

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Sérgio Alves Cavendish**

## **Algoritmo de Ajuste Elástico para Vídeo em Fluxos MPEG-2**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Luiz Fernando Gomes Soares

Rio de Janeiro, novembro de 2005.



**Sérgio Alves Cavendish**

## **Algoritmo de Ajuste Elástico para Vídeo em Fluxos MPEG-2**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Luiz Fernando Gomes Soares**

Orientador  
Departamento de Informática - PUC-Rio

**Bruno Feijó**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Rogério Ferreira Rodrigues**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Sergio Colcher**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de novembro de 2005.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Sérgio Alves Cavendish**

Graduado em Engenharia Elétrica / Eletrônica pela Universidade Federal do Pernambuco (UFPE) em 1994.

#### Ficha Catalográfica

Cavendish, Sérgio Alves

Algoritmo de Ajuste Elástico para Video em Fluxos MPEG-2 / Sérgio Alves Cavendish ; orientador: Luiz Fernando Gomes Soares. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

113 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas

1. Informática – Teses. 2. Ajuste elástico. 3. Alongamento do Tempo. 4. Alteração de Velocidade. 5. Sincronização Intermídia. 6. Controle de Taxa. 7. MPEG-2 de Sistema. 8. MPEG-2 de Vídeo. I. Soares, Luiz Fernando Gomes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Este trabalho é dedicado:  
A meus pais Lúcia e Dirceu.

A Janaína e aos meus irmãos.

A Deus, pela oportunidades e pelos verdadeiros e valiosos amigos.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Luiz Fernando, por toda sua dedicação, paciência, incentivo e, principalmente, compreensão durante este período de trabalho, não só no aspecto profissional mas sobretudo no aspecto humano.

Aos colegas do TeleMídia, sempre disponíveis para ajudar em todas as situações. Em especial, ao Prof. Rogério Rodrigues, Marcelo, Paula, Carlos, Heron, Rogério Coelho, Márcio e Suzana. É gratificante ter podido trabalhar em um ambiente tão salutar e contar com a amizade de todos.

Ao meus amigos Vitor, Flávia, Guto e Daniela, por apoio essencial e incondicional nos momentos mais difíceis. Vocês são amigos incríveis e sempre farão parte de minha família.

Agradecimentos especiais meus pais Lúcia e Dirceu: com amor e carinho vocês forjaram uma família maravilhosa. Ao meu irmão mais velho, Dirceu, pelos conselhos e incentivo.

À Janaína, cujo reencontro foi uma dádiva de Deus, pelo amor, dedicação e companheirismo, fazendo transbordar de felicidade todos os nossos momentos.

À CAPES e ao FUNTTEL pelo apoio financeiro.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## Resumo

Cavendish, Sérgio Alves. **Algoritmo de Ajuste Elástico para Vídeo em Fluxos MPEG-2**. Rio de Janeiro, 2005. 113 páginas. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Em apresentações hipermédia, umas das principais tarefas coordenadas pelo orquestrador da apresentação é a sincronização entre os diversos objetos componentes, que pode ser obtida através do ajuste elástico do tempo de exibição dos objetos. Esta técnica pode ser aplicada em tempo de compilação, de forma a manter os relacionamentos de sincronização especificados pelo autor, ou em tempo de apresentação, para prevenir qualquer descasamento temporal causado pelos ambientes de transmissão e de execução. Este trabalho descreve um conjunto de mecanismos para executar o ajuste elástico em fluxos MPEG-2 de Vídeo e de Sistemas, propondo algoritmos para a realização da compressão e expansão do tempo de exibição, do controle da ocupação do *buffer* do decodificador, da sincronização intermídia e da reconstrução do relógio de referência. Visando seu emprego em tempo de execução, todo o processo de ajuste é realizado diretamente no fluxo MPEG, sem qualquer transcodificação.

## Palavras-chave

Ajuste elástico; Alongamento do Tempo; Alteração de Velocidade; Sincronização Intermídia; Controle de Taxa; MPEG-2 de Sistema; MPEG-2 de Vídeo.

## **Abstract**

Cavendish, Sérgio Alves. **Elastic Time Algorithm for Video in MPEG-2 Flows**. Rio de Janeiro, 2005. 113 pages. Master Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In hypermedia presentations, one of the main tasks provided by the orchestrator is the synchronization of all presentation objects, which may be achieved by elastic time adjustment of period of exhibition of the objects, or simply timescale adaptation. This technique can be applied at compilation time, in order to keep track of synchronism relationships specified by authors, or at presentation time, to prevent any temporal mismatch caused by transmission or execution environments. This work presents a set of mechanisms to carry out timescale adaptation in MPEG-2 Systems and Video streams, proposing algorithms to perform compression and expansion of exhibition period, also called playback dilation, rate control, inter-media synchronization and clock reconstruction. In order to be performed at execution time, timescale operations are realized directly in compressed MPEG-2 streams, requiring no transcodification.

## **Key words**

Timescale; Elastic Time Adjustment; Time Stretch; Playback Dilation; Inter-media Synchronization; Rate Control; MPEG-2 Systems; MPEG-2 Video.

## Sumário

1	Introdução	13
1.1.	Adaptação de conteúdo	16
1.2.	Objetivos	18
1.3.	Estrutura da Dissertação	21
2	Conceitos Gerais do Padrão MPEG-2	23
2.1.	O Fluxo MPEG-2 de Sistemas	24
2.2.	O Fluxo MPEG-2 de Vídeo	26
2.2.1.	Estruturas de um fluxo de vídeo MPEG-2	26
2.2.2.	Modelo de transmissão	31
2.2.3.	Controle de ocupação do <i>buffer</i>	35
3	Trabalhos Relacionados	41
3.1.	Edição em Fluxos MPEG de Vídeo	42
3.2.	Compressão e Expansão em Vídeo	43
3.3.	Controle de Ocupação do <i>Buffer</i>	48
3.4.	Sincronização Intra e Intermídia	51
3.5.	Recuperação da Referência de Relógio	54
3.6.	Exibidores de vídeo	54
4	Algoritmos de Ajuste Elástico	59
4.1.	Compressão e Expansão em Vídeo	60
4.1.1.	Algoritmo proposto de compressão e expansão de vídeo	63
4.2.	Controle de Ocupação do <i>Buffer</i>	66
4.2.1.	Modelagem analítica da ocupação do <i>buffer</i>	67
4.2.2.	Métodos de prevenção de <i>overflow</i> e <i>underflow</i>	78
4.2.3.	Algoritmo proposto para o controle de ocupação do <i>buffer</i>	82
4.3.	Sincronização Intra e Intermídia	84
4.4.	Recuperação da Referência de Relógio	85



5 Ferramenta de Ajuste Elástico	87
5.1. Adaptador de ajuste elástico	87
5.2. Implementação do Adaptador de Ajuste Elástico	92
5.3. Integração ao Formatador Hipermídia	97
6 Resultados	100
6.1. Resultados dos testes	102
7 Conclusão	108
7.1. Contribuições da dissertação e trabalhos futuros	109
Referências Bibliográficas	111

## Lista de figuras

Figura 1: Ambiente de Execução Hiperfídia. ....	14
Figura 2: Ambiente de provisão de serviço. ....	17
Figura 3: Sistema de ajuste elástico. ....	19
Figura 4: Efeito do processo de decodificação e codificação em cascata. ....	20
Figura 5: Ambiente de Execução com Ajuste Elástico. ....	21
Figura 6: Estrutura do fluxo MPEG-2. ....	24
Figura 7: Sincronização entre o codificador e o decodificador. ....	25
Figura 8: Estrutura do fluxo MPEG Vídeo. ....	26
Figura 9: Ordenação de figuras. ....	30
Figura 10: Transmissão no MPEG-2 Vídeo. ....	31
Figura 11: Ocupação do <i>VBV buffer</i> quando <i>vbv_delay</i> é igual a FFFF. ....	32
Figura 12: Ocupação do <i>VBV buffer</i> quando <i>vbv_delay</i> é diferente de FFFF. ....	33
Figura 13: Efeito da diminuição da taxa de codificação de quadros. ....	39
Figura 14: <i>Overflow</i> devido a erro na alocação de bits. ....	40
Figura 15: Arquitetura de distribuição de vídeo em redes IP. ....	44
Figura 16: Descarte dinâmico de quadros em fluxo MPEG de Sistemas. ....	45
Figura 17: Arquitetura do sistema desenvolvido por Kantarci <i>et al.</i> ....	47
Figura 18: Descarte de quadros X Interdependência temporal. ....	61
Figura 19: Efeito da conversão de tipo em quadros vizinhos. ....	62
Figura 20: Algoritmo de ajuste elástico: inserção de quadros. ....	64
Figura 21: Algoritmo ajuste elástico: descarte seletivo de quadros. ....	65
Figura 22: Algoritmo de ajuste elástico: fator de ajuste = 1. ....	66
Figura 23: Transmissão de fluxo MPEG com compressão e expansão. ....	67
Figura 24: Efeito da duplicação de quadros. ....	70
Figura 25: Efeito do descarte de um quadro. ....	73
Figura 26: Efeito da inserção de um quadro com $\Delta t \neq \frac{1}{T}$ . ....	77
Figura 27: Efeito do descarte de um quadro com $\Delta t \neq \frac{1}{T}$ . ....	78
Figura 28: Ocupação do <i>buffer</i> em fluxos de vídeo. ....	82
Figura 29: Efeito da inserção de quadros no relógio de referência. ....	86

Figura 30: Sistema de ajuste elástico.....	88
Figura 31: Estrutura de controladores. ....	93
Figura 32: Módulo Demux. ....	94
Figura 33: Módulo Ajuste em Vídeo.....	95
Figura 34: Elementos sintáticos do MPEG de Vídeo. ....	96
Figura 35: Ajuste elástico para sistemas hipermídia. ....	98
Figura 36: Interface gráfica de testes.....	101
Figura 37: Grupo 1 - Taxa de processamento de quadros. ....	105
Figura 38: Grupo 2 - Taxa de processamento de quadros. ....	106
Figura 39: Influência do <i>buffer</i> de entrada sobre a taxa de processamento de quadros. ....	107

## Lista de tabelas

Tabela 1: Parâmetros <i>repeat_first_field</i> e <i>top_field_first</i> .....	29
Tabela 2: Resumo da sintaxe das camadas do MPEG-2 de Vídeo.....	29
Tabela 3: Tipos de arquivos suportados pelo Windows Media Player.....	55
Tabela 4: Tipos de arquivos do RealPlayer.....	55
Tabela 5: Tipos de arquivos do QuickTime.....	56
Tabela 6: Tipos de arquivos do PowerDVD.....	56
Tabela 7: Tipos de arquivos do WinDVD.....	57
Tabela 8: Tipos de arquivos do DivX Player.....	57
Tabela 9: Tipos de arquivos do Elecard MPEG-2 Player.....	58
Tabela 10: Grupo 1 - Vídeos MPEG-2 utilizados em testes.....	102
Tabela 11: Grupo 2 - Vídeos MPEG-2 utilizados em testes.....	102
Tabela 12: Grupo 1 - Erro relativo devido ao ajuste elástico.....	104
Tabela 13: Grupo 2 - Erro relativo devido ao ajuste elástico.....	104