

**Romualdo Monteiro de Resende Costa**

**Controle do Sincronismo Temporal de  
Aplicações Hipermídia**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Informática.

Orientador: Prof. Luiz Fernando Gomes Soares

Rio de Janeiro  
Agosto de 2010

**Romualdo Monteiro de Resende Costa**

**Controle do Sincronismo Temporal de  
Aplicações Hiperfúdia**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Luiz Fernando Gomes Soares**

Orientador  
Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Sérgio Colcher**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Simone Diniz Junqueira Barbosa**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Cesar Augusto Camillo Teixeira**

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

**Prof. Guido Lemos de Souza Filho**

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 30 de agosto de 2010

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

### **Romualdo Monteiro de Resende Costa**

Graduou-se em Ciência da Computação pela UFMG em 2000. Obteve em 2005 o título de Mestre em Informática pela PUC-Rio. Desde 2002 é Oficial do Exército, na especialidade de informática. É pesquisador do Laboratório Telemídia da PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Costa, Romualdo Monteiro de Resende

Controle do sincronismo temporal de aplicações hipermídia / Romualdo Monteiro de Resende Costa; orientador: Luiz Fernando Gomes Soares. - 2010.

160 f. : il.(color.) ; 30 cm

Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2010.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. HTG. 3. TV digital. 4. Hipermídia. 5. Grafo temporal. 6. NCL. 7. Sincronismo. 8. Interatividade. 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 Aline, pelo amor e dedicação.

A toda a minha família, pelo apoio e incentivos constantes.

E a Deus, por iluminar os nossos caminhos.

## Agradecimentos

Em especial, ao meu orientador, professor Luiz Fernando Gomes Soares, agradeço pela orientação, incentivo e disposição para acompanhar cada passo deste trabalho. Meus agradecimentos, no entanto, vão muito além dos ensinamentos necessários à elaboração deste trabalho. Obrigado pela amizade, pela confiança e pelo apoio em todos os momentos.

Aos amigos do Laboratório Telemídia, agradeço pela disposição de sempre cooperar e contribuir. Ao Moreno e ao Carlos, agradeço pelo exemplo que faz desse laboratório um ambiente de trabalho agradável e, ao mesmo tempo, muito produtivo. Ao Márcio, agradeço pelos trabalhos em conjunto e pelas contribuições necessárias à realização deste trabalho. Obrigado a todos os membros desse laboratório, incluindo aqueles que já integraram a nossa equipe, pela amizade e pelo convívio proporcionados ao longo desses anos.

Agradeço também ao Exército Brasileiro, representado pelos seus ilustres diretores: Gen Garcez, Cel Ferrari e TC Paulo, que compreenderam a importância deste trabalho e ofereceram o apoio necessário para que ele pudesse ser realizado.

Aos demais amigos agradeço pelo apoio, mesmo nas vezes em que me fiz ausente, tomado pelas atividades deste trabalho. Nesse período, tive a oportunidade de conferir que as verdadeiras amizades, ao contrário das aplicações hipermídia, são atemporais.

Agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Informática, e à PUC-Rio, como instituição, pelo suporte financeiro.

## Resumo

Costa, Romualdo Monteiro de Resende; Soares, Luiz Fernando Gomes. **Controle do Sincronismo Temporal de Aplicações Hiperfídia**. Rio de Janeiro, 2010. 160p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A preservação do sincronismo das aplicações hiperfídia é um dos mais importantes requisitos de qualidade para uma apresentação. Para garantir essa qualidade, é necessário conhecer os instantes no tempo de ocorrência dos eventos existentes nas aplicações. Por meio dessa informação, é possível prever a ocorrência de atrasos e, mais do que isso, antecipar as ações necessárias à apresentação, com o objetivo de evitar a necessidade de ajustes provocados por esses atrasos. Esta tese discute como as ocorrências desses eventos podem ser previstas durante uma apresentação. Para auxiliar essa tarefa, um grafo temporal, construído a partir da especificação de uma aplicação, é proposto. Esse grafo, denominado HTG (*Hypermedia Temporal Graph*), pode ser utilizado no controle do sincronismo temporal de uma aplicação, desde o transporte das mídias até a sua apresentação nos clientes. Além da preservação da qualidade, esta tese explora outras vantagens que podem ser obtidas a partir do controle do sincronismo temporal das aplicações. Esse controle pode ser utilizado, por exemplo, para posicionar as apresentações em um instante qualquer no tempo, retrocedendo ou avançando até um ponto desejado. Outra vantagem relacionada a apresentação, também explorada nesta tese, é a distribuição de partes de uma aplicação para apresentação em diferentes dispositivos, sem que o sincronismo temporal de toda a aplicação seja prejudicado. Por fim, a atualização das aplicações, simultaneamente à sua apresentação, também é explorada nesta tese.

## Palavras-chave

HTG; TV Digital; Hiperfídia; Grafo Temporal; NCL; Sincronismo; Interatividade.

## Abstract

Costa, Romualdo Monteiro de Resende; Soares, Luiz Fernando Gomes. **Temporal Synchronism Control of Hypermedia Applications**. Rio de Janeiro, 2010. 160p. DSc. Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Synchronization control in hypermedia applications is one of the most important requirements in the presentation of these applications. To assure high-quality presentations, it is necessary to know when events, produced during an application execution, occur in time. By means of this information, it is possible to predict undesirable delays and to forestall actions needed to avoid presentation adjustments. This thesis discusses how event occurrences can be predicted in the course of an application presentation. In order to assist this goal, a temporal graph, built up from the application specification, is proposed. This graph, called Hypermedia Temporal Graph – HTG, can be used in the temporal control of hypermedia applications, from the media transport system up to their presentation at client sides. Besides the quality of service control, this thesis elucidates other advantages that come from the synchronization management. Among them is allowing for presentations to be started at any moment in time of their life cycle, and allowing for presentations to be moved backward and forward up to a desirable presentation moment in time. Another advantage, also dealt with in this thesis, is the support to distributing parts of an application to different devices in charge of their presentations, without causing any hazard to the whole application temporal synchronism. Finally, this thesis also proposes how editions can be made over the HTG, and, therefore, how application control can be modified during runtime.

## Keywords

HTG; Digital TV; Hypermedia; Temporal Graph; NCL; Synchronism; Interactivity;

## Sumário

1 Introdução	15
1.1. Motivação	16
1.1.1. Controle do Tempo da Apresentação e da Transmissão	16
1.1.2. Edição Simultânea à Apresentação	18
1.1.3. Apresentação Distribuída através de Múltiplos Dispositivos	19
1.2. Objetivos	20
1.3. Organização da Tese	21
2 Trabalhos Relacionados	23
2.1. Controle do Tempo da Apresentação e Transmissão	24
2.2. Edição Simultânea à Apresentação	29
2.3. Apresentação Distribuída através de Múltiplos Dispositivos	31
3 Hypermedia Temporal Graph – HTG	34
3.1. Modelo de Grafos Temporais	34
3.1.1. Definição	34
3.1.2. Exemplo	37
3.1.3. Construção	43
3.2. Cadeias Temporais	47
4 Representação de Aplicações Hiperídia Declarativas – Aplicações NCL	56
4.1. Módulos, Perfis e Aplicações NCL	56
4.2. Objetos de Mídia e Interfaces	59
4.3. Adaptação da Apresentação e Adaptação do Conteúdo	62
4.4. Reúso	65
4.5. Relacionamentos	69
4.6. Contextos	76
5 Planos para o Controle do Sincronismo Temporal	86
5.1. Planos para o Controle da Execução de uma Aplicação	86

5.2. Planos para o Transporte e Carregamento do Conteúdo	100
5.2.1. Controle da Distribuição do Conteúdo	100
5.2.2. Controle do Carregamento do Conteúdo	104
5.3. Controle do Sincronismo Temporal no Ginga-NCL para TV Terrestre	105
6 Edição e Distribuição de Apresentações Hipermedia	115
6.1. Edição Simultânea à Apresentação	115
6.1.1. Edição ao Vivo nas Aplicações NCL	116
6.1.2. Edição ao Vivo no HTG	117
6.2. Apresentação Distribuída através de Múltiplos Dispositivos	122
7 Conclusões	129
7.1. Contribuições da Tese	129
7.2. Trabalhos Futuros	130
8 Referências	132
Apêndice A - Sincronismo Temporal de Aplicações Hipermedia	140
A.1. Modelos de Sincronização Temporal	141
A.1.1. Sincronização Baseada em um Eixo do Tempo ( <i>Timeline</i> )	141
A.1.2. Sincronização Hierárquica	144
A.1.3. Sincronização Baseada em Redes de Petri	146
A.1.4. Sincronização Baseada em Causalidade e/ou Restrição de Eventos	149
A.1.5. Sincronização Baseada em Grafos Temporais	150
Apêndice B – Comandos de Edição	154

## Lista de figuras

Figura 3.1 - Máquina de estado de um evento.	35
Figura 3.2 - Visões espaciais da aplicação exemplo (primeira parte).	38
Figura 3.3 - Visões espaciais da aplicação exemplo (segunda parte).	39
Figura 3.4 - HTG para a aplicação apresentada nas Figuras 3.2 e 3.3.	40
Figura 3.5 - Cadeia temporal principal do HTG apresentado na Figura 3.4.	51
Figura 3.6 - Cadeias temporais secundárias do HTG da Figura 3.4.	51
Figura 3.7 - HTG com vários eventos imprevisíveis.	53
Figura 3.8 - Cadeia temporal principal do HTG da Figura 3.7.	53
Figura 3.9 - Duas cadeias temporais secundárias do HTG da Figura 3.7.	54
Figura 3.10 - Cadeia HTG resultante da junção da cadeia principal com a primeira cadeia secundária.	54
Figura 3.11 - Um possível HTG final para a apresentação da Figura 3.4.	55
Figura 4.1 - Apresentação de uma aplicação NCL com interatividade.	58
Figura 4.2 - Objetos de mídia e suas interfaces na aplicação NCL exemplo.	60
Figura 4.3 - Parte do HTG que representa os objetos e suas interfaces descritos na Figura 4.2.	61
Figura 4.4 - Adaptação da apresentação na aplicação NCL exemplo.	63
Figura 4.5 - Parte do HTG que representa a adaptação da apresentação descrita na Figura 4.4.	63
Figura 4.6 - Adaptação do conteúdo na aplicação NCL exemplo.	64

Figura 4.7 - Parte do HTG que representa a adaptação do conteúdo descrita na Figura 4.6.	64
Figura 4.8 - Reúso na aplicação NCL exemplo.	66
Figura 4.9 - HTG para o exemplo de reuso “ <i>gradSame</i> ”.	68
Figura 4.10 - Base de conectores utilizados na aplicação NCL exemplo.	69
Figura 4.11 - Relacionamentos associados ao sincronismo no tempo (sem interação) na aplicação NCL exemplo.	71
Figura 4.12 - Parte do HTG que representa o sincronismo no tempo especificado na Figura 4.11.	72
Figura 4.13 - Relacionamento associado ao sincronismo no tempo (com condição) na aplicação NCL exemplo.	73
Figura 4.14 - Parte do HTG que representa o sincronismo no tempo (com condição) especificado na Figura 4.13.	73
Figura 4.15 - Relacionamento associado ao sincronismo no tempo (com interação) na aplicação NCL exemplo.	75
Figura 4.16 - Parte do HTG que representa o sincronismo no tempo (com interação) especificado na Figura 4.15.	75
Figura 4.17 - Relacionamento associado a um evento de atribuição na aplicação NCL exemplo.	76
Figura 4.18 - Parte do HTG que representa o evento de atribuição especificado na Figura 4.17.	76
Figura 4.19 - Visão estrutural de um contexto com ações.	78
Figura 4.20 - Parte de um HTG que representa as ações de “ <i>start</i> ”, “ <i>stop</i> ” e “ <i>abort</i> ” sobre o contexto da Figura 4.19.	79
Figura 4.21 - Parte de um HTG que representa a ação de “ <i>pause</i> ” sobre o contexto da Figura 4.19.	80
Figura 4.22 - Parte de um HTG que representa a ação de “ <i>resume</i> ” sobre o contexto da Figura 4.19.	80
Figura 4.23 - Visão estrutural de um contexto com condições associadas.	81
Figura 4.24 - Parte do HTG que representa as condições “ <i>onBegin</i> ”, “ <i>onPause</i> ” e “ <i>onEnd</i> ” sobre o contexto da Figura 4.23.	82
Figura 4.25 - Aplicação NCL exemplo.	85

Figura 4.26 - HTG correspondente à aplicação NCL da Figura 4.25.	85
Figura 5.1 - Cadeia temporal principal do HTG construído no Capítulo 4.	89
Figura 5.2 - Cadeias temporais secundárias do HTG construído no Capítulo 4.	90
Figura 5.3 - HTG final para a especificação temporal descrita na Tabela 5.16.	98
Figura 5.4 - Arquitetura Ginga: módulos relacionados ao controle do sincronismo no Ginga-NCL.	106
Figura 5.5 - Diagrama de pacotes referente aos componentes do HTG.	108
Figura 5.6 - Descrição do componente Planos HTG.	109
Figura 5.7 - Tempos para o carregamento do Ginga-NCL para o conjunto de aplicações da Tabela 5.19.	110
Figura 5.8 - Menu LUA do Ginga-NCL para acesso ao plano de apresentação.	112
Figura 5.9 - Cadeias HTG construídas pelo componente Planos HTG para uma aplicação NCL (Aplicação 3 da Tabela 5.19).	114
Figura 6.1 - Múltiplos dispositivos para exibição.	124
Figura 6.2 - HTG para controle da apresentação nos dispositivos individuais.	125
Figura 6.3 - Distribuição de dispositivos em domínios.	127
Figura A.1 - Exemplo de sincronização hierárquica.	144

## Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Regras para a construção do HTG.	45
Tabela 3.2 - Regras para a especificação de cadeias HTG.	49
Tabela 4.1 - Principais características relacionadas ao sincronismo e à adaptação encontradas na aplicação NCL exemplo.	59
Tabela 4.2 - Valores reservados para papéis utilizados como condição.	70
Tabela 4.3 - Valores reservados para papéis utilizados como ação.	70
Tabela 4.4 - Comportamento dos componentes de um contexto de acordo com as ações realizadas sobre esse contexto.	78
Tabela 4.5 - Estados da apresentação de um contexto.	81
Tabela 5.1 - Especificação temporal da cadeia principal.	91
Tabela 5.2 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 6.	91
Tabela 5.3 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 8.	91
Tabela 5.4 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 9.	91
Tabela 5.5 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 12.	91
Tabela 5.6 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 13.	91
Tabela 5.7 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 14.	92
Tabela 5.8 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 16.	92
Tabela 5.9 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 19.	92
Tabela 5.10 - Especificação temporal da cadeia iniciada no Vértice 21.	92

Tabela 5.11 - Especificação temporal inicial do plano de apresentação.	92
Tabela 5.12 - Especificação temporal do plano de apresentação modificado (1).	93
Tabela 5.13 - Especificação temporal do plano de apresentação modificado (2).	94
Tabela 5.14 - Especificação temporal do plano de apresentação modificado (3).	95
Tabela 5.15 - Especificação temporal do plano de apresentação modificado (4).	96
Tabela 5.11 - Estados alcançáveis através da máquina de estado de eventos.	96
Tabela 5.16: Especificação temporal final do plano de apresentação.	97
Tabela 5.17 - Especificação temporal final do plano de carregamento de exibidores para as cadeias das Figuras 5.1 e 5.2.	99
Tabela 5.18 - Especificação do plano de distribuição para as cadeias das Figuras 5.1 e 5.2.	103
Tabela 5.19 - Informações do HTG para um conjunto de aplicações.	111
Tabela 6.1 - Comandos para inserir, remover ou editar vértices e arestas que representam um evento de apresentação ou a adaptação do conteúdo.	118
Tabela 6.2 - Comandos para inserir, remover ou editar condições nas arestas que representam a adaptação do conteúdo ou da apresentação.	120
Tabela 6.3 - Comandos para inserir, remover ou editar arestas que representam a adaptação da apresentação.	121
Tabela 6.4 - Comandos para inserir, remover ou editar vértices e arestas que representam aos relacionamentos de uma apresentação.	122
Tabela B.1 - Comandos de edição.	159
Tabela B.2 - Identificadores utilizados nos comandos de edição.	160