

# Um *Framework* para a Provisão de Serviço de Multicast em Ambientes Genéricos de Comunicação de Dados\*

MARCUS ANTONIO A. RODRIGUES  
marcus@inf.puc-rio.br

SÉRGIO COLCHER  
colcher@inf.puc-rio.br

LUIZ FERNANDO G. SOARES  
lfgs@inf.puc-rio.br

Laboratório TeleMídia  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Departamento de Informática - PUC-Rio  
R. Marquês de São Vicente, 225  
Rio de Janeiro - RJ  
22453-900, Brasil  
<http://www.telemidia.puc-rio.br>

## Resumo:

Reconhecendo que a maioria das soluções que têm sido apresentadas como candidatas à implementação do serviço de multicast tem sido projetadas tendo em mente determinadas condições específicas de infra-estrutura para distribuição de mensagens, ou características do serviço às quais são destinadas, ou ainda, a forma de gerenciamento dos grupos de usuários, esse trabalho apresenta a proposta de um framework para a definição de um serviço de multicast cuja principal característica é a sua generalidade. A utilização do framework é ilustrada em dois cenários: para a definição de um serviço de gerenciamento de grupo centralizado, e para a implementação de um agente mediador para comunicação de grupo centralizado.

**Palavras-Chave:** Framework, Serviço Multicast, gerenciamento de grupo, roteamento multicast, multimídia, qualidade de serviço, orientação a objetos, especificação de protocolo.

## Abstract:

Most of the solutions presented as candidates to the implementation of a multicast service have been designed based on specific infrastructure conditions or tailored to specific application requirements. This work presents a framework for the design of a multicast service whose main goal is to be generic. The framework usage is illustrated in two scenarios one for the definition of a centralized group management service, and the other for the implementation of an centralized multicast service agent.

**Keywords:** Framework, Multicast Service, group management, multicast routing, multimedia, quality of service, object orientation, protocol specification.

## 1. Introdução

O aumento gradual na disponibilidade das redes de alta velocidade vem possibilitando, cada vez mais, o desenvolvimento de aplicações multimídia como videoconferência, transferência de documentos, ensino a distância, e distribuição de vídeo e áudio. Essas aplicações, além de exigirem a manipulação de objetos de dados não convencionais, têm como requisito comum a necessidade de transmissão de dados para múltiplos usuários [25].

Um *serviço de multicast* pode ser definido como um conjunto de procedimentos e interfaces que permitem enviar mensagens para um grupo de participantes em um ambiente de processamento e comunicação. A definição de um serviço multicast pode ser realizada de forma independente da implementação da infra-estrutura de distribuição de mensagens e das aplicações específicas às quais o serviço é destinado. Um serviço de multicast provê uma

---

\* Trabalho parcialmente financiado pela Empresa Brasileira de Telecomunicações (EMBRATEL).

forma primitiva de comunicação de grupo que pode ser utilizado como base para o oferecimento de serviços mais complexos, destinados a diversas áreas específicas como trabalho cooperativo, por exemplo.

A arquitetura genérica de um serviço de multicast pode ser dividida em duas partes: o *gerenciamento de grupo* e a *construção de uma infra-estrutura de distribuição*. Um grupo é definido como um subconjunto de usuários para o qual é possível a transmissão de mensagens, estando associado a um endereço de multicast [6]. O gerenciamento de grupo diz respeito a todas as ações relacionadas a composição do grupo, como manipulação de informações sobre os seus participantes e o controle sobre a entrada e saída de participantes ao grupo. A construção da infra-estrutura de distribuição está relacionada à forma de coordenação de recursos de processamento e comunicação para que a distribuição das mensagens possa ser efetuada. Em geral, a construção dessa infra-estrutura é efetuada de forma a tentar minimizar as replicações de mensagens desnecessárias e aumentar o desempenho dos recursos. Protocolos de roteamento são, em geral, responsáveis por grande parte desse trabalho no que concerne o sistema de comunicação propriamente dito. Além disso, a criação dessa infra-estrutura está intimamente ligada aos mecanismos de provisão da qualidade de serviço (Quality of Service — QoS) solicitada pelos usuários.

A maioria das soluções que têm sido apresentadas como candidatas à implementação do serviço de multicast foram projetadas tendo em mente determinadas condições específicas de infra-estrutura para distribuição de mensagens, ou características do serviço às quais são destinadas, ou ainda, a forma de gerenciamento dos grupos de usuários. Com relação à infra-estrutura de distribuição, serviços tem sido implementados, em geral, de forma totalmente dependente de fatores como a “topologia virtual” do sistema comunicação. Em relação às características do serviço às quais são destinadas, muitas propostas são dependentes de características ou propósitos específicos tais como os de confiabilidade, ou garantias de retardo máximo e jitter. Em relação a gerenciamento dos grupos de usuários, a forma de distribuição e armazenamento das informações relativas aos grupos determina, muitas vezes, toda a arquitetura e implementação do serviço.

Técnicas de orientação a objetos (OO) tem sido recentemente aplicadas com sucesso ao projeto e à implementação de software de comunicação e no desenvolvimento de sistemas distribuídos. Diferentes abordagens tem sido utilizadas durante os últimos anos, correspondendo a diferentes visões ou enfatizando diferentes aspectos de utilização da tecnologia OO. Todas essas visões são baseadas na idéia genérica de que técnicas de implementação e projeto orientado a objetos podem ser utilizadas para aumentar a modularidade e extensibilidade através da definição de interfaces estáveis, que encapsulam os detalhes da implementação [23].

Aliados a tecnologia de OO, *designs patterns* representam soluções documentadas para problemas de desenvolvimento dentro de um contexto particular [10]. Design patterns capturam experiências consagradas de desenvolvimento e ajudam a promover uma boa prática de projeto. *Frameworks* [10] são aplicações reusáveis “semi-completas” que podem ser especializadas para produzir aplicações particulares. Designs patterns e frameworks tem sido aplicados em conjunto para melhorar a qualidade de software de comunicação, como apresentado no framework ACE [24].

Este trabalho visa apresentar a especificação de um framework para a implementação de serviços de multicast cuja principal característica é a generalidade e independência em relação aos possíveis sistemas de comunicação, aplicações e formas de armazenamento e gerenciamento de grupos. Partindo-se desse framework, é possível implementar serviços de

multicast específicos de uma forma organizada e rápida através do reuso de toda a estrutura genérica apresentada, aliada a configuração de determinados componentes do serviço. Esses pontos de configuração do framework são denominados *pontos de flexibilização* ou *hot spots* [20], conforme apresentado na Seção 4. É importante salientar que o framework especificado não propõe inovações no roteamento, ou gerenciamento de grupo e endereços multicast, limitando-se à descrição dos design patterns para especificação de componentes utilizados para a provisão de um serviço de multicast genérico.

Os pontos de flexibilização do framework para o gerenciamento de grupo dizem respeito a escala de distribuição das informações do grupo, além da estrutura do esquema de endereçamento utilizado pelo sistema de comunicação específico, como descrito na Seção 4.1. No serviço de roteamento, descrito na Seção 4.2, utiliza-se uma única estrutura para a construção do protocolo de roteamento, a partir da qual aplicações ou serviços específicos podem configurar a estratégia de construção da infra-estrutura de distribuição multicast.

O artigo segue a seguinte organização. Na próxima seção serão apresentados alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3, a arquitetura e a interface de um serviço genérico de multicast serão propostos. Na Seção 4 serão descritos o framework proposto e um exemplo de aplicação para o desenvolvimento de um agente mediador de um serviço de multicast em um ambiente específico. Finalmente, na Seção 5, serão apresentadas algumas considerações finais sobre o trabalho.

## 2. Trabalhos Relacionados

Serviços de multicast são oferecidos em diferentes sistemas e diferentes níveis de arquitetura. Usuários desses serviços também variam de acordo com a característica do ambiente em que o serviço é oferecido. Em um sistema operacional, por exemplo, um grupo pode ser definido como um conjunto de processos, que se comunicam através da troca de mensagens [27]. No sistema ANSA (Advanced Network Systems Architecture), *grupos de objetos* são introduzidos como uma abstração para comunicação de grupo [16]. Grupos possuem uma interface de gerenciamento que oferece funções para a adesão e abandono de grupo, adição e remoção de categorias de policiamento, etc. Em sistemas de comunicação, multicast é oferecido por protocolos de uma camada a entidades das camadas imediatamente superiores.

Em redes locais, a comunicação de grupo depende, em geral, da capacidade da rede subjacente para a difusão de mensagens. Os protocolos padronizados pelo IEEE 802.x e FDDI suportam transmissão multicast [25].

O trabalho de Deering [6], *IP Multicast*, foi um dos primeiros a considerar o suporte a multicast num ambiente composto por diversas redes. Essencialmente, Deering projetou um método para roteadores determinarem, dinamicamente, como datagramas IP devem ser transmitidos para *grupos de multicast*. Quando um roteador recebe um pacote endereçado a um grupo, envia-o por todas as interfaces que levam a membros do grupo. Se um grupo multicast estende-se por múltiplas redes, informações de membros de grupo são trocadas entre os roteadores pelo Protocolo de Gerenciamento de Grupo Inter-rede (IGMP – Internet Group Management Protocol) [9].

Uma vez comunicadas as informações dos grupos através do IGMP, o IP Multicast provê uma distribuição ponto-a-multiponto eficiente, além de fornecer mecanismos para agrupar logicamente um conjunto de estações e roteadores. Entretanto, os mecanismos propostos pelo IGMP são baseados na difusão das informações de grupo para os roteadores [15], haja visto que o mecanismo de gerência de grupo do IGMP adota uma abordagem

distribuída, cabendo a cada roteador manter as informações dos participantes dos grupos que estejam presentes em alguma das subredes por ele delimitadas.

Várias estratégias têm sido propostas para suporte ao roteamento multicast [15]. Dentre elas podemos citar as *Árvores Baseadas na Origem* (SBT – Source Based Tree), e as *Árvores Baseadas em um Núcleo* (CBT – Core Based Tree). Outros tipos de esquemas de roteamento multicast têm sido estudados, como *Árvores Steiner* [12]. Cada uma desses esquemas tem características específicas, que levam em consideração o ambiente de comunicação utilizado. A partir dessas estratégias, vários protocolos tem sido propostos como solução para o problema de roteamento multicast.

O DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) [21] é um protocolo para construção de uma árvore baseada na origem. O funcionamento desse protocolo é intimamente ligado ao algoritmo RPM (Reverse Path Multicasting) [15]. De acordo com esse algoritmo, o primeiro pacote de uma transmissão multicast é difundido através de uma árvore de difusão de menor caminho<sup>1</sup>. A partir deste ponto, mensagens de desligamento são geradas de forma a isolar as sub-redes que não possuem membros do grupo. Para isso, o DVMRP necessita das informações de gerenciamento de grupo providas pelo IGMP. O protocolo DVMRP é um protocolo de roteamento distribuído, isto é, as informações de roteamento (tabelas de rotas) estão distribuídas por todo o sistema de comunicação.

O MOSPF (Multicast Extensions to OSPF) [17] é um protocolo que mantém em todos os roteadores o estado completo dos enlaces da rede, possibilitando assim a criação da árvore de distribuição (SBT) utilizando alguma heurística de menor caminho. Como o DVMRP, o MOSPF também se utiliza de informações sobre participantes de grupos obtidas através do IGMP.

O CBT (Core Based Tree) [2], ao contrário dos protocolos anteriores, cria apenas uma única árvore para cada grupo, ou seja, não depende da localização da fonte emissora dos pacotes multicast. Um roteador, ou um conjunto de roteadores são escolhidos para formarem o centro de distribuição dos pacotes multicast. Todas as mensagens destinadas a um grupo multicast são direcionadas ao centro da árvore, que encarrega-se de replicar o pacote por toda a árvore de distribuição.

O PIM (Protocol Independent Multicast) [7] é único no sentido de que ele suporta tanto árvores baseadas na origem (SBT), como árvores compartilhadas (CBT). Este protocolos concentram-se em técnicas de roteamento intra-domínio (conjunto de redes sob controle administrativo de uma única organização).

O BGMP (Border Gateway Multicast Protocol) é um protocolo inter-domínio que constrói árvores compartilhadas bidirecionais inter-domínios, permitindo que qualquer protocolo de roteamento multicast seja usado em domínios individuais.

Em redes ATM, a implementação do serviço de multicast e broadcast não é trivial. Um transmissor precisa obter os endereços de todos os receptores para o estabelecimento de uma conexão ponto-a-multiponto. Para solucionar este problema, a IETF definiu, no documento RFC 2022 [1], um mecanismo de registro e resolução de endereços e distribuição de informações de membros de grupo que permite oferecer suporte a um serviço de multicast sobre redes ATM baseadas nas versões UNI 3.0/3.1. O mecanismo é baseado na existência de servidores de resolução de endereços de multicast (MARS – Multicast Address Resolution Server), que associam endereços de grupos de multicast a interfaces ATM representando

---

<sup>1</sup> Um roteador só retransmite um pacote se ele tiver chegado pela interface do menor caminho que leva a origem do pacote.

membros dos grupos. Entidades de resolução de endereços dos sistemas finais solicitam a um MARS um conjunto de endereços ATM (que formam um grupo), no momento em que um endereço de grupo de multicast precisa ser resolvido. Os sistemas finais, por sua vez, mantêm o MARS informado de sua entrada ou saída em um grupo.

Dois abordagens podem ser utilizadas para a construção da infra-estrutura de distribuição para redes ATM: *malhas de VCs ponto-a-multiponto* ou *servidores de multicast* (MCSs – Multicast Servers). Na abordagem da malha de VCs, cada origem estabelece um VC ponto-a-multiponto com o conjunto de destinos que são membros do grupo com o qual ela deseja se comunicar, criando assim uma malha de VCs. Na abordagem baseada em servidores de multicast, cada origem estabelece um VC ponto-a-ponto com um nó intermediário, denominado de MCS, responsável pelo estabelecimento e gerenciamento de uma única VC ponto-a-multiponto com os membros do grupo ao qual ele gerência.

A arquitetura do MARS permite que tanto malhas de VCs quanto MCSs sejam usados simultaneamente para grupos diferentes. Apesar da especificação do MARS ser independente do protocolo utilizado, ele apresenta as mesmas características e interfaces providas pelo IGMP, implementado, porém, de modo centralizado.

Os protocolos de transporte mais tradicionais como OSI-TP4 e TCP (Transmission Control Protocol) não suportam comunicação de dados multiponto. Novos protocolos como VMTP (Versatile Message Transaction Protocol) [4] e XTP (Xpress Transport Protocol) oferecem suporte ao serviço de multicast. O XTP [22] é um protocolo de transporte<sup>2</sup> que oferece suporte a um serviço de transmissão com confiabilidade limitada. Não há nenhum mecanismo para o estabelecimento e gerenciamento de grupos multicast.

RMTP (Reliable Multicast Transport Protocol) [18] é um protocolo de transporte multicast confiável baseado em uma estrutura hierárquica, na qual receptores são agrupados em *regiões locais* (também denominados *domínios*), nas quais um receptor especial (*receptor designado*) é responsável por enviar reconhecimentos periódicos ao transmissor, processar reconhecimentos de receptores daquele domínio, e retransmitir pacotes perdidos para os receptores apropriados. RMTP é um protocolo bastante geral, uma vez que ele pode ser construído sobre qualquer rede, seja ela orientada ou não à conexão. Apesar disso, o RMTP espera que a rede subjacente seja capaz de gerar e estabelecer uma árvore de multicast do transmissor para os receptores

### **3. Interface e Arquitetura Genérica para um Ambiente com Serviço de Multicast**

Nesta seção são apresentadas as características gerais de um ambiente que oferece um serviço de multicast. De uma forma genérica, um serviço de multicast está relacionado a algum serviço de comunicação de grupo, explícito ou implícito, entre entidades que podem ser objetos, processos, entidades de protocolos, etc. Assim, o referido ambiente pode abranger sistemas de processamento e comunicação representados por camadas de protocolos, sistemas operacionais, plataformas de componentes OO (como CORBA, COM ou Java Beans), entre outros. O serviço de multicast compõe a parte específica de um serviço de comunicação responsável pela construção de uma infra-estrutura de distribuição e o gerenciamento dos grupos. O serviço não trata da transmissão propriamente dita. O serviço geral de comunicação de grupo com qualidade de serviço pode ser composto por três serviços: um serviço multicast,

---

<sup>2</sup> Alguns autores classificam o XTP como um *protocolo de transferência*, uma vez que ele incorpora funcionalidades tanto da camada de rede como da camada de transporte do modelo de referência OSI.

descrito pelo framework proposto nesse artigo; um serviço para provisão de qualidade de serviço, modelado pelo framework descrito em [11]; e um serviço de transporte, que trata da transmissão (seja ela multicast ou unicast) utilizando serviços providos pelos dois outros frameworks.

Para que a interface de um serviço de multicast derivado do framework proposto seja genérica, o framework é definido de forma a apresentar as seguintes características: (i) a possibilidade de definição de um *endereçamento de grupo*; (ii) a possibilidade de que o serviço seja *orientado* ou *não orientado à conexão*; (iii) o oferecimento de uma “topologia virtual” *ponto-a-multiponto* para a comunicação de seus usuários; e (iv) a possibilidade do gerenciamento de grupo ser *centralizado* ou *distribuído*.

O suporte ao serviço multicast é baseado nos conceitos de *agrupamento* e *grupo*. Agrupamento é definido como um conjunto de participantes que desejam fazer uso do serviço de comunicação multicast. A comunicação de dados no interior de um agrupamento é sempre realizada entre um membro e outro, ou entre um membro e um grupo de usuários. Cada grupo de usuários de um agrupamento detém um endereço de grupo.<sup>3</sup>

A interface genérica para um serviço de multicast define um conjunto de primitivas nas quais um endereço de grupo é fornecido. Cada endereço de grupo ou *endereço multicast* pode identificar um conjunto de endereços, cada um correspondendo a um dos membros do grupo. O transmissor não necessita conhecer os membros do grupo nem seus endereços particulares. Além disso, o transmissor não é necessariamente membro do grupo. Um grupo deste tipo é denominado um *grupo aberto* em contraste ao *grupo fechado*, no qual apenas os próprios membros podem transmitir para o grupo [6].

O serviço de multicast previsto pelo framework é ponto-a-multiponto considerando que os outros dois arranjos, *ponto-a-ponto* e *difusão*,<sup>4</sup> podem ser tratados como casos particulares onde o destino é formado respectivamente por: apenas um participante (topologia virtual ponto-a-ponto), ou todos os participantes do sistema de comunicação (topologia virtual em barra ou por difusão).

A implementação de um serviço de multicast em um determinado nível depende do suporte dado pelo nível inferior, que pode oferecer ou não suporte ao endereçamento de grupo. Além disso, o serviço de comunicação do nível inferior pode ser ou não orientado à conexão e pode possuir capacidade de transmissão por difusão, ponto-a-ponto, ou ponto-a-multiponto. Assim, algumas adaptações serão necessárias para a provisão de um serviço específico dado um determinado sistema de comunicação do nível inferior. A modelagem do framework é genérica o suficiente de modo a permitir qualquer configuração.

Considerou-se, a partir da análise dos vários trabalhos apresentados na seção 2, que a arquitetura genérica de um serviço de multicast pode ser dividida em duas partes: o *gerenciamento de grupo* e a *construção de uma infra-estrutura de distribuição*, que serão detalhados nas próximas subseções.

### 3.1 Gerenciamento de Grupo

Nesse trabalho, o termo *gerenciamento de grupo* é utilizado para descrever todas as ações relacionadas a composição do grupo, como manipulação de informações sobre os seus

---

<sup>3</sup> Casos particulares desses grupos são aqueles compostos por um só participante e aquele formado por todos os participantes do agrupamento.

<sup>4</sup> Nesse trabalho, não foi considerada comunicação multiponto-a-multiponto.

participantes, e o controle de acesso ao grupo, isto é, controle sobre a entrada e saída de participantes ao grupo.

Os esquemas de gerenciamento de grupo podem ser classificados em dois tipos: o *gerenciamento de grupo distribuído*, no qual as informações e o controle dos grupos estão distribuídos pelo sistema de comunicação, como é o caso do IGMP [9]; e *gerenciamento de grupo centralizado*, no qual existe a figura de um *gerenciador de grupo centralizado*, que controla todas as atividades de gerenciamento do grupo, como acontece com o MARS [1].

Para que um sistema possa prover um serviço de multicast é necessário, primeiramente, a criação da infra-estrutura de gerenciamento, que implica na criação de agrupamento e na geração de um *identificador* para esse agrupamento. Adicionalmente, é criado o grupo *all-users*, que conterà todos os participantes do agrupamento em um determinado instante.

Após criada a infra-estrutura de gerenciamento, usuários podem registrar-se junto ao serviço de multicast para fazer uso de sua infra-estrutura. O registro é feito através da entrada no agrupamento, momento em que um usuário é automaticamente inserido no grupo *all-users* e em um grupo onde apenas ele será elemento. Os endereços desses grupos de apenas um participante definem os *identificadores de usuário*. Pertencendo ao agrupamento, usuários podem criar grupos, ou juntar-se a grupos existentes.

### 3.2 Construção da Infra-Estrutura de Transmissão Multicast

A função de roteamento em um sistema de comunicação é responsável por, dado um endereço de destino, escolher uma rota a ser utilizada para o encaminhamento do tráfego a ela destinado. O roteamento nem sempre é realizado de forma atômica, podendo estar espalhado ao longo do tempo pelas diversas fases da operação de um sistema de comunicação. Em sistemas com serviço orientado a conexão implementado através de circuito virtual, por exemplo, rotas são estabelecidas a priori, no momento do estabelecimento da conexão, de forma separada do encaminhamento das mensagens propriamente dito. Em outros tipos de serviço, rotas são estabelecidas dinamicamente conforme cada mensagem é enviada. Os algoritmos utilizados para escolha de rotas também são os mais variados, como já apresentado na seção 2, podendo levar em consideração diversas métricas para a escolha do caminho mais adequado como, por exemplo, a QoS [12].

Independente das variações de algoritmos e escalas de tempo nas quais eles operam, para que uma função de roteamento possa funcionar de forma adequada, é necessária a criação de uma infra-estrutura de transmissão, i.e., os elementos do sistema que cooperam para a escolha de rotas devem ser alimentados de informações de alcançabilidade e disponibilidade de recursos, que sirvam de base para a tomada das decisões de roteamento.

A parte do framework de multicast responsável pela criação da infra-estrutura de transmissão cuida do fornecimento e distribuição das informações de alcançabilidade dos componentes endereçáveis do sistema. O formato e a maneira com que essas informações devem ser distribuídas depende do tipo de infra-estrutura que o ambiente ou sistema de comunicação inferior fornece. Em ambientes cujo suporte à transmissão é ponto-a-ponto, por exemplo, serviço de multicast pode ser implementado através do envio de várias cópias da mensagem para os vários destinos, sem o conhecimento do usuário (*"Multicast by unicast"*). Outra abordagem, utilizada quando a infra-estrutura provê suporte à transmissão por difusão, é o envio de uma única cópia de cada mensagem endereçada ao grupo para todos os usuários, cabendo a cada receptor aceitar apenas as mensagens direcionadas ao grupo que ele pertence (*"Multicast by broadcast"*). Finalmente, quando a infra-estrutura oferece suporte direto à comunicação ponto-a-multiponto, o serviço multicast pode se utilizar dessa capacidade, e a

própria infra-estrutura encarrega-se de fazer as devidas replicações, evitando que cópias de uma mesma mensagem percorram um mesmo caminho mais de uma vez (“*Multicast by multicast*”). Essa última estratégia é também comumente associada à existência de uma topologia virtual em árvore.

A parte do framework responsável pelo gerenciamento de grupo está diretamente relacionada à criação da infra-estrutura de transmissão uma vez que, de acordo com a entrada ou saída de participantes de um grupo, as informações sobre rotas devem ser modificadas para refletir a nova estrutura de distribuição. Por conseguinte, o framework de transporte e o de QoS [11] também têm os respectivos comportamentos influenciados, já que alterações nos participantes de um grupo podem demandar o estabelecimento de novas conexões ou a adição de novos participantes em conexões já existentes.

#### 4. Framework Para Serviço de Multicast

A definição do serviço através de um framework segue uma abordagem adotada em alguns trabalhos recentes [5][11][24], na qual um serviço pode ser configurado de acordo com as necessidades do usuário, ou do ambiente disponível. O framework aqui proposto pode ser aplicado independentemente da escala de distribuição de seus usuários (em um mesmo processo, em processos distintos de uma mesma máquina, em máquinas distintas de uma mesma rede ou de redes distintas interconectadas), assim como do tipo de sistema de comunicação utilizado para a troca de mensagens. Utilizou-se uma modelagem orientada a objetos, apresentada através da notação UML (*Unified Modeling Language*) [3].

O framework é dividido em duas partes: (i) *Group Management Service*, responsável por manter uma base de dados de informações sobre grupos (Group Information Base) e suas composições, e, utilizando-se dessas informações, dar suporte por exemplo, ao mapeamento de endereços de grupos aos endereços de seus participantes, ou mapeamento de um endereço de grupo de um nível ao endereço de grupo do nível inferior, ou aos vários endereços individuais do nível inferior dos participantes do grupo (resolução de endereço); e (ii) *Routing Support Service*, responsável por criar e gerenciar a infra-estrutura de distribuição multicast.

##### 4.1 Serviço de Gerenciamento de Grupo

A parte do framework responsável pelo serviço de gerenciamento de grupos oferece os mecanismos para manter a base de informações dos grupos e seus componentes, além das funções e informações necessárias para resolução de endereços de grupo, utilizadas pelos mecanismos de transmissão. A resolução de endereços é responsável por dar suporte ao mapeamento entre um endereço de nível  $N$  para um ou mais endereços de nível  $N-1$ . A maneira com que as informações de grupo estão distribuídas e a forma de resolução de endereços são dois aspectos intimamente relacionados.

A resolução pode ser feita de forma direta ou por intermédio de protocolos de resolução. Na forma direta, o protocolo da camada  $N$  é capaz de traduzir localmente o endereço para o endereço de nível  $N-1$ , podendo utilizar-se de uma tabela ou de uma função de mapeamento. No caso do IP Multicast sobre Ethernet, por exemplo, o mapeamento é bastante simples: os 23 bits menos significativos do endereço IP de classe D devem ser colocados nos 23 bits menos significativos do endereço de multicast Ethernet. Na resolução através de protocolos, a entidade da camada  $N$  faz uma requisição solicitando que alguma outra entidade (ou entidades) retornem os endereços de nível  $N-1$  correspondentes. O protocolo ARP [19] é um exemplo de protocolo de resolução para endereços IP unicast. Quando o nível  $N-1$  já oferece um serviço com endereçamento multicast, a resolução direta pode ser realizada através do



mapeamento de cada endereço de multicast de nível  $N$  em um endereço de multicast do nível  $N-1$ , que corresponde, exatamente, à abordagem seguida pelo IP multicast sobre Ethernet. Caso não exista endereçamento multicast no nível inferior, as seguintes abordagens podem ser utilizadas, dependendo da distribuição das informações de grupo:

1. Quando as informações de grupo estão centralizadas em um *servidor para resolução de endereços* (SRE), a resolução através de protocolo pode ser utilizada requisitando-se desse servidor a resolução desejada; o SRE é responsável apenas pela resolução de endereços e não pela distribuição das mensagens para os integrantes do grupo. O transmissor, após receber os endereços traduzidos é responsável por distribuir mensagens para os integrantes do grupo.
2. Quando as informações de cada grupo estão centralizadas em um *servidor para distribuição de mensagens* (SDM), a resolução direta pode ser utilizada, mapeando-se cada endereço de grupo ao endereço  $N-1$  do SDM correspondente; assim, ao receber as mensagens, o SDM imediatamente as distribui aos integrantes do grupo. Dessa forma, clientes desconhecem o fato de que o sistema de nível  $N-1$  não possui endereçamento multicast já que o endereço do SDM passa a servir como o endereço de multicast sob o ponto de vista desses clientes.
3. Quando o nível inferior tem capacidade de difusão e as informações de grupo estão distribuídas, a resolução pode ser feita através de um protocolo no qual a requisição de resolução é difundida e as entidades capazes de responder enviam ao cliente os endereços mapeados. A forma mais óbvia de distribuição é aquela na qual cada participante tem as informações dos grupos aos quais ele próprio pertence; dessa forma todos os componentes de um grupo respondem a requisições de resolução de endereços daquele grupo, cada um com seu próprio endereço de nível  $N-1$ .

A primeira abordagem foi utilizada pelo IETF na definição do MARS para a resolução de endereços de grupo em redes IP sobre ATM. A definição do MARS prevê ainda que a segunda abordagem pode ser utilizada em conjunto com o servidor de resolução, na qual o SDM (denominado Multicast Server - MCS) atua na parte da distribuição e o MARS propriamente dito na parte de resolução. Assim, o MARS é responsável por resolver os endereços de grupo alternativamente: nos endereços  $N-1$  dos componentes do grupo, ou no endereço  $N-1$  de um MCS. No caso em que não há MCS, o cliente, após a resolução, é responsável por criar uma conexão ponto-a-multiponto com todos os integrantes. Havendo um MCS, o cliente deve estabelecer com ele uma conexão ponto-a-ponto; o MCS, por sua vez, é que é responsável por manter uma conexão ponto-a-multiponto com todos os integrantes do grupo em questão.

Outras abordagens são possíveis através da combinação dessas três. A combinação da segunda abordagem com a primeira é conveniente pois o uso da segunda abordagem de forma isolada dificulta a criação e destruição de grupos de forma dinâmica. A terceira abordagem, apesar de viável, não é utilizada na prática para resolução de endereços de grupo. Porém, para a resolução de endereços unicast, essa abordagem corresponde exatamente ao ARP tradicional (ou considerando cada grupo como sendo formado por um só elemento).

A partir dessas análises sobre as possíveis formas de resolução e gerenciamento, que englobam inclusive as formas de resolução utilizadas para endereços unicast, chegou-se a uma modelagem genérica que constitui a parte do framework relativa ao gerenciamento de grupo, ilustrada na Figura 1.

O gerenciamento de grupo gira em torno da manutenção de uma base de informação de grupo. Essa base é composta por duas tabelas principais, que relacionam endereços de um nível  $N$ , sejam eles grupos de um ou mais participantes, a endereços do nível  $N-1$ . Por apresentar uma estrutura única, essas tabelas são implementadas a partir de uma classe comum (*GroupTable*), a partir da qual uma instância para o gerenciamento de grupo, e outra, para a resolução de endereço são criadas.

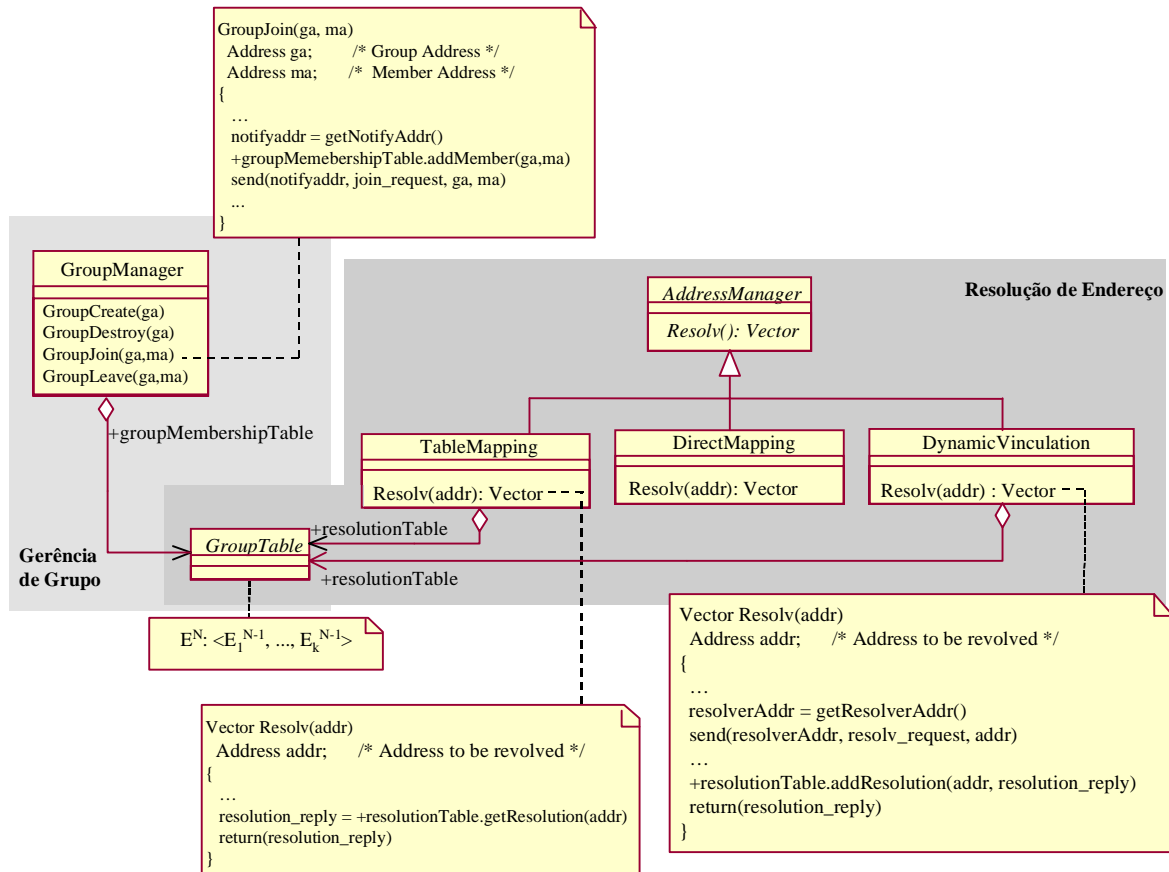


Figura 1 : Modelo de Gerenciamento de Grupo

O principal componente do serviço de gerenciamento de grupo é o *GroupManager*, onde são definidas as operações básicas necessárias para a constituição e manutenção de um grupo (*GroupCreate*, *GroupDestroy*, *GroupJoin*, e *GroupLeave*). Essas operações possuem uma estrutura única, tanto para o modelo de gerenciamento centralizado como distribuído. Todas essas operações são formadas, basicamente, por uma atualização da base de dados local do grupo e pela notificação da alteração. O único ponto de configuração dessa classe está exatamente na definição do endereço utilizado para a notificação das alterações, obtido através da função *getNotifyAddr()*. Assim a estrutura é a mesma para qualquer abordagem de implementação.

Quando um usuário do serviço solicita uma operação, a notificação será feita através do envio de uma mensagem especial, determinada pelo tipo de operação (criação de grupo, destruição de grupo, adesão a grupo, ou saída de grupo) para um endereço configurado de acordo com o modelo do serviço. No modelo centralizado, essa notificação será enviada para o servidor de gerenciamento de grupo. No servidor, a base de dados dos grupos é alterada, e a notificação é enviada para todos os participantes do agrupamento (all-users), ou para o

servidor de multicast. No modelo distribuído, a notificação do usuário será enviada para o endereço all-users. Em ambas as abordagens, as informações de notificação serão também utilizadas para a atualização das informações de resolução de endereço, tanto nos clientes, como no servidor de multicast.

O modelo para resolução de endereço é formado basicamente por uma operação *Resolve*, definida em *AddressManager*, que especifica a forma de resolução de endereço para um dado grupo. A subclasse *DirectMapping* é a responsável pelo mapeamento direto através de funções (como no caso do IP multicast sobre Ethernet), enquanto que *TableMapping* e *DynamicVinculation* cuidam, respectivamente, da resolução local (utilizada por servidores de resolução) e resolução por protocolo (utilizada pelo usuário que requisita a resolução). Um usuário em um ambiente sem mapeamento direto, envia uma requisição para um endereço que pode ser configurado, obtido através da função *getResolverAddr()*. Esse endereço será o endereço de um servidor, no caso centralizado, ou o endereço all-users, no caso distribuído. No servidor, uma instância da classe *TableMapping* será utilizada para a resolução do endereço. Ao receber a resposta, o cliente pode atualizar uma tabela local que funciona com cache de resolução.

#### 4.2 Construção da Infra-estrutura de Distribuição

O serviço de roteamento é baseado em dois patterns principais: *Facade* (*RoutingSupportAgent*) e *Strategy* (*RoutingProtocol*) [10]. A Figura 2 apresenta a estrutura do serviço de roteamento multicast. Na figura, contornado, pode-se ver a estrutura genérica do serviço, enquanto na parte inferior, pode-se ver algumas especializações dos pontos de flexibilização do serviço.

O serviço de roteamento pode ser implementado de modo centralizado, ou distribuído. No modo centralizado, as funções de roteamento são concentradas em um único ponto do sistema de comunicação. Além das funcionalidades, também estão concentradas em um ponto todas as informações de roteamento no sistema. No modo distribuído, cada entidade do sistema de comunicação é responsável por manter e manipular suas próprias informações de roteamento.

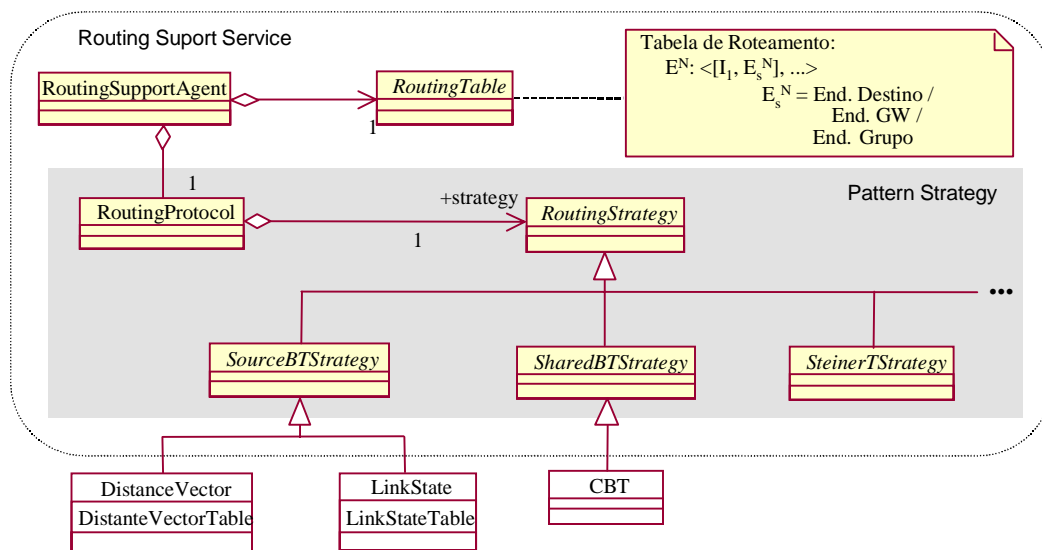


Figura 2: Framework do Serviço de suporte ao Roteamento Multicast

A base de dados contida na tabela de roteamento (*RoutingTable*) representa uma abstração lógica da infra-estrutura de distribuição multicast. Basicamente, essa tabela mapeia endereços do nível  $N$  a tuplas contendo interface de saída de dados, e endereços do próximo destino, que pode ser um usuário individual, um gateway, ou um grupo.

O protocolo de roteamento (*RoutingProtocol*) é responsável por manter as informações contidas na tabela de rotas do agente de roteamento. A escolha da heurística adotada pelo protocolo de roteamento é fundamentada nas características da aplicação. O framework de serviço de roteamento provê facilidades para se configurar um protocolo de roteamento, através da escolha e especialização da estratégia de roteamento (*RoutingStrategy*), baseado nas mais diferentes características das aplicações, e do sistema de comunicação utilizado.

### 4.3 Aplicação do Framework

Como diversas vezes mencionado, o *framework* proposto poderá ser utilizado em qualquer nível de comunicação, quer seja ao nível de objetos dentro de uma *thread*, quer seja de *threads* dentro de um processo, quer seja de processos em uma estação, e de estações em uma subrede e inter-redes, e assim por diante. Objetiva-se que o *framework* seja genérico de tal forma que possa ser empregado independente do nível de abstração e da distribuição das entidades participantes.

Mostraremos nessa seção dois casos de utilização do framework. A Seção 4.3.1 apresenta a configuração de um serviço de gerenciamento de grupo centralizado. A Seção 4.3.2 apresenta a implementação de um agente mediador de um serviço de multicast.

#### 4.3.1 Configuração de um Serviço de Gerenciamento de Grupo e Resolução de Endereço Centralizado

A configuração de um serviço de gerência e resolução de grupo centralizado é ilustrada na Figura 3. Um servidor que concentra todas as informações dos grupos do agrupamento deve ser configurado. Esse servidor deve possuir uma instância de *GroupManager* e uma de *AddressManager*, responsáveis por gerenciar e manter todas as informações do grupo. A configuração em *GroupManager* diz respeito somente ao endereço utilizado para a notificação da alteração (obtido através da função *getNotifyAddr()*) que, nesse caso, por não possuir servidor de multicast, será o endereço *all-users*.

O cliente do serviço deve possuir uma instância de *GroupManager*, onde devem ser configuradas as funções de criação e manutenção de grupo. No cliente, o endereço de notificação da alteração do grupo deve ser configurado como sendo o endereço do servidor de gerenciamento de grupo. Deve ser configurado, no cliente, o endereço do gerenciador de resolução a ser utilizado para o mapeamento do endereço. O resultado da resolução é então mantida em um cache de resolução.

#### 4.3.2 Implementação de um Agente Mediador de um Serviço de Multicast

A Figura 4 ilustra um caso de utilização do *framework* para o projeto de um agente mediador para comunicação de grupo centralizado (*Multicast Service Broker - MSB*). O MSB possui dois componentes: um Gerenciador de Grupo (GM), e um Gerenciador de Suporte a Roteamento (RM), instanciados a partir dos componentes descritos na seções 3.1 e 3.2, respectivamente. A configuração das classes do GM é feita como mostrado na seção anterior, adotando uma abordagem centralizada para a provisão do serviço. O RM é responsável pelo cálculo da árvore de menor caminho para a comunicação de grupo. A estratégia adotada pelo protocolo de construção da árvore foi a da árvore Steiner.

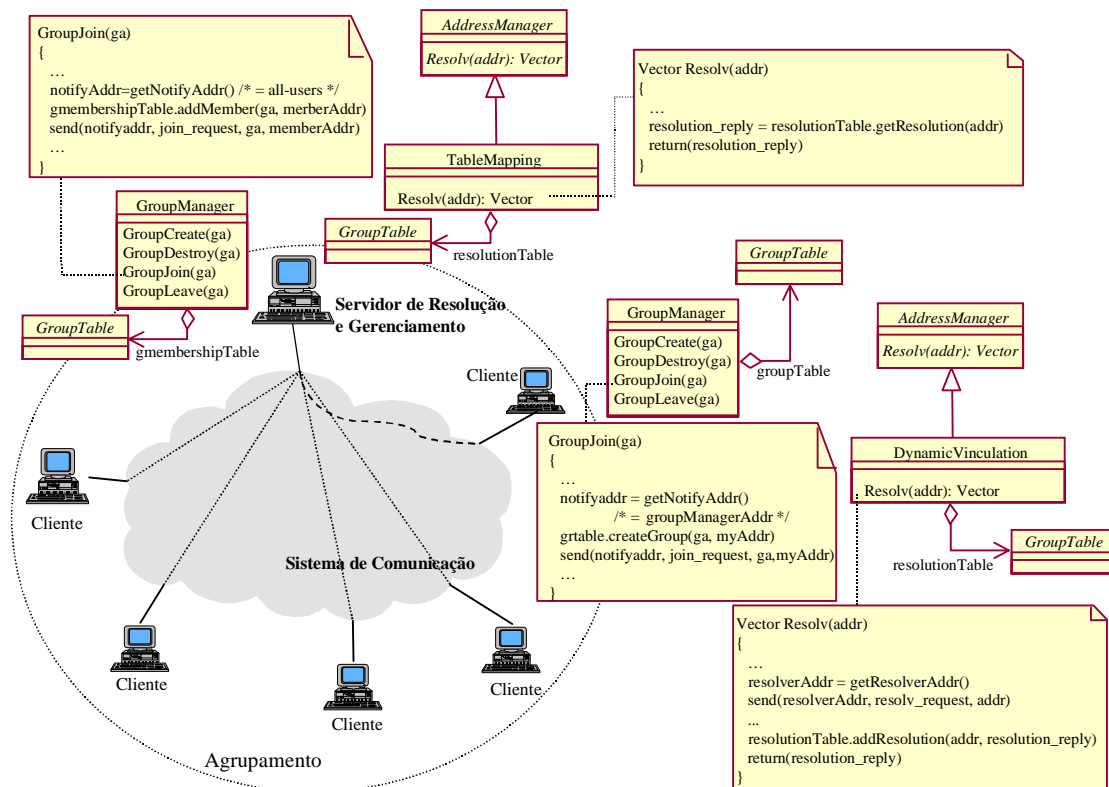


Figura 3: Exemplo de configuração do serviço de gerenciamento de grupo

O MSB também faz uso de informações providas por um Gerenciador de Qualidade de Serviço do ambiente (*QoS Manager - QoSM*), definido utilizando-se um framework para provisão de serviço de QoS [11]. O QoSM é responsável por prover informações sobre o estado do sistema de comunicação, enviando *grafos de conectividade* para o cálculo da árvore de multicast, de acordo com a QoS exigida pelo transmissor e aceita pelos receptores e entidades intermediárias do sistema de comunicação. A árvore de distribuição calculada, pelo RM, é então enviada para Gerenciador de Transporte (*Transport Manager - TM*) para que as conexões possam efetivamente ser estabelecidas, em conjunto com o QoSM.

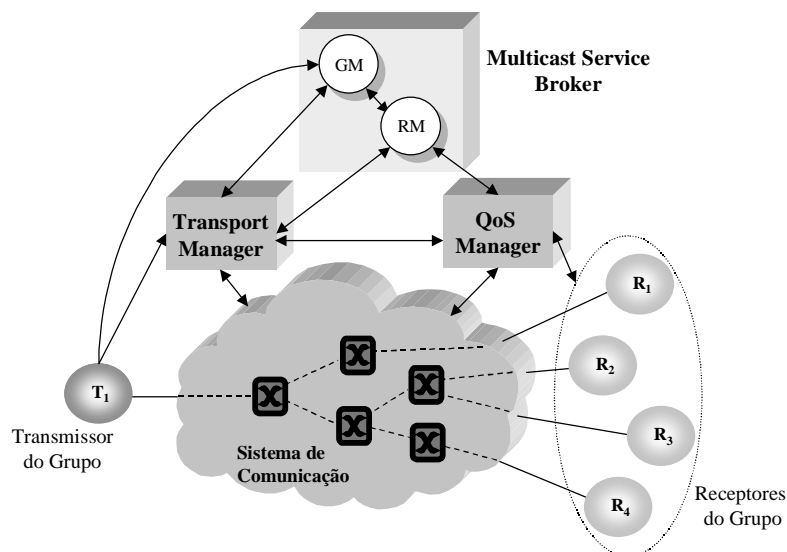


Figura 4: Arquitetura de aplicação do framework

Um protótipo para implementar a arquitetura proposta utilizando o framework para serviço de multicast está sendo desenvolvido em uma plataforma de simulação construída sobre comutadores virtuais. A plataforma consiste de um comutador ATM conectado à estações de trabalho. Cada estação de trabalho executa um servidor RMI para sinalizar e controlar os comutadores virtuais. Um comutador virtual é representado por uma thread em um servidor RMI. O MSB é simulado como um cliente RMI (Remote Method Invocation) [26] que realiza as funções do GM, RM, TM e QoSM. Na plataforma de prototipação, os enlaces que ligam os comutadores virtuais são emulados por enlaces ATM reais que conectam as estações através do comutador ATM.

Devido ao número relativamente pequeno de comutadores ATM instalados em nosso *test-bed*, recorremos a uma técnica de prototipação usando comutadores virtuais implementados como objetos simulando o comportamento de comutadores reais, tal como proposto em [14]. A plataforma de simulação é criada em um ambiente distribuído com quatro estações conectadas a um comutador ATM IBM (IBM 8260), como mostrado na Figura 5. A razão de usar quatro estações é fundamentada na teoria de que qualquer região em um mapa pode ser rotulada por quatro cores, de tal sorte a garantir que nenhuma região adjacente possua a mesma cor. Portanto, para simular qualquer topologia de rede (grafo planar), os comutadores virtuais podem estar distribuídos em quatro estações<sup>5</sup>. Assim é garantido que quaisquer dois comutadores vizinhos são simulados em estações diferentes e conectadas por circuitos virtuais (VC) através do comutador ATM. Esta estratégia de simulação facilita a emulação de reserva de QoS para cada enlace em uma árvore de multicast. Como indicado na figura, o enlace entre os nós 1 e 2 é mapeado no VC que liga o comutador virtual 1, na estação salgueiro-cip e o comutador 2 na estação tijuca-cip.

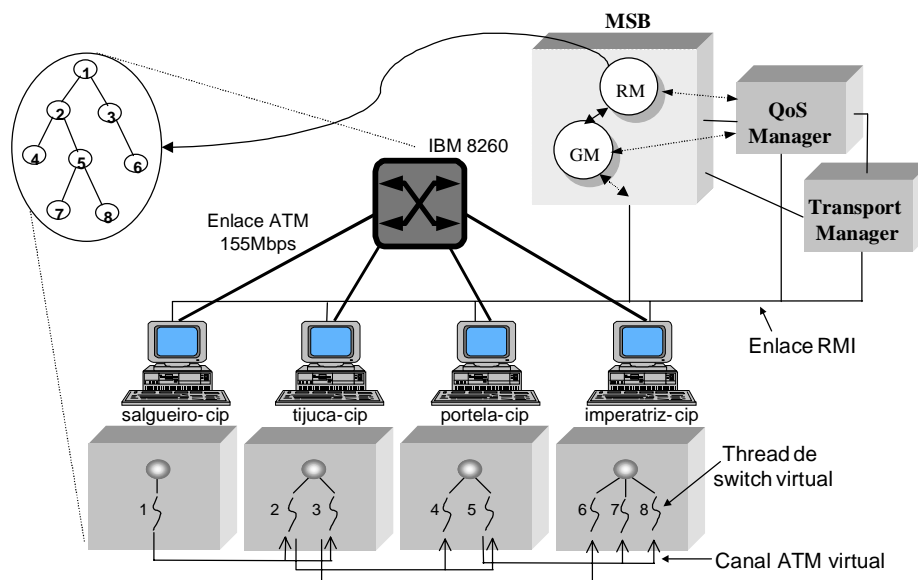


Figura 5: Plataforma de Simulação

O TM (modelado como um cliente RMI) é responsável por estabelecer, através do QoSM (também modelado como um cliente RMI) a árvore de multicast criada pelo RM. Quando o TM recebe a topologia da árvore de multicast, ele sinaliza, através do QoSM, aos

<sup>5</sup> A configuração da topologia da rede e a distribuição dos comutadores virtuais nas quatro máquinas é feita previamente.

servidores RMI em diferentes estações de trabalho para que iniciem os comutadores virtuais e configurem enlaces ATM com a QoS negociada pelos participantes da aplicação multicast.

## 5. Conclusões

No presente trabalho apresentou-se uma especificação de um framework para a implementação de serviços de multicast cuja principal característica é a generalidade e independência em relação aos possíveis sistemas de comunicação, aplicações e formas de armazenamento e gerenciamento de grupos. Partindo-se desse framework, foi possível especificar serviços de multicast específicos através do reuso da estrutura genérica apresentada, aliada a configuração de determinados componentes do serviço. Mostrou-se como o framework pode ser utilizado para a definição de um serviço de gerência e resolução de endereço, adotando-se o modelo centralizado como exemplo.

A definição da estrutura básica do framework foi possível graças a uma análise dos vários cenários possíveis de configuração do serviço de gerência de grupo, isolando-se o modelo básico, e verificando sua validação no mais diferentes casos de utilização.

O framework tem sido validado através da implementação de um serviço de comunicação multicast, apresentado na seção 4.3.2. Neste momento, está sendo implementada a parte referente ao suporte ao roteamento multicast. Um ponto importante para a implementação do ambiente de distribuição multicast foi a utilização de uma plataforma de simulação baseada em comutadores virtuais, construída sobre um ambiente de comunicação de objetos (RMI) utilizando enlaces ATM.

Como trabalho futuro, alguns pontos importantes devem ser levados em consideração. Primeiramente, o framework deve ser reavaliado com relação a restrições de qualidade de serviço. O processo de reavaliação deve consistir na integração deste framework, com um outro, em desenvolvimento, para o suporte à provisão de QoS [11].

## 6. Referências

- [1] Armitage, G., “*Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM*”, RFC 2022, Novembro de 1996.
- [2] Ballardie, T., Francis, P., Crowcroft, J., “*Core Base Trees (CBT): An Architecture for Scalable inter-Domain Multicast Routing*”, SIGCOMM’93, 1993.
- [3] Booch, G., Jacobson, I., Rumbaugh, J. “*The Unified Modeling Language for object-oriented Development*”, Documentation Set Version 0.91 Addendum UML Update, Setembro de 1996.
- [4] Cheriton, D.; “*VMTP: Versatile Message Transaction Protocol – Protocol Specification Version 0.7*”, Computer Science Department, Stanford University, 1988.
- [5] Colcher, S., Soares, L.F.G., “*Modelo de Referência Unificado para Arquitetura de Protocolos e Programação de Aplicações Multimídia*”, XVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), Rio de Janeiro, 1998.
- [6] Deering, S., Cheriton, D., “*Multicast Routing in Datagram Internetworks and Extended LANs*”, em ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 8, Nº 2, Págs. 85-110, Maio de 1990.
- [7] Deering, S., Estrin, D.L., Farinacci, D., Jacobson, V., Liu, C-G., Wei, L., “*The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing*”, em IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 4, Nº 2, Págs. 153-162, Abril de 1996.
- [8] Effelsberg, W., Müller-Menrad, E., “*Dynamic Join and Leave for Real-Time Multicast*”, TR-93-056, International Computer Science Institute, Berkeley, California. Outubro de 1993.
- [9] Fenner, W., “*Internet Group Management Protocol, Version 2*”, Internet Draft, *draft-ietf-idmr-igmpp-v2-06.txt*, Janeiro de 1997.

- [10] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. *Design Patterns: Elements of Reusable Object Oriented Software*. Addison Wesley, 1995.
- [11] Gomes, A.T.A., Colcher, S., Soares, L.F.G., "Um Framework para provisão de QoS em ambientes genéricos de processamento e comunicação". XVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), Salvador, 1998.
- [12] Kompella, V.P., Pascale, J.C., Polyzos, G.C., "Multicasting Routing for Multimedia Communication", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, N° 3, Págs. 286-292, Junho de 1993.
- [13] Lehman, L.H., Garland, S.J., Tennenhouse, D.L. "Active Reliable Multicast", MIT Laboratory for Computer Science, to appear in INFOCOM'98, 1998.
- [14] Li, H., Pung, H.K., Ngoh, L.H. "Active Multicast service architecture for user customized multimedia data transmission over ATM networks", Multimedia Systems Research Lab., National University of Singapore, 1997.
- [15] Maufer, T., Semeria, C., "Introduction to IP Multicast Routing", Internet Draft, *draft-ietf-iboned-intro-multicast-02.txt*, Março de 1997.
- [16] Mauthe, A., Hutchison, D., Coulson, G., Namuye, S. "From Requirements to Services: Group communication Support for Distributed Multimedia Systems", Computing Department, Lancaster University, 1995.
- [17] Moy, J., "Multicast Extensions to OSPF", RFC 1584, Março de 1994.
- [18] Paul, S., Sabnani, K.K., Lin, L.C., Bhattacharyya, S., "Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, special issues on Network support for Multipoint communication*, 1996.
- [19] Plummer, D.C., "An Ethernet Address Resolution Protocol", Request for Comments 826. Network Working Group. Novembro de 1982.
- [20] Pree, W. *Design Patterns for Object-Oriented Software Development*. Addison-Wesley, 1995.
- [21] Pusateri, T., "Distance Vector Multicast Routing Protocol", Internet Draft, *draft-ietf-idmr-dvmrp-v3-04.txt*, Fevereiro de 1997.
- [22] Rezende, J.F., Mauthe, A., Hutchison, D., Fdida, S., "M-Connection Service: A Multicast Service for Distributed Multimedia Applications", 1996.
- [23] Schmidt, D.C., "The ADPTATIVE Communication Environment: An Object-Oriented Network Programming Toolkit for Developing communication Software", em 12<sup>th</sup> Sun User Group Conference, San Francisco, California, 14-17 de Junho, 1993.
- [24] Schmidt, D.C., "Applying Design Patterns and Frameworks to Develop Object-Oriented Communication Software", em Handbook of Programming Language, Volume I, MacMillan Computer Publishing, 1997.
- [25] Soares, L.F.G., Lemos, G., Colcher, S. *Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM*. Ed. Campus, 1995. Segunda Edição.
- [26] Sridharan, P. *Advanced Java Networking*. Prentice Hall, 1997.
- [27] Tanenbaum, A.S., *Modern Operating Sistemms*. Prentice-Hall, Inc., Engelwood Cliffs, 1992.