Envio de *Multicast*, este deve realizar o fechamento da conexão VCC de Envio Direto de *Multicast*; podendo então tentar o estabelecimento de uma nova conexão com o BUS; se esta falhar, o LEC deve retornar ao estado inicial. Se o LEC constatar a ruptura deliberada da conexão VCC de Envio Direto de *Multicast* pelo BUS, ele deve abandonar a LAN virtual. Se esta ruptura no entanto for acidental, o LEC pode tentar o estabelecimento de uma nova conexão.

Logo depois do estabelecimento de uma conexão VCC de Envio de *Multicast*, o BUS pode escolher entre o estabelecimento de uma nova conexão ponto-a-ponto VCC de Envio Direto de *Multicast* com o LEC e a adesão deste LEC a uma conexão VCC de Envio Direto de *Multicast* ponto-a-multiponto existente. A falha do estabelecimento de uma VCC de Envio Direto de *Multicast* autoriza o Serviço LANE a retirar da LAN virtual o LEC em questão. Se ocorrer a ruptura de uma das duas conexões de *Multicast*, o BUS deve encerrar a outra.

7.3.2 Registro

Os LECs registram à sua maneira as correspondências entre endereços MAC e endereços ATM e/ou informações de roteamento (no caso de emulação de Token Ring) no LES. Eles se comunicam com o LES através dos VCCs de Controle Direto e o LES responde às suas requisições através dos VCCs de Controle Direto ou VCCs de Controle Distribuído. Os LECs podem também apagar as informações do LES por decisão própria.

Quatro tipos de primitivas são trocadas entre os LECs e o LES.

- *LE_REGISTER_REQUEST* é enviada por um LEC ao LES pedindo o registro de uma associação de endereços;
- *LE_REGISTER_RESPONSE* é enviada pelo LES em resposta à requisição de registro, e confirmando este registro ou rejeitando-o;
- *LE_UNREGISTER_REQUEST* é utilizada por um LEC para solicitar a deleção de uma correspondência de endereços;
- *LE_UNREGISTER_RESPONSE* é enviada pelo LES em resposta à primitiva anterior, confirmando ou rejeitando o pedido recebido.

A evolução do registro no LES está mostrada na figura 9. Em nenhum caso o LEC deve pedir o registro de endereços distantes ou de endereços *multicast*. Além disso, o LEC deve encerrar sua participação na LAN virtual se não for obtida resposta do LES após um determinado número de tentativas.

O LES é responsável por não permitir o registro do mesmo endereço MAC ou descritor de roteamento para dois endereços ATM diferentes. O registro de diversos endereços LAN para o mesmo endereço ATM também não é permitido. Não é permitida também

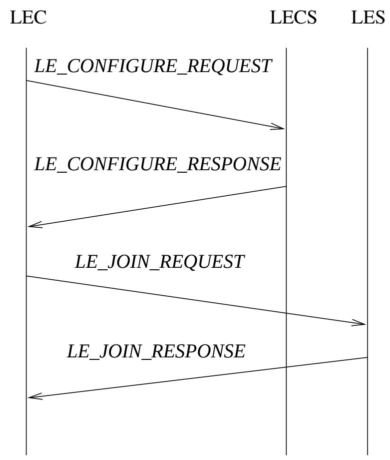


Figura 9: Evolução da fase de registro.

a substituição de um registro, este deve ser apagado e escrito através das primitivas descritas.

7.3.3 Resolução de Endereços

O protocolo de resolução de endereços ATM, o LE_ARP, permite ao LEC associar um endereço MAC a um endereço ATM de outro cliente ou do BUS, o que permite por consequência o estabelecimento de conexões VCC de Transmissão Direta, VCC de Envio *Multicast* ou VCC de Envio Direto de *Multicast*. Este protocolo só pode ser utilizado após a fase de inicialização descrita anteriormente. O LES armazena uma tabela com as correspondências entre os endereços MAC e os endereços ATM das máquinas presentes na rede.

Um LEC que não conheça o endereço ATM do destinatário deve fazer um pedido de resolução de endereço ao LES. A figura 10 mostra a troca de mensagens entre o LEC e o LES quando da resolução de endereços. Se o LES possuir a informação pedida, ele responde ao LEC que realizou o pedido, senão, ele envia um pedido de resolução de endereço a todos os outros LECs que este conhece (estes podem ser pontes, caso em que o LEC procurado pode estar em outra rede virtual).

Cada LEC deve manter, desta forma, um cache de correspondências entre endereços MAC e ATM (chamado *cache* LE_ARP) com dois parâmetros através dos quais este pode decidir a validade das informações armazenadas. O LEC grava a correspondência no *cache* LE_ARP no momento em que recebe a resposta a um pedido de resolução de endereço. Quatro tipos de primitivas são trocadas entre os LECs e o LES:

- *LE_ARP_REQUEST* é enviada por um LEC ao LES para pedir um endereço ATM correspondente a um endereço MAC ou a um descritor de roteamento (Token Ring);
- *LE_ARP_RESPONSE* é enviada pelo LES ao LEC, ou pelo LEC reconhecendo seu endereço MAC ao LES, em resposta à primitiva anterior.

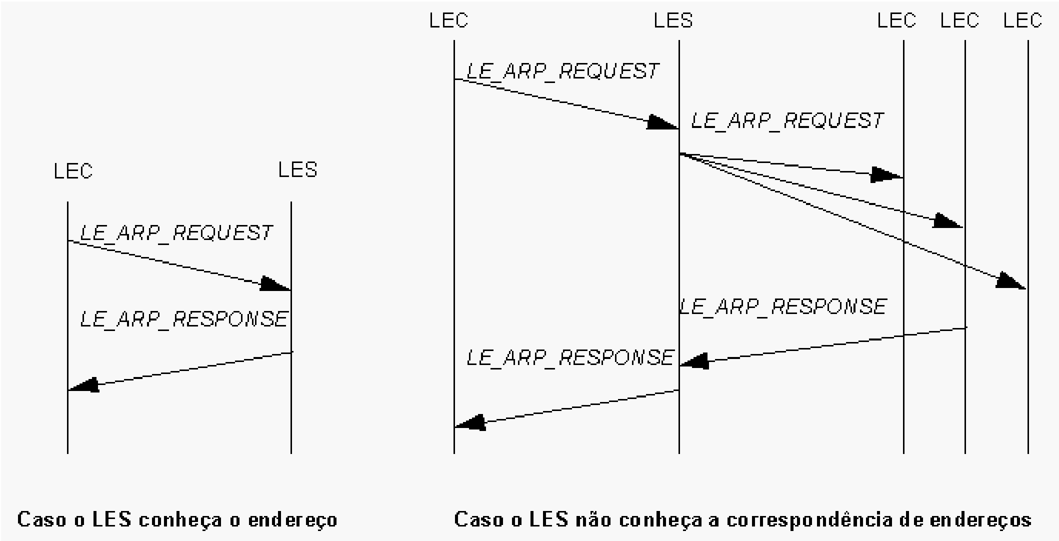


Figura 10: Resolução de endereços.

- *LE_NARP_REQUEST* é enviada pelo LEC ao LES para informar a mudança de correspondência para endereços distantes; se o parâmetro do LEC *Topology Change* estiver setado esta primitiva não deve ser enviada pois uma mudança mais importante na topologia ocorreu; o *cache* do LES é atualizado quando da recepção desta primitiva;
- *LE_TOPOLOGY_REQUEST* é enviada por um LEC ao LES para indicar a ocorrência de mudanças de topologia; esta é enviada pelas pontes com LECs ao LES toda vez que ocorre sua configuração; todas as mensagens deste tipo recebidas sem erro pelo LES devem ser retransmitidas a todos os LECs pertencentes à LAN virtual.

As primitivas *LE_ARP_REQUEST* e *LE_ARP_RESPONSE* são transmitidas através dos VCCs de Controle Direto e recebidas através dos VCCs de Controle Direto e VCCs de Controle Distribuído.

O LEC pode a seguir estabelecer uma conexão do tipo VCC de Transmissão Direta através do endereço ATM recebido. A primitiva *LE_ARP_REQUEST* não deve ser utilizada na resolução de endereços *multicast*, responsabilidade do BUS.

7.3.4 Esquema de Endereçamento

O mecanismo de endereçamento do Serviço LANE pode ser descrito através de algumas de suas características principais.

No interior de uma LAN emulada, um LEC pode representar um conjunto de endereços MAC, mas um endereço MAC representa apenas um LEC uma vez que os endereços MAC são únicos na LAN; dois LECs são identificados por dois endereços ATM, mesmo se estes estão implementados no mesmo equipamento e independente do fato de pertencerem à mesma LAN emulada.

Um LEC possui um endereço ATM principal e eventualmente outros endereços. O endereço principal serve para o estabelecimento de conexões VCC de Transmissão Direta e VCC de Envio de *Multicast* e também para o envio de primitivas *LE_JOIN_REQUEST*; este endereço principal é indispensável.

Um LES possui pelo menos um endereço ATM principal. Ele pode compartilhar um endereço ATM com o BUS se estes dois servidores fizerem parte do mesmo Serviço LANE. É o único caso em que o LES pode compartilhar um endereço ATM.

Um BUS possui pelo menos um endereço ATM, que pode ser compartilhado com o LES nas condições descritas.

Um LECS tem pelo menos um endereço ATM e não pode compartilhar este endereço com um LES ou LEC; pode compartilhá-lo apenas com outros LECS conhecidos de todos os LECs.

Este esquema de endereçamento tem uma conseqüência prática para a interface UNI: esta deve suportar vários endereços ATM para permitir a emulação simultânea de várias LANs sobre o mesmo meio físico.

7.3.5 Gerenciamento de Conexão

O estabelecimento e o fechamento de conexão são feitos através da utilização da sinalização UNI [14, 15] e da Recomendação Q.2931 [16] com algumas restrições.

A figura 11 mostra a evolução do estabelecimento de uma conexão. Além das mensagens correspondentes ao estabelecimento de uma conexão do tipo SVC próprias à sinalização UNI (mensagens *Setup*, *Connect* e *Connect Ack*), o Serviço LANE define a utilização das mensagens *Ready Indication* e *Ready Query*. Estas não são definidas pela interface UNI, porém são necessárias: a fim de garantir à entidade chamada que a entidade chamadora estará apta a receber dados pela conexão estabelecida, a entidade chamadora deve enviar uma mensagem *Ready Indication* no momento em que esta estiver pronta a receber dados através da nova conexão. Uma vez que esta mensagem tenha sido enviada, a entidade considera o estabelecimento da conexão terminado. Após ter recebido a mensagem *Connect Ack* do comutador mais próximo, a entidade chamada dispara um temporizador para a decisão do envio da mensagem *Ready Query*. Se o temporizador estourar, a entidade chamada considera que a entidade chamadora ainda não está pronta e envia a *Ready Query*.

Uma vez que a conexão esteja estabelecida, a quebra eventual desta implica no retorno à fase de inicialização correspondente se esta conexão for ainda necessária.

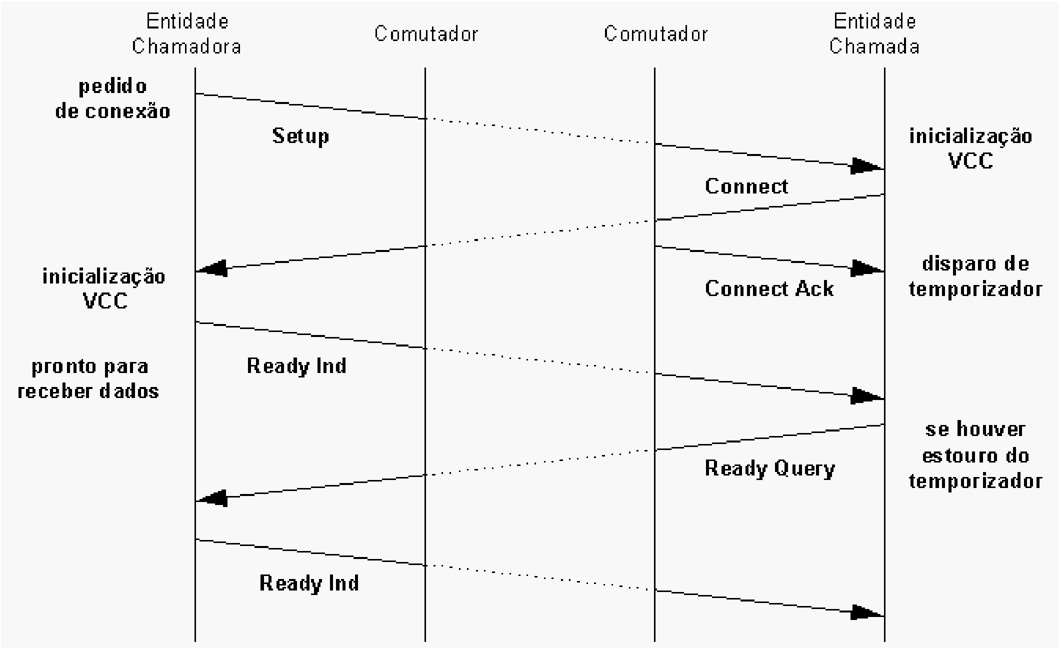


Figura 11: Estabelecimento de conexão entre duas entidades.

7.3.6 Transferência de Dados

As transmissões de dados individuais são feitas através das VCCs de Transmissão Direta, e as transmissões *broadcast* ou *multicast* são realizadas através dos VCCs de Envio de *Multicast* e de Envio Direto de *Multicast*. Dois tipos de encapsulação dentro de um envelope AAL5 são propostos, um correspondente aos quadros IEEE 802.3/Ethernet e o outro aos quadros IEEE 802.5/Token Ring. A figura 12 representa os dois formatos propostos.

Um cabeçalho de 2 octetos identifica o LEC emissor (através do LECID). Este LEC pode se reconhecer através do envio de um quadro *broadcast* que será enviado pelo BUS a todos os LECs.

A parte correspondente aos dados MAC é um quadro MAC Ethernet ou Token Ring, a menos do campo FCS que é suprimido, pois proteção contra erros é provida através da interface AAL5.

No caso do LEC já conhecer o endereço ATM do destinatário, graças ao mecanismo de resolução de endereços, os dados *unicast* são transmitidos através de um VCC de Transmissão Direta.

Se este não conhecer o endereço ou a conexão VCC de Transmissão Direta não estar ainda estabelecida, o emissor pode enviar os dados ao BUS através da conexão VCC de Envio de *Multicast*. O BUS envia então os dados ao destino através da conexão VCC de Envio de *Multicast* correspondente ou através da VCC de Envio Direto de *Multicast* se a primeira não está estabelecida. Os quadros dentro do BUS têm um tempo de vida

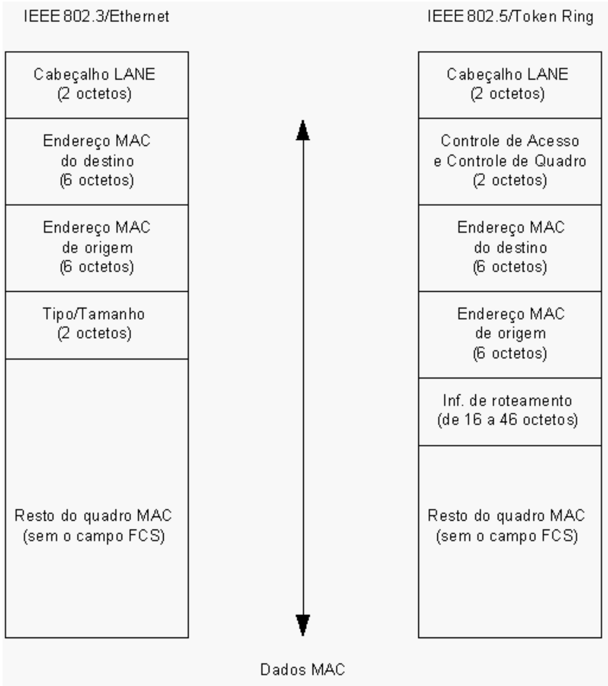


Figura 12: Formato dos dados.

limitado, pelo parâmetro *Maximum Frame Age*.

A quantidade de quadros enviados ao BUS é limitada pelos parâmetros *Maximum Unknown Frame Count* e *Maximum Unknown Frame Time*.

O tamanho dos quadros de dados é limitado pelo parâmetro *Maximum Frame Size*. O LEC filtra os quadros recebidos através do parâmetro *LE Client Multicast MAC Address*, que define se o quadro se destina a ele ou não. No caso de haver o estabelecimento de duas conexões VCC de Transmissão Direta entre duas mesmas entidades, existe uma regra através da qual serão enviadas mensagens apenas por uma das conexões evitando a duplicação destas.

Se uma mensagem não conseguir ser enviada após um determinado tempo, definido pelo parâmetro *VCC Time-Out Period*, recomenda-se que o LEC iniciador feche esta conexão e avise a entidade que compartilhava esta conexão que ela foi fechada de forma deliberada.

7.3.7 Ordenamento de Quadros

A ordem da chegada de mensagens ao destino não pode ser garantida, uma vez que a transmissão de dados pode ser realizada através de conexões do tipo VCC de Transmissão Direta ou através da passagem pelo BUS. Desta forma, torna-se necessário um mecanismo capaz de realizar o reordenamento das mensagens antes do envio destas às camadas superiores. O mecanismo descrito na recomendação do Fórum ATM no entanto trata apenas do envio de quadros *unicast* através de diferentes conexões.

O LEC emissor que deseja mudar de conexão para enviar a próxima seqüência de quadros deve começar pela emissão de uma mensagem do tipo *flush* na conexão utilizada anteriormente e esperar a resposta do destinatário para começar o envio de quadros na nova conexão. A resposta deve vir através das conexões de controle. As duas primitivas utilizadas para tanto são *LE_FLUSH_REQUEST*, enviada através de um VCC de Transmissão Direta ou VCC de Envio de *Multicast* e *LE_FLUSH_RESPONSE*, enviada através dos VCCs de Controle Direto ou Controle Distribuído, em resposta à anterior.

Se o BUS não for o destinatário, deve retransmitir o pedido de *flush* imediatamente. Apenas um LEC deve responder a este request. Não recebendo resposta a um pedido de *flush*, o emissor pode repeti-lo, descartar os quadros não enviados, ou continuar a transmissão na conexão antiga.

7.3.8 Protocolo de Terminação

Este gera o fim da participação de um LEC em uma LAN virtual. Todas as conexões de controle e de dados correspondentes a este LEC devem ser fechadas pelo LES; o LEC deve apagar todas as informações armazenadas em seu *cache* LE_ARP. O LES deve da mesma forma apagar todas as informações locais ou distantes que levem em consideração o endereço deste LEC. Todas as vezes em que um LEC retornar à fase de configuração, o mesmo procedimento deve ser seguido.

Todos os parâmetros do Serviço LANE citados durante a descrição do seu funcionamento estão descritos na Recomendação do Fórum ATM[4].

7.4 Interconexão de LANs

A interconexão de LANs é realizadas através da utilização de pontes. O mesmo mecanismo pode ser empregado na interconexão de LANs virtuais com outras LANs (virtuais ou existentes) uma vez que o serviço provido pelo LANE é de nível MAC. O roteamento pode igualmente ser utilizado na interconexão de LANs virtuais ou existentes.

No entanto estes mecanismos deterioram a performance das LANs virtuais que poderiam ser obtidos no caso de redes existentes. Uma possibilidade seria então estabelecer conexões do tipo VCC de Transmissão Direta entre duas estações pertencentes a LANs virtuais diferentes; a utilização das funcionalidades dos comutadores ATM seria melhor e a queda de desempenho notável devida à passagem constante por equipamentos de interconexão desapareceria. Mas esta solução apresenta problemas de segurança; estes clientes pertencentes a duas redes virtuais distintas podem se constituir em um problema a administradores que desejem estruturar suas redes em função de grupos de trabalho e de direitos de acesso a determinadas informações. Está sendo realizada pesquisa no âmbito dos grupos LAN Emulation SWG Drafting Group e Multiprotocol Over ATM do Fórum ATM para explorar os modos de interconexão de LANs e os diálogos entre clientes não pertencentes às mesmas LANs virtuais.

Como as técnicas utilizadas pelas pontes e as do algoritmo *Source Routing* são clássicas nas LANs existentes, o Serviço LANE deverá realizar também a interconexão de LANs ao nível de ponte seguindo estes métodos.

Todas as funções necessárias à interconexão de LANs são implementadas nas pontes transparentes, as estações de trabalho não precisam conhecer a topologia da rede. As pontes reconhecem esta topologia à medida em que os quadros de dados são trocados entre as estações, de acordo com o algoritmo *Spanning Tree*.

Como consequências, por um lado o Serviço LANE deve oferecer um meio de associar o endereço MAC de uma estação pertencente a outra LAN ao endereço ATM da ponte correspondente, isto pode ser conseguido através do LEC implementado na ponte responder às requisições do protocolo LE_ARP, o parâmetro *Remote Unicast MAC Address* contém todos os endereços distantes conhecidos pelo LEC.

Por outro lado, para garantir a chegada de um quadro à estação destino, é recomendável que o LEC emissor envie este quadro ao BUS, para que este o difunda a todos os LECs ao mesmo tempo em que o envio da primitiva *LE_ARP_REQUEST* ao LES é feito, no caso de nenhuma ponte conhecer o endereço do LEC destinatário.

Quanto ao algoritmo de *Source Routing*, seu princípio é o de incluir informações de roteamento dentro do quadro de dados enviado (o algoritmo é empregado nas redes Token Ring). As pontes direcionam o quadro de dados em função das informações que este possui. Estas informações contém um descritor de rota com os números de pontes e identificadores de segmentos por onde o quadro trafega.

A consequência para o Serviço LANE é que este deve prover um mecanismo para a associação do próximo descritor de rota com o endereço ATM da ponte correspondente. Esta restrição é satisfeita através do registro dos descritores de rota no LES ao qual a ponte está conectada, dentro do parâmetro *Route Descriptor*.

8 O ATM como uma camada Enlace

A camada ATM é considerada como uma forma de camada Física, com as camadas de adaptação (AALs) oferecendo o equivalente aos serviços da camada Enlace. Duas AALs foram definidas para protocolos que trabalham com pacotes como é o caso do IP. São elas: AAL3/4 e AAL5. Cada tecnologia de enlace possui seus próprios limites no tamanho máximo da PDU que suportam. O Ethernet, por exemplo, pode suportar pacotes IP de até 1500 octetos. O IEEE 802.3 usando Controle de Enlace Lógico (LLC) IEEE 802.2 sem conexão (tipo 1) pode comportar 1492 octetos para pacotes IP. Os primeiros desenvolvimentos do IP na ARPAnet utilizavam um tamanho máximo de 576 octetos. O tamanho deve ser conhecido pela camada IP de tal forma a fragmentar os pacotes IP em pacotes menores compatíveis. Este valor é conhecido como Unidade Máxima de Transmissão (*Maximum Transmission Unit* - MTU), próprio para cada subrede. Quando os pacotes IP trafegam pelos roteadores, este se encarrregará de fragmentar o pacote, se for necessário, ao tamanho especificado para a nova subrede.

A opção de uso de camada Rede com protocolo IP sobre a camada de adaptação coloca a configuração obtida como uma subrede IP lógica (*Logical IP Subnetwork* - LIS) [17, 18]. Isto acontece pois grupos de estações possuem o mesmo endereço de subrede IP ao longo de uma rede mais extensa, de modo que encontram-se fisicamente dispersos. Há a obrigatoriedade de comunicação entre subredes diferentes por meio de *gateways*, já que a ligação encontra-se ao nível de rede. Por conseguinte, toda informação que é trocada com componente externo à subrede lógica deve trafegar pelo *gateway* [1].

Vale destacar que os membros da subrede lógica estão diretamente conectados à rede ATM. Todos os membros em um domínio da subrede lógica estão aptos a se comunicarem via ATM com todos os outros membros participantes da LIS. Isto significa que a topologia de conexão virtual entre os vários membros da subrede deve ser plenamente satisfeita.

A opção da Emulação de LAN corresponde a colocar o ATM como uma subcamada MAC, abaixo de LLC, suportando o nível de rede que poderia ser o caso do protocolo IP. Em uma rede com comutadores ATM apenas, é possível simplificar a pilha de protocolos e sobrepor o IP diretamente sobre o ATM.

8.1 Encapsulamento de pacotes

A AAL5 pode suportar Unidade de Dados de Serviço (AAL_SDU) com tamanho de até 64 Koctetos. O impacto da transmissão de pacotes deste porte pode ser significativo quando os pacotes deixam as RDSI-FL e entram em enlaces com MTUs menores. Para atender este propósito, o *Networking Work Group* produziu um documento, intitulado *Default IP MTU for use over ATM AAL5* [19]. O valor *default* para o MTU, que os nós com IP sobre ATM devem suportar, é de 9.180 octetos, equivalente ao tamanho para o IP sobre SMDS [20].

Outra especificação, o RFC1483 [21], possui intuito de desenvolver um padrão para carregar múltiplos protocolos, dos quais o IP é um deles. O IETF observa dois métodos para este objetivo. Onde a criação de conexões virtuais de maneira dinâmica e rápida é possível, cada protocolo deve escolher abrir uma conexão virtual para seu próprio uso, ou seja, multiplexação baseada em VCs. Onde as conexões virtuais possuem maiores dificuldades ou menor velocidade par serem criadas, é proposto um encapsulamento de forma a multiplexar diferentes protocolos em uma única conexão AAL5. A figura 13 mostra este encapsulamento dos pacotes IP para formar uma AAL_SDU. Os primeiros 8 octetos indicam que a carga útil é uma PDU que não segue protocolo especificado pela ISO, com um campo com identificador (*EtherType*) associado aos pacotes IP. Isto ocorre, pois o campo de Ponto de Acesso a Serviço SAP identifica o protocolo usado na camada adjacente. Com o número de bits reservado, porém o máximo que se atinge são 62 protocolos, número que não comporta a extensa gama de protocolos existente. Por isso, reserva-se este espaço apenas para protocolos padronizados pela ISO. No caso de algum outro tipo de protocolo, usa-se o SNAP/SAP, com código 0xAA-AA. O tipo de quadro enviado pelo LLC é o *Unnumbered Information* (UI), portanto assume valor 0x03. Os próximos 5 octetos irão indicar o protocolo, sendo que os três primeiros especificam o fabricante e os dois seguintes o protocolo propriamente dito (figura 13). Por causa destes octetos adicionais utilizados diminui-se mais ainda a carga útil. O cabeçalho do LLC/SNAP pode ser removido quando é utilizada multiplexação baseada em VC, salvando-se 8 octetos por pacote. Entretanto, isto apenas é útil em ambientes onde ambos terminais concordam no mapeamento realizado entre as conexões ATM e os protocolos de rede. Também não permitirá interconexão com nós ATM que somente suportam pacotes IP encapsulados por LLC/SNAP.

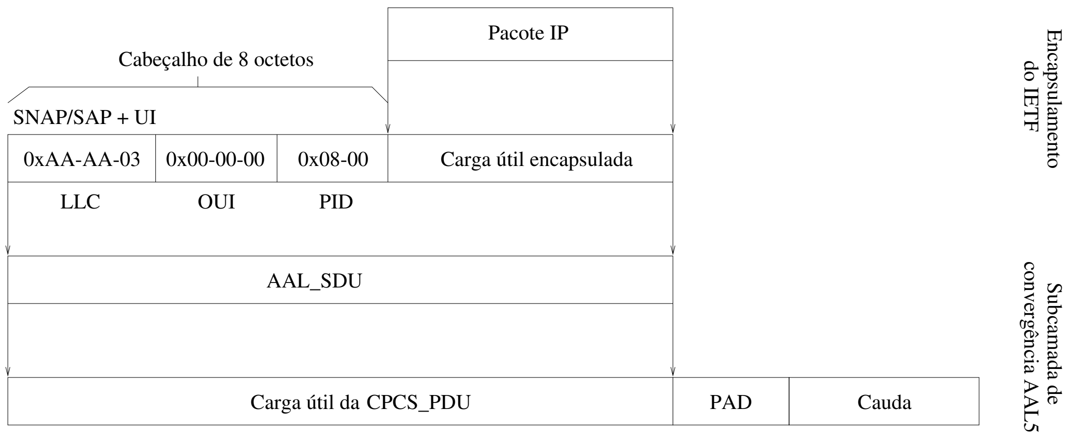


Figura 13: Encapsulamento dos pacotes IP

A figura 13 ilustra o mapeamento de pacotes IP em quadros LLC/SNAP. Pode-se observar o cabeçalho LLC/SNAP com os campos que definem o SNAP/SAP e o tipo UI de pacote, o Identificador Único de Organização (OUI) e o Identificador de Protocolo (PID). Este pacote é transferido à camada AAL, na subcamada de convergência, tornando-se uma AAL_SDU, que será por sua vez mapeada em uma PDU desta subcamada (CPCS_PDU). Para compor esta PDU, são adicionados mais dois campos. Um deles é o PAD que ocupa espaço variável de 0 a 47 octetos dependendo do tamanho da CPCS_PDU de modo que o tamanho total resulte em um múltiplo da carga útil da célula ATM. Há, também, um campo chamado cauda (*trailer*) que ocupa 8 octetos destinado a informações variadas de controle como, por exemplo, tamanho da PDU, para que no receptor possa se retirar o espaço referente ao PAD.

Quando o pacote IP é passado para a camada AAL, sua segmentação resulta em uma rajada de células. O comprimento da rajada depende do tamanho do pacote e a taxa de rajada é inteiramente dependente da modelagem de tráfego na interface ATM, de modo que não pode ser controlado pela camada IP. Vale lembrar que a sementação ocorre na subcamada responsável por este serviço a SAR (*Segmenting and Reassembly Sublayer*).

Com respeito ao IP e a outro protocolo de nível de rede, o ATM pode ser configurado tanto como um protocolo de enlace separado ou como uma subcamada MAC sob o LLC. A primeira opção é efetuada na proposta do IP sobre ATM [1].

8.2 Resolução de endereços

Para enviar dados para determinado destino um usuário envia um datagrama (no caso de serviço sem conexão) com o endereço IP do destino. Porém, a comunicação efetivamente ocorre pelo meio físico, utilizando o protocolo de acesso MAC com os respectivos endereços MAC. Logo, Há necessidade de endereçar o destino pelo seu endereço MAC. Isto é realizado pelo Protocolo de Resolução de Endereço (*Address Resolution Protocol*-ARP). Por exemplo, se A deseja enviar dados a B e não conhece o endereço MAC de B, difunde uma consulta ARP com seus próprios endereços IP e MAC e o endereço IP de B. Esta consulta é respondido por B que envia uma resposta ARP contendo seu próprio endereço MAC. Ao receber a resposta ARP, A associa o endereço IP e MAC de B e os mantém um cache ARP para subsequentes transferências de dados que, porventura, possam ser requisitadas. Trata-se de uma resolução de endereços relizada através de vinculação dinâmica. O valor *EtherType* que indica o protocolo ARP é 0x08-06, sendo que seu encapsulamento é realizado de maneira similar ao IP pois utiliza o mesmo conceito de SNAP/SAP [22].

No caso do problema inverso, em que uma máquina não saiba seu endereço IP. Neste caso, o protocolo a ser utilizado é o Protocolo de Resolução de Endereço Reverso (*Reverse Address Resolution Protocol* - ARP). O procedimento é bastante similar pois a máquina enviaria um quadro por difusão na rede de tal forma que um servidor contendo os endereços IP da rede, a entenderia como uma requisição. O servidor então envia a resposta para a máquina. Na prática, o protocolo RARP permite que qualquer máquina descubra o endereço IP de qualquer outra máquina bastando para isso que conheça o endereço de sua sub-rede.

Em IP sobre ATM, deve-se resolver endereços ATM para as máquinas ligadas à subrede. Utiliza-se os protocolos ATMARP e InATMARP para resolução de endereços de maneira análoga ao ARP e o RARP, respectivamente [23]. Logo, o mapeamento neste caso ocorre entre endereços IP e endereços ATM. Os campos de código de operação, tipo de protocolo e formato do quadro são idênticos. Há ainda outros campos adicionais que diferem.

8.3 Gerenciamento de conexão

Há duas opções primárias em desempenhar as funções de gerenciamento de conexão. Uma baseada em canais virtuais permanentes (*Permanent Virtual Channel* - PVC) e a outra baseada em canais virtuais chaveados (*Switched Virtual Channel* - SVC). No SVC, cada máquina deve ser apta a executar um protocolo de sinalização Q.2931 para estabelecer e liberar conexões ponto-a-ponto e também ponto-a-multiponto [24].

A tarefa de estabelecimento de conexão entre uma máquina fonte e uma máquina destino é realizada em cascata. A estação fonte envia uma mensagem `SETUP` a um primeiro comutador que processa o pedido e, caso seja aceito, envia uma mensagem `SETUP` a um segundo comutador que deverá enviar uma mensagem `CALL PROCEEDING` com os identificadores de caminho virtual e de canal virtual (VPI/VCI) ao primeiro comutador e outra mensagem `SETUP` a um terceiro comutador. Este deverá repetir este procedimento até que se alcance a estação destino. Quando isto ocorre, caso aceite o pedido de chamada, a estação de destino atualiza o cache de VCI e envia mensagem `CONNECT` de volta ao último comutador que atualiza a tabela de VCIs e envia mensagem `CONNECT` ao penúltimo comutador e assim por diante repete-se até que a fonte receba a resposta, atualize também sua própria tabela e inicie a transferência de dados. Para destruir a conexão, o procedimento é similar com mensagens `RELEASE` e `RELEASE COMPLETE`.

A mensagem `SETUP` que estabelece a conexão a ser usada para o IP contém os parâmetros da AAL, o descritor de tráfego e parâmetros de QoS, juntamente com outras informações. Os parâmetros AAL a serem especificados incluem o tipo de AAL e máxima unidade de dados. O descritor de tráfego caracteriza uma conexão ATM em termos de taxa de células de pico (*peak cell rate* - PCR), taxa de células sustentável (*sustainable cell rate* - SCR) e tamanha de rajada máximo. Estas informações são úteis para alocação de recursos na rede. Em geral, o descritor de tráfego para uma conexão baseada em IP vai ser determinado por uma série de fatores como requisitos da aplicação, custo de serviços etc. As classes de QoS mais aplicáveis a conexões IP são classe 0 (classe de QoS não especificado), classe 3 (classe de QoS especificado para transferência de dados orientada a conexão) e classe 4 (QoS especificada para transferência de dados sem conexão). A classe disponível de parâmetros de QoS e os descritores de tráfego ATM são específicos da rede ATM. É responsabilidade do destino escolher a classe que é oferecida pela rede e que satisfaz seus requisitos.

Na abordagem baseada em PVC, os canais virtuais permanentes são estabelecidos *a priori* entre cada par de estações ligadas a rede ATM e mantidas em uma tabela central que pode ser atualizada quando novas máquinas são adicionadas a rede. O gerenciamento de conexão neste caso envolve simples consulta a tabela para determinar o VCI a ser usado dependendo do endereço ATM do destino. Para redes ATM com poucas estações, este método é direto e de implementação muito fácil. Entretanto, certamente não é escalável para redes com grande número de máquinas.

Uma possível modificação deste mecanismo seria manter os PVCs entre portas ATM e multiplexá-los entre as máquinas ligadas a tal porta. Neste esquema um número de PVCs é alocado para serviços IP entre cada par de portas. Uma entidade central chamada Gerenciador de Conexão aloca e delaoca os PVCs a diferentes conexões. Este Gerenciador mantém as seguintes tabelas:

- lista livre, que corresponde a lista de VCs não alocados entre cada para de portas de entrada e saída;
- lista alocada, que é uma tabela de endereços ATM de fonte e de destino e seus correspondentes VCs alocados.

Um mínimo conjunto de mensagens de pedido e respostas é trocado entre o Gerenciador de conexões e as estações finais. Considere-se, então, o caso em que deseja-se estabelecer uma conexão entre uma máquina fonte (MS) e outra destino (MD). Se o cache de VCI em MS não possui item de entrada correspondente a MD, a função do gerenciador de conexão é iniciada. Isto resulta em uma mensagem de consulta a lhe ser enviada. Se há item correspondente na lista alocada para o determinado par fonte-destino, o gerenciador de conexão responde a MS com o VCI de entrada e atualiza MD com o VCI de saída, para que os caches possam ser atualizados e dar início a transferência de dados.

Caso não haja item relativo ao determinado par na lista alocada, o gerenciador de conexão destaca um novo VC da lista de livres para os pares de portas apropriados e segue o mesmo procedimento descrito. Quando a lista de livres estiver vazia, entretanto, o protocolo falha e deve-se usar um protocolo de nível mais alto para dar início a um remapeamento de VCs e alocação de novos VCs entre pares de portas.

Um importante aspecto deste gerenciamento de conexão é a manutenção de cache de VCI. É importante revalidar itens de entrada depois de permanecerem no cache por determinado intervalo de tempo. Cada item possui um tempo de validade associado. Assim, quando novo item é adicionado ou acessado, o tempo de validade é inicializado. À medida que o tempo evolui, o gerenciador de cache decrementa o campo relativo ao prazo e descarta o item quando atingir valor nulo. Também inicia procedimento de liberação de chamada.

9 A eficiência no uso da célula ATM

Define-se "eficiência" como a fração média dos octetos das células que efetivamente possuem dados do usuário. A segmentação de pacotes em células de tamanho fixo leva a um uso ineficiente de banda. Como as células possuem tamanho fixo, a última célula necessariamente carregará espaço perdido (*padding*) adicionado ao CPCS_PDU de forma a completar múltiplo de 48 octetos conforme foi anteriormente mencionado. Esta PDU será segmentada em tamanhos compatíveis com as células a fim de que os dados sejam transmitidos. A figura 14 traz o gráfico com a eficiência obtida para uma conexão virtual em AAL5 por tamanho do pacote IP, que representa os dados do usuário. Deve-se portanto excluir o cabeçalho LLC/SNAP que constitui *overhead* adicional. As variações no tamanho dos pacotes podem afetar consideravelmente a eficiência obtida, especialmente quando os pacotes são de tamanho bem reduzido. Observando-se que de uma célula de 53 octetos, 48 são efetivamente destinados a dados do usuário, pois 5 octetos são reservados para informação de controle (cabeçalho), a eficiência máxima obtida seria a razão 48/53, resultando em 91% aproximadamente. Porém, por causa dos octetos do campo cauda da PDU, este valor não é obtido. O gráfico (figura 14) possui um aspecto recortado pois trata-se do efeito introduzido pela segmentação. Como o tamanho da célula é fixo, ao variar-se o tamanho da carga útil de forma contínua, não haverá uma acompanhamento linear da eficiência obtida. Portanto, o número de células usadas na transmissão após a segmentação varia aos saltos, resultando em um número de octetos utilizado correspondente a múltiplo de 53. Isto irá afetar a eficiência sensivelmente. Note-se o caso em que o tamanho da carga útil exceda em um octeto o valor exato que preenche um múltiplo de 53 octetos. Ao passo em que a carga útil é incrementada de uma unidade, há incremento de uma célula, ou seja, mais 53 octetos. Portanto, a razão determinante para a eficiência possui uma queda abrupta, tal qual observado no gráfico.

Analiticamente, com o conceito apresentado de eficiência, seu valor pode ser calculado por (em função de T como tamanho da carga útil):

$$ef(T) = \frac{T}{\lceil \frac{T+16}{48} \rceil \times 53} \tag{1}$$

Surge a questão se o tamanho de 48 octetos para segmentação é aceitável. Somente com a análise do tráfego IP poder-se-á responder a esta indagação. O trabalho apresentado por Armitage e Adams [25] apresenta um estudo do tráfego IP. Ainda serão importantes, posteriormente, estudos sobre o processamento do TCP no caso de utilização de ferramenta que utilize TCP/IP. Uma análise inicial pode ser vista em [26, 27].

Em sua caracterização de tráfego de células, apresentam alguns resultados interessantes:

- cargas úteis de até 10 octetos ocorrem 70% do tempo;
- cargas úteis médias utilizam 3 células e ocorrem 14% do tempo;
- cargas úteis grandes com valores em torno de 512 e 536 octetos para seus tamanhos possuem frequência de 16%.

Entretanto, ao se fazer uma ponderação com base nos tamanhos destas cargas úteis, pode-se verificar que os pacotes maiores geram 53% de todas as células enviadas em uma conexão, apesar de ocorrerem apenas 16% do tempo.

Foi realizada uma análise do tamanho da carga útil. A idéia foi variar este tamanho com espaço reservado a cabeçalho com 5 octetos sempre. Portanto, foi estabelecido um tamanho de célula fictício, da mesma forma que foi definido um serviço de camada de adaptação fictício, pois a segmentação deverá tomar valores diferentes como base. A conclusão por eles obtida foi que, para valores entre 40 octetos e 96 octetos, há melhores resultados. O valor oficial de 48 octetos, portanto, não apresenta maiores perdas com relação ao impacto do tráfego.

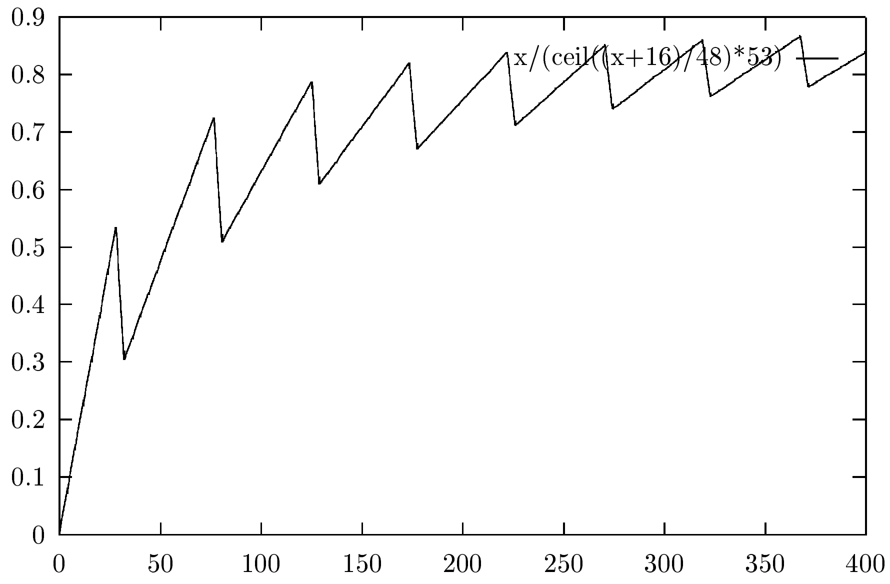


Figura 14: Eficiência obtida na segmentação dos pacotes IP

Uma proposta elaborada por Keshav, Lund, Phillips, Reingold e Saran em [28] apresenta políticas para determinação do tempo de manutenção de circuito virtual dedicado a transmissão de datagramas IP por uma avaliação empírica. Com base nisso, propõem métodos de tarifação em redes baseados em redes ATM e em características das redes atuais.

10 Extensões propostas

10.1 Problemas observados

Existem alguns problemas observados na especificação do IP sobre ATM [1]. Em particular, não se menciona meios para implementação de comunicação *broadcast* ou *multicast*. Outro ponto é a necessidade de uso de roteador necessariamente para interconexão das várias subredes a rede ATM. Pode-se haver coexistência de redes locais de vários tipos, baseadas em soluções com ATM ou as chamadas redes legadas. Necessariamente, deverá haver interligação por meio de *gateways* que implementem o protocolo IP. Como o ATM oferece os serviços de emlace e de rede, poderia perfeitamente se sobrepor a camada AAL um protocolo de Transporte como o Transporte classe 4 da ISO ou o TCP. Trata-se de solução atraente por eficiência e simplicidade, porém com a desvantagem de impedir a interligação de redes locais já existentes. Por este motivo, esta solução não possui maiores estímulos.

10.2 NHRP e MPOA

Para suportar múltiplos protocolos sobre o ATM é proposta uma arquitetura, denominada Multiprotocolo sobre ATM (*Multiple Protocol over ATM* - MPOA). Possui objetivos de permitir a interconexão de sistemas ao nível de rede. Procura retirar alguns dos empecilhos apresentados no IP sobre ATM e no LANE. Pretende vir a conectar diretamente duas estações ATM, mesmo que estejam em LIS diferentes, e também interconexão com redes legadas.

O MPOA está sendo especificado pelo Fórum ATM e pelo IETF em esforço conjunto. Busca uma integração de padrões propostos pelos dois organismos, utilizando o LANE (Fórum ATM) e o protocolo para resolução de endereços *Next Hop Resolution Protocol*, NHRP (IETF).

O NHRP é um protocolo de resolução de resolução de endereços que visa permitir a conexão direta entre duas máquinas mesmo que não estejam na mesma subrede. O objetivo é reduzir os passos necessários à resolução de endereços como ocorria no modelo com subredes lógicas IP. O NHRP busca reduzir o número de saltos entre roteadores a fim de se resolver os endereços tornando esta função mais eficiente.

O trabalho apresentado por Cole, Shur e Villamizar [29] consiste em documento que aborda várias questões relativas a IP sobre ATM objetivando uma extensão ao modelo. Utiliza os conceitos de *IP multicasting*, do protocolo NHRP e também MPOA de forma procurar maior convergência para o conjunto de parâmetros utilizado, para que se formule novo RFC (*Request for Comments*) com o modelo atualizado.

Os protocolos RSVP[30] e ST-II definem meios para habilitar reserva de recursos na rede para os diversos fluxos de dados. Estudos comparativos já foram desenvolvidos, apresentando as principais vantagens de cada um [31, 32]. Particularmente na proposta de integração de serviços na Internet [33], surgem como possibilidades para garantia de QoS para as aplicações, como no caso de multimídia, com maior destaque para o RSVP.

11 Conclusão

Neste trabalho, procurou-se evidenciar a importância da construção de modelos para efetuar interconexão de redes legadas às redes ATM bem como emular os serviços de rede local sem conexão sobre o ATM. Efetuou-se o estudo da opção IP sobre ATM. Descreveu-se seu funcionamento com detalhes dos vários protocolos e mecanismos utilizados. Alguns dos conceitos analisados foram a resolução de protocolos, o encapsulamento de pacotes em células, segmentação, gerenciamento de conexão etc. Também foi analisada a opção *LAN Emulation*, onde foi descrito o serviço LANE.

Vale lembrar que a interconexão entre LANs e WANs deve ocorrer com pontos intermediários na comunicação. A opção LANE exige pontes para efetuar esta função. Como utiliza o ATM como protocolo de acesso MAC, estes pontos intermediários deveriam oferecer serviços ao nível 2 da arquitetura do modelo de referência OSI. Além disso, poderiam perfeitamente ser transparentes ao IP ou a qualquer outro protocolo da camada rede.

Entretanto, na opção IP sobre ATM, o ATM atua como a própria camada de enlace e permite que o protocolo IP seja implementado diretamente sobre o ATM. O aspecto-chave, neste caso, envolve a resolução de endereços ATM a partir dos endereços IP. Neste caso, para poder-se interconectar várias subredes lógicas, o ponto intermediário deve atender a serviços do nível 3, nível da camada Rede. Por isso, deve-se usar roteadores o que torna o modelo um pouco mais complexo e mais custoso do que observado na LANE. Em contrapartida, a pilha de protocolos nesta arquitetura é mais simples e eficiente, pois há uma camada a menos.

A rede Internet, por utilizar o protocolo IP, aponta para uma adaptação mais suave para a nova arquitetura se utilizar esta alternativa, em particular. A grande variedade de serviços oferecidos em ambiente Internet continuaria sendo atendida. Além de permitir a interconexão com a coleção de subredes que a compõe. O IP sobre ATM é, portanto, solução muito promissora.

Além disso, o ATM oferece todas as funcionalidades das camadas Rede e Enlace. Por conseguinte, poder-se-ia implementar um protocolo de transporte logo acima do ATM sem perda alguma, pelo contrário, pois a pilha de protocolos seria mais eficiente. Exemplos possíveis seriam o Transporte classe 4 da ISO ou o TCP. Entretanto, pelo problema da interconexão com redes legadas, largamente baseadas em protocolos de enlace e de rede, esta alternativa torna-se inviável.

Finalmente, apresentou-se alguns problemas verificados e que se espera solução dentro de pouco tempo. Alguns destes são resolvidos por propostas recentes como o MPOA e o NHRP. Aguarda-se o suporte a *IP multicast*, IPv6 [34], roteamento otimizado através das diversas subredes e outras funcionalidades adicionais que permitam maior eficiência e desempenho para as aplicações.

Referências

[1] M. Laubach, *RFC1577: Classical IP over ATM.* Network Working Group, janeiro 1994.

[2] ITU-TS, *B-ISDN Protocol Reference Model and its Applications.* ITU-TS Draft Recommendation I.321.

[3] ITU-TS, *B-ISDN ATM Adaptation Layer (AAL) Specification*, outubro 1993. ITU-TS Draft Recommendation I.363.

[4] The ATM Forum, *LAN Emulation over ATM Specification, Version 1.0*, janeiro 1995. LAN Emulation SWG Drafting Group.

[5] The ATM Forum, *LAN Emulation Client Management Specification, Version 1.0*, setembro 1995. LAN Emulation SWG Drafting Group.

[6] B. J. Vickers e T. Suda, "Connectionless service for public ATM networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 8, agosto 1994.

[7] P. Newman, "Traffic management for ATM local area network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 8, agosto 1994.

[8] D. A. M. Villela, L. H. M. K. Costa, C. V. N. de Albuquerque, M. D. Nunes e O. C. M. B. Duarte, "Desempenho de uma aplicação de transferência de arquivos em um sistema de comunicação industrial", in *XI Congresso Brasileiro de Automática*, São Paulo, pp. 1745–1750, setembro 1996.

[9] L. F. Baginski e O. C. M. B. Duarte, "Um modelo de implementação de alto desempenho para protocolos de comunicação estruturados em camadas", *Revista Brasileira de Computação*, vol. 6, no. 4, pp. 43–56, Apr–Jun 1991.

[10] W. R. Stevens, *TCP/IP Ilustrated*, vol. 1. Addison-Wesley, 1994.

[11] M. de Prycker, *Asynchronous Transfer Mode, solution for broadband ISDN.* Ellis Horwood, 1991.

[12] P. Newman, "ATM local area networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 86–98, março 1994.

[13] H. L. Truong, W. W. E. Jr., J. Y. L. Boudec, A. X. Meier e J. W. Pace, "LAN emulation on an ATM network", *IEEE Communications Magazine*, pp. 70–85, maio 1995.

[14] The ATM Forum, *ATM User-Network Interface Specification, Version 3.0*, setembro 1993. LAN Emulation SWG Drafting Group.

[15] The ATM Forum, *ATM User-Network Interface Specification, Version 3.1*, julho 1994. LAN Emulation SWG Drafting Group.

[16] ITU-TS, *B-ISDN Digital Subscriber Signaling No. 2 (DSS 2), User Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call/Connection Control*, janeiro 1994. ITU-TS Draft Recommendation Q.2931.

[17] G. Marshall, "Classical IP over ATM: a status report", *Data Communications*, dezembro 1995.

[18] R. E. Larson, "Methods for implementing IP on ATM networks", tech. rep., Odyssea Systems Corporation, dezembro 1995.

[19] R. Atkinson, *RFC1626: Default IP MTU for use over ATM AAL5.* Network Working Group, maio 1994.

[20] D. Piscitello e C. Lawrence, *RFC1209: The transmission of IP datagrams over the SMDS service.* Bell Communications Research, março 1991.

[21] J. Heinanen, *RFC1483: Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5.* Network Working Group, julho 1993.

[22] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks - third edition.* Prentice-Hall International Editions, 1996.

[23] H. Jonathan, D. Ghosal, D. Saha e S. K. Tripathi, "IP on ATM local area networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 52–59, agosto 1994.

[24] M. Perez, F. Liaw, A. Mankin, D. Grossman e A. Malis, *RFC1755: ATM Signalling Support for IP over ATM.* Network Working Group, fevereiro 1995.

[25] G. J. Armitage e K. M. Adams, "How inefficient is IP over ATM anyway?", *IEEE Network Magazine*, pp. 18–26, jan-feb 1995.

[26] D. D. Clark, V. Jacobson, J. Romkey e H. Salwen, "An analysis of TCP processing overhead", *IEEE Communications Magazine*, pp. 23–29, Jun 1989.

[27] L. Zhang, "Why TCP timers don't work well", in *Proceedings of SIGCOMM '86*, Vermont, pp. 397–405, ACM, Aug 1986.

[28] S. Keshav, C. Lund, S. Phillips, N. Reingold e H. Saran, "An empirical evaluation of virtual circuit holding time policies in IP-over-ATM networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 8, pp. 1371–1382, outubro 1995.

[29] R. G. Cole e D. H. Shur, *IP over ATM: A Framework Document.* Network Working Group, fevereiro 1996. Internet-draft.

[30] L. Zhang, S. Deering, D. Estrin, S. Shenker e D. Zappala, "RSVP: A new Resource ReSerVation Protocol", *IEEE Network Magazine*, Sep 1993.

[31] D. J. Mitzel, D. Estrin, S. Shenker e L. Zhang, "An architectural comparison of ST-II and RSVP", in *Proceedings of IEEE Infocom*, 1994.

[32] L. Delgrossi, R. G. Herrtwichi, C. Vogt e L. C. Wolf, “Reservation protocols for internetworks: A comparison of ST-II and RSVP”, in *Proceedings of Fourth International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, Lancaster, UK, novembro 1993.

[33] M. Borden, E. Crawley, B. Davie e S. Batsell, *Integration of Real-time Services in an IP-ATM Network Architecture*. Network Working Group, agosto 1995.

[34] IPv6: the New Internet Protocol, *Cristian Huitema*. Prentice Hall, 1996.