

Uma Arquitetura para Sistema de Teleconferência, Aplicado ao Ensino à Distância, para Ambientes Residenciais e SOHO.

Alexandre Moreira de Moraes, Jean-Marie Farines
{sobral, farines}@lcmi.ufsc.br

Laboratório de Controle, Automação e Informática Industrial (LCMI)
Departamento de Automação e Sistemas (DAS)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
CEP 88.040-900 - Florianópolis/SC - Brasil

Resumo: Este trabalho descreve um modelo de sistema de teleconferência multiponto a multiponto sobre redes ATM, para aplicações de ensino à distância, voltado para ambientes residenciais e SOHO. Este sistema é baseado em um suporte de comunicação ATM fim a fim com tecnologia de acesso via rede ADSL. As conexões no ponto de entrada na rede de faixa larga são feitas através da abordagem cliente-servidor com os parâmetros levantados tanto nos sistemas finais quanto no comutador ATM da periferia da rede de faixa larga. Estas conexões formam uma árvore compartilhada que permite comunicação *multicast* e aproveitamento mais eficiente dos recursos da rede.

Abstract: *This paper describes a teleconference multipoint-to-multipoint system model on ATM networks, for distance learning applications, for residential and SOHO environments. This system is based on an end-to-end communication ATM support with access technology through ADSL network. The connections in the entrance point in the network broadband are made so much through the client-server approach with the parameters gathered both in the final systems and in the switch ATM of the periphery of the network broadband. These connections form a shared tree that allows multicast communication using more network resources efficient.*

Key-words: distance learning, videoconference, ATM, mp-mp communication, xDSL.

1. Introdução

A educação a distância é um recurso de incalculável importância como modo apropriado para atender a grandes contingentes de participantes de forma mais efetiva que outras modalidades e sem riscos de reduzir a qualidade dos serviços oferecidos em decorrência da ampliação da clientela atendida. Dentre as metodologias de ensino convencionais, a forma mais natural de se passar a instrução é através de uma abordagem onde o instrutor e os participantes compartilhem de uma mesma relação espaço-temporal, onde a interatividade seja uma característica constantemente exercitada. Quando as distâncias envolvidas entre o instrutor e os participantes superam as barreiras de uma sala de aula, os fatores presencial e de interatividade passam a depender de soluções tecnológicas criativas, que devem tornar estes fatores ainda possíveis, e ainda sem perder o caráter de eficiência que uma instrução tem como premissa.

Apesar dos avanços tecnológicos na área de computadores e dispositivos multimídia, e dos avanços nas redes de comunicação digital de alta velocidade, ainda é necessário soluções mais eficientes na tecnologia de acesso, pois as soluções atuais disponíveis para o acesso dos sistemas finais (instrutor(es) e participantes) às redes de alta velocidade ainda deixam muito a desejar. Mais especificamente, na área de comunicação audiovisual - que vem a atender aos dois fatores supra citados de interatividade e presencial - não se dispõe de soluções cuja relação custo/qualidade possa ser amplamente difundida. Algumas soluções para comunicação audiovisual apresentam boa qualidade na reprodução de áudio e vídeo, obedecendo as exigências de interoperabilidade recomendadas pelos órgãos internacionais de padronização, como o MPEG (*Moving Pictures Expert Group*) e os sistemas baseados no H.320 do ITU-T para teleconferência sobre a B-ISDN (*Broadband- Integrated Services Digital Network*). Neste caso porém, a forma de agrupar uma grande quantidade de participantes em uma sessão de instrução implica numa solução pouco expansível (baseada em MCUs - *Multipoint Control Unit*).

O rápido avanço tecnológico e a grande difusão do ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) vêm no sentido de atender a dois pontos primordiais dos sistemas de comunicação multimídia. Grandes velocidades de transmissão e

disponibilidade de diferentes classes de serviços com parâmetros para controle da garantia da qualidade destes são dois fatores que devem ser profundamente explorados

Para que os sistemas finais possam usufruir das características do ATM, as formas de acesso que os sistemas finais dispõem atualmente estão divididas em duas categorias; as formas de acesso baseadas em meios de difusão com largura de banda compartilhada, através dos cabos de distribuição de TV (*cable modem*), redes sem fio (*wireless*), e até na rede de distribuição de energia elétrica (PDL - *Power Digital Lines*), e o acesso ponto a ponto com largura de banda fixa, baseado no cabeamento de par trançado metálico das companhias telefônicas (as tecnologias da família DSL - *Digital Subscribe Loop*). Esta última conta com a vantagem de um grande parque já instalado a nível mundial, interligando milhões de residências e SOHOs (*Small Office, Home Office*), chegando inclusive aos locais mais remotos.

Tomando como referência a tecnologia de acesso ADSL, existe uma limitação no ponto de entrada da rede de faixa larga que dificulta o estabelecimento de SVCs (*Switched Virtual Circuit*) fim a fim sobre o ATM, com as garantias de QoS (*Quality of Service*) exigidas pela aplicação. Através destes SVCs os fluxos multimídia das aplicações trafegam pelo suporte de comunicação. Utilizando-se de um esquema baseado no paradigma cliente-servidor, é possível transpor este impasse, dotando as entidades tanto cliente quanto servidora de funcionalidades que permitam o estabelecimento, gerenciamento e a liberação das conexões, servindo ao contexto das aplicações para o ensino à distância. Na Seção 2 são levantadas as características do ensino à distância, bem como as metodologias de ensino convencionais e a metodologia de ensino a ser abordada. Na Seção 3 é feito um breve relato das reais possibilidades de transmissão de vídeo sobre o ATM utilizando as classes de serviço disponíveis. Na Seção 4 são discutidos os fatores que envolvem a comunicação multiponto a multiponto, destacando as possibilidades de realização sobre o ATM. Na Seção 5 é analisada a tecnologia xDSL de acesso à redes de faixa larga. Na Seção 6 é apresentada a arquitetura do sistema. Na Seção 7 são apresentadas conclusões e perspectivas.

2. Metodologia de Ensino

As primeiras abordagens conceituais, que qualificavam a educação a distância pelo que ela não deveria ser, tomavam um referencial externo ao próprio objeto como paradigma, pois estabeleciam comparação imediata com a educação presencial, também denominada educação convencional, direta ou face-a-face, onde o professor, presente em sala de aula, é a figura central. Estudos mais recentes apontam para uma conceituação, mais precisa do que é educação a distância, segundo o que foi levantado por [1].

A partir de sua conceituação, a educação à distância pode ser caracterizada por:

- Pode-se atender, em geral, a uma população estudantil dispersa geograficamente e, em particular, àquela que se encontra em zonas periféricas, que não dispõem das redes das instituições convencionais;
- Favorecer a possibilidade de melhorar a qualidade da instrução ao atribuir a elaboração dos materiais didáticos aos melhores especialistas;
- Estabelecer a possibilidade de personalizar o processo de aprendizagem;
- Promover a formação de habilidades para o trabalho independente e para um esforço auto-responsável;
- Formalizar vias de comunicação bidirecionais e freqüentes relações de mediação dinâmica e inovadora;
- Garantir a permanência do aluno em seu meio cultural e natural;
- Alcançar níveis de custos decrescentes, já que, depois de um forte peso financeiro inicial, se produzem coberturas de ampla margem de expansão;
- Realizar esforços que permitem combinar a centralização da produção com a descentralização do processo de aprendizagem;

No entanto, a implementação de ambientes de educação à distância esbarra em algumas limitações:

- A ausência da figura do instrutor (mesmo que presente virtualmente) em cada local onde se encontre um participante da instrução, impossibilitando a comunicação face a face;
- Metodologias para a realização de trabalhos de grupo, que promovam interatividade de forma organizada, possibilitando a troca de informações no processo de aprendizagem.

Pode-se classificar o ensino à distância através de três conjuntos de métodos. Segundo [2], existem métodos de ensino individualizado, coletivo e de grupo.

- Os métodos de ensino individualizado consistem em se dirigirem diretamente a cada educando, individualmente, atendendo às condições pessoais de preparo, de aptidões e de motivação. Os principais métodos de ensino individualizado são o ensino personalizado e o estudo dirigido (em sua forma individual).

- Os métodos de ensino coletivo são aqueles que se dirigem, ao mesmo tempo e da mesma forma, para todos os educandos igualmente, procurando atuar, de modo geral, com base no “educando médio”. Os principais métodos de ensino coletivo são o do ensino pelo rádio e pela televisão.
- Os métodos de ensino de grupo são aqueles que dão ênfase na interação dos educandos, interagindo entre si, em pequenos grupos, cujo funcionamento se baseia na dinâmica de grupo, como é feito nos métodos da exposição aberta e da discussão.

Um processo de ensino deveria constar, de maneira ideal, de atividades destas três modalidades. Entretanto, neste trabalho, pretende-se tratar uma das modalidades do ensino de grupo, destacando uma das formas mais naturais de passar a instrução, utilizando o método da “exposição aberta”. Diferente da exposição dogmática (onde o instrutor expõe a instrução sem que os participantes interajam com ele), a exposição aberta permite aos membros da instrução interação plena, desde que organizada, entre o instrutor e os participantes, e entre os próprios participantes.

Um possível ambiente de trabalho deveria constar de (no mínimo) três janelas; uma janela para exibição do fluxo audiovisual gerado pelo instrutor, uma outra janela para exibição do fluxo audiovisual de um participante qualquer que deseje interagir com o instrutor, além de uma janela para exibição do vídeo que está sendo gerado localmente. A imposição de se ter apenas uma janela para que um participante qualquer deseje interagir com o instrutor se deve ao fato de que mesmo que existam vários participantes nesta situação, apenas um por vez pode fazê-lo, ficando os demais participantes aguardando (se assim for conveniente). Esta informação implica na utilização de uma quantidade limitada dos recursos do suporte de comunicação

Do exposto anteriormente, alguns requisitos básicos devem ser atendidos:

1. A interação entre todos os membros da instrução é feita através de comunicação face a face virtual, a partir dos fluxos audiovisuais gerados pelos dispositivos multimídia presentes no *host* de cada membro. A qualidade de reprodução dos fluxos audiovisuais deve permitir uma taxa de exibição de vídeo *full-motion* (ou quase) e boa resolução das imagens, além de se ter áudio inteligível, tudo isso como forma de estimular o participante a se sentir em uma sala de aula, mesmo que virtual;
2. A distribuição do fluxo audiovisual gerado tanto pelo instrutor, quanto pelo participante que interage com o instrutor (caso exista), é feita de forma ponto a multiponto (pt-mp), sendo que no primeiro caso a fonte geradora do fluxo sempre é o *host* do instrutor, e no segundo caso, a fonte poderá ser o *host* de qualquer participante que tenha a permissão de interagir com o instrutor. Na ocasião de uma interação entre o instrutor e um dos participantes, existirão duas comunicações pt-mp;
3. Os *hosts* dos membros do processo da instrução (que estão localizados em ambientes residenciais ou SOHOs), devem estar interligados através de um suporte de comunicação cujas características atendam às necessidades do transporte das mídias de áudio e vídeo fim a fim em tempo real, e satisfaçam os requisitos citados no item 1;

Para atender aos requisitos do item 1, algumas soluções apresentam boa qualidade na reprodução das mídias audiovisuais, obedecendo as exigências de interoperabilidade recomendadas pelos órgãos internacionais de padronização, como o MPEG, e os sistemas baseados no H.320 do ITU-T para teleconferência sobre a B-ISDN. É importante salientar que a qualidade na reprodução está diretamente relacionada com a disponibilidade de largura de banda do suporte de comunicação, e com a oferta de serviços compatíveis com as exigências da transmissão de áudio e vídeo comprimidos, com garantias de QoS (*Quality of Service*), diferentemente dos serviços de melhor esforço, como no caso da Internet. É necessário oferecer também uma forma nativa de comunicação pt-mp, como levantado no item 2. De forma resumida, estes requisitos básicos podem ser atendidos através das características oferecidas pelas redes ATM. A próxima seção justifica a utilização de uma classe de serviços do ATM para a transmissão das mídias audiovisuais, e a seção subsequente expõem o mecanismo para comunicação mp-mp sobre o ATM.

3. A Rede ATM e Aplicações Multimídia

Para atender às diversas características e requisitos de comunicação exigidos pelos diversos tipos de mídias, a rede ATM dispõe de vários tipos de classes de serviços. Estas classes são; CBR (*Constant Bit Rate*) para aplicações tempo real que requerem largura de banda fixa e restrição rígida do atraso e sua variação, VBR rt (*Variable Bit Rate real time*) para aplicações tempo real que requerem largura de banda variável e restrição rígida do atraso e sua variação, VBR nrt (*Variable Bit Rate not real time*) para aplicações não tempo real que requerem largura de banda variável, UBR (*Unspecified Bit Rate*) para aplicações não tempo real que toleram algum atraso e sua variação, e ABR (*Available Bit*

Rate) para aplicações que permitem modificar sua taxa de transferência de informação de acordo com as condições da rede. Durante a etapa do estabelecimento de uma conexão ATM, a fonte do tráfego (através do processo de sinalização), fornece uma série de parâmetros (IEs - *Information Elements*) que são utilizados pelo CAC (*Connection Admission Control*) para a aceitação ou não de uma nova conexão pela rede. Cada classe de serviços é implementado através da camada AAL (*ATM Adaptation Layer*), fa arquitetura da rede ATM (Tabela 1).

	CBR	VBR-rt	VBR-nrt	UBR,ABR
Relação temporal origem/destino	sim		não	
Taxa de transmissão	constante	variável		
Orientado à conexão	sim			não
Tipo de AAL	1	2	3/4 e 5	3/4 e 5

Tabela 1. Características das classes de serviços e as AALs correspondentes.

A classe de serviços CBR é a mais adequada para a transmissão de mídias audiovisuais não comprimidas, bastando indicar como parâmetro principal na fase de abertura da conexão, o parâmetro PCR (*Peak Cell Rate*). Porém, a utilização do serviço CBR desta forma consome uma grande quantidade de largura de banda. Com a utilização das técnicas de compressão, o tráfego audiovisual torna-se variável. Este tráfego pode ser modelado através de um valor médio e um valor de pico. Associando o parâmetro PCR ao valor de pico do tráfego, a utilização da largura de banda com o serviço CBR é muito baixa e o custo do serviço muito alto. Uma alternativa para reduzir o custo do serviço e melhorar a utilização da largura de banda da rede é a utilização do serviço VBR rt. Neste caso é necessário a indicação do parâmetro PCR com o valor de pico, e também do parâmetro SCR (*Sustainable Cell Rate*) com o valor médio. Porém, a determinação destes valores para a transmissão de mídias audiovisuais em tempo real é um processo não trivial. Uma terceira alternativa então é a utilização do serviço ABR que, diferentemente dos serviços CBR e VBR rt, permite a renegociação de largura de banda durante a conexão, e não apenas na fase do estabelecimento. Quando uma conexão ABR é configurada, são negociadas os parâmetros PCR, MCR (*Minimum Cell Rate*), e alguns [3]. Durante a transmissão, apenas o parâmetro MCR é garantido pela rede. As fontes podem requisitar alocação de largura de banda entre os valores de MCR e PCR.

Estudos realizados por [4], mostram que o serviço ABR pode vir a ser o principal serviço ATM utilizado, conforme visto na Figura 1. O serviço CBR é visivelmente ineficiente pois pode vir a utilizar apenas 25% da largura de banda alocada. O VBR pode vir a utilizar até 60%. Já o ABR, por outro lado, pode facilmente utilizar 95%, sendo que para isso os parâmetros utilizados no esquema de codificação das mídias audiovisuais precisa ser dinâmico.

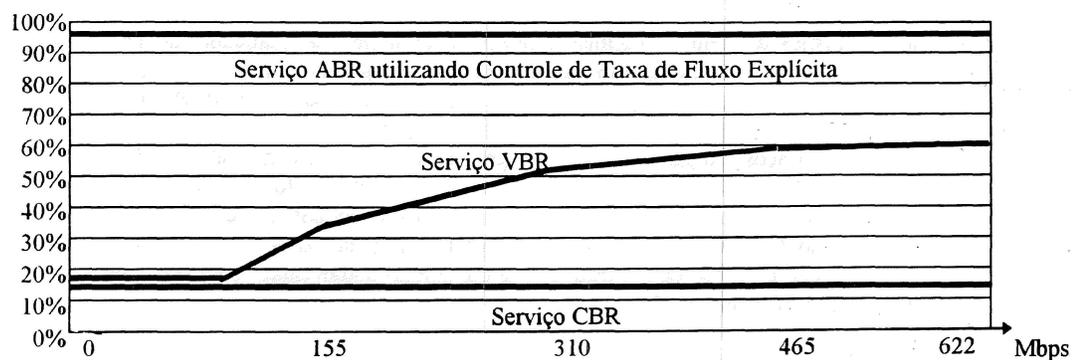


Figura 1. Utilização do enlace versus a largura de banda do enlace.

Os trabalhos citados em [5] e [6] reforçam esta posição. Pelas características do ambiente de trabalho apresentadas na Seção 2 e pelos resultados apresentados nos trabalhos citados, percebe-se claramente que a utilização dos serviços ABR do ATM para a transmissão das mídias audiovisuais é realizável de forma bastante eficiente e será adotado neste trabalho.

4. Comunicação Multiponto a Multiponto

No final da Seção 2 mostrou-se a necessidade da comunicação pt-mt entre cada membro da instrução com os demais membros. A instrução abrange um grupo fechado com um número reduzido de participantes (se comparado às sessões *multicast* da Internet), e a natureza da interação do método de ensino de grupo através da exposição aberta é feita basicamente entre dois membros por vez, já que um membro não consegue fixar a atenção (ver e ouvir) muitos locutores ao mesmo tempo. Por outro lado, cada membro deve estar apto a interagir com o instrutor, de forma organizada, e ter seu fluxo audiovisual entregue a todos os demais membros.

Durante uma sessão de instrução existirá sempre o tráfego das mídias do instrutor para os participantes, e eventualmente o tráfego de algum participante para o instrutor e os outros. Portanto, o tráfego gerado por um participante poderá ser originado de qualquer lugar a partir de um ambiente residencial ou SOHO, e mudará dinamicamente de acordo com qual participante esteja interagindo com o instrutor. Este fato sugere a formação de uma comunicação multiponto a multiponto (mp-mp) abrangendo todos os membros da instrução. Caso se estabelecesse uma comunicação pt-mt entre cada membro da instrução, isto fatalmente iria consumir muitos recursos da rede, como em redes ATM que possuem a facilidade nativa de VCs (*Virtual Circuits*) pt-mp unidirecionais, dando origem a uma grande malha complexa de VCs. Como forma alternativa de abordar este problema, a formação de uma "árvore compartilhada" (*Shared Tree - ST*) [9] entre todos os membros é uma solução mais eficiente. Existem duas formas de implementação de uma ST; árvores baseadas nos emissores (folhas) e árvores baseadas em um núcleo (raiz). Pelo fato dos emissores não serem fixos (a não ser o instrutor), as árvores baseadas nos emissores não apresenta uma boa solução ao problema. Já as árvores baseadas em um núcleo (Figura 2), escolhido de forma criteriosa (que pode ser um ponto intermediário da rede, que tenha localização geográfica centralizada em relação aos sistemas finais), apresentam uma melhor solução, apesar do nó raiz apresentar-se como o principal ponto de falha para todo o sistema, o que pode ser contornado com a adoção de nós adicionais atuando como raiz.

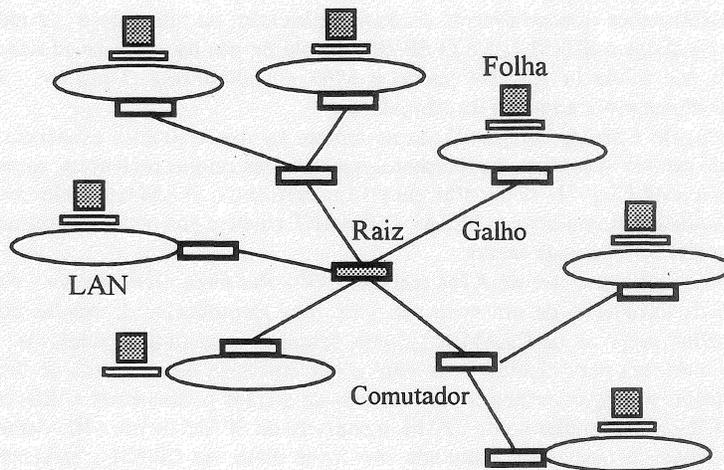


Figura 2. Árvore compartilhada centrada em um comutador (roteador) raiz.

Diferente da forma de criação de uma árvore baseada no emissor através da criação de galhos de caminho mais curto para cada emissor de um grupo, em uma árvore baseada no núcleo é construída uma única árvore enraizada em um ponto (comutador) central, fazendo com que o tráfego seja enviado e recebido sobre a mesma árvore de entrega, independentemente da fonte. Para se unir a um grupo, um emissor envia uma mensagem *unicast* em direção ao núcleo da ST. Os pontos intermediários (comutadores) marcam a interface na qual o pedido de união foi recebido como pertencente à árvore de entrega e passam adiante o pedido até que seja recebido pela raiz. Os emissores transmitem para o grupo de receptores enviando seu tráfego para a raiz. A raiz então passa adiante este tráfego através das suas interfaces de saída para os demais galhos da árvore compartilhada.

Dois pontos devem ser levados em consideração. Primeiro, apenas os nós da rede (comutadores) na árvore para um grupo deverão manter o estado concernente à este grupo. Caso contrário, o custo de configuração e manutenção de um

grande número de grupos dispersos se tornará excessivo. Segundo, deve ser possível o suporte às mudanças do quadro de membros do grupo iniciado pelo membro. Se todas as mudanças no quadro de membros tiverem que ser processadas centralmente, a carga de comunicação e de processamento adicional pode tornar-se excessivos.

Os únicos protocolos propostos voltados para o reconhecimento das necessidades de uma árvore compartilhada baseadas em um núcleo são o CBT (*Core Based Tree*) [7] e o PIM-SP (*Protocol Independent Multicast - Sparse Mode*) [8], e estes protocolos foram propostos inicialmente para operação na Internet. Um estudo comparativo destas duas abordagens é discutido em [9]. Porém, as implementações de STs sobre redes ATM são abordadas de forma diferente, fazendo com que algumas das limitações das STs implementadas sobre a Internet sejam vencidas.

4.1 Comunicações mp-mp sobre o ATM

A importância das STs e o crescente desenvolvimento do ATM em WANs torna imperativo o suporte eficiente de conexões mp-mp nas redes ATM. Árvores compartilhadas podem ser eficientemente implementadas utilizando um único VC (*Virtual Circuit*) lógico por grupo de membros de uma sessão de instrução, que conserva o VC e os recursos do computador além de simplificar os mecanismos de sinalização.

Porém, um problema foi identificado para prover um eficiente serviço mp-mp com um único VC, no estilo do IP. Um pacote da camada 3 é fragmentado pelo sistema de comutação ATM em células. Os identificadores de origem e destino da camada 3 não estão disponíveis em todas as células. Isto gera um problema quando as diferentes fontes enviam em um mesmo VC; as células (fragmentos) de diferentes quadros AAL5 (*ATM Adaption Layer 5*) são intercaladas arbitrariamente de diferentes fontes e um receptor não sabe identificar a fonte das células intercaladas. Desta forma, o receptor não consegue remontar as células do quadro AAL5 correspondente. Uma vez que a AAL5 provê apenas um único bit para marcar a última célula de um quadro, células fora de ordem resultam num mecanismo de falha de soma de verificação e descarte do quadro.

Existe vários modos de propagação de informações através das células de um VC de uma árvore compartilhada:

- Adicionar informações (essencialmente de demultiplexação, ou informações de identificação por fonte) para cada célula (AAL3/4 e SPAM [10]). O SPAM vincula ao uso da versão modificada da AAL5 contendo um identificador por célula (a AAL3/4 possui o MID - *Multiplexing Identifier* - mas ele acarreta em alto *overhead* devido ao processamento do cabeçalho)
- Acesso restringido à árvore compartilhada no tempo, tal que a simples existência de delimitadores entre as seqüências de células informam aos receptores que todas as células pertencem ao mesmo segmento do nível 3 (SEAM [11] e SMART [12]). O trabalho em [10] mostra que o SPAM tem melhores características de atraso e requisitos de armazenamento que o SEAM. O SMART envolve potencial latência adicional para os emissores, e é relativamente complexo de operar.
- A utilização de dois elementos do ATM (células RM¹ - *Resource Management* - e o bit AUU- *ATM User-to-User*), além da introdução de um novo elemento (um identificador de células por pacote, o SID - *Source Identifier*) como proposto no CRAM [13], para descartar a mistura de células no destino. Um novo tipo de célula RM é utilizada para identificar as células que emergem de um ponto de fusão (comutador) de fluxos, como uma locomotiva que encabeça um comboio de células pertencentes a diferentes emissores. Apesar do objetivo do CRAM ser similar ao do SPAM, o conceito do SPAM de um MID dentro de cada célula pode não ser atrativo devido à nova AAL requerida. Ao invés disso, no CRAM a informação de demultiplexação é transportada externamente em uma célula RM. Além disso, o CRAM é implementável em projetos de *hardware* de ATM existentes, com um mínimo de mudanças.

Dentre os modos de propagação apresentados, e levando em consideração o quadro comparativo feito em [14], o esquema proposto pela abordagem do CRAM é o que atrai para si a melhor quantidade de atributos referentes à comunicação mp-mp sobre o ATM, com resultados que mostram maior eficiência na utilização dos recursos da rede e tempos de resposta, e com modificações mínimas efetuadas nos comutadores que fazem parte da árvore compartilhada.

¹ As células RM foram definidas no contexto do serviço ABR. Elas participam no mecanismo de sinalização utilizada para transportar a disponibilidade de largura de banda, estado de congestionamento, e impedir o congestionamento na rede para propósitos de gerenciamento de tráfego.

Sendo assim, o CRAM vem a atender às necessidades da comunicação mp-mp, exigidas pelo transporte das mídias audiovisuais, pois oferece a formação de uma árvore compartilhada através de um único VC ATM por onde flue o tráfego ABR gerado pelos emissores do grupo da instrução.

5. Tecnologia de Acesso à Redes ATM

Uma vez justificada a classe de serviços para o transporte das mídias audiovisuais e a forma de comunicação mp-mp, resta agora a definição de uma tecnologia de acesso através da qual os membros de uma instrução possam entrar na rede ATM. Convém lembrar que estes membros estão localizados em ambientes residenciais e SOHOs, e o acesso ao suporte de comunicação deve ser feito por um esquema que mantenha as características da tecnologia ATM fim a fim.

Como comentado no início deste trabalho, as formas que os sistemas finais (*hosts* dos membros) dispõem atualmente para o acesso às redes ATM estão divididas em duas categorias: as formas de acesso baseadas em meios de difusão com largura de banda compartilhada, e o acesso ponto a ponto com largura de banda fixa. O acesso ponto a ponto sugere uma forma mais natural para os propósitos citados na Seção 2 por apresentar uma largura de banda que não varia dinamicamente com o número de usuários assinantes do serviço de acesso. Isto implica no conhecimento a priori da disponibilidade da largura de banda com que as mídias audiovisuais podem contar e, conseqüentemente, na qualidade da informação a ser transmitida.

As formas de acesso ponto a ponto são disponibilizadas principalmente através das várias versões da tecnologia xDSL (*Digital Subscriber Line*). O xDSL é uma tecnologia que utiliza os pares metálicos trançados atualmente empregados pelo sistema de telefonia, para a transmissão de dados a altas taxas. A Tabela 2 exibe cinco versões do xDSL, destacando duas das principais características de cada uma delas; a(s) largura(s) de banda disponíveis e máxima distância entre o usuário final e o centro de operações.

	Descrição	Dist. Máx.*
HDSL	(High bit rate DSL) Provê velocidades simétricas entre 512 Kbps e 1.544 Mbps - ou eventualmente a 2.048 Mbps.	~3,6 km
ADSL	(Asymmetric Digital Subscriber Line) Provê taxas assimétricas de 1.5 Mbps a 9 Mbps (<i>downstream</i>), e 16 Kbps a 640 Kbps (<i>upstream</i>). As velocidades decrescem quanto mais distante da central de operação. Dentro do próprio ADSL existem duas variantes, resultantes de vários anos de debates sobre dois esquemas de modulação.	~5,5 km
S-HDSL	(Single-line HDSL) Provê taxas de até 1.554 Mbps (2,048 Mbps), com opções para 384 kbps e 768 kbps	~5,0 km
IDSL	(ISDN-based DSL) Provê taxas de transmissão de 128 kbps	~5,5 km
VDSL	(Very high bit rate DSL) Provê 13 Mbps a 52 Mbps (<i>downstream</i>) e 1,5 Mbps a 2,3 Mbps (<i>upstream</i>). As velocidades decrescem quanto mais distante da central de operação.	~1,4 km
* A distância máxima indicada implica nas menores taxas alcançadas.		

Tabela 2. Tecnologias xDSL - larguras de banda e distâncias envolvidas.

A Tabela 2 apresenta como informação principal, a disponibilidade de larguras de banda que cada versão do xDSL pode apresentar. Com exceção do IDSL, todas as outras versões apresentam valores nominais de largura de banda suficientes para a transmissão das mídias audiovisuais dos membros de uma instrução, com qualidade aceitável para os propósitos da instrução. Porém estes valores são dependentes da distância entre a premissa de cada membro, até o centro de operações do provedor de acesso. Além disso, ainda não existem soluções razoáveis para garantir uma conexão ATM fim a fim que forneça as garantias de QoS requisitadas pela aplicação que irá suportar a instrução. As próximas sub-seções irão expor de forma mais detalhada o problema, realçando os pontos onde se pode atuar para obter as soluções.

5.1 Conectividade ATM Fim a Fim

A arquitetura do ATM sobre o ADSL preserva as características de alta velocidade e garantias de QoS em ambientes ADSL sem mudança de protocolos. Com o ATM sobre o ADSL, assinantes residenciais e SOHO podem ter acesso a ambientes de redes faixa larga [15].

Além disso, a utilização do ATM como mecanismo de transmissão da camada 2 e protocolo sobre a rede de acesso ADSL oferece algumas vantagens distintas:

- Transparência de protocolo: a rede torna-se independente do protocolo da camada 3 utilizado (como o IP). Em alguns países, a transparência de protocolos é também requerida por restrições de regulamentação.
- Suporte de múltiplas classes de QoS e capacidade para garantir níveis de QoS.
- Espansibilidade de largura de banda: a espansibilidade do ATM combina a taxa de adaptatividade do ADSL, consequentemente permitindo utilização ótima de cada par trançado, e garantindo desempenho fim a fim mais efetivo.
- Evolução para diferentes tecnologias xDSL: utilizando o ATM com o ADSL é uma oportunidade para abrir caminho para tecnologias de acesso similares, tais como o VDSL.

Hoje, o modo mais comum do estabelecimento de uma conexão fim a fim está no plano de gerenciamento: uma ação administrativa provê um conjunto de PVCs (*Permanent Virtual Circuit*) através da rede para um usuário final em tempo de subscrição. A rede ATM delega ao seu operador a capacidade de diferenciar os serviços de rede baseados em classes de QoS, especificados pelo usuário ou mapeados para perfis de usuários ou aplicações. A criação destes PVCs é feita através dos elementos de rede envolvidos.

Entretanto, o desenvolvimento em larga escala da carga operacional da criação manual de PVCs entre cada assinante e provedor de serviço se torna de difícil manejo. Consequentemente, o estabelecimento de conexões na camada ATM deverá ser feito no plano de controle (isto é, através de SVCs - *Switched Virtual Circuits*), com a sinalização iniciada na premissa do assinante. Portanto, para se beneficiarem plenamente das características do ATM, os pontos finais da rede ADSL terão que suportar a sinalização UNI 3.1 (*User-Network Interface*) [16], sendo o suporte da sinalização UNI 4.0 [17] opcional. Para descartar a sobrecarga do enlace ADSL, todos os pontos finais ATM terão que suportar modelagem de tráfego (incluindo o ABR, honrando a PCR e a MCR), acordada durante o estabelecimento da conexão.

Do lado da provedora de serviços, os enlaces dos usuários finais encontram um concentrador de conexões (DSLAM - *DSL Acces Multiplexer*) cuja função é a de multiplexar/demultiplexar as conexões enviadas/recebidas através de um enlace de alta velocidade até/de uma das portas de um comutador ATM da periferia da rede de faixa larga. Porém o DSLAM não possui nenhuma funcionalidade de sinalização [18]. Neste ponto existe um impasse; de um lado o usuário final necessita estabelecer uma conexão com a rede de faixa larga informando suas intenções de QoS, e do outro lado o ponto de entrada na rede de faixa larga não dispõe de uma entidade responsável pela negociação do pedido de estabelecimento da conexão. Assim sendo, as negociações só poderão ser realizadas por um elemento externo (ou integrado) ao DSLAM.

5.2 Modelo de Sinalização do DSLAM

Para o suporte da UNI virtual no comutador ATM de acesso, é necessário o suporte de muitos canais de sinalização (um por assinante) na interface para o DSLAM. Se o DSLAM pode determinar a sinalização UNI diretamente, isto pode reduzir os requisitos de sinalização no comutador ATM de acesso pois apenas um canal de sinalização é necessário para suportar todos os assinantes conectados ao DSLAM. Que a determinação da sinalização seja no DSLAM, ou no comutador de acesso, isto não afeta a interoperabilidade do serviço fim a fim baseada no modelo PPP (*Point to Point Protocol*) sobre o ATM, pois o ponto preciso onde é feita a determinação do protocolo de sinalização UNI dentro da rede é transparente aos pontos finais ATM.

É óbvio que no modelo acima de UNI virtual o foco está na conectividade. Entretanto, isto implica na escolha entre a concentração de usuários na interface da WAN e o grau para o qual as garantias de QoS para os usuários individuais possa ser alcançado.

Uma diferenciação de QoS com a granularidade de VCs combinada com a alta concentração de usuários na interface da WAN apresenta a principal vantagem para o operador da rede pública. Portanto, a rede de acesso ADSL

deverá seguir por um caminho de evolução na qual o DSLAM participa ativamente no processo de negociação QoS/tráfego. Adicionalmente, o suporte de UNI virtual no comutador ATM de acesso implica no suporte de muitos canais de sinalização na interface para o DSLAM (um por assinante).

Na arquitetura de sinalização do DSLAM, as instâncias da UNI dos usuários ligados ao DSLAM são terminadas no DSLAM. O gerenciamento de conexão do DSLAM será conduzido preferivelmente por uma função de Controle da Chamada interna ao DSLAM, do que externamente. O DSLAM checará localmente os recursos e passará adiante os pedidos para a rede ATM utilizando ainda uma outra instância da UNI no lado da rede. Esta configuração é destacada na Figura 3.

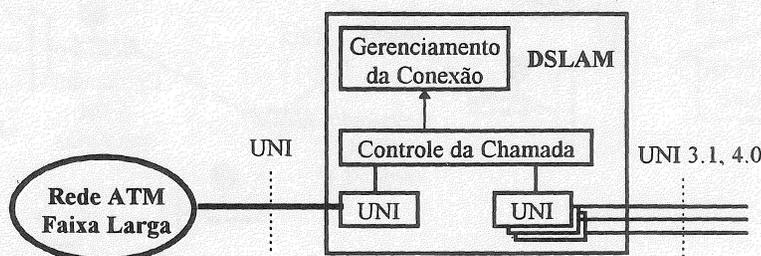


Figura 3. Suporte SVC pela sinalização terminada no DSLAM.

Uma vez que os sistemas finais possam estabelecer SVCs ATM fim a fim com seus requisitos de QoS atendidos através de redes de acesso ADSL, as aplicações poderão utilizar estes SVCs para seus propósitos. É importante lembrar neste ponto que estes SVCs deverão terminar nos computadores que fazem parte de uma árvore compartilhada, como ramos da árvore, sendo os sistemas finais as folhas da árvore.

6. A Arquitetura do Sistema

Com os três requisitos básicos da Seção 2 atendidos nas Seções 3, 4 e 5, esta seção descreve uma arquitetura para um sistema de teleconferência multiponto para aplicações de ensino à distância, voltado para ambientes residenciais e SOHO, destacando uma possível solução para o problema da garantia de QoS das conexões ATM fim a fim.

Apesar dos esforços se concentrarem sobre a forma mais eficiente da realização do transporte em redes de faixa larga e do desenvolvimento da tecnologia de acesso à essas redes, uma grande lacuna ainda falta ser preenchida no ponto de interseção. Esta lacuna diz respeito às formas de garantir que os requisitos impostos pelas aplicações multimídia mp-mp dos sistemas finais ultrapassem este ponto de interseção e alcancem a rede de faixa larga, sendo minimamente penalizadas com as características das variações dinâmicas que estas redes apresentam.

O objetivo da arquitetura proposta é o de permitir o transporte de forma bidirecional dos fluxos multimídia audiovisuais da instrução entre o ponto remoto equipado com os recursos necessários para o desenvolvimento e execução da instrução (onde se localiza o instrutor), e o sistema final dos usuários (participantes) que estão localizados geograficamente dispersos do ponto de origem da instrução (Figura 4).

O modelo pode assim ser descrito: supondo-se que em cada sistema final (ambiente residencial e/ou SOHO) existe um *desktop* multimídia com os dispositivos para captura e reprodução das mídias audiovisuais, além de um modem ADSL e uma linha telefônica, estes sistemas finais estão conectados a uma central de operação (NSP - *Network Service Provider*, como por exemplo a companhia telefônica) mais próxima, respeitando a distância máxima exigida pela tecnologia ADSL entre os sistemas finais e a central de operações. A distância é um dos fatores determinantes da disponibilidade máxima de largura de banda disponível. Na central de operações se localizam o elemento concentrador (o DSLAM) dos enlaces ADSL dos sistemas finais servidos por esta central de operações e um comutador ATM que fica na periferia da rede de faixa larga, e que se interliga aos outros comutadores ATM da periferia localizados nas outras centrais de operação. A rede de faixa larga é composta pelos comutadores ATM interligados por uma topologia que melhor atenda às necessidades de ampla cobertura da MAN (ou WAN). Em alguma central de operação o sistema final responsável pela geração da instrução também se conecta via enlace ADSL à rede de faixa larga (como mostrado na Figura 4), ou diretamente através de um enlace ATM direto de mais alta velocidade, diretamente ao comutador ATM da periferia.

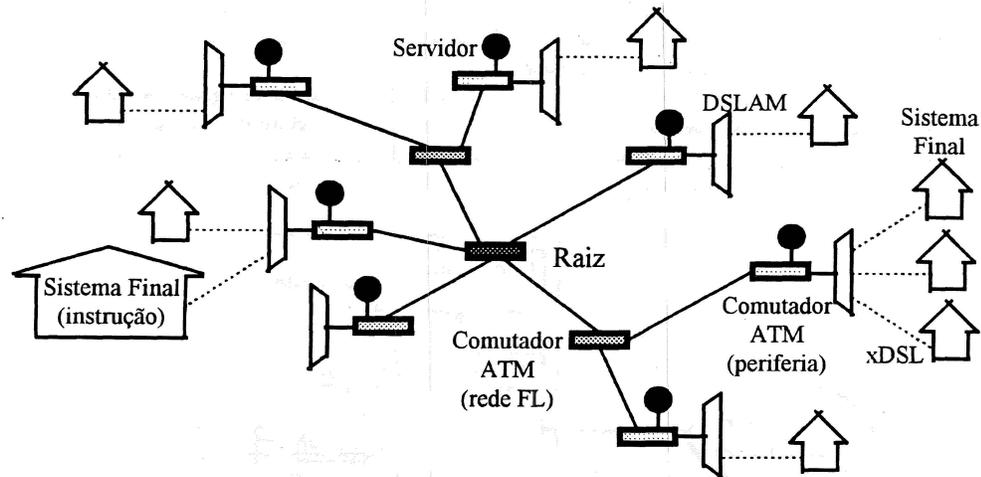


Figura 4. Visão geral do modelo do sistema proposto.

Os comutadores ATM da rede de faixa larga podem formar árvores compartilhadas, sendo o comutador ATM raiz de cada árvore determinado através da utilização das técnicas sugeridas em [7]. A formação de uma árvore é feita a partir dos sistemas finais que irão pertencer ao grupo da sessão de instrução, sendo as folhas da árvore (sistemas finais) os elementos responsáveis pela criação dos galhos (conjunto de enlaces ATM que vão desde a folha até a raiz, ou até outro galho já formado da árvore).

Porém o processo de união dos sistemas finais à árvore só acontecerá realmente se o estabelecimento dos “VCs galho” puderem ser realizados. Neste ponto, todas as atenções devem se voltar para o trio sistema final - elemento concentrador - comutador ATM da periferia da rede de faixa larga. De um lado estão os requisitos de QoS exigidos pela aplicação no sistema final, requisitos estes que devem ser mapeados nos parâmetros necessários para a negociação do estabelecimento da conexão, e do outro estão o elemento concentrador e o comutador ATM da periferia que devem interagir com o sistema final para que a conexão seja estabelecida com sucesso, atendendo aos requisitos de QoS solicitados.

No cerne da QoS está o contrato de serviço. Ele é um acordo feito entre o sistema final (a fonte do tráfego) e a rede definindo a QoS para o tráfego gerado pela fonte e suportado pela rede. Para SVCs, as fontes de tráfego fazem suas requisições de serviço através da sua UNI para a rede. A rede determina se o SVC requisitado pode ser aceito através da sinalização entre os demais comutadores ATM intermediários até o destino. O CAC (*Connection Admission Control*) [20] é o mecanismo utilizado para decidir se aceita ou rejeita uma conexão. As conexões são aceitas somente quando os recursos suficientes e todos os enlaces necessários para construir o circuito até o destino final estão disponíveis, sem afetar a QoS das conexões existentes. Os fatores examinados quando da determinação de admitir ou negar uma conexão incluem a QoS da conexão requisitada, a quantidade atual de largura de banda alocada e os contratos de tráfego atualmente suportados.

No caso do modelo proposto, dispõe-se de uma determinada largura de banda que é oferecida com valores fixos aos sistemas finais pelos enlaces ADSL, porém com valores nominais que podem vir a ser diferentes, dependendo da distância envolvida. As aplicações demandam por uma certa quantidade de largura de banda que depende da quantidade de fluxos audiovisuais e de suas qualidades associadas. Uma quantidade de largura de banda adicional é exigida para os fluxos de controle das aplicações. Durante a etapa de estabelecimento das conexões, os sistemas finais devem fazer o levantamento da demanda por largura de banda, enquanto os comutadores ATM da periferia devem fazer um levantamento similar com relação à largura de banda dos fluxos que trafegam pela árvore compartilhada a qual o usuário final deseja fazer parte.

Baseado nos diferentes pontos de vista e contrastes nas funcionalidades que os sistemas finais e a rede têm, [21] propõe uma nova arquitetura em duas camadas, especialmente conveniente para as redes de acesso ADSL. Esta nova arquitetura é baseada no paradigma cliente/servidor. A entidade cliente presente nos sistemas finais se comunica com o servidor via um protocolo *unicast* simples, atravessando o enlace provido pelo ADSL. Os servidores estão localizados nos pontos de concentração da infra-estrutura ADSL. A comunicação entre os servidores é feita via os enlaces ATM da WAN.

Nestes servidores estão localizadas todas as funcionalidades que os sistemas finais necessitam para que suas aplicações tirem todo o proveito de que seus requisitos demandam. A arquitetura proposta por [21], com a tecnologia de acesso ADSL é esboçada mais detalhadamente na Figura 5, e será adotada neste trabalho.

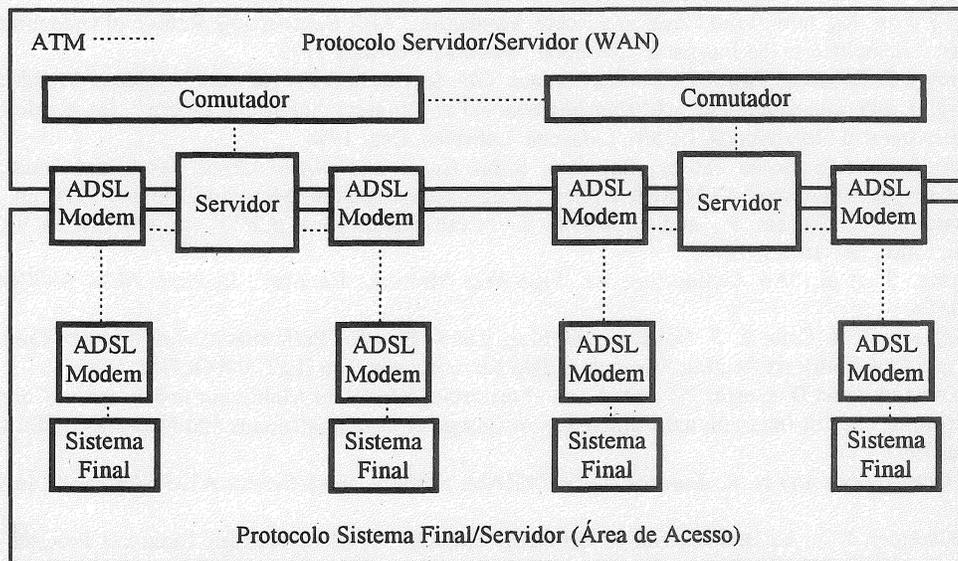


Figura 5. Arquitetura em duas camadas utilizando o ADSL como tecnologia de acesso.

Através do levantamento dos requisitos da aplicação multimídia pode-se obter a informação necessária para a utilização das funções de modelagem do tráfego. Através das informações do tráfego colhidas no servidor, que as detém pois o servidor está no ponto de entradas da rede de faixa larga, pode-se influenciar no controle da congestão, na alocação dinâmica da largura de banda, e na renegociação, através da aplicação de alguma das várias funções de gerenciamento de tráfego requeridas para o suporte da transmissão multimídia sobre o ATM, como sugerido por [22].

7. Conclusões e Perspectivas

Neste trabalho, foi descrito a arquitetura de um sistema para aplicações de ensino à distância, sobre rede de faixa larga (ATM), e com conectividade fim a fim via rede de acesso xDSL. As aplicações envolvem o tráfego multimídia audiovisual dos fluxos necessários para o andamento da instrução, sob a abordagem da metodologia de instrução de grupo. Para que os fluxos entreguem nos sistemas finais áudio e vídeo com os níveis de qualidade exigidos pelas aplicações, um esquema baseado no paradigma cliente-servidor oferece as funcionalidades necessárias para este fim. Outras ações devem ser realizadas:

- Levantamento das informações necessárias no sistema final e na rede. No sistema final através dos requisitos da aplicação e eventual mapeamento nos parâmetros de conexão. Na rede será feito a partir dos elementos de informação necessários para o estabelecimento de uma conexão segundo a sinalização da UNI 3.1 (UNI 4.0).
- Definição das funções de gerenciamento do tráfego. O trabalho apresentado em [23] provê uma visão geral das várias funções de gerenciamento de tráfego requeridas para o suporte da transmissão multimídia sobre o ATM. O relacionamento entre as várias funções tais como a modelagem do tráfego, o controle da congestão, a alocação dinâmica da largura de banda, e a renegociação são discutidos.
- Em [21] são propostos novos e eficientes protocolos multiponto a multiponto baseados no serviço ABR do ATM que podem interoperar com os protocolos padrões existentes para os serviços ABR e provêm uma solução transparente e expansível para o controle da congestão no ATM. O artigo também apresenta resultado de simulações para ilustrar que estes novos protocolos provêm utilização plena do enlace e alocação da largura de banda para fontes heterogêneas com diferentes taxas de dados.

Referências

- [1]. Keegan, D., "Foundations of distance education", 2a. ed. Londres: Routledge, 1991.
- [2]. Nérici, I. G., "Metodologia do Ensino - Uma Introdução". Editora Atlas S.A., 2ª. Edição, 1987.
- [3]. Sonia Fahmy, Raj Jain, Rohit Goyal and Bobby Vandalore, "ABR Engineering: Roles and Guidelines for Setting ABR Parameters," Submitted to the Journal of Computer Networks, February 1999.
- [4]. Lawrence G. Roberts, "Can ABR Service Replace VBR Service in ATM Network", Interop, March 1995.
- [5]. Zheng, B. and Atiquzzman, M., "Multimedia over ATM: Progress, Status and Future.", Int. Conference on Computer Communication and Networks (IC3N'98), Lafayette, Louisiana, Oct., 1998.
- [6]. Bobby Vandalore, Sonia Fahmy, Raj Jain, Rohit Goyal and Mukul Goyal, "QoS and Multipoint support for Multimedia Applications over ATM ABR service," IEEE Communications Magazine, January 1999, pp. 53-57.
- [7]. Ballardine, T., Francis, P., and Crowcroft, J., "Core Based Trees (CBT)", In Proc ACM SIGCOMM'93, San Francisco, Calif., September, 1993.
- [8]. Deering, S. et al, "An Architecture for Wide-Area Multicast Routing", In Proc. ACM SIGCOMM'94, London, August, 1994.
- [9]. T. Billhartz, J. B. Cain, E. F. Goudreau, D. Fieg, and S. Batsell. "Performance and Resource Cost Comparisons for the CBT and PIM Multicast Routing Protocols in DIS Environments". In IEEE INFOCOM, 1996.
- [10]. S. Komandur and D. Mossé. "SPAM: A Data Forwarding Model for Multipoint-to-Multipoint Connection Support in ATM Networks". In 6th International Conference on Computer Communications and Networks. IEEE Computer Society, September 1997.
- [11]. M. Grossglauser and K. K. Ramakrishnan. "SEAM: Scalable and Efficient ATM Multicast". In IEEE INFOCOM, 1997.
- [12]. E. Gauthier, J. Y. Le Boudec, and P. Oechslin. "SMART: A Many-to-Many Multicast Protocol for ATM". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 15(3):458--472, April 1997.
- [13]. S. Komandur, J. Crowcroft and D. Mossé. "CRAM: Cell Re-labeling at Merge-points for ATM Multicast", IEEE International Conference on ATM (ICATM), June, 1998.
- [14]. S. Komandur, J. Crowcroft and D. Mossé. "Performance Comparison of CRAM, SEAM and SPAM Multipoint VC Schemes for ATM Networks", 1998.
- [15]. ATM Forum, Technical Committee. "Residential Broadband Architectural Framework" AF-RBB-0099.000, July, 1998.
- [16]. ATM Forum, "ATM User Network Interface (UNI) Specification Version 3.1", ISBN 0-13-393828-X, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, June 1995.
- [17]. ATM Forum Specification. "ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification Version 4.0". /af-sig-0061.000, July, 1996.
- [18]. Promatory Communications Technical Reference. "Providing Business Quality Services over DSL", 1999.
- [19]. T. Tediointo, J. Drake, et al., "Support for Leaf Initiated Join (LIJ) in PNNI.", In ATM Forum Contribution, Chicago, IL, April, 1997.
- [20]. Soares, L. F. G., Lemos, G. e Colcher, S., "Redes de Computadores - Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM", Editora Campus, Brasil, 1995.
- [21]. Stefan Dresler. "ATM Multipoint Communication Using a Two-Layer Architecture", Proc. Of 23rd Annual Conference on LAN, Boston, October 11-14, 1998.
- [22]. Bing Zheng and Mohammed Atiquzzaman. "Traffic Management of Multimedia over ATM", IEEE Computer Interactive, Jan., 1999.
- [23]. Ren. W., Siu, K-Y., Suzuki, H. and Shinohara, M., "Multipoint-to-Multipoint ABR Service in ATM".