SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito: 17.04.2001

Assinatura: _____

Estudos em Transmissões Multicasting de Vídeo Comprimido

Leonardo Antonio de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Abril/2001

A Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'M' followed by a long horizontal stroke, positioned above a horizontal line.

Profa. Dra. Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Tereza Cristina', positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Eduardo Marques

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Eduardo Marques', positioned above a horizontal line.

Este trabalho é dedicado à minha mãe, Anna Rodrigues de Andrade, e a todos que contribuíram para a sua conclusão.

Agradecimentos

A Deus, por permitir estar entre familiares e amigos e por me conceder força e coragem nos momentos em que preciso.

À minha mãe, Anna Rodrigues de Andrade, por todo o esforço dedicado à minha formação como pessoa e pesquisador. Muito obrigado Mama!

Ao orientador, Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira, que sempre acreditou em mim, me auxiliando e direcionando nos momentos de dúvidas, e por todas as oportunidades proporcionadas.

Ao meu amigo Luciano Martins, companheiro de estudos e trabalho, com o qual dividi muitas madrugadas programando e realizando testes no laboratório InterMídia. Valeu Homem!

Aos meus amigos Gustavo, João, Rudinei e Walter, e a todos do laboratório InterMídia pelos incentivos, idéias e conhecimentos compartilhados, pelas correções da qualificação e dissertação, e principalmente pelo companheirismo em todos os momentos.

A todos os docentes que me proporcionaram conhecimentos fundamentais em suas disciplinas durante o mestrado, e que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos e amigas que me ajudaram a terminar este trabalho.

Resumo

A implementação de uma aplicação cliente/servidor de vídeo apresenta aspectos complexos e que exigem tratamento diferenciado, como trabalhar com arquivos que ocupam grande espaço de armazenamento e fluxos de dados que necessitam de alta largura de banda para serem transmitidos. Quando o fluxo de dados é compactado e a transmissão é feita com técnicas de *multicasting*, a transmissão se torna ainda mais complexa. Um exemplo típico é a utilização de pacotes UDP, que podem ser perdidos e/ou chegarem ao destino desordenados, durante uma sessão de transmissão e recepção. Nesta dissertação são discutidas as implementações de duas aplicações cliente/servidor que exploram as técnicas de *multicasting* (uma delas possuindo suporte para IPv4 e RTP, e a outra suporte para IPv4 ou IPv6). A problemática do envio e recebimento de pacotes para posterior exibição do vídeo pelo cliente foi estudada e alguns testes foram feitos com os padrões de compressão MJPEG e um método proposto, implementado com transformadas *wavelets* e codificação LZW. Medidas e comparações de desempenho foram realizadas, utilizando-se os sistemas operacionais Linux e Windows. As conclusões obtidas com a metodologia aplicada a este trabalho podem contribuir para a solução da problemática da transmissão de vídeo em ambientes *multicasting*, especialmente para o caso de extensões e refinamentos nas implementações realizadas e no desenvolvimento de aplicações que incluam outros componentes de hardware e software.

Abstract

The implementation of a client/server video application has many complex aspects which need special attention. Dealing with files that need large space of storage and data streams that need large bandwidth to be transmitted are some of them. When data streams are compressed and the transmission is done through multicasting techniques, the transmission becomes much more complex. A classical example is when these streams are encapsulated into UDP packages, that can be lost and/or arrive out of order at the destination. The synchronization of the presentation is difficult. This dissertation describes two client/server implementations that explore multicasting techniques (one of them having IPv4 and RTP support, and other with IPv4/IPv6 support). The problem of sending and receiving packets to future video exhibition by client was studied and many tests were made with MJPEG compression and other technique, implemented with wavelet transforms and LZW codification. Measures and performance were compared, using two operational systems, Linux and Windows, and the results were showed in tables and graphics. The experience and results achieved with the applied methodology can contribute to solve some problems of video transmission in a multicasting environment. Directions for extending and refining the systems implemented in this project and in the development of applications that include other hardware and software components are given.

Sumário

1 – Introdução	1
1.1 – Objetivos	2
1.2 – Estrutura	3
2 – Técnicas de Compressão de Vídeo.....	5
2.1 – Considerações Iniciais	5
2.2 – Assimetrias na Compressão de Dados	6
2.3 – MJPEG	6
2.4 – MPEG2	8
2.5 – A Transformada Wavelet Daub 4.....	10
2.6 – Compressão LZW	12
2.7 – Considerações Finais	13
3 – Protocolos e Técnicas de Transmissão de Dados	15
3.1 – Considerações Iniciais	15
3.2 – IPv6	16
3.2.1 – Problemas do IPv4.....	16
3.2.2 – Características do IPv6.....	16
3.2.3 – Representação do Endereço IPv6	18
3.2.4 – Endereçamento IPv6	19
3.2.5 – Roteamento IPv6.....	21
3.2.6 – Mudança do Protocolo IPv4 para IPv6.....	22
3.2.7 – Utilização do IPv6.....	23
3.3 – <i>Multicasting</i>	23
3.3.1 – <i>Multicasting</i> em IPv4.....	25
3.3.2 – Mbone (<i>Multicasting Backbone</i>)	28
3.3.3 – <i>Multicasting</i> em IPv6.....	29
3.4 – Protocolo RTP (<i>Real-Time Transport Protocol</i>).....	31
3.4.1 – Mídia <i>Streaming</i>	31
3.4.2 – Protocolos para Mídia <i>Streaming</i>	32
3.4.3 – Serviços RTP	33
3.5 – Considerações Finais	34
4 – Tecnologias Utilizadas	35
4.1 – Considerações Iniciais	35
4.2 – Linguagem Java	35
4.2.1 – Aplicações <i>Multithreading</i>	37
4.2.2 – Aplicações Baseadas em Comunicação Via <i>Sockets</i>	38
4.3 – JIPSY	39
4.4 – API JMF (<i>Java Media Framework</i>).....	39
4.5 – Considerações Finais	41
5 – Ambiente de Testes e Resultados	42
5.1 – Considerações Iniciais	42

5.2 – Ambiente de Testes	43
5.3 – Aplicação Cliente/Servidor com RTP	45
5.4 – A Aplicação Cliente/Servidor IPv4/IPv6	47
5.4.1 – Visão Geral da Aplicação.....	47
5.4.2 – <i>Thread</i> Gerador de Quadros.....	49
5.4.3 – Problemáticas no Envio e Recebimento dos Datagramas.....	50
5.5 – Compactação de Vídeo	53
5.5.1 – Compactação JPEG.....	53
5.5.2 – Implementação da Transformada Wavelet Daub4.....	56
5.5.3 – Medidas de Tempo da Daub4 em Imagens em Escalas de Cinza e Coloridas	59
5.5.4 – Compactação Daub4 – LZW.....	61
5.5.5 – Desempenho da Descompactação JPEG e Daub4 – LZW nas Máquinas Virtuais Java em Linux e Windows.....	63
5.5.6 – Medidas de Tempo da Daub4 em Java e C++.....	64
5.6 – Considerações Finais	65
6 – Conclusões e Trabalhos Futuros	66
6.1 – Análise dos Resultados Obtidos e Propostas Para Trabalhos Futuros.....	67
6.1.1 – Aplicações Cliente/Servidor de Transmissão <i>Multicasting</i> de Vídeo.....	67
6.1.2 – Compressão e Descompressão de Vídeo.....	68
6.2 – Contribuições em Trabalhos do Grupo InterMídia	69
6.2.1 – Transmissão de Vídeo Usando IPv6 e <i>Multicasting</i> em Redes de Alto Desempenho (Martins, 2000)	69
6.2.2 – Arquiteturas para Compressão de Vídeo Baseado em Sistemas Reconfiguráveis (Soto, 2000).....	70
6.2.3 – Projeto de Sistema de Sincronização de <i>Streams</i> de Vídeo para Serviço <i>Multicast</i> (Silva, 2000).....	70
6.2.4 – Sobre a Implementação e Avaliação de Técnicas de Codificação e Distribuição de Vídeo Baseadas em Conteúdo (Goulart, 2000).....	70
Referências.....	71
Apêndice – Glossário de Siglas.....	75

Lista de Figuras

Figura 2-1: Processo de Quantização do MPEG-2.....	9
Figura 2-2: Codificação <i>Variable Length</i>	10
Figura 2-3: Matriz de Coeficientes da Daub4.....	11
Figura 2-4: Primeiro Passo da Transformada Wavelet.....	12
Figura 2-5: Vetor da Imagem a ser Transformada.....	12
Figura 2-6: Algoritmo de Codificação LZW.....	13
Figura 3-1: Cabeçalho do Protocolo IPv4.....	18
Figura 3-2: Cabeçalho do Protocolo IPv6.....	18
Figura 3-3: Endereço <i>Unicast</i> IPv6.....	19
Figura 3-4: Endereço <i>Anycast</i> IPv6.....	20
Figura 3-5: Serviço <i>Unicast</i> Básico.....	24
Figura 3-6: Serviço de Transporte <i>Multicasting</i>	24
Figura 3-7: Endereço <i>Multicast</i> IPv4 (Classe D).....	25
Figura 3-8: Mapeamento do IPv4 <i>Multicast</i> em Ethernet <i>Multicast</i>	25
Figura 3-9: Protocolo IGMP em IPv4.....	26
Figura 3-10: Ilhas e Túneis <i>Multicast</i>	29
Figura 3-11: Endereço <i>Multicast</i> IPv6.....	30
Figura 3-12: Mapeamento do IPv6 <i>Multicast</i> em Ethernet <i>Multicast</i>	30
Figura 3-13: Arquitetura RTP.....	33
Figura 4-1: Esquema de Compilação e Execução de Programas Java.....	36
Figura 4-2: Esquema da Comunicação Cliente/Servidor via <i>sockets</i>	38
Figura 4-3: Arquitetura JMF.....	40
Figura 4-4: Estados de um Processador JMF.....	41
Figura 5-1: Esquema do Ambiente de Desenvolvimento.....	43
Figura 5-2: Estados de um <i>Player</i> JMF.....	45
Figura 5-3: Tela da Aplicação Cliente Recebendo um Vídeo por RTP.....	46
Figura 5-4: Tela do Cliente da Aplicação com Suporte IPv4/IPv6.....	47
Figura 5-5: <i>Threads</i> do Servidor e de dois Clientes Recebendo o Mesmo Vídeo.....	49
Figura 5-6: Representação em <i>bits</i> de um <i>int</i> da Linguagem Java.....	50
Figura 5-7: Quadros Remontados com Pacotes UDP.....	51
Figura 5-8: Gráfico do Tamanho do Arquivo em Relação ao Tempo de Descompressão.....	54
Figura 5-9: Gráfico de Tamanho do Arquivo Descomprimido em Relação ao Arquivo Comprimido.....	55
Figura 5-10: Imagem de Teste do IFFIF, 256x256 pixels em 256 Escalas de Cinza (lenna.gif)....	57
Figura 5-11: Imagem Obtida na Transformação wavelet, com 91,79% de Compressão Relativa e RMSI: 6,81.....	58
Figura 5-12: Imagem Obtida na Transformação wavelet, com 96,39% de Compressão Relativa e RMSI: 10,76.....	59
Figura 5-13: Gráfico do Número de Matrizes Processadas em Relação ao Tempo de Execução.....	61
Figura 5-14: Gráfico do Tamanho do Arquivo em Relação aos Tempos de Execução.....	63

Lista de Tabelas

Tabela 5-1: Dados da Compactação JPEG com codificadores da <i>San Microsystem</i>	54
Tabela 5-2: Valores Obtidos no Processamento da Imagem (lenna.gif).....	58
Tabela 5-3: Coeficientes da Daub4 representados em Ponto Flutuante e Inteiros.....	59
Tabela 5-4: Medidas de Tempo da Daub4 para Imagens em Escalas de Cinza e Coloridas.....	61
Tabela 5-5: Dados da Descompactação com a Transformada Wavelet e Codificação LZW.....	62
Tabela 5-6: Tempo de Execução da Descompactação JPEG em Windows e Linux.....	63
Tabela 5-7: Tempo de Execução da Descompactação Daub4 – LZW no Windows NT 4.0.....	64
Tabela 5-8: Tempo de Execução da Descompactação Daub4 – LZW no Linux Red Hat 6.2.....	64
Tabela 5-9: Tempo de Execução de uma Transformada Wavelet Daub4 em Sistemas Operacionais Diferentes.....	64

Introdução

O aumento na largura de banda (*bandwidth*) e a diversidade de recursos das novas tecnologias de redes de comunicação podem impulsionar o surgimento de novos paradigmas e novas aplicações. Nesse cenário, as aplicações multimídia, especialmente as transmissões de vídeo, tendem a ocupar uma posição de destaque. Para distribuir vídeo, é necessário uma máquina conectada a uma rede de comunicação e que execute uma aplicação servidora. Em adição, uma boa capacidade de banda passante é necessária, pois mesmo considerando as novas tecnologias, se a qualidade exigida para o vídeo for alta, a transmissão pode causar congestionamento no tráfego da rede. Além da qualidade do vídeo, o protocolo e a técnica de transmissão utilizados também podem determinar a eficiência da transmissão que estiver sendo realizada.

Atualmente, o protocolo de comunicação mais difundido em redes de computadores é o IPv4 (*Internet Protocol* versão 4), que vem apresentando inúmeras limitações, como um número limitado de endereços e a ausência de prioridade para a transmissão de dados diferentes. A solução encontrada é a substituição do protocolo IPv4 para sua nova versão, o IPv6 (*Internet Protocol* versão 6), que fornece um número muito maior de endereços e provê esquemas de prioridade, de acordo com o tipo de dado a ser transmitido. Além disso, o IPv6 possui cabeçalhos simplificados, facilitando o processamento nos roteadores (Deering, 1995). Devido às suas características, o IPv6 tem potencial para melhorar a qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*) de aplicações que distribuam vídeo, por exemplo.

A técnica de distribuição *multicasting* cria apenas um fluxo de dados (*stream*) para cada um dos clientes, sendo sua inclusão necessária na implementação de um servidor de vídeo para economizar a largura de banda da rede. A implementação da técnica de *multicasting* no protocolo IPv6 apresenta várias melhorias em relação ao IPv4. Apesar de absorver técnicas e esquemas de

seu antecessor, o IPv6 adiciona mudanças significativas em relação ao endereçamento e roteamento.

Outro modo de diminuir a largura de banda é baseado nas técnicas de compressão de dados (Muckiger, 1995; Steinmetz, 1995). Alguns padrões de compressão já se encontram bastante difundidos, como JPEG (*Joint Picture Expert Group*) (Thakrar, 1996) e MPEG-2 (*Motion Picture Expert Group*) (ISO, 1997), e como esta é uma área em constante desenvolvimento, novos padrões têm surgindo, com vistas a apresentar sempre maior ganho em eficiência. Um dos passos na implementação de um padrão de compressão, é a aplicação de uma transformada discreta nos dados de um ou mais quadros de um vídeo. Uma nova transformada, chamada *wavelet*, vem substituindo as tradicionais transformadas de cossenos, por possuir menor complexidade para implementação e maior eficiência de processamento. Neste trabalho, medidas de tempo de compressão de imagens foram efetuadas utilizando-se dos recursos do padrão JPEG e um novo padrão proposto, utilizando transformadas *wavelets* e a codificação LZW (Lempel, Ziv e Welch).

1.1 – Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão inseridos no contexto da problemática da transmissão de vídeo em uma aplicação cliente/servidor com suporte a *multicasting* através dos recursos dos protocolos IPv4 e IPv6. A tomada de medidas de tempo de compressão de quadros de vídeo individuais, utilizando o padrão JPEG e um método que utiliza transformadas *wavelets* e a codificação LZW, são aspectos particularmente relevantes e fazem parte dos objetivos específicos deste trabalho.

Como suporte aos objetivos definidos, foi realizada a configuração de um ambiente com suporte a IPv4/IPv6 e *multicasting* e nesse ambiente foi realizada a implementação de uma aplicação cliente/servidor, utilizando tecnologias de domínio público, tais como o sistema operacional Linux e a linguagem Java, da *Sun Microsystems*. Algumas simplificações foram feitas na implementação dessa aplicação, tais como:

- **Pré-Processamento para posterior transmissão:** inicialmente é determinado o tamanho de cada datagrama a ser enviado e, então, é gerado um arquivo em formato proprietário; com essa simplificação, o tempo necessário para a divisão de um quadro em vários pacotes foi reduzido;

-
- **Compactação intra-quadro:** a compactação foi feita internamente aos quadros, que foram tratados como imagens estáticas; a compactação inter-quadros é mais eficiente se comparada às compactações intra-quadros; no entanto, se essa técnica de maior eficiência fosse utilizada, acarretaria uma complexidade muito maior na implementação da aplicação cliente para processar a descompressão, considerando que pacotes UDP (*User Datagram Protocol*) podem chegar ao cliente fora de ordem ou até mesmo não chegar ao seu destino.

Como métrica, são apresentados cálculos para que a exibição do vídeo possa ser efetuada em tempo de geração. São também apresentados testes, medidas e comparações com alguns tipos de compressão (JPEG e *wavelets* em conjunto com IZW), que poderão ser utilizados em trabalhos futuros para a construção de aplicações cliente/servidor mais complexas e elaboradas.

1.2 – Estrutura

Esta dissertação está organizada de forma a apresentar o contexto teórico no qual este trabalho está inserido, bem como os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho e as suas contribuições para a comunidade interessada:

- **Capítulo 2:** apresenta algumas técnicas difundidas de compressão de vídeo como MJPEG e MPEG-2, além de um tipo especial de transformada, que em um conjunto com técnicas de compressão sem perda, também pode ser utilizada para compactar quadros individuais;
- **Capítulo 3:** apresenta o protocolo IPv6, especialmente suas características, funcionamento e detalhes de sua configuração em alguns sistemas operacionais, a técnica de *multicasting* e seu funcionamento nos protocolos IPv4, IPv6 e Mbone, e o protocolo RTP (*Real-Time Transport Protocol*), utilizado para transmissão de dados que requerem exibição em tempo real (como é o caso de áudio e vídeo);

-
- **Capítulo 4:** apresenta as tecnologias usadas no trabalho, como a linguagem Java e seus recursos de programação com *threads* e *sockets*, o pacote *Jipsy* - que permite trabalhar com IPv6 no sistema operacional Linux -, a API JMI² (*Java Media Framework*) - que possibilita a manipulação de vários arquivos de áudio e vídeo;
 - **Capítulo 5:** mostra o ambiente de testes, as aplicações desenvolvidas (para transmissão e para compressão de vídeo) e os resultados obtidos, devidamente documentados;
 - **Capítulo 6:** apresenta as conclusões deste trabalho, considerando as dificuldades e contribuições, bem como algumas idéias para a extensão em trabalhos futuros.

Técnicas de Compressão de Vídeo

2.1 – Considerações Iniciais

Tradicionalmente, os dados em um sistema multimídia, devido à sua natureza rica em recursos que representam abstrações do “mundo real”, como é o caso do áudio e do vídeo, possuem características que tornam seu armazenamento e disponibilização difíceis, pois exigem, na maioria das vezes, grandes quantidades de bytes de espaço para armazenamento, e uma alta largura de banda para transmissão. Neste sentido, o uso de algoritmos e técnicas de compressão e descompressão torna-se imprescindível para a viabilização do transporte de multimídia digital, tanto no que diz respeito à comunicação quanto ao armazenamento dos dados.

Para a compressão e descompressão de vídeo, diversos padrões já foram definidos, tais como H261, H263, MPEG-2, MPEG-4, *Quicktime*, dentre outros. Em relação à compactação de quadros, pode-se considerar a seguinte classificação:

- **Intraquadro:** os quadros são comprimidos de forma independente, tal como uma sequência de imagens estáticas;
- **Interquadro:** o vídeo é comprimido observando as semelhanças entre quadros consecutivos.

Este capítulo apresenta o padrão de compressão MJPEG (*Moving Joint Picture Expert Group*), utilizado tanto para imagens estáticas quanto para vídeo (intraquadro), e o padrão de compressão MPEG-2, que oferece compressão interquadros e intraquadros.

Além dos padrões definidos, é apresentada uma nova técnica de compressão, na qual são utilizadas as transformadas *wavelets* e a codificação LZW, que pode ser utilizada para compactar imagens estáticas ou vídeo (intraquadro). As transformadas *wavelets* vêm sendo alvo de estudos atuais para a determinação de novos padrões de compressão, como é o caso do padrão JPEG 2000.

2.2. Assimetrias na Compressão de Dados

Os algoritmos de compressão e descompressão de dados são chamados de algoritmos de **codificação** e de **decodificação**, respectivamente, e apresentam algumas assimetrias relevantes:

1. Para muitas aplicações, um arquivo ou *stream* só será codificado uma vez (ao ser armazenado em um servidor multimídia), mas será decodificado inúmeras vezes (quando for visualizado pelos usuários). Essa assimetria permite, portanto, que o algoritmo de codificação seja lento e necessite de componentes de hardware de alto custo, desde que o algoritmo de decodificação seja rápido e não precise de hardware muito caro.
2. Uma segunda assimetria é que os processos de codificação e decodificação não precisam ser recíprocos. Em uma compactação ideal, um usuário espera ter de volta o arquivo original, exatamente como era antes, porém um certo nível de perda é aceitável em alguns casos (como em vídeo, por exemplo).

Um sinal de vídeo pode ser ligeiramente diferente do original depois da codificação e da posterior decodificação; neste caso, o sistema é dito **com perda** (*lossy*). Se a entrada e a saída são idênticas, o sistema é dito ser **sem perda** (*lossless*) (Turht, 1995). Os sistemas *lossy* são importantes, uma vez que aceitar a perda de um pequeno volume de informações pode oferecer uma grande vantagem em termos da taxa de compactação possível.

2.3 – MJPEG

JPEG é um padrão de compressão para imagens estáticas coloridas e branco-e-preto (imagens com tom contínuo) (Thakrar, 1996). Além de imagens estáticas, esse padrão pode ser aplicado para compressão de vídeo intraquadros, tratando o vídeo como uma sequência de imagens, recebendo o nome de MJPEG.

Há muitos parâmetros para o processo de compressão JPEG. Pelo ajuste desses parâmetros, pode-se obter imagens com grande compressão em detrimento de uma boa qualidade, e vice-versa. Por exemplo, pode-se obter uma compressão 100:1 de uma imagem original de 24 bits, perdendo muita qualidade, ou uma compressão 3:1, com perda indistinguível.

Geralmente, utiliza-se uma compressão de 10:1 a 20:1 (Wallace, 1991). O padrão JPEG é baseado em um algoritmo com perda (*lossy*), além de extensões opcionais para codificação progressiva e hierárquica. Existe também um modo de compressão sem perda, que gera, tipicamente, uma compressão 2:1.

O padrão JPEG foi dividido em duas partes. A parte 1 especifica os modos de operação, os formatos e o codificador especificado para esses modos. A parte 2 do padrão descreve os testes que determinam se a implementação do codificador ou decodificador está em conformidade com o padrão, para garantir interoperabilidade de sistemas. O esboço do algoritmo de compressão JPEG é descrito a seguir (Wallace, 1991), sendo que o algoritmo de descompressão realiza o processo inverso:

1. Transformar a imagem dentro de uma faixa de cor adequada (caso seja colorida), geralmente da codificação RGB para a codificação YCbCr ou YUV, o que permite uma perda de informação nos componentes de crominância e luminância a que o olho humano não é sensível;
2. (Opcional) Transformar cada componente pela mediana de grupos de *pixels*, sendo o componente de luminância deixado em resolução completa, enquanto componentes de crominância reduzidos em uma razão de 2:1 horizontalmente e 2:1 ou 1:1 verticalmente, reduzindo o volume de dados pela metade ou em um terço, o que, em termos numéricos, é altamente *lossy*, mas para a maioria das imagens isto não gera grande impacto na qualidade;
3. Agrupar valores de *pixels* para cada componente dentro de blocos 8x8, sendo cada bloco submetido a uma transformada de cosenos discretos (DCT), que é um tipo de transformada de *Fourier*, gerando um mapa de frequências com componentes 8x8,

podendo-se descartar informações de alta-frequência sem afetar informações de baixa frequência;

4. Em cada bloco, dividir os 64 componentes de frequência por um "coeficiente de quantização" e arredondar os resultados em função de números inteiros, fundamental para descarte de dados;

5. Codificar os coeficientes reduzidos usando codificação de Huffman ou aritmética, não afetando a qualidade da imagem (*lossless*);

6. Adicionar *headers* com dados da compactação e gerar o arquivo final.

2.4 – MPEG2

Desde do início dos anos 80, o grupo MPEG (*Motion Picture Expert Group*) tem trabalhado na padronização de compactação de áudio e vídeo, tendo como resultado dois padrões, conhecidos como MPEG-1 (IS-11172) e MPEG-2 (IS-13818). O primeiro especifica a codificação de áudio e vídeo a taxas de 1,5 Mbps, e o segundo manipula a codificação genérica de TV digital e sinais de HDTV (*High Definition TV*) (ISO, 1997). Os dois padrões tiveram boa aceitação no meio computacional e no mercado, causando um grande impacto na indústria eletrônica: operadoras de TV a cabo, companhias de telecomunicações e empresas de software e hardware têm demonstrado um interesse crescente por multimídia e tecnologias associadas. Esta tendência tem acelerado o crescimento da utilização de CD-ROM e da WWW (*World Wide Web*), por exemplo.

O principal objetivo do MPEG-2, em termos de vídeo, é definir um formato que pode ser usado para descrever um *bitstream* de vídeo codificado. Esse *bitstream* de vídeo é a saída de um processo de codificação, o qual comprime a informação do vídeo. MPEG-2 não especifica o método de codificação, somente define o *bitstream* resultante. Além disso, especifica como decodificar esse *bitstream*. Num primeiro instante, isto poderia ser visto como um problema. Entretanto, isto permite que o processo seja mantido em aberto para o aprimoramento, por exemplo, reduzindo o tempo de codificação ou aumentando a qualidade da imagem.

O processo de compressão do padrão MPEG utiliza, basicamente, DCT para separar informações de frequências altas das frequências baixas. Uma matriz de quantização com coeficientes é utilizada para dividir os valores obtidos por uma matriz gerada pelo DCT, o que torna “zero” uma série de coeficientes (podendo descartá-los na compressão). As matrizes de quantização podem ser padrão ou definidas pelo usuário.

O nível de quantização (e a taxa de compressão, conseqüentemente) pode ser ajustado por uma escala de fatores que é fornecida para cada *slice* (série de macro-blocos, contendo informações sobre onde exibir esses macro-blocos na tela) e pode opcionalmente ser redefinida para cada macro-bloco (quatro blocos, com valores de luminância, mais um número de blocos com valores de crominância). Vale ressaltar que cada bloco contém oito linhas, com cada linha contendo oito amostras de valores de luminância e crominância. Isto resulta em um total de 64 valores de crominância e luminância para definir um bloco.

Depois do processo DCT, os coeficientes para crescimento das frequências são distribuídos em forma de “zig-zag”. O processo de quantização gera um alto número de zeros em alta frequência e após o rastreamento da matriz dos coeficientes resultantes na mesma ordenação “zig-zag”, torna-se relativamente fácil codificar a linha de números resultantes de forma eficiente, utilizando-se a técnica de codificação *Variable Length*. A **Figura 2-1** apresenta o processo de quantização.

Figura 2-1: Processo de Quantização do MPEG-2

A etapa seguinte é o uso da codificação *Variable Length* (VL) ou *Run-Level*, que codifica a sequência de coeficientes zerados pelo DCT através de um determinado código para um padrão específico de coeficientes. A interpretação destes códigos retorna dois valores: um valor (*run*) especifica o número de zeros iniciais em face aos coeficientes que não são zeros; o outro valor (*level*) é o coeficiente real. A **Figura 2-2** ilustra a codificação *Variable Length*.

Figura 2-2: Codificação *Variable Length*

A estimativa de movimento é o próximo passo para a compressão MPEG e seu objetivo é identificar regiões na imagem que podem ser encontradas nas imagens seguintes. Este processo utiliza macro-blocos como unidades básicas para comparação. Para cada macro-bloco, o codificador procura na imagem anterior, ou na imagem anterior e na posterior, por um macro-bloco que combina ou quase combina com o macro-bloco atual. Se o macro-bloco for encontrado, a diferença entre este macro-bloco e o macro-bloco atual é calculada. A diferença resultante sofre primeiramente uma codificação DCT e depois, junto com o vetor de movimento do macro-bloco, sofre a codificação VL. Um vetor de movimento é usado para identificar o macro-bloco na imagem anterior ou posterior.

2.5 – A Transformada Wavelet Daub 4

Parecida com a transformada rápida de Fourier (FFT – *Fast Fourier Transform*) (Elliot, 1982), a transformada discreta *wavelet* (DWT – *discret wavelet transform*) (Daubechies, 1992) é rápida e linear,

e pode operar sobre um vetor de dados que tem tamanho igual a uma potência de 2 (dois) e maior do que zero (Press, 1992). Ainda comparando a DWT com a FFT, tem-se que a transformada *wavelet* é inversível e ortogonal, sendo que sua transformada inversa, quando vista como uma grande matriz, é simplesmente a transposta da matriz transformada.

Um conjunto particular de *wavelets* é definido por um conjunto particular de números, que são chamados **coeficientes de filtros wavelets**. Uma das classes de coeficientes é conhecida por Daubechies (levando o nome de seu descobridor (Daubechies, 1992)), e dentre os vários membros, a transformada mais simples apresenta apenas 4 coeficientes (c_0, c_1, c_2, c_3), sendo chamada de Daubechies 4 (Daub4).

A **Figura 2-3** apresenta a matriz Daub4, que deve ser multiplicada por um vetor de dados (os espaços em branco implicam em zeros), sendo que os valores dos coeficientes são:

- $c_0 = 0.482962$;
- $c_1 = 0.8365163$;
- $c_2 = 0.2241438$;
- $c_3 = -0.1294095$.

$$\begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & & & & \\ c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & & & & \\ & & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & & \\ & & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ c_2 & c_3 & & & & & c_0 & c_1 \\ c_1 & -c_0 & & & & & c_3 & -c_2 \end{bmatrix}$$

Figura 2-3: Matriz de Coeficientes da Daub4

Para aplicar a Daub4 sobre uma imagem, o primeiro passo consiste da transformação da imagem em uma matriz de dados. Em seguida, define-se um vetor da matriz imagem, formado pela primeira coluna da matriz. Então, multiplica-se a matriz de coeficientes pelo vetor da imagem, como é mostrado na **Figura 2-4**.

$$\begin{bmatrix} 0 & \dots & 255 \\ \vdots & & \vdots \\ 255 & \dots & 255 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 255 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 255 \end{bmatrix}$$

Matriz dos coeficientes Vetor da Imagem Vetor da Transformada

Figura 2-4: Primeiro Passo da Transformada Wavelet

Em seguida, multiplica-se apenas a metade inferior do vetor resultante pela matriz de coeficientes, e repete-se esse passo enquanto o vetor for maior que o número de coeficientes da transformada. A figura 2-5 mostra os valores as serem multiplicados da matriz da imagem.

$$\begin{array}{c}
 \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 127 \\ \vdots \\ 191 \\ \vdots \\ 255 \end{bmatrix} \\
 \left[\begin{array}{c} \vdots \\ 127 \\ \vdots \\ 191 \\ \vdots \\ 255 \end{array} \right]
 \end{array}$$

128 64

Figura 2-5: Vetor da Imagem a ser Transformada

2.6 – Compressão LZW

A compressão LZW tem suas raízes no trabalho de Jacob Ziv e Abraham Lempel. Em 1977, eles publicaram um artigo sobre compressão de "janelas-deslizantes", e seguiram com outro artigo em 1978 sobre compressão baseada em "dicionários" (Ziv et al, 1978). Esses algoritmos foram chamados de LZ77 e LZ78, respectivamente. Em 1984, Terry Welch fez uma modificação no LZ78, acrescentando o "W" ao nome desse popular algoritmo de compressão (Welch, 1984). O algoritmo LZW é de fácil compreensão e apresenta excelentes resultados se comparado a outros algoritmos, como seus antecessores (LZ77 e LZ178) ou Huffman (Nelson, 1988).

Muitos arquivos possuem certas cadeias de *bytes* que se repetem. A compressão LZW utiliza um dicionário e busca padrões repetidos dentro de um *stream* de bytes. Sempre que houver um padrão que se repete, a compactação LZW remove cópias repetidas e insere um ponteiro para o padrão original. A compressão LZW não apresenta perda de dados (*lossless*).

Os primeiros 256 códigos do dicionário são padronizados, formando um conjunto padrão de caracteres (0 até 255), enquanto os códigos de 255 até 4095 se referem a sub-cadeias existentes no *stream* que estiver sendo processado. Assim, o código gerado pelo algoritmo LZW pode possuir tamanho variado, mas sempre será maior do que o tamanho de um caractere (1 *byte*), do código padrão. O algoritmo de compressão LZW é relativamente simples como mostra a **Figura 2-6**.

```
string = caractere de entrada do stream
ENQUANTO existe string FAÇA
    caractere = próximo caractere de entrada do stream
    SE string + caractere está no dicionário FAÇA
        string = string + caractere
    SENÃO
        gere o código para string
        adicione string + caractere para o dicionário
        string = caractere
    FIM SE
FIM ENQUANTO
gere o código para string
```

Figura 2-6: Algoritmo de Codificação LZW

2.7 – Considerações Finais

Os padrões de compressão de vídeo são métodos que podem diminuir o espaço de armazenamento e a largura de banda necessária para transmissão, sendo a compressão interquadros mais eficiente do que a *intraquadros*. No entanto, apresenta maior complexidade para ser implementada. As transformadas *wavelets*, em conjunto com técnicas de codificação, podem ser utilizadas também para compressão de vídeo.

No próximo capítulo, será apresentado o protocolo IPv6, que deve substituir a versão atual do protocolo IP (versão 4), adicionando novas funcionalidades e maior eficiência para muitas aplicações, incluindo transmissões de vídeo. Também serão explicadas técnicas de *multicasting* nos protocolos IPv4, IPv6 e no Mbone, além do protocolo RTP, utilizado para aplicações que requeiram exibição em tempo real.

Protocolos e Técnicas de Transmissão de Dados

3.1 – Considerações Iniciais

O IPv6 é a nova geração do protocolo IP, criado para substituir a versão atual (versão 4), de cujo o número de endereços possíveis está se esgotando, além de proporcionar melhor desempenho e novas funcionalidades, como o suporte à qualidade de serviço, o que pode vir a ser de muita valia para transmissão de vídeo.

A técnica de *multicasting*, independente do protocolo com o qual se efetua a transmissão de vídeo, pode economizar largura de banda da rede e diminuir o processamento em um servidor de vídeo (os roteadores e chaves da rede é que são responsáveis com a resolução de envio de pacotes). A técnica *multicast* será apresentada para os protocolos IPv4 e IPv6, e na rede virtual Mbone.

Um dos modos de garantir que a transmissão de dados ocorra em tempo real, é através de um protocolo que possa transmitir os dados de acordo com uma qualidade previamente definida. O protocolo utilizado como padrão na Internet para esse tipo de transmissão de dados é o RTP (*Real-Time Transport Protocol*).

Este capítulo apresenta as tecnologias supra-relacionadas e que foram utilizadas no desenvolvimento de duas aplicações cliente/servidor de vídeo com suporte a *multicasting*, no contexto no qual este trabalho está inserido.

3.2 – IPv6

3.2.1 – Problemas do IPv4

O protocolo IPv4 foi projetado há quase três décadas atrás e, embora tenha alcançado um respeitável sucesso, algumas melhorias tiveram que ser feitas para que o endereçamento e roteamento de pacotes não se tornem inviáveis em um futuro próximo. O espaço de endereçamento é a mais visível melhoria a ser feita em relação ao protocolo, além da performance e da forma como os cabeçalhos são projetados e usados.

A substituição do IPv4 obriga que todo sistema que o utilize deva ser atualizado, o que não é muito simples de ser feito por grandes corporações. Existem milhões de sistemas operando com diferentes versões do TCP/IP, e vários sistemas operacionais e plataformas de *hardware*. É extremamente difícil que todos esses sistemas sejam atualizados ao mesmo tempo. Se o problema do IPv4 fosse apenas a falta de endereços disponíveis, poder-se-ia conviver com o problema por algum tempo, com as atuais ferramentas e técnicas de comunicação de dados, tais como sub-redes, tradução de endereço de rede, dentre outras. Porém, existem outros problemas no IPv4, tais como escalabilidade, problemas administrativos, dificuldades de roteamento, melhoria nos serviços e entrega dos dados com qualidade e segurança.

3.2.2 – Características do IPv6

Os atuais protocolos IP utilizados na Internet não foram projetados para fornecer suporte a serviços de tempo real e à qualidade de serviço, necessários em aplicações distribuídas como transações bancárias e transmissão de dados multimídia. Além de redes com alta velocidade e largura de banda passante, aplicações como estas necessitam muitas vezes de um tipo de serviço diferente do serviço padrão oferecido, sendo preciso negociar os requisitos para a transmissão.

Visando fornecer suporte ao grande leque de novas aplicações possíveis via Internet, além dos problemas de endereçamento, têm surgido diversas propostas de novos protocolos, e dentre elas está o IPng (*Internet Protocol next generation*) ou IPv6 (Deering, 1995).

O *Internet Protocol version 6* é o nome formal da nova geração de protocolos IP (IPng). O IPv6 foi projetado como uma evolução do IPv4, sem realizar mudanças radicais, permitindo que os dois

protocolos coexistam e interajam, e permitindo que a instalação do novo protocolo seja realizada de maneira simplificada. As funções que apresentam bom desempenho no IPv4 foram mantidas, e o que não funcionava a contento foi removido. As mudanças do IPv6 em relação ao IPv4 encontram-se nas seguintes categorias (Loshin, 1999):

- **Expansão das capacidades de roteamento e endereçamento:** o IPv6 aumenta o tamanho do endereço IP de 32 para 128 bits para suportar mais níveis de endereçamento hierárquico, um número muito maior de nós (um nó é um computador que pode receber e enviar pacotes de rede) endereçáveis e permitindo a auto-configuração de nós. A escalabilidade do roteamento *multicast* é melhorada através da adição de um campo *scope* para endereço *multicast*. Um *multicast* consiste de um grupo de nós que compartilham um endereço IP chamado endereço *multicast*. Sua utilização permite que um pacote de rede seja enviado uma única vez a todos os componentes do grupo de nós, ao invés de enviar o mesmo pacote para cada componente do grupo;
- **Novo tipo de endereço:** foi definido um novo tipo de endereço, chamado *anycast*, que tem por função identificar conjuntos de nós onde um pacote enviado para um endereço *anycast* é entregue a um dos nós do conjunto. O uso de endereços *anycast* em fontes roteadoras IPv6 permite aos nós controlar o caminho pelo qual seu tráfego flui;
- **Simplificação do formato do cabeçalho (*header*):** alguns campos de cabeçalho do IPv4 foram sobrepostos ou tornaram-se opcionais, para reduzir o custo de processamento no tratamento de pacotes e para manter o custo de banda passante do cabeçalho IPv6 tão pequeno quanto possível, a despeito do aumento no tamanho do endereço. Mesmo sendo o tamanho do endereço do IPv6 quatro vezes maior que o do IPv4, o cabeçalho do IPv6 é apenas duas vezes maior que o do IPv4 (a figura 3-1 mostra o cabeçalho do IPv4) (Stevens, 1998);
- **Melhoria no suporte a opções:** mudanças na maneira como as opções do cabeçalho IP são codificadas permitem um envio mais eficiente, menos limites no tamanho das opções, e mais flexibilidade para introduzir novas opções no futuro;

- **Suporte à qualidade de serviço:** um novo suporte é adicionado para permitir a nomeação (*labeling*) de pacotes pertencentes a um *stream* de tráfego particular para o qual o emissor requisita tratamento especial, tal como uma qualidade de serviço não padrão ou serviço de tempo real;
- **Suporte à autenticação e à privacidade:** o IPv6 inclui definições de extensões, as quais fornecem suporte à autenticação, integridade dos dados e confidencialidade. Isto é incluído como um elemento básico do IPv6 e irá ser fornecido em todas as implementações. O protocolo IPv6 consiste de duas partes: o cabeçalho básico IPv6 (**Figura 3-2**) e os cabeçalhos de extensão IPv6.

Versão	Tamanho do Cabeçalho	Tipo de Serviço	Tamanho Total (em <i>bytes</i>)			
Identificação			0	DF	MF	Offset de Fragmentação
Tempo de Vida (TTL – <i>Time to Live</i>)		Protocolo	Checksum do Cabeçalho			
Endereço Fonte (32 <i>bits</i>)						
Endereço Destino (32 <i>bits</i>)						
Opções						
Dados						

Figura 3-1: Cabeçalho do Protocolo IPv4

Versão	Prioridade	Label do <i>Stream</i>	
Tamanho dos Dados	Próximo Cabeçalho	Limite de Saltos	
Endereço Fonte (128 <i>bits</i>)			
Endereço Destino (128 <i>bits</i>)			

Figura 3-2: Cabeçalho do Protocolo IPv6

3.2.3 – Representação do Endereço IPv6

O IPv6 apresenta uma nova notação de endereços, para evitar que estes se tornem demasiadamente longos. Assim, os endereços IPv6 são escritos como oito números hexadecimais separados por ":". Cada grupo representa 16 bits:

3FFE:3100:0000:0000:0000:0000:0000:1111

Devido à sua estrutura, os endereços IPv6 podem apresentar grande número de zeros. Assim, para simplificar a notação, utiliza-se o símbolo "::" para representar vários grupos de 16 *bits* de valor zero:

3FFE:3100::1111 equivale a **3FFE:3100:0000:0000:0000:0000:0000:1111**

3.2.4 – Endereçamento IPv6

Os endereços IPv6 são identificadores para interfaces individuais e conjuntos de interfaces. Os endereços IPv6 são atribuídos a interfaces, não a nós. Como cada interface pertence a um único nó, qualquer um destes endereços *unicast* de interfaces de nós pode ser usado como identificador para o nó. Uma única interface pode receber múltiplos tipos de endereços.

Há três tipos de endereços IPv6: o *unicast*, o *anycast* e o *multicast*. Não há endereços *broadcast* no IPv6, pois sua função foi suprida pelos endereços *multicast*. O endereço *unicast* identifica apenas uma interface. Um pacote destinado a um endereço *unicast* é enviado diretamente para a interface associada ao endereço. Esse tipo de endereçamento identifica uma única interface IPv6. Caso uma máquina contenha várias interfaces, cada uma delas conterá seu próprio endereço de 128 bits.

Um endereço *unicast* IPv6 pode ser visualizado como uma entidade com dois campos: um deles indica a rede e o outro uma interface na rede. O identificador de rede pode ser separado em partes diferentes, identificando unidades de rede diferentes. Uma visão destas duas partes, contendo o ID da interface e o prefixo da sub-rede, pode ser visualizada na **Figura 3-3**.

N Bits	128 - N bits
Prefixo da Subrede	ID da interface

Figura 3-3: Endereço Unicast IPv6

O endereço *anycast* identifica um grupo de interfaces de nós diferentes. Um pacote destinado a um endereço *anycast* é enviado para uma das interfaces identificadas pelo endereço.

Especificamente, o pacote é enviado para a interface mais próxima de acordo com a medida de distância do protocolo de roteamento. O formato de um endereço *anycast* pode ser visualizado na **Figura 3-4**.

N Bits	128 - N bits
Prefixo da Subrede	0000 ... 0000

Figura 3-4: Endereço Anycast IPv6

Um bom exemplo de utilização do endereço *anycast* seria em uma sequência de roteadores em um caminho. Diversos roteadores intermediários poderiam fazer parte de um grupo *anycast* e um pacote endereçado ao grupo alcançaria o roteador que proporcionasse o menor custo. Devido à pouca experiência na Internet com esse tipo de endereço, inicialmente seu uso será limitado, considerando os seguintes casos:

- Um endereço *anycast* não pode ser utilizado como endereço de origem (*source address*) de um pacote IPv6;
- Um endereço *anycast* não pode ser configurado num *host* IPv6, devendo ser associado a roteadores apenas.

Esse tipo de endereçamento será útil na busca mais rápida de um determinado servidor ou serviço. Por exemplo, pode-se definir um grupo de servidores de nomes configurados com um endereço *anycast*, e o *host* acessará o servidor de nomes mais próximo utilizando este endereço.

O endereço *multicast*, semelhante ao endereço *anycast*, identifica um grupo de interfaces, mas um pacote destinado a um endereço *multicast* é enviado para todas as interfaces do grupo. Os membros de um grupo são dinâmicos: estações podem entrar ou deixar grupos a qualquer momento, não havendo restrições quanto ao número de membros de um grupo, além de uma estação poder participar de mais de um grupo simultaneamente. Um grupo pode ser permanente (possui um endereço conhecido, fixo) ou transiente (criado quando necessário, e descartado posteriormente).

Existem várias razões pelas quais o IPv6 é apropriado à nova geração de protocolos Internet. Ele soluciona os problemas de escalabilidade da Internet, provê um mecanismo flexível para a

transição do atual protocolo para o IPv6, tendo sido projetado para atender às necessidades de novos mercados, como entretenimento em rede e controle de dispositivos. O Ipv6 faz isso de uma maneira evolucionária, o que reduz os riscos de problemas arquiteturais.

Facilidade de transição é um ponto-chave no projeto do IPv6. Mecanismos foram construídos no IPv6 para garantir a transição e a compatibilidade com o IPv4. O IPv6 suporta grandes endereços hierárquicos, os quais irão permitir que a Internet continue a crescer e forneça novas capacidades de roteamento.

A estrutura de endereços foi projetada para suportar o tratamento de endereços de outros tipos de protocolos. Espaços foram reservados para endereçamento IPX e NSAP, facilitando a migração desses protocolos para IPv6.

Além do suporte a serviços de tempo real e auto-configuração, conforme citado, o IPv6 também suporta mobilidade de nós, segurança ponto-a-ponto, seleção de provedor e auto-reconfiguração.

3.2.5 – Roteamento IPv6

Atualmente, as necessidades das organizações diferem muito em relação a alguns anos atrás. Possuem cada vez mais máquinas e necessitam de algum mecanismo para diminuir a quantidade de endereços IPv4, já que estes estão sob controle para não aumentar demasiadamente. Além disto, os roteadores da Internet estão com tabelas cada vez maiores. Uma rota para cada rede distinta deve ser listada em sua tabela.

O IPv6 não possui uma noção de classes, como ocorre no IPv4, e pode ser *rolled up* para propósitos de roteamento, reduzindo drasticamente o tamanho nas tabelas padrão dos roteadores. Um problema com essa arquitetura é que ela requer que redes sejam novamente numeradas sempre que uma organização mudar de provedor.

Porém, espera-se que o roteamento IPv6 não seja drasticamente diferente do roteamento IPv4. Em suma, espera-se uma melhora na eficiência e redução no tamanho de tabelas de roteamento. Assim, os algoritmos de roteamento necessitam de mudanças para prover melhor desempenho. A

maioria das mudanças para que os protocolos suportem IPv6 está relacionada a adaptações para manipular endereços IPv6 (muito maiores).

3.2.6 – Mudança do Protocolo IPv4 para IPv6

A infra-estrutura atual da Internet está baseada no protocolo IPv4, construída ao longo dos anos (Bradner, 1996). A transição para o novo protocolo IPv6, caso não seja bem administrada, pode ter seu desenvolvimento desestimulado devido ao seu custo e complexidade.

De qualquer forma, uma transição gradual precisa ser efetuada e, para que esta transição não seja traumática, alguns mecanismos estão disponíveis, permitindo flexibilidade para a mudança de IPv4 para IPv6. Essas estratégias evitam dependências entre os vários elementos de rede durante o processo de atualização, e um usuário não precisa esperar a atualização ou troca de alguns elementos de rede para atualizar seu *host* de trabalho. Se isto acontecesse, um atraso na transição ocorreria.

Os mecanismos de transição para o IPv6 incluem dois elementos principais, que trabalham independentemente:

- Camadas dual-IP em *hosts* e roteadores: Servidores de nome e roteadores proverão suporte ao IPv4 e ao IPv6 durante todo o processo de transição, permitindo que nós atualizados interoperem com nós IPv4 e IPv6 usando seus protocolos nativos;
- Túnelamento IPv6 sobre IPv4: *Hosts* (e opcionalmente roteadores) podem tunelar² tráfego IPv6 através de topologias de roteamento IPv4 por encapsulamento. Esta capacidade permite a existência de sistemas IPv4 já instalados e o início imediato da operação de sistemas utilizando IPv6.

Com esses dois mecanismos, *designers* de rede têm a liberdade de decidir qual deles abordar primeiramente. Alguns *sites* atualizarão *hosts* que, inicialmente, tunelarão através da estrutura de roteamento IPv4. Outros atualizarão alguns ou todos os roteadores para camadas dual-IP.

² O processo de tunelamento consiste em configurar dois conjuntos de máquinas com um protocolo e ligar os dois conjuntos com uma rede que opere com outro protocolo.

3.2.7. Utilização do IPv6

O sistema operacional Linux possui suporte ao protocolo IPv6. As versões do *Red Hat 6.2* e *Slackware 7.0*, com *kernel 2.2.x* ou superior, possuem aplicações de redes que suportam o novo protocolo, como por exemplo, o *ifconfig*, *telnet*, dentre outras. Em versões do Linux em que as aplicações não suportam o IPv6 nativamente, encontra-se na Internet para *download* um *kit* chamado "*net-kit*", além de outros aplicativos adicionais, desenvolvidos por Peter Bieringer, precursor do IPv6 no Linux (Bieringer, 2000).

Para que as interfaces de rede possam ser configuradas com endereços IPv6, uma recompilação do *kernel* é necessária, habilitando-se o protocolo nas opções de rede. Uma vez habilitado o protocolo, as configurações das interfaces e das rotas podem ser feitas usando-se comandos específicos de configuração de interface e de rotas. Um exemplo, usado na configuração das máquinas utilizadas no ambiente de desenvolvimento deste trabalho, foi o comando "*ifconfig eth0 fec0:0:0:1::1/64*", que criou uma entrada no arquivo de roteamento para o prefixo de rede "*fec0:0:0:1::*" através da interface *ethernet* (*eth0*) e configurou o endereço da interface para "*fec0:0:0:1:1*". O roteamento para os endereços *multicasting* (iniciados com "*ff*") e a configuração de um endereço com escopo de *link* nas interfaces de rede são feitos automaticamente na inicialização do sistema, após o *kernel* ter sido recompilado.

O sistema operacional Windows possui um pacote especial desenvolvido pela MSIPv6 (*Microsoft Research IPv6* - uma equipe de pesquisa da *Microsoft*), disponível gratuitamente no *site* desta equipe (MSR, 2000).

3.3 – Multicasting

Os protocolos de rede mais utilizados (como os Protocolos de Transporte ISO, TCP ou UDP) proporcionam serviços de transmissão *unicast*. Assim, um nó da rede somente tem a habilidade de enviar dados para um outro nó ao mesmo tempo (Kosicur, 2000), como é mostrado na **Figura 3-5**.

Todas as transmissões com um serviço *unicast* são unicamente ponto-a-ponto. Se um nó precisa enviar a mesma informação para muitos destinos, utilizando um serviço de transporte *unicast*, necessita de um serviço de replicação.

Figura 3-5: Serviço *Unicast* Básico

Multicasting pode ser facilmente definido como a habilidade de enviar uma mensagem para um ou mais nós em uma operação simples. Isto é diferente de utilizar uma réplica *unicast* que envia mensagens de um nó para um grupo de nós, individualmente. Isto pode ocasionar uma operação para cada nó destino, não sendo uma operação atômica. A **Figura 3-6** mostra o serviço de transporte *multicasting*.

Figura 3-6: Serviço de Transporte *Multicasting*

Multicasting permite que um datagrama IP seja transmitido para um conjunto de máquinas que formam um grupo de difusão seletiva, identificado por um endereço IP único. Esses grupos são formados por um conjunto de máquinas, e essas máquinas podem estar espalhadas ao longo de redes físicas distintas. A entrega de um datagrama *multicast* é realizada com as mesmas características de confiabilidade dos datagramas regulares IP, o que significa que não há garantia contra perda, retardo, duplicação ou entrega fora de ordem para nenhum dos membros do grupo (Comer, 1995).

Um grupo pode ser permanente (possui um endereço conhecido, fixo) ou transiente (criado quando necessário, e descartado quando o número de membros atinge zero ou seu tempo de vida termina). *Multicasting* pode ser utilizado em uma rede física simples ou através da Internet.

3.3.1 – Multicasting em IPv4

Uma das características de endereçamento IP é o multicasting, no qual ocorre a transmissão de datagramas IP desde uma fonte para múltiplos destinatários de uma rede IP. Das cinco classes de endereçamento IP, a classe D é utilizada para o IP *Multicasting*.

Para efetuar *multicasting* em IPv4, é necessário hardware específico, onde *hosts* e roteadores reservam um largo conjunto de endereços para uso de *multicast*. Quando um grupo de máquinas quer se comunicar, escolhe um endereço *multicast* particular para a comunicação; depois é configurado o hardware-interface da rede para reconhecer os endereços *multicast* selecionados, e assim todas as máquinas do grupo deverão receber uma cópia de cada pacote enviado aquele endereço de *multicast*. A **Figura 3-7** ilustra o formato do endereço *multicast* no protocolo IPv4.

Figura 3-7: Endereço Multicast IPv4 (Classe D)

A representação dos endereços da classe D varia de 224.0.0.0 até 239.255.255.255, sendo o endereço 224.0.0.0 reservado e o endereço 224.0.0.1 é permanentemente associado a todos os *hosts* do grupo de uma rede local, incluído também roteadores participantes no IP *multicast*. Os 28 *bits* de ordem mais baixa formam o identificador (ID) de grupo *multicast*. Quando esse endereço é mapeado para endereços *Ethernet* (Deering, 1995), apenas os 23 bits de ordem mais baixa são utilizados. A Figura 3-8 ilustra este mapeamento.

Figura 3-8: Mapeamento do IPv4 Multicast em Ethernet Multicast

Dentro de uma rede IP pode-se ter dois tipos de usuários com características *multicasting*:

- O primeiro tipo refere-se a usuários que pertencem a um tipo definido pelo administrador da rede e, devido às características comuns desses usuários, o grupo *multicasting* sempre existe e tem um único endereço classe D (esse grupo é também conhecido como os "*well-known*");
- O segundo tipo de usuários refere-se a entidades que formam grupos de interesse por tempo limitado, sendo que a alocação ou desativação de um grupo *multicasting* é dinâmica (estes são denominados "*transient multicast groups*").

Além do hardware específico para *multicasting*, os roteadores e *hosts* deverão usar o protocolo IGMP (*Internet Group Management Protocol*) para se comunicarem (Johnson, 1997a). O IGMP funciona como uma camada adicional sobre o IPv4, como é mostrado na **Figura 3-9**.

Figura 3-9: Protocolo IGMP em IPv4

Para realizar um *multicasting*, o usuário precisa ajustar a interface de rede de seu computador para escutar um endereço de IP particular para o *multicast*. O computador que origina o *multicast* não precisa saber quem irá receber seus pacotes. A distribuição de pacotes através de *multicasting* requer os seguintes mecanismos:

- Os clientes precisam ter um modo de saber quando um *multicast* de interesse está disponível;
- Os clientes precisam ter um modo de sinalizar que querem receber o *multicast*;

-
- A rede precisa ter um modo eficiente para rotear de maneira eficaz dados para os clientes que precisam recebê-los.

Os *multicasts* são anunciados com antecedência, de forma que os clientes sabem quando um *multicast* estará disponível. Para sinalizar que um *multicast* quer ser recebido, os clientes se unem ao grupo ao qual o *multicast* é dirigido. O Protocolo IGMP executa esta tarefa.

Os grupos de *multicast* provêm várias vantagens: os clientes podem se unir (*join*) ao grupo ou deixá-lo (*leave*) a qualquer momento. Nenhum esquema mais elaborado é exigido para criar ou licenciar um grupo. Quando um grupo não tem membros, ele deixa de existir na rede. Os grupos podem também crescer facilmente, pois quanto mais clientes se unem a um *multicast*, se torna mais provável que o *multicast* seja roteado nas proximidades destes clientes.

Quando um cliente se une a um grupo, dois processos são iniciados: primeiro, uma mensagem IGMP é enviada ao roteador local do cliente para informar esse roteador que o cliente quer receber dados enviado ao grupo; segundo, o cliente fixa seu IP e ajusta sua interface de rede para receber o *multicast* no endereço do grupo e a porta. Endereços IP classe D de *multicast* são enviados, variando de 224.0.0.0 a 239.255.255.255.

Sempre que um roteador *multicast* recebe um pacote *multicast*, ele verifica a identificação do grupo da mensagem e envia o pacote somente se houver um membro daquele grupo na rede conectada a ele. O IGMP provê a informação requerida na última fase de envio de uma mensagem *multicast* a seus destinos. Porém, para enviar um pacote *multicast* da fonte para os nós de destino das outras redes, roteadores *multicast* precisam trocar a informação sobre os grupos de membros dos *hosts* diretamente conectados a eles. Há muitos algoritmos diferentes para trocar informações de roteamento entre os roteadores, tais como "*flood*", "*spanning trees*", "*reverse path broadcasting*", e "*reverse path multicasting*" (Fenner, 2000) (Johnson, 1997b).

Baseado nas informações do roteador, obtidas por um destes protocolos, sempre que um pacote *multicast* é enviado para um grupo de *multicast*, os roteadores *multicast* decidirão entre enviar aquele pacote para sua rede ou não. Finalmente, o roteador analisará se existe qualquer membro daquele grupo em suas redes fisicamente fixas, com base nas informações do IGMP, e decidirá enviar o pacote ou não.

A classe D do IP mapeia automaticamente para os endereços IEEE-802 *ethernet multicast*, o que simplifica a implementação de *multicasting* de IP na Ethernet. Quando um cliente deixa um grupo, e se este for o único que estiver recebendo o *multicast* naquela sub-rede particular, o roteador deixa de enviar dados à sub-rede do cliente, liberando largura de banda naquela porção da rede.

3.3.2 – Mbone (*Multicasting Backbone*)

Mbone ou *Multicast Backbone* é uma rede virtual dentro da camada física da Internet, que possibilita uma estratégia de tráfego multimídia. Atualmente, o Mbone está em crescimento exponencial, devido às vantagens obtidas com o uso de transmissões por *multicasting*, tais como racionalização quanto à utilização dos recursos envolvidos, seja largura de banda, seja tempo de processamento gasto no encaminhamento de pacotes.

O Mbone é uma rede virtual rodando sobre a Internet, composta de sub-redes que suportam *multicast*, denominadas ilhas, conectadas umas às outras através de enlaces ponto-a-ponto virtuais (Tanenbaum, 1996a). Cada uma das ilhas é composta por uma ou mais redes locais conectando um número de nós clientes e por um nó *mrouter*, que é um roteador *multicast*.

As ilhas suportam IP *multicast* e são unidas por um *link* virtual ponto-a-ponto, chamado túnel (Erikson, 1994). Os pacotes *multicast* são encapsulados para transmissão através de túneis, aparentando serem iguais a um pacote *unicast* para roteadores e sub-redes. No final do túnel, estão máquinas com razoável poder de processamento, com um sistema operacional suportando o IP *multicast* e rodando um *daemon multicast routing* ou “*mrouter*”. Os roteadores *multicast* replicam os pacotes para saídas de múltiplas interfaces e túneis, assim como toda a extensão da árvore de distribuição *multicast*. A **Figura 3-10** ilustra as ilhas e túneis *multicast*.

Em princípio, o Mbone utilizava um algoritmo de roteamento chamado DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*), baseado no algoritmo do vetor de distância Bellman-Ford (Tanenbaum, 1996a). No entanto, é descrita a seguir a forma com que o *multicasting* realmente ocorre.

Para fazer o *multicast* de um programa de áudio ou vídeo, um *host* deve adquirir um endereço de *multicast* de classe D, que funciona como uma frequência de rádio ou um número de canal. Cada

mrouter envia, em intervalos regulares, um pacote de difusão IGMP limitado à sua ilha, perguntando sobre “quem” está interessado em qual canal. Os *hosts* que desejarem (continuar a) receber um ou mais canais, retornarão um outro pacote IGMP como resposta. Essas respostas serão alternadas para evitar a sobrecarga da LAN. Cada *mrouter* mantém uma tabela de quais canais devem incluir em sua LAN, para evitar o desperdício de largura de banda, causado pelo *multicast* de canais que “ninguém” quer.

Figura 3-10: Ilhas e Túneis Multicast

O *multicast* se propaga pelo Mbone da seguinte maneira: quando uma fonte de áudio ou de vídeo gera um novo pacote, ela o envia por *multicast* utilizando o recurso de *multicast* do *hardware*. Esse pacote é recebido pelo *mrouter* local, que envia cópias por todos os túneis a que estiver conectado. Cada *mrouter* que receber o pacote, verifica se ele veio pela melhor rota, onde entende-se por melhor como sendo a rota indicada por sua tabela para chegar até a origem. Se o pacote vier pela melhor rota, o *mrouter* enviará cópias suas por todos os outros túneis. Se tiver chegado por uma rota não ideal, o pacote será descartado.

3.3.3 – Multicasting em IPv6

As funcionalidades de *multicasting* foram formalmente incorporadas ao IPv4 em 1988, com a definição dos endereços classe D e do IGMP, e ganhou força com o advento do Mbone, mas seu uso ainda não é universal. Essas funcionalidades foram automaticamente incorporadas ao IPv6. Isso significa que não será mais necessário implementar túneis Mbone, pois todos os *hosts* e roteadores IPv6 deverão suportar *multicasting*. No IPv6, o endereço possui um formato rígido, mostrado na **Figura 3-11** (Bradner, 1996).

Figura 3-11: Endereço Multicast IPv6

O mapeamento dos endereços IPv6 *multicast* em endereços Ethernet *multicast* se dá de acordo com o RFC 1972 "*A Method for the Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks*" (Crawford, 1996), e é ilustrado na **Figura 3-12**.

Figura 3-12 Mapeamento do IPv6 Multicast em Ethernet Multicast

Um endereço *unicast* no IPv6 é diferenciado de endereços *multicast* através do valor do octeto de mais alta ordem dos endereços. O valor "11" identifica um endereço como um endereço *multicast* (RFC, 1999).

O campo "Flags" possui informação sobre o grupo, que pode ser transiente (1) ou fixo (0). "Escopo" é um campo de 4 bits usado para limitar o escopo do grupo *multicast* - se ele pode incluir somente nós da mesma rede local, mesmo *site*, mesma organização, dentre outros. Este campo pode adquirir os valores 1 (*node-local scope*), 2 (*link-local scope*), 5 (*site-local scope*) e 8 (*organization-local scope*). O restante dos valores é *unassigned*. O campo ID identifica o grupo *multicast*, ou permanente ou transiente, dentro do escopo. A seguir serão ilustrados alguns endereços IPv6 *multicasting* e seus significados, de acordo com campo "Escopo". Supondo que "101" seja o ID de um grupo de servidores associados com endereços permanentes, tem-se, por exemplo:

- FF01:0:0:0:0:0:0:101 indica todos os servidores no mesmo nó do emissor;
- FF02:0:0:0:0:0:0:101 indica todos servidores no mesmo *link* do emissor;
- FF05:0:0:0:0:0:0:101 indica todos servidores no mesmo *site* do emissor;

-
- FF0E:0:0:0:0:0:101 indica todos servidores na Internet.

Endereços *multicast* não associados permanentemente são importantes apenas dentro de um certo escopo e todos endereços *multicast* não podem ser usados como endereços de origem em pacotes IPv6 ou aparecerem em algum *header* de roteamento. Existem alguns endereços *multicast* pré-definidos:

- Reservados: FF0X:0:0:0:0:0:0, onde X varia de 0 a F;
- Todos os nós: FF0X:0:0:0:0:0:1, onde X varia de 1 a 2;
- Todos os roteadores: FF0X:0:0:0:0:0:2, onde X pode ser 1, 2 ou 5;
- Endereço de nó solicitado: FF02:0:0:0:0:1:FFXX:XXXX, computado em função dos endereços *unicast* e *anycast* do nó que está sendo solicitado. O endereço *multicast* do nó solicitado é formado tomando-se os 24 bits de ordem mais baixa do endereço e incluindo estes bits no prefixo FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104, resultando em um endereço *multicast* na faixa de FF02:0:0:0:0:1:FF00:0000 a FF02:0:0:0:0:1:FFFF:FFFF.

A atual abordagem para mapear endereços IPv6 *multicast* em endereços IEEE 802 MAC toma os 32 bits de mais baixa ordem dos endereços *multicast* IPv6 e os utiliza para criar um endereço MAC (*Media Access Control*) único.

3.4 - Protocolo RTP (*Real-Time Transport Protocol*)

Para efetuar transmissões de vídeo em tempo real, como uma videoconferência, sobre a Internet ou uma Intranet, existe a necessidade de receber e transmitir *streams* de vídeo e áudio em tempo real. A seguir, será detalhado o RTP (*Real-Time Transport Protocol*), o protocolo de transporte utilizado para receber e transmitir *streams* de áudio e vídeo através de redes.

3.4.1 – *Mídia Streaming*

Quando uma mídia é transmitida para um cliente em tempo real o cliente pode começar a reproduzir a mídia sem ter recebido todos os dados que a compõem. Entretanto, muitas vezes, um cliente não pode reproduzir os dados que está recebendo, antes de receber todo o conjunto (isso pode variar de acordo com o tipo da mídia, se existe compactação ou não, por exemplo). O

termo *Mídia Streaming* é utilizado para se referir às técnicas de distribuição de mídia sobre a rede em tempo real, e em tempo de geração da mídia que está sendo distribuída.

Aplicações de *Mídia Streaming* podem ser vistas nas rádios e transmissões de televisão via Web, e através delas é possível conduzir conferências com áudio e vídeo através da Internet. Por possibilitar distribuição dinâmica de mídias interativas, *Mídia Streaming* vem mudando o modo como as pessoas se comunicam e acessam informações, tanto na Internet como em *intranets*.

3.4.2 - Protocolos para Mídia Streaming

Transmitir dados multimídia através de redes em tempo real requer alta largura de banda. Isso facilita a compensação de perda de dados, causada por grandes atrasos no recebimentos de dados. Transmissões em tempo real são muito diferentes de transmissões de dados estáticos, onde o mais importante é que todos os pacotes de dados possam chegar no seu destino, garantindo a integridade dos dados. Consequentemente, protocolos utilizados para transmitir dados estáticos não trabalham com a distribuição de *Mídia Streaming*.

Os protocolos HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) e FTP (*File Transfer Protocol*) são baseados no TCP (*Transmission Control Protocol*), que é um protocolo da camada de transporte, projetado para realizar comunicações com baixa largura de banda em redes com altas taxas de erro na comunicação. Quando um pacote é perdido ou corrompido, ele é retransmitido, o que pode causar demora em uma comunicação. Por esta razão, outros protocolos, abaixo da camada do TCP, são utilizados para *Mídia Streaming*, sendo um deles, o UDP. O UDP é um protocolo não-confiável, que não garante que cada pacote chegue onde foi enviado, nem tampouco que cheguem ordenados. O receptor não é capaz de compensar perda de dados, pacotes duplicados e pacotes fora de ordem.

Como o TCP, o UDP é um protocolo da camada de transporte de baixo nível, utilizado para servir como base para implementação de outros protocolos mais complexos que podem agregar funcionalidades. O protocolo padrão de transporte em tempo real da Internet, utilizado para transmissão de áudio e vídeo, é o RTP. O RTP é definido no IETF RFC 1889, um produto do IETF (*Internet Engineering Task Force*).

3.4.3 – Serviços RTP

O RTP possibilita a distribuição ponto-a-ponto de serviços de transmissão de dados em tempo real, sendo um protocolo de transporte independente, utilizado sobre o protocolo UDP. A

Figura 3-13 ilustra a arquitetura do protocolo.

Figura 3-13: Arquitetura RTP

O RTP pode ser utilizado para transmissões *unicast* e *multicast*. Sobre um serviço de transmissão *unicast*, cópias separadas de dados são enviados da fonte para o destino, enquanto na transmissão *multicast* apenas uma cópia dos dados é transmitida, ficando a rede responsável pela transmissão dos dados para diversos locais. A técnica de *multicasting* é mais eficiente para aplicações multimídia, como videoconferências. O protocolo padrão da Internet (IP) suporta *multicasting*.

O RTP permite identificar o tipo de dado que estiver sendo transmitido, determinar em que ordem os pacotes de dados chegam ao seu destino e a sincronização de *streams* de diferentes fontes. Pacotes de dados RTP não têm garantia de chegar na ordem em que foram enviados, e nem de que chegarão ao seu destino. O receptor é que fica responsável pela sua ordenação e pela detecção de perda, utilizando as informações contidas no cabeçalho do pacote.

Apesar do RTP não proporcionar qualquer mecanismo para determinar o tempo de distribuição ou prover a garantia da qualidade de serviço, ele possui um protocolo de controle (RTCP) que permite a monitoração da qualidade da distribuição dos dados. Além disso, o RTCP provê controle e mecanismos de identificação para transmissões baseadas no RTP. Se a qualidade de serviço é essencial para uma aplicação em particular, o RTP pode ser usado sobre um protocolo de reserva de recursos para prover serviços orientados à conexão.

3.5 – Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as principais características que diferem o protocolo IPv6 do protocolo IPv4, detalhamento da arquitetura e tipos de endereços do IPv6. Além do funcionamento, algumas informações foram apresentadas para configuração dos sistemas operacionais Linux e Windows.

O uso de *multicasting* é uma forma para economizar largura de banda das redes e também recursos de nós que estejam transmitindo dados. As inovações tecnológicas em relação ao *multicasting* estão sendo incorporadas aos novos protocolos que vêm surgindo, como o IPv6, que incorporou algumas técnicas do IPv4 e do Mbone.

O RTP é um protocolo utilizado para transmissão de dados multimídia, implementado sobre outros protocolos de transporte de níveis mais baixos, possuindo características diferenciadas em relação aos protocolos que foram projetados para transmitir dados de maneira confiável, onde não é aceita a perda de pacotes.

No próximo capítulo, as principais tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho serão detalhadas.

Tecnologias Utilizadas

4.1 – Considerações Iniciais

Este capítulo tem por objetivo apresentar as tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, é apresentada a linguagem Java, que surgiu como uma tecnologia base para o desenvolvimento dos mais variados tipos de aplicações, devido ao seu vasto conjunto de recursos, por ser orientada a objetos e multiplataforma. Alguns pacotes e APIs (*Application Programming Interface*) podem trazer soluções simples para os desenvolvedores, como a API JMF (*Java Media Framework*), uma interface para manipulação de áudio e vídeo e a ferramenta JIPSY (*J. IP. IPv6. Sock. ready*), que é um *kit* que permite a manipulação de *sockets* com endereços IPv6 em Linux.

4.2 – Linguagem Java

A linguagem de programação Java foi desenvolvida pela *Sun Microsystems*, no início da década de 90, tendo como objetivo principal o uso de uma linguagem de programação que permitisse a integração total de sistemas de computação com equipamentos eletrodomésticos. Sua sintaxe é derivada da sintaxe da linguagem C++, sendo também orientada a objetos, e como foi feita para ser executada sobre os mais variados sistemas, também é multiplataforma. Tal funcionalidade é possível através do processo de compilação que gera, a partir de um código-fonte, um código intermediário chamado *bytecode*, que é interpretado em qualquer plataforma com suporte à Java.

De modo geral, as principais características da linguagem Java são (Cornell & Horstman, 1997):

- Presença de recursos *multithreaded* que permitem a implementação de aplicações multitarefa;

- Através das bibliotecas AWT (*Abstract Window Toolkit*) e *Swing*, a linguagem apresenta um vasto conjunto de componentes para a implementação de Interfaces Gráficas com o Usuário (GUI - *Graphic User's Interface*);
- Devido à sua natureza gráfica, a linguagem inclui recursos para manipulação de elementos gráficos independentemente do dispositivo gráfico e da plataforma operacional;
- possibilidade de inclusão de bibliotecas de propósito específico;
- presença de recursos para processamento e análise de imagens.

Quando se escreve um programa em Java, esse programa recebe a extensão ".java" para identificar o código-fonte. Os compiladores Java (com ambiente de desenvolvimento ou não), possuem uma MV Java (Máquina Virtual Java) que funciona como um sistema operacional neutro. O código-fonte passa por um compilador que é responsável pela compilação do código-fonte, gerando um arquivo com a extensão ".class", que é o programa-objeto gerado para esse sistema operacional neutro. O processo de compilação e execução é apresentado na **Figura 4-1**.

Figura 4-1: Esquema de Compilação e Execução de Programas Java

De posse do programa-objeto, pode-se efetuar sua execução em qualquer sistema operacional real que aceite a máquina virtual Java, tais como Windows 95, MacOS, UNIX SunOS, Linux, OS/2 Warp, dentre outros. A MV Java para execução de uma aplicação *stand-alone* é dependente do sistema operacional, enquanto que, para a execução de um *applet*, a MV Java é dependente do navegador (*browser*).

4.2.1 - Aplicações *Multithreading*

No princípio da computação paralela, os termos “concorrência” e “multitarefa” possuíam conceitos completamente distintos e eram aplicados a situações também distintas. Com a evolução do hardware e das técnicas de programação, estes termos passaram a ser complementares (Tanenbaum, 1996b).

Entende-se por programação concorrente a implementação de técnicas que permitem a dois ou mais processos a concorrência a algum recurso comum. Nesse contexto, deve-se observar que a implementação de processos concorrentes exige, dentre outros fatores, a verificação de disponibilidade do recurso comum antes de utilizá-lo. Por outro lado, entende-se por multitarefa a implementação de técnicas que permitem a execução simultânea de dois ou mais processos.

Complementando, deve-se ressaltar que técnicas de concorrência estão presentes na maioria das implementações de multitarefa, uma vez que a execução simultânea de processos pode gerar situações de concorrência (Tanenbaum, 1996b).

A programação *multithreading* estende a ideia de multitarefa, fazendo com que dentro de um mesmo processo existam várias tarefas sendo executadas ao mesmo tempo, onde cada unidade computacional é denominada *thread*. Quando um programa possui mais de uma unidade computacional é denominado *multithreaded*, o que, em muitos casos, pode aumentar a eficiência computacional (desempenho). De um modo geral, o uso de *threads* requer o conhecimento dos estados de execução de subprocessos. Uma *thread*, quando devidamente utilizada, passa pelos seguintes estados (Tanenbaum, 1996b):

- **Instanciamento (*bound*):** uma *thread* é definida em relação a uma classe de objetos ou outro paradigma de programação;
- **Criação (*fork*):** uma *thread* instanciada é criada como um sub-processo que será executado simultaneamente a outros;
- **Partida (*start*):** uma *thread* criada é colocada em estado de “pronta para execução”;
- **Execução (*run*):** uma *thread* entra no estado de execução e ganha um processador;
- **Suspensão (*suspend*):** uma *thread* é suspensa (pausa) por um determinado intervalo de tempo;

- **Destruição (*stop/destroy*):** uma *thread* é “morta” e o processador ocupado é, então, liberado.

A linguagem Java possui uma classe de objetos, denominada **Thread**, que contém métodos implementados para suportar todos os estados de execução de uma *thread*, bem como estratégias para permitir o controle eficiente dos processos de sincronização e temporização (Morrison et al., 1998).

4.2.2 - Aplicações Baseadas em Comunicação Via Sockets

O modelo de comunicação cliente-servidor, modelo arquitetural da Internet, permite a troca de informações através de uma conexão entre as aplicações. Existem várias maneiras de se estabelecer uma conexão entre dois pontos, sendo que uma delas é a comunicação via *sockets*. O processo para o estabelecimento de uma conexão via *sockets* inicia-se quando um cliente envia um pedido ao servidor indicando a porta (endereço lógico) para a conexão. No servidor, um módulo de software está em execução (*listening*) e recebe o pedido do cliente; esse módulo sai do estado de escuta em que permanecia, estabelece a conexão e passa ao estado de comunicação com o cliente, no qual o servidor envia os resultados processados em relação ao pedido do cliente. O canal estabelecido pelo *socket* permanece ativo até que uma das partes - cliente ou servidor - encerre a comunicação. A **Figura 4-2** (Stevens, 1998) ilustra o esquema básico de funcionamento da comunicação cliente-servidor via *sockets*.

Figura 4-2: Esquema da Comunicação Cliente/Servidor via sockets

A linguagem Java oferece os recursos necessários para o estabelecimento de conexões baseadas em *sockets* entre clientes e servidores (Jamsa et al., 1997), que ocultam as complexidades do estabelecimento de uma conexão com a rede e o envio de dados por meio da mesma.

4.3 – JIPSY

Na escolha da linguagem para ser realizada a implementação deste trabalho, um fator decisivo foi o suporte da para o protocolo IPv6, e mesmo a versão mais recente dos compiladores Java não possuíam, até então, esse suporte. Após realizar uma pesquisa na *Web*, foi encontrado o pacote *Jipry*, que substitui a biblioteca padrão de *sockets* da linguagem Java (*java.net*) para transmissão, utilizando IPv6.

Esse pacote, desenvolvido por Matthew Flanagan, da Universidade de Tecnologia de Sidney (Flanagan, 2000), permite que um código que funcione diretamente com *sockets* IPv4 possa ser recompilado utilizando Jipsy para operar com IPv6, sendo que a única diferença no código é o formato dos endereços de cada protocolo.

4.4 – API JMF (Java Media Framework)

A API *Java Media Framework* (JMF), consiste de interfaces que definem o comportamento e a interação de objetos usados para capturar e apresentar as mídias baseadas em tempo (Sun, 1999). Verificando as possibilidades dessa API, constatou-se que ela poderia ser utilizada para criar a aplicação cliente/servidor, mas somente para máquinas com o sistema operacional Windows. Até a última versão da API para o sistema operacional Linux (2.1.1. beta, portada para Linux pelo grupo Blackdown), apenas alguns tipos específicos de compactação eram aceitos (MPEG2, H261 e H263), mas com um desempenho muito baixo. Além disso, mesmo com a versão da API para Windows, não seria possível realizar transmissões com o protocolo IPv6.

Apesar dos problemas, a API JMF ainda teve um papel importante no desenvolvimento da aplicação, pois o suporte às camadas superiores da arquitetura JMF, mostradas na **Figura 4-3**, está disponível tanto na versão Windows quanto Linux, e permite manipulação do tipo de vídeo a ser trabalhado, assim como manipulação de quadros individuais.

Figura 4-3: Arquitetura JMF

Um dos elementos básicos da API JMF são os objetos intermediários, denominados *managers*. Através deles, JMF torna menos complexa a integração de novas implementações de chaves de interfaces que podem ser utilizadas em conjunto com classes existentes na linguagem. JMF utiliza quatro tipos de *managers*:

- **Manager:** permite a construção de *Players*, *Processors*, *Data Sources* e *Data Sinks*.
- **PackageManager:** mantém o registro de pacotes de classes.
- **CaptureDeviceManager:** mantém o registro dos dispositivos de captura.
- **PlugInManager:** mantém o registro de *plug-in* de componentes de processamento.

Para a aquisição de quadros individuais, apenas o primeiro nível foi utilizado (*Manager*). A partir de uma fonte de dados (*Data Source*) cria-se um processador (*Processor*), que pode ser configurado para realizar processamentos diversos sobre o arquivo de vídeo (a fonte de dados ou *Data Source*). Os estados do processador são mostrados na **Figura 4-4**.

Figura 4-4: Estados de um Processador JMF

Os passos para realizar a aquisição de quadros individuais são mostrados a seguir:

1. Cria-se um *Data.Source* (o arquivo do vídeo a ser processado).
2. Cria-se um *Processor* (baseado no *Data.Source*).
3. Coloca-se o *Processor* no estado **Configurado**.
4. Obtém-se o controle das *tracks* do vídeo.
5. Determina-se qual tipo de vídeo será utilizado.
6. Coloca-se o *Processor* no estado **Realizado**.
7. Obtém-se o controle de quadro *grabber*.
8. Obtém-se o controle sobre quadros individuais.
9. Coloca-se o *Processor* no estado **Prefetching**.
10. Realiza-se qualquer operação desejada com os quadros do vídeo.

4.5 – Considerações Finais

Com o advento da Internet, diversas tecnologias de software surgiram, muitas gratuitas e com código aberto. Esse trabalho utilizou principalmente este tipo de tecnologia, como o sistema operacional Linux, a linguagem Java e seus pacotes (como o *Jipss*) e APIs (como a JMF), possibilitando que os resultados desse trabalho possam ser reproduzidos e utilizados com um custo mínimo.

No próximo capítulo, será mostrado o ambiente de testes, as implementações efetuadas e os resultados obtidos.

Ambiente de Testes e Resultados

5.1 – Considerações Iniciais

Para realizar estudos de transmissão *multicasting* com compactação de vídeo e suporte IPv6, necessitávamos de uma aplicação com essas características ou alguma aplicação com código aberto para que se pudesse ser adequá-la às necessidades. Infelizmente não foi encontrada nenhuma aplicação que atendesse aos requisitos, sendo necessário a implementação de uma nova aplicação. Pelos motivos apresentados no **Capítulo 4**, a tecnologia Java foi escolhida juntamente com a API JMI¹ e o pacote Jipsy.

Inicialmente, foi implementada uma aplicação cliente/servidor para transmissão de vídeo com base nos processadores da API JMI¹, que utilizava o protocolo RTP, e codificadores e decodificadores de vários padrões de compressão de vídeo (JPEG, MPEG2, H261) da própria API. Infelizmente, a implementação dos *sockets* não permitiu a utilização do pacote *Jipgy*, que possibilitaria o uso do protocolo IPv6. Assim, foi necessário o desenvolvimento de outra aplicação que tivesse suporte a esse protocolo, sendo toda a problemática de transmissões *multicast* com pacotes UDP, processamento para fragmentação dos quadros e envio e recebimento de pacotes, adicionada à implementação.

Após a implementação estar apta a transmitir quadros descomprimidos, foi realizado um estudo para efetuar a transmissão de quadros comprimidos, sendo avaliados os padrões JPEG e um outro método, proposto neste trabalho e descrito em detalhes no tópico **5.5.4– Compactação Daub4-LZW**, que utiliza as transformadas Wavelets Daubbechies 4 e a codificação LZW.

5.2 – Ambiente de Testes

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a problemática da transmissão de vídeo utilizando *multicasting*, com compactação intraquadros. Para que os testes de transmissão de vídeo pudessem ser efetuados, um ambiente de testes foi configurado utilizando-se 3 (três) PCs (*Personal Computers*), denominados *Whitehorse* (servidor), *Jamel* (cliente), e *Campari* (cliente) e um *hub* 10/100 Mbps da 3Com. A **Figura 5-1** ilustra este ambiente.

Figura 5-1: Esquema do Ambiente de Desenvolvimento

A máquina servidora (*Whitehorse*) foi configurada com 2 (dois) sistemas operacionais, o Windows NT 4.0 e Linux Red Hat 6.2 e as outras duas, apenas com o sistema operacional Linux (com a mesma versão), tendo seu *kernel* recompilado para habilitar o protocolo IPv6.

A configuração da máquina servidora *Whitehorse* encontra-se descrita a seguir:

Hardware:

- 2 microprocessadores PII 350 MHz;
- 256 MB de memória RAM;
- 2 discos SCSI QUANTUM de 8 GB, com 2 partições de 4 GB cada um;
- Placa Fast Ethernet Genius GF100TXR II 10/100Mbps, chipset Realtek 8139;
- Placa ATM Fore PCA200E 155Mbps.

Sistemas Operacionais:

- Windows NT 4.0;
- Linux Red Hat 6.2 (com kernel 2.4.0-teste11).

Configurações de Rede (Interface *Fast Ethernet*):

- IPv4: 143.107.231.195, Mask: 255.255.255.224;
- IPv6: fec0:0:0:1::10/64.

A máquina cliente *Jamel* foi configurada da seguinte maneira:

Hardware:

- 1 microprocessador Pentium PRO-S 200 MHz;
- 96 MB de memória RAM;
- 1 disco IDE QUANTUM SIROCCO1700A de 1.6 GB;
- 1 disco IDE NEC DSE1700A de 1.4 GB;
- Placa Fast Ethernet Genius GF100TXRII 10/100Mbps;
- Placa ATM Fore PCA200E 155Mbps.

Sistema Operacional:

- Linux Red Hat 6.2 (com kernel 2.4.0-teste11).

Configurações de Rede (Interface *Ethernet*):

- IPv4: 143.107.231.196, Mask: 255.255.255.224;
- IPv6: fec0:0:0:1::11/64

A máquina cliente *Campari* foi configurada do seguinte modo:

Hardware:

- 1 microprocessador Pentium 166 MHz;
- 64 MB de memória RAM;
- 1 disco IDE QUANTUM Fireball de 4 GB;
- Placa Fast Ethernet Genius GF100TXRII 10/100Mbps;
- Placa ATM Fore PCA200E 155Mbps.

Sistema Operacional:

- Linux Red Hat 6.2 (com kernel 2.4.0-teste11).

Configurações de Rede (Interface *Ethernet*):

- IPv4: 143.107.231.197, Mask: 255.255.255.224;
- IPv6: fec0:0:0:1::12/64.

5.3 – Aplicação Cliente/Servidor com RTP

A primeira aplicação desenvolvida utilizou recursos da API JMF, tanto para a implementação do servidor quanto do cliente. No **Capítulo 4**, no tópico **4.4 – API JMF (Java Media Framework)**, foi mostrado como é feita a aquisição de quadros individuais com um *Processor* do JMF (processador). A implementação do servidor com RTP utiliza o *Processor* descrito até o passo 5, criando em seguida uma saída de dados e iniciando a transmissão. Os passos para a implementação do servidor se encontram a seguir:

1. Cria-se um *DataSource* (o arquivo do vídeo a ser processado);
2. Cria-se um *Processor* (baseado no *DataSource*);
3. Coloca-se o *Processor* no estado **Configurado**;
4. Obtém-se o controle das *tracks* do vídeo;
5. Determina-se qual tipo de vídeo será utilizado;
6. Coloca-se o *Processor* no estado **Realizando**;
7. Cria-se um *DataSink* (um *socket* de saída de dados, com o endereço da máquina servidora e a porta pela qual será efetuada a transmissão);
8. Configura-se o *Processor* com a *DataSink*;
9. Coloca-se o *Processor* no estado **Inicializado**, e a transmissão tem início.

A implementação do cliente é mais simplificada, e utiliza um *Player* que, em termos arquiteturais, se assemelha a um *Processor* do JMF. A arquitetura do *Player* JMF, é mostrada na **Figura 5-2**.

Figura 5-2: Estados de um Player JMF

Para a implementação do cliente, os seguintes passos foram seguidos:

1. Cria-se um *MediaLocator* (um *socket* de recepção de dados, com endereço da máquina servidora e porta pela qual ela está transmitindo);
2. Cria-se um *Player* (baseado no *MediaLocator*);
3. Coloca-se o *Player* no estado **Realizado**, e quando dados começarem a ser recebidos pelo *MediaLocator*, a recepção tem início.

Esta aplicação se mostrou capaz de transmitir vídeos descomprimidos e comprimidos com os formatos *Quicktime*, JPEG, MPEG-2, H261 e H263, sendo que alguns arquivos tiveram de ser convertidos para realizar a transmissão (os processadores do JMF, dependendo do sistema operacional – Linux e Windows, não conseguiam criar um processador capaz de iniciar a transmissão). A **Figura 5-3** mostra a tela do cliente, em uma transmissão JPEG.

Figura 5-3: Tela da Aplicação Cliente Recebendo um Vídeo por RTP

Apesar de vários testes terem sido efetuados com sucesso, partindo de servidores e clientes com o mesmo sistema operacional e em sistemas diferentes, a implementação do RTP baseada em IPv4 não pode ser adaptada ao protocolo IPv6, sendo necessário a implementação de outra aplicação, mostrada no próximo tópico.

5.4 – A Aplicação Cliente/Servidor IPv4/IPv6

5.4.1 – Visão Geral da Aplicação

A transmissão dos quadros com *sockets* IPv4/IPv6 foi desenvolvida em conjunto com outro pesquisador, Luciano Martins (Martins, 2001). Uma visão geral da aplicação será apresentada, mostrando suas funcionalidades atuais.

No momento que o código é compilado, deve ser escolhido o compilador (*java* para IPv4 ou *jipssy* para IPv6) e a porta pela qual a transmissão será efetuada ou recebida. Durante a execução do servidor, não é possível realizar a troca de protocolo e nem a troca da porta de comunicação. A tela da aplicação do cliente é mostrada na **Figura 5-4**.

Figura 5-4: Tela do Cliente da Aplicação com Suporte IPv4/IPv6

Escolhido o protocolo e compilado o código do servidor, este último passa a ser interpretado pela máquina virtual Java. Determina-se, então, a porta de escuta com a qual o *socket* do cliente irá se comunicar e o tamanho máximo do pacote a ser transmitido. Escolhidos os parâmetros, o servidor é inicializado, e passa a escutar a rede até que um cliente notifique que está apto a receber um vídeo.

Da mesma forma que o protocolo é escolhido no servidor, deve ser realizada a escolha no cliente também, quando o código é compilado. Ao ser iniciado, o cliente deve informar o endereço IP do servidor e a porta de envio de sinal.

Quando o servidor recebe a comunicação do cliente (através de um *socket* TCP), ele cria uma **thread de controle** específica para aquele cliente. O *thread* de controle envia uma lista de vídeos disponíveis ao cliente, para que ele escolha qual vídeo quer receber. Além do nome do vídeo, também consta da lista o *status* de transmissão (“não executando” e “executando”). Numa situação inicial, o servidor irá possuir vídeos apenas no *status* “não executando”.

O cliente envia seu pedido à *thread* de controle do servidor; se o vídeo não estiver sendo executado no momento, o servidor cria uma **thread geradora de quadros individuais** (que utiliza o controle implementado com JMI³) e uma **thread emissora**, que passa a transmitir o vídeo por um endereço *multicast* específico. Como o endereço é de *multicasting*, apenas pacotes UDP são transmitidos, o que gerou uma série de problemas discutidos na seção **5.4.3 Problemáticas no Envio e Recebimento dos Datagramas**. Ao mesmo tempo que o servidor cria sua *thread* emissora, o cliente cria uma **thread receptora**, que passa a receber os pacotes UDP e a exibir o vídeo.

Se outro cliente realizar um pedido de um vídeo que já estiver sendo executado, ele também deve criar sua *thread* receptora, mas passa a receber os pacotes vídeo de uma *thread* emissora do servidor, criada previamente. Assim que a *thread* emissora terminar de exibir o vídeo, ela destruirá sua *thread* emissora. Os clientes também destroem sua *thread* receptora assim que terminam de exibir seus vídeos. A **Figura 5-5** mostra o esquema das *threads* de um servidor, transmitindo o mesmo vídeo a dois clientes. Vale ressaltar que o “cliente 2” começa a receber imagens do

momento corrente do vídeo que estiver sendo transmitido para o “cliente 1” (*multicasting*), e não imagens do início do vídeo.

Figura 5-5: Threads do Servidor e de dois Clientes Recebendo o Mesmo Vídeo

5.4.2 – Thread Gerador de Quadros

A **thread geradora de quadros** utiliza a API JMF para converter os tipos de vídeo mais conhecidos em uma sequência de imagens. Posteriormente, essas imagens são transformadas em 3 (três) matrizes numéricas na representação RGB (*Red, Green, Blue*). Apesar do modelo de cores de imagens da linguagem Java utilizar a representação ARGB (*A – Alpha*), que pode determinar transparência, apenas os três canais de cores são utilizados.

Cada uma das matrizes, necessita de 1 *byte* para representar cada pixel. Assim, são 24 bits para cada pixel. A representação em memória é um *array* do tipo *int*, como mostra a **Figura 5-6**

Figura 5-6: Representação em bits de um *int* da Liguagem Java

Para transmitir os dados, cada canal foi separado em um *array* do tipo *byte* (representação de 8 bits). Contudo, em geral, um quadro do vídeo descomprimido é muito grande para ser transmitido em apenas um datagrama. Como exemplo, um vídeo que tenha resolução por quadro de 240 x 160 pixels, tem no total 112,5 Kb. Se forem utilizados pacotes de 48 Kb, serão necessários 3 (três) datagramas. Recalculando o tamanho de cada datagrama, dividi-se 112,5 por 3, o que resultaria em datagramas de 37,5 Kb.

Os seguintes cálculos foram usados para a divisão de um quadro para gerar datagramas com *payload* de tamanhos iguais a serem transmitidos:

$$\frac{\text{Largura} \times \text{Altura} \times \text{Bytes_por_pixel (3)}}{\text{Tamanho Máximo do Payload}} = \text{Número de Divisões}$$

$$\frac{\text{Largura} \times \text{Altura} \times \text{Bytes_por_pixel (3)}}{\text{Número de Divisões}} = \text{Tamanho do Payload}$$

5.4.3 – Problemáticas no Envio e Recebimento dos Datagramas

Para minimizar o processamento do servidor no envio dos pacotes que compõe um quadro, um pré-processamento foi programado. Foi elaborado um arquivo (de extensão “.ll”) contendo os quadros descompactados e divididos.

Além de conter os quadros divididos, antes dos dados de cada datagrama foram colocadas duas informações adicionais: o número do quadro (fr) e o número do datagrama transmitido (pc), ambos de 4 bytes.

Estes dois dados auxiliaram na reconstrução dos quadros para exibição, pois os *sockets multicast* trabalham com o protocolo UDP. Utilizando este protocolo, existe o risco de pacotes se perderem ou chegarem fora de ordem, sem que o servidor tenha conhecimento do ocorrido. A

Figura 5-7 mostra um quadro reconstruído corretamente e um quadro reconstruído com pacotes fora de ordem.

Figura 5-7: Quadros Remontados com Pacotes UDP

Mesmo minimizando o tempo de transmissão dos pacotes, o processo do servidor que envia os quadros tem outros problemas para ser executado em tempo real:

- O primeiro deles está no tempo de acesso ao dispositivo de armazenamento onde se encontra o arquivo “.ll”, seja ele em disco ou memória, e no posterior processamento para envio dos pacotes através do *socket* UDP;
- O segundo, está relacionado ao tempo no qual o vídeo foi elaborado, que deve ser mantido no cliente.

É importante ressaltar que esse controle de tempo é feito exclusivamente pelo servidor.

Como o envio dos pacotes se encontra dentro de um *loop*, após realizar a leitura do pacote a ser transmitido e encaminhá-lo ao *socket*, é feito um cálculo, que indicará se o *loop* precisa ser efetuado com menor velocidade, mais rapidamente ou está sendo realizado no tempo ideal.

A linguagem Java, utilizada para elaboração do software, é interpretada por máquinas virtuais. As máquinas virtuais (das versões jdk1.2.2 e jdk1.3) para Windows (98/NT), apresentam desempenhos muito melhores que as máquinas virtuais para Linux (Red Hat 6.2). Nas transmissões efetuadas, os dois casos de ajuste de tempo (de espera dentro do *loop* de transmissão ou de avanço dos quadros para envio) foram encontrados, devido à diferença de desempenho das máquinas virtuais.

Para realizar o cálculo, é necessário saber o tempo de geração do vídeo e o número total de quadros a serem exibidos. Dividindo o tempo de geração (em segundos) pelo total de quadros, obtém-se o número de quadros por segundo de exibição do vídeo, como é mostrado a seguir:

$$\frac{\text{Tempo total do Vídeo (em segundos)}}{\text{Total de Quadros}} = \text{Quadros por segundo}$$

Sabendo quantos quadros podem ser exibidos em um segundo, pode-se também calcular se haverá espera no *loop* ou avanço nos quadros:

$$\frac{1000}{\text{Número de Divisões} \times \text{Quadros por segundo}} - \text{Processamento (ms)}^* = \text{Tempo de Ajuste (ms)}$$

O tempo de **Processamento** (em milissegundos) indica o tempo de acesso ao dispositivo de armazenamento do vídeo somado ao tempo de processamento para transmissão através do *socket*. Esse tempo varia no decorrer da execução, sendo necessário ser medido dentro do processo.

Se o Tempo de Ajuste for maior ou igual a zero, indica que esse será o tempo necessário (em milissegundos) de espera para execução do próximo *loop*. Caso o tempo seja menor do que zero, é necessária a realização de um novo cálculo, para saber quantos pacotes o servidor terá que “pular” para ajustar o tempo de exibição:

$$\frac{\text{Tempo de Ajuste (ms)} \times \text{Número de Divisões} \times \text{Quadros por segundo}}{1000} = \text{Número de Pacotes a serem “pulados”}$$

Caso o Número de Pacotes a serem “pulados” não for um número inteiro, ele deve ser arredondado para cima.

Considerando que o controle de tempo é feito no servidor, o lado do cliente tem apenas que remontar o quadro e exibi-lo. Assim que um datagrama é recebido pelo *socket* do cliente, é identificado a qual quadro ele pertence e o seu número. Enquanto o cliente receber datagramas com fragmentos do mesmo quadro, ele armazena esses dados para futura exibição, mas se

receber um fragmento de um quadro posterior, ele descarta todos os fragmentos do quadro anterior e começa a reconstrução do novo quadro.

5.5 – Compactação de Vídeo

As máquinas virtuais Java para Windows apresentam um melhor desempenho se comparadas às máquinas virtuais para Linux, sendo que o mesmo código apresentou rendimento diferente nos dois sistemas operacionais. Algumas medidas de tempo para exemplificar a diferença de desempenho serão apresentadas no tópico **5.5.6 – Desempenho da Compactação Daub4 – LZW nas MV Java em Linux e Windows**. Por esses motivos, as medidas de tempo, apresentadas a seguir, foram realizadas em uma máquina operando com o sistema operacional Windows NT 4.0 (máquina servidora - *Whitehorse*). Para os testes, a imagem padrão utilizada foi “lenna.gif”³.

Como um arquivo proprietário estava sendo pré-processado para minimizar o processamento do servidor, isto também poderia ser feito com a compactação, possibilitando a utilização de algoritmos assimétricos. Com essa arquitetura, o problema de exibição do vídeo no mesmo tempo em que foi gerado passa para o cliente, pois o tempo de processamento para descompactar os *streams* pode variar conforme a capacidade das máquinas clientes.

5.5.1 – Compactação JPEG

O primeiro método analisado foi a compactação JPEG, através de codificadores e decodificadores em Java, implementados pela *Sun Microsystems*. Foram utilizadas imagens estáticas de tamanho diferente ($128 \times 128 \text{ pixels} = 48 \text{ Kb}$, $256 \times 256 \text{ pixels} = 192 \text{ Kb}$ e $512 \times 512 \text{ pixels} = 768 \text{ Kb}$) e com diferentes graus de compactação. Quanto maior a porcentagem de compactação (que reflete diretamente na economia da largura de banda utilizada na transmissão), maior foi o tempo necessário para realizar a descompactação. Os dados são mostrados na **Tabela 5-1** e nas **Figuras 5-8 e 5-9**.

³ A imagem referida é padrão da IEEE obtida em 3 resoluções (128x128, 256x256 e 512x512)

Tabela 5-1: Dados da Compactação JPEG com codificadores da *Sun Microsystems*

Resolução da Imagem (pixcls)	Tamanho do Arquivo Descomprimido (Kb)	Tam. do Arquivo Comprimido com 75% de qualidade (Kb)	Tam. do Arquivo Comprimido com 90% de qualidade (Kb)	Tempo de Descompressão (ms)
128 x 128	48	9	6	100
256 x 256	192	41	25	360
512 x 512	768	78	47	1460

Figura 5-8: Gráfico do Tamanho do Arquivo em Relação ao Tempo de Descompressão

Figura 5-9: Gráfico de Tamanho do Arquivo Descomprimido em Relação ao Arquivo Comprimido

Em relação ao espaço de armazenamento e ao ganho de largura de banda, os dados mostram um significativo ganho utilizando compactação. Como exemplo, uma imagem de 256 x 256 *pixels*, que possui 192 Kb, ao ser compactada com 75% de qualidade obteve 86% de compactação (o tamanho da imagem compactada foi de 25 Kb). Para outra imagem de 512 x 512 *pixels*, que possuiu 768 Kb, ao ser compactada com 90% de qualidade obteve 94 de compactação (o tamanho da imagem compactada foi de 47 Kb).

Analisando a curva mostrada na **Figura 5-3**, nota-se um comportamento linear ($Y = A * X + B$, onde $A = 1,89$ e $B = 3,33$). Assim, uma imagem de 640 x 480 *pixels*, que ocupa 900 Kb, demoraria aproximadamente 1705ms para ser descomprimida. Esse tempo impossibilita que o vídeo possa exibido a uma taxa de 1 quadro por segundo, mesmo vídeos de baixa resolução, onde um quadro descompactado não ocupe mais de 200 Kb (como na resolução 240 x 160). Um vídeo para ser exibido em tempo real não poderia apresentar uma taxa de apresentação de mais de 3 quadros por segundo, o que implica em uma qualidade muito baixa.

Como o processo de compactação JPEG foi efetuado com codificadores e decodificadores, de cujos códigos não permitia uma análise de desempenho para avaliar em qual etapa da compactação/descompactação o tempo de processamento seria crítico, um método de compactação proprietário foi analisado.

5.5.2 – Implementação da Transformada Wavelet Daub4

Inicialmente, foi desenvolvido um software que lê uma imagem (de dimensões 256 x 256 *pixels*), realiza a transformada, executa sua inversa e grava os dados em um arquivo texto. Esse software foi elaborado para que fossem feitas medidas de tempo de execução da transformada. Esse dado foi utilizado para comparação no trabalho **Arquiteturas para Compressão de Vídeo Baseado em Sistemas Reconfiguráveis** (Soto, 2000). Contudo, observar a imagem formada pelo processo das transformadas não era possível, e então foi elaborado outro software, para visualização, que lê o arquivo texto e exibe a imagem correspondente.

Como o interesse foi o de utilizar a Daub4 para compactar imagens, o programa inicial foi modificado para que medidas de compactação fossem efetuadas. Para realizar a compactação da matriz da imagem, basta tornar alguns dos elementos da matriz da transformada (uma matriz de mesma dimensão da imagem original - 256 x 256 na implementação) e “zerar” alguns de seus elementos. Assim, é possível através de algum dos métodos de codificação (como LZW, *Huffman*, entre outros) diminuir o tamanho do arquivo a ser gravado, visto que boa parte dos números da matriz teria o valor zero.

Quando a transformada inversa é efetuada sobre a matriz que teve alguns de seus elementos “zerados”, ela se apresenta com dados proporcionalmente diferentes ao número de elementos que foram “zerados”, sendo esse método considerado com perda (*lossy*); para calcular essa perda, um cálculo entre a os elementos da matriz original, chamada de A, e da matriz final, chamada de B, foi efetuado. Foi escolhido o método *Root Mean Square* (RMSE), que é definido como a raiz quadrada da somatória do quadrado da diferença entre os elementos da matriz original, como ilustra a fórmula a seguir.

$$RMSE = \sqrt{\sum (a_{ij} - b_{ij})^2}$$

Com o cálculo do RMSE, foi possível verificar qual o número máximo de elementos da matriz da transformada que pudessem ser “zerados” sem que nenhuma perda fosse visualmente notada.

Foi desenvolvido um método para “zerar” os elementos da matriz transformada, baseado em uma escala logarítmica, cujo algoritmo é mostrado a seguir:

- Inicialmente, define-se que existe uma escala;

- Verifica-se qual o valor máximo obtido na matriz da transformada;
- Divide-se esse valor por 2 e verifica-se se esse valor é maior que 2; se não for, o valor da escala é incrementado; se for, encerra-se o processo.

No final do processo, tem-se valores para cada uma das escalas e, de acordo com o número de escalas a serem “zeradas”, todos os valores acima daquela escala são “zerados”.

Para exemplificar o processo, é apresentada, a seguir, sua funcionalidade em uma imagem de testes do IEEE, conforme ilustra a **Figura 5-10**.

Figura 5-10: Imagem de Teste do IEEE, 256x256 pixels em 256 Escalas de Cinza (lenna.gif)

Os dados do arquivo da imagem são os seguintes:

- Nome do Arquivo: lenna.gif
- Tamanho do arquivo (em pixels): $256 \times 256 = 65536$ pixels
- Tipo de arquivo: 8 bits (*grayscale* – 256 tons de cinza)

Após a transformada *wavelet* Daub4 ser efetuada, obteve-se os seguintes dados:

- **Máximo absoluto:** 13899.778
- **Numero de Escalas:** 14

A **Tabela 5-2** mostra os dados obtidos, “zerando” 9 escalas, sendo:

- **Escala:** número de escalas “zeradas”;

maiores do que 7, geralmente quando o processo de “zerar” elementos da matriz transformada ultrapassa a quinta escala. A **Figura 5-12** ilustra esse caso.

Figura 5-12: Imagem Obtida na Transformação wavelet, com 96,39% de Compressão Relativa e RMSE 10,76

5.5.3 – Medidas de Tempo da Daub4 em Imagens em Escalas de Cinza e Coloridas

Após implementar as transformadas *wavelets* Daub4, o próximo passo foi a implementação de um software capaz de efetuar medidas de tempo das transformadas. As classes da transformada foram implementadas para processar matrizes de ponto flutuante (tipo *float* na linguagem Java, que ocupam 32 *bits*).

Para tentar minimizar o tempo de processamento, uma nova implementação foi feita, utilizando matrizes de números inteiros, (tipo *int* na linguagem Java) ao invés de matrizes de ponto flutuante. Para essa modificação, os coeficientes da Daub4 foram transformados em números inteiros (como se fossem multiplicados por $2^5 = 32$) e uma etapa adicional foi implementada, para realizar a normalização da matriz final (devido à multiplicação feita para adequação dos coeficientes da transformada). Os índices modificados se encontram na **Tabela 5-3**.

Tabela 5-3: Coeficientes da Daub4 representados em Ponto Flutuante e Inteiros

Coeficiente	Valor Ponto Flutuante	Valor Inteiro
c_0	0.482962	11
c_1	0.8365163	2
c_2	0.2241438	5
c_3	-0.1294095	-3

- **Valor de corte:** valor utilizado para “zerar” os elementos da matriz transformada;
- **Elementos “zerados”:** número de elementos que passaram a assumir o valor zero;
- **Compressão relativa:** razão entre o número de elementos “zerados” e o total de elementos da matriz;
- **RMSE:** valor do cálculo do RMSE obtido.

Tabela 5-2: Valores Obtidos no Processamento da Imagem (lenna.gif)

Escala	Valor de corte	Elementos Zerados	Compressão Relativa	RMSE
1	1.70	23294	35.54%	0.56
2	3.39	36845	56.22%	1.26
3	6.79	47566	72.58%	2.34
4	13.57	55045	83.99%	4.07
5	27.15	60154	91.79%	6.81
6	54.30	63172	96.39%	10.76
7	108.59	64640	98.63%	15.61
8	217.18	65172	99.44%	20.64
9	434.37	65409	99.80%	27.34

Observando as imagens resultantes desse processo, nota-se que até o corte de escala 5 (RMSE = 6,81), não existem perdas visuais muito significativas, como é mostrado na figura 5-11.

Figura 5-11: Imagem Obtida na Transformação wavelet, com 91,79% de Compressão Relativa e RMSE 6,81

A primeira conclusão se refere ao valor ideal do RMSE; analisando os testes efetuados nesse arquivo e em outros, observou-se que as perdas começam a ser notadas para valores do RMSE

Outra implementação adicional foi feita para processar tanto imagens em escalas de cinza como imagens coloridas. Para processar imagens em escalas de cinza, a transformada era aplicada em apenas uma matriz numérica, mas em imagens coloridas foi necessário aplicar a transformada em três matrizes numéricas.

Para processar imagens em escalas de cinza em Java, após a imagem ser lida, ela foi colocada no modelo de imagem da linguagem, que consiste em quatro matrizes numéricas tendo 8 *bits* para cada *pixel*. Esse modelo ARGB (*Alpha Red Green Blue*) já foi apresentado no tópico **5.4.2 – Thread Gerador de Quadros**, na **Figura 5-3**.

O único canal não utilizado foi o de transparência (*Alpha*). Contudo, uma média dos três canais restantes foi feita para a obtenção de apenas uma matriz numérica, que representava a imagem com 8 *bits* por *pixel*. Se uma imagem em escalas de cinza era lida, os três canais RGB eram iguais e realizando a média entre os três, era obtida a mesma matriz de qualquer um dos canais. Contudo, se uma imagem colorida era lida (possuindo os três canais RGB diferentes), ao realizar a média e representar a imagem em apenas um canal, a nova matriz numérica representava a imagem colorida em escalas de cinza.

Para efetuar o processamento de imagens coloridas, cada um dos três canais foi tratado de forma distinta, e a transformada foi aplicada a cada um deles. Utilizando a imagem **lenna.gif**, com resolução de 256 x 256 *pixels*, algumas tomadas de tempo foram efetuadas para determinar o tempo das transformadas, com pontos flutuantes e inteiros, e em imagens em escalas de cinza e coloridas. Os dados se encontram na **Tabela 5-4** e na **Figura 5-13**.

Observando os dados, percebe-se que o tempo de execução das transformadas que utilizavam matrizes de pontos flutuantes é menor do que as matrizes que empregavam inteiros. Realizando medidas dentro do código, percebeu-se que o tempo para aplicar a transformada diminuiu. No entanto, o processo de normalização das matrizes obtidas acarretou um aumento no tempo total do processo.

Tabela 5-4: Medidas de Tempo da Daub4 para Imagens em Escalas de Cinza e Coloridas

Tipo de Matriz(es)	Tipo da Imagem	Nº de Canais (Matrizes)	Tempo de Execução (ms)
<i>int</i>	Escala de Cinza	1	297
<i>float</i>	Escala de Cinza	1	215
<i>int</i>	Colorida	3	735
<i>float</i>	Colorida	3	532

Figura 5-13: Gráfico do Número de Matrizes Processadas em Relação ao Tempo de Execução

5.5.4– Compactação Daub4 – LZW

O método de compactação proposto é composto dos seguintes passos:

1. Transformação da imagem em matrizes numéricas;
2. Aplicar a transformada Daub4 nas matrizes numéricas;
3. Tornar alguns elementos das matrizes transformadas em zeros (isso implica em perda de dados e também no grau de compactação dos quadros);
4. Codificar os dados resultantes com o algoritmo LZW (não ocorre perda de dados).

Para realizar a descompactação, o processo inverso é executado, onde o passo 3 não é realizado. Para cada um dos 3 canais de dados (RGB), a transformada foi aplicada. A codificação LZW foi aplicada aos 3 canais como se fossem apenas um. Para todas as imagens processadas, o número de elementos “zerados” foi escolhido com base no cálculo do RMSE .

Com o cálculo do RMSE, foi possível verificar qual o número máximo de elementos da matriz da transformada que poderiam ser “zerados” sem que nenhuma perda visual fosse notada. A **Tabela 5-5** e a **Figura 5-14** mostram alguns dos dados obtidos:

Tabela 5-5: Dados da Descompactação com a Transformada Wavelet e Codificação LZW

Resolução da Imagem (pixels)	Tamanho do Arquivo Descomprimido(Kb)	Tamanho do Arquivo Comprimido (Kb)	Tempo da Transformada (ms)	Tempo da Codificação LZW (ms)
128 x 128	48	9	250	263
256 x 256	192	23	453	1563
512 x 512	768	92	1094	5006

Após a tomada de medidas, verificou-se que o tempo de execução da transformada inversa da compactação era inferior ao tempo necessário para a descompactação LZW, sendo esse algoritmo o responsável direto pelo baixo desempenho da descompactação.

Para uma imagem de 256 x 256 *pixels*, a transformada inversa dura cerca de 453ms, enquanto a execução da descompressão LZW dura cerca de 1563ms. Se esse método fosse utilizado na transmissão de vídeo, com a resolução proposta, não seria possível o vídeo ser exibido a uma taxa de um quadro por segundo.

Figura 5-14: Gráfico do Tamanho do Arquivo em Relação aos Tempos de Execução

5.5.5– Desempenho da Descompactação JPEG e Daub4 – LZW nas Máquinas Virtuais Java em Linux e Windows

Ao realizar a descompressão JPEG, que utiliza os codificadores e decodificadores da *Sim Microsystems*, uma significativa diferença pôde ser notada, ao processar a imagem **lenna.gif**, com resolução de 256 x 256 *píxels*, como é apresentado na **Tabela 5-6**.

Tabela 5-6: Tempo de Execução da Descompactação JPEG em Windows e Linux

Qualidade da Imagem	Tempo de Execução no Windows NT 4.0 (ms)	Tempo de Execução no Linux Red Heat 6.2 (ms)
75%	515	636
90%	360	636

Os tempos mostraram maior diferença na descompactação utilizando o método proposto Daub4 – LZW, como é mostrado nas **Tabelas 5-7 e 5-8**.

Tabela 5-7: Tempo de Execução da Descompactação Daub4 – LZW no Windows NT 4.0

Tipo de Transformada	Número de Canais (Matrizes)	Tempo de Execução da Daub4 (ms)	Tempo de Execução do LZW (ms)	Tempo de Execução Total (ms)
<i>int</i>	1	297	1109	1406
<i>int</i>	3	532	1781	2313
<i>float</i>	3	735	3890	4625

Tabela 5-8: Tempo de Execução da Descompactação Daub4 – LZW no Linux Red Hat 6.2

Tipo de Transformada	Número de Canais (Matrizes)	Tempo de Execução da Daub4 (ms)	Tempo de Execução do LZW (ms)	Tempo de Execução Total (ms)
<i>int</i>	1	1128	2528	3656
<i>float</i>	3	2664	7460	10124
<i>int</i>	3	3017	15337	18354

5.5.6 – Medidas de Tempo da Daub4 em Java e C++

A linguagem Java é uma linguagem interpretada, e por isso alguns programas feitos em linguagens compiladas (como C++), tendem a ter um desempenho melhor em tempo de execução. Como o melhor tempo com a linguagem Java foi o tempo no processamento de uma imagem em escalas de cinza com matrizes de ponto flutuante (215ms), isso permitiria que um vídeo de 256 x 256 *pixels* fosse exibido a uma taxa máxima de 4 quadros por segundo. Como esse tempo se encontrava muito aquém do ideal, medidas de tempo de execução das transformadas *wavelets* Daub 4 foram efetuadas na linguagem C++ para verificar a diferença de desempenho.

Foram implementadas, com certa facilidade, as transformadas que operam com matrizes de números inteiros e de pontos flutuantes, devido às semelhanças entre a linguagem Java e a linguagem C++ (ambas orientadas a objetos). As medidas de tempo encontram-se na **Tabela 5-9**.

Tabela 5-9: Tempo de Execução de uma Transformada Wavelet Daub4 em Sistemas Operacionais Diferentes

Tipo de Transformada	Linguagem	Tempo de Execução (ms)
<i>int</i>	Java	297
<i>float</i>	Java	215
<i>int</i>	C++	117
<i>float</i>	C++	141

5.6 – Considerações Finais

O principal objetivo do desenvolvimento das aplicações desse trabalho foi o estudo da transmissão de quadros comprimidos de vídeo com técnicas de *multicasting*, e sua descompressão e exibição em tempo real, sendo necessários cálculos para a transmissão de quadros pelo servidor de vídeo, utilizando os protocolos IPv4 e IPv6 e medidas de tempo de processamento de descompressão de quadro individuais de vídeo.

No capítulo 7, serão abordadas as conclusões sobre o trabalho aqui reportado, sobre os resultados obtidos, as contribuições do trabalho e possíveis trabalhos futuros.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Com as novas tecnologias de redes, protocolos, técnicas de transmissão de dados e padrões de compressão, as transmissões de vídeo tendem a ser tornar cada vez mais comuns. Como a economia da largura de banda é necessária para que a distribuição do vídeo seja efetiva, são necessários estudos da problemática envolvida em aplicações cliente/servidor com suporte a *multicasting* e de padrões de compressões.

As técnicas de *multicasting*, juntamente com o protocolo IPv6 em aplicações desenvolvidas em Java com o pacote Jipsy, possuem melhor desempenho quando comparadas ao mesmo cenário utilizando o protocolo IPv4 (Martins, 2001). Aplicações que utilizem tecnologias gratuitas e que possuam suporte a *multicasting* com IPv4/IPv6, trazem novas perspectivas para a distribuição de vídeo.

Os padrões de compressão tendem a manter a qualidade do vídeo e aumentar a taxa de compressão de dados. As transformadas *wavelets* tendem a substituir as transformadas de cossenos nos padrões de compactação, como vêm ocorrendo atualmente em diversos padrões.

As principais contribuições deste trabalho foram os cálculos apresentados para implementação de aplicações cliente/servidor para transmissão de vídeo com suporte a *multicasting* e as medidas comparativas entre os métodos de compressão MJPEG e com transformadas *wavelets* com codificação LZW. Além disso, o desenvolvimento deste trabalho proporcionou diversos benefícios tanto para o grupo InterMídia quanto para o ICMC - USP, quanto para pesquisadores e implementadores de tecnologias de rede e de aplicações com vídeos. As pesquisas do grupo InterMídia têm como foco algumas tecnologias multimídias, e alguns trabalhos visam padrões

como MPEG-4, MPEG-7 e MPEG-21. A implementação dos servidores de vídeo, desenvolvida neste trabalho, poderá servir como base para implementações reais e testes, usando tais padrões.

Para implementadores e pesquisadores de tecnologias de rede, este trabalho proporciona um benefício no que diz respeito aos estudos e testes realizados com o Linux, Java e Jipsy. Tais tecnologias são distribuídas gratuitamente, o que facilita o desenvolvimento e pesquisa por diversas instituições.

Este trabalho infere sobre dois focos diferentes de pesquisa: transmissão e compressão de vídeo. Sendo assim, medidas e melhorias de eficiência nestes tópicos são interessantes, visto que o desempenho de um sistema multimídia não depende apenas de um dos focos separadamente, mas sim, da interação entre esses dois focos.

A revisão bibliográfica desta dissertação oferece referências importantes para todos que se interessem por esta área. Além das contribuições citadas, outras propostas informais, porém interessantes, surgiram no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, e estão sendo avaliadas internamente ao grupo InterMídia.

6.1 – Análise dos Resultados Obtidos e Propostas Para Trabalhos Futuros

6.1.1 – Aplicações Cliente/Servidor de Transmissão *Multicasting* de Vídeo

A aplicação cliente/servidor com suporte IPv4/RTP, implementada inicialmente e baseada na API JMF, serviu como base de modelagem para a implementação da outra aplicação (com suporte IPv4/IPv6), além de trazer a tecnologia de controle de quadros individuais de um vídeo. Apesar das tentativas de adequação desta aplicação ao protocolo IPv6 com Jipsy não apresentarem resultados satisfatórios, sugere-se que novos pacotes de suporte a IPv6 e à Java sejam testados para a viabilização de transmissões IPv6 com a API JMF, em virtude dos recursos proporcionados pela API.

Em relação à aplicação cliente/servidor com suporte a IPv4/IPv6, a implementação da *thread* transmissora de vídeo pode ser melhorada. Uma das melhorias pode ser feita no controle do tempo de exibição do vídeo. O controle apresentado determina o tempo de espera dentro do *loop*

ou o número de pacotes a serem “pulados”. Ao invés de controlar quantos pacotes seriam “pulados”, o controle levaria em consideração o quadro sendo exibido, permitindo que não se transmita pacotes que não serão remontados.

Para a implementação do cliente (sendo que os *streams* são compactados), é necessário que as máquinas virtuais Java apresentem desempenho ao menos similar ao das máquinas virtuais para Windows, ou que a linguagem seja substituída por outra de maior eficiência. Medidas feitas com a linguagem C++, para execução das transformadas *wavelets* em Linux, apresentaram um desempenho superior em relação a linguagem Java. Por esse motivo, a linguagem C++ é sugerida para implementações do cliente.

Outro modo de melhorar o desempenho da aplicação, é a inclusão de um *buffer* no software cliente, permitindo que quadros possam ser acumulados para posterior exibição. Para sua implementação, seriam necessários 3 (três) novas *threads*: uma produtora, uma consumidora e uma *thread* de exibição, além da realização de cálculos de tempo de envio de pacotes do servidor para que a nova arquitetura pudesse realizar o armazenamento em *buffer*, de modo eficiente.

6.1.2 – Compressão e Descompressão de Vídeo

Os tempos de descompressão, obtidos na descompactação dos quadros com os codificadores JPEG, se mostraram lineares, mas muito aquém do ideal para transmissão de vídeo com taxas de exibição de quadros superiores a 25 quadros por segundo (taxa mínima para transmissões com qualidade de vídeo para TV, por exemplo). Para a taxa de 25 quadros por segundo, o tempo para descompactação teria de ser de 40 milissegundos por quadro, e para a compactação JPEG apenas quadros com tamanho máximo de 19 Kbytes, o que implica a resolução de aproximadamente 81 x 81 *pixels*. Se taxas mais baixas de exibição fossem requeridas, como 15 quadros por segundo, o tempo de descompactação seria de 66 milissegundos, o que acarretaria em resolução de 106 x 106 *pixels*. Como solução, aconselha-se a utilização de codificadores mais eficientes na linguagem Java ou a implementação em linguagens em que o tempo de processamento seja inferior.

No caso da compactação com transformadas *wavelets* e codificação LZW, obteve-se tempos muito superiores ao da compactação JPEG. Analisando apenas o tempo das transformadas, observou-se uma evolução linear, enquanto o comportamento do tempo da transformada apresentou-se

não-linear, crescendo de modo a comprometer muito o desempenho da compactação. Para obter melhores resultados, algumas alternativas podem ser relatadas:

- **Escolha de uma nova transformada:** a escolha da Daub4 foi feita em virtude da facilidade de implementação, mas um estudo minucioso pode ser feito buscando transformadas *wavelets* mais rápidas, mas que também apresentem tempo de execução linear em relação ao tamanho do arquivo sendo processado;
- **Novo método de codificação:** A codificação LZW é um algoritmo que obtém ótimos resultados em termos de compressão; contudo, sua implementação se mostrou complexa, e seu tempo de execução, comprometedor. Um método de codificação com execução mais rápida (mesmo com ganhos menores) e com evolução linear é requerido;
- **Novo modelo de cores:** O modelo de decomposição das matrizes de uma imagem em Java é o padrão RGB, e este modelo foi utilizado para processamento de imagens coloridas utilizando a transformada Daub4. Assim, para cada imagem colorida, três matrizes foram processadas. Se o modelo YUV, que decompõe uma imagem colorida em duas matrizes (de crominância e luminância), fosse utilizado, o processamento de uma imagem colorida teria um ganho considerável. Além disso, com o modelo YUV seria possível analisar o espectro de frequências em que o olho humano não é sensível e realizar a quantização das matrizes, aumentando o grau de compressão sem perda sensível ao olho humano.

6.2 – Contribuições em Trabalhos do Grupo InterMídia

6.2.1 – Transmissão de Vídeo Usando IPv6 e *Multicasting* em Redes de Alto Desempenho (Martins, 2000)

Este trabalho teve como objetivo a configuração de uma infra-estrutura de rede que suporte *multicasting* de pacotes e o protocolo IPv6. Para a realização de medidas de performance da rede, uma aplicação cliente/servidor foi avaliada, e a comunicação por *sockets* IPv4/IPv6 dessa aplicação foi desenvolvida em conjunto com o pesquisador Luciano Martins. Detalhes desta implementação foram mostrados no capítulo 5, no tópico **5.4 – A Aplicação Cliente/Servidor**

com Suporte IPv4/IPv6. O *thread* gerador de quadros e os cálculos e implementação para emissão de pacotes pelo servidor foram algumas das contribuições para esse trabalho.

6.2.2 – Arquiteturas para Compressão de Vídeo Baseado em Sistemas Reconfiguráveis (Soto, 2000)

Este trabalho consistiu da avaliação de arquitetura e técnicas de compressão de imagens voltadas à implementação em sistemas reconfiguráveis (FPGA). A contribuição para esse trabalho foi referente ao processo de compactação de imagens utilizando transformadas *wavelets*, em especial a transformada Daubechies 4, sendo algumas implementações de transformadas *wavelets* em Java realizadas pelo autor do presente trabalho. Detalhes das implementações feitas com este tipo de transformada foram mostrados no capítulo 5, no tópico **5.5 – Compactação de Vídeo**.

6.2.3 – Projeto de Sistema de Sincronização de Streams de Vídeo para Serviço Multicast (Silva, 2000)

Este trabalho propôs uma modelagem em UML (*Unified Modelling Language*) de um sistema de transmissão de vídeo sincronizado usando *multicasting*. Além da técnica de *multicasting*, uma das tecnologias estudadas em conjunto para uma futura implementação foi a API JMF, que posteriormente foi utilizada no presente trabalho.

6.2.4 – Sobre a Implementação e Avaliação de Técnicas de Codificação e Distribuição de Vídeo Baseadas em Conteúdo (Goulart, 2000)

Nesse trabalho em andamento, estudos exploratórios na área de integração e interação de mídias têm sido efetuados, com ênfase em padrões de compactação. A contribuição para este trabalho foi o servidor de vídeo implementado, que poderá servir como base para uma futura versão na qual seja possível realizar a transmissão de *streams* MPEG-4.

Referências

- (Bierenger, 2000) Bierenger, P. Linux: IPv6, disponível em <http://www.bierenger.de/linux/IPv6/>, 11 de novembro de 2000.
- (Bradner, 1996) Bradner, S.O & Mankin, A., IPng, Internet Protocol Next Generation, Addison-Wesley Ipng Series, 1996.
- (Comer, 1995) Comer, D. E. Internetworking With TCP/IP. Vol. 1, Prentice-Hall, 1995.
- (Cornell & Horstman, 1997) Cornell, G. e Horstmann, C.S.: CORE JAVA – Guia Autorizado da SUN Microsystems, São Paulo, Makron Books, 1997.
- (Crawford, 1996) Crawford, M. A Method for the Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks, RFC 1972, agosto de 1996, disponível em <http://www.graphcomp.com/info/rfc/rfc1972.html>, 12 de novembro de 2000.
- (Daubechies, 1992) Daubechies, I. Wavelets. Philadelphia: S.I.A.M.
- (Deering, 1995) Deering, S.; Hinden, R. Internet Protocol, Version 6 Specification. RFC 1883, 1995.
- (Elliott, 1982) Elliott, D.P. e Rao, K.R. Fast Transforms: Algorithms, Analyses, Applications (New York: Academic Press), 1982.
- (Erikson, 1994) Erikson, H. MBONE: The Multicast Backbone, Communications of the ACM, Vol. 37 #8, ago. 1994, pp. 54-60.
- (Fenner, 2000) Fenner, B., Handley, M., Holbrook, H. et al., Protocol Independent Multicast – Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised), Internet Draft, 24 de novembro de 2000, disponível em <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-pim-sm-v2-new-01.txt>
- (Flanagan, 2000) Flanagan, M. JIPSY:IPv6 for Java, disponível em <http://www.progsoc.uts.edu.au/~mpf/JIPSY/>, 11 de novembro de 2000.

-
- (Fluckiger, 1995) Fluckiger, P. Understanding Networked Multimedia Applications and Technology. Hemel Hempstead – UK, Prentice-Hall, 1995.
- (Furht, 1995) Furht, B. A Survey of Multimedia Compression Techniques and Standards – Part I : JPEG Standard. Real-Time Imaging, vol. 1, n. 1, pp. 49-67, 1995.
- (Goularte, 2000) Goularte, R., Sobre a Implementação e Avaliação de Técnicas de Distribuição de Vídeo Interativo Baseadas em Conteúdo, proposta de projeto de doutorado, 2000, ICMC-USP.
- (Nelson, 1991) Nelson, M. The Data Compression Book (Redwood City, CA: M&T Books), 1991.
- (IETF RFC, 1999) IETF RFC 1889, RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications. Versão atual: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-avt-rtp-new-04.txt>.
- (ISO, 1997) ISO/IEC IS 13818, MPEG-2: Generic coding of moving pictures and audio information, 1997.
- (Jamsa et al., 1997) Jamsa, K.: et al. JAVA: A Biblioteca do Programador. São Paulo, Makron Books, 1997.
- (Johnson, 1997a) Johnson, V., Johnson, M. How IP Multicast Works - A technical overview of IP Multicast concepts, addressing, group management and approaches to routing, outubro de 1997, disponível em <http://www.ipmulticast.com/community/whitepapers/howipmcworks.html>
- (Johnson, 1997b) Johnson, V., Johnson, M., Introduction to IP Multicast Routing - A technical overview of IP Multicast routing protocols and their features, outubro de 1997, disponível em <http://www.ipmulticast.com/community/whitepapers/intro-routing.html>.
- (Kosicur, 2000) Kosicur, D. Network Strategy Overview – IP Multicasting, disponível em http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/protocol/ipmu/tech/ipmc_wp.htm, 23 de novembro de 2000
- (Loshin, 1999) Loshin, P, IPv6 – Clearly Explained, Morgan Kaufmann, 1999.
- (Martins, 2001) Martins, L. Transmissão de Vídeo Usando IPv6 e Multicasting, em Redes de Alto Desempenho. Dissertação de Mestrado, ICMC-USP, 2001.

-
- (MSR, 2000) Microsoft Research IPv6, Internet Protocol Version 6, disponível em [http:// www.research.microsoft.com/msrIPv6/](http://www.research.microsoft.com/msrIPv6/), 11 de novembro de 2000.
- (Press, 1992) Press, W. H.; Flannery B. P.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T. Numerical Recipes in C – The Art of Scientific Computing. Cambridge Univerty Press, Cambridge, 1992
- (RFC, 1999) Hinden, R., Deering, S. et al., IP Version 6 Addressing Architecture, RFC 2373, disponível em <http://www.ietf.rnp.br/ftp/rfc/rfc2373.txt>, 16 de dezembro de 1999.
- (Silva, 2000) Silva, D.C., Projeto de Sistema de Sincronização de Streams de Vídeo para Serviço Multicast, São Carlos: ICMC - USP, 2000. Dissertação de Mestrado.
- (Soto, 2000) Soto, W. E. Arquiteturas para Compressão de Vídeo Baseado em Sistemas Reconfiguráveis. Tese de Doutorado, ICMC-USP, 2000.
- (Steinmetz, 1995) Steinmetz, R; Nahrstedt, K. Multimedia: Computing, Communications and Applications, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- (Stevens, 1998) Stevens, W, Unix Network Programming - Networking APIs: Sockets and XTI, vol 1, Segunda Edição, Prentice Hall, 1998
- (Sun, 1999) Sun Microsystems, Inc. Java Media Framework API Guide. 1998-1999 Sun Microsystems Inc.
- (Tanenbaum, 1996a) Tanenbaum, A.S. Computer Networks, Prentice-Hall, 3 a edição, 1996.
- (Tanenbaum, 1996b) Tanenbaum, A.S.: Distributed Operating Systems, Prentice Hall, 1996)
- (Thakrar, 1996) Thakrar, K. & Andleigh, P.K. Multimedia Systems Design, Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- (Thomas et al., 1997) Thomas, M.D. et al.: Programando em JAVA para a Internet. São Paulo, Makron Books, 1997.
- (Wallace, 1991) Wallace, G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard, Communications of the ACM, v. 34, n. 4, p. 30-44, Abril de 1991, disponível em <ftp://ftp.uu.net/graphics/jpeg/wallace.ps.gz>, 20 de novembro de 2000.

(Welch, 1984)

Welch, T. A Technique for High-Performance Data Compression, Computer, June 1984.

(Ziv et al, 1978)

Ziv, J., and Lempel, A. IEEE Transactions on Information Theory (A Universal Algorithm for Sequential Data Compression), vol. IT-24, pp. 530–536, 1978.

Apêndice – Glossário de Siglas

API	<i>Application Programming Interface</i>
ARGB	<i>Alpha, Red, Green, Blue</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
AWT	<i>Abstract Window Toolkit</i>
BUS	<i>Broadcast Unknown Server</i>
DAUB4	<i>Daubechies 4</i>
DC	<i>Departamento de Computação</i>
DCT	<i>Discret Cossin Transform</i>
DVMRP	<i>Distance Vector Multicast Routing Protocol</i>
DWT	<i>Discret Wavelet Transform</i>
FDDI	<i>Fiber Distributed Data Interface</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gateway Array</i>
FPS	<i>Frames per Second</i>
Gbps	<i>Gigabit por segundo</i>
GUI	<i>Graphic User's Interface</i>
HDTV	<i>High Definition TV</i>
ICMC	<i>Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i>
IOS	<i>Internetworking Operating System</i>

IP ou IPv4	<i>Internet Protocol versão 4</i>
IPng	<i>Internet Protocol next generation</i>
IPv6	<i>Internet Protocol versão 6</i>
IPX	<i>Internetwork Packet Exchange</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union Telecommunication Standardization sector</i>
JDK	<i>JAVA Development Kit</i>
JIPSY	<i>JAVA IP version Six ready</i>
JMF	<i>JAVA Media Framework</i>
JPEG	<i>Joint Picture Expert Group</i>
JPEG 2000	<i>Joint Picture Expert Group versão 2000</i>
LZW	<i>Lempel, Ziv e Welch</i>
MARS	<i>Multicast Address Resolution Server</i>
MBONE	<i>Multicast backbone</i>
Mbps	<i>Megabits por segundo</i>
MCS	<i>MultiCast Server</i>
MJPEG	<i>Motion Joint Picture Expert Group</i>
MOSPF	<i>Multicast Open Shortest Path First</i>
MPEG	<i>Motion Picture Expert Group</i>
MPEG-1	<i>Motion Picture Expert Group versão 1</i>
MPEG-2	<i>Motion Picture Expert Group versão 2</i>
MPEG-4	<i>Motion Picture Expert Group versão 4</i>
MPEG-7	<i>Motion Picture Expert Group versão 7</i>
MPEG-21	<i>Motion Picture Expert Group versão 21</i>
MROUTER	<i>Multicast Router</i>