



Marcelo Medeiros Carneiro

**Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais utilizando
Dispositivos Reativos e Transformadas de Distância**

Tese de Doutorado

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

Orientadores:
Luiz Velho (IMPA)
Marcelo Gattass (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, abril de 2003



Marcelo Medeiros Carneiro

**Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais utilizando
Dispositivos Reativos e Transformadas de Distância**

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

Prof. Luiz Carlos P. R. Velho
Orientador
IMPA

Prof. Marcelo Gattass
Co-orientador
PUC-Rio

Prof^a. Clarisse Sieckenius de Souza
PUC-Rio

Prof. Bruno Feijó
PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes Filho
PUC-Rio

Prof^a. Simone Diniz J. Barbosa
PUC-Rio

Prof^a. Raquel Oliveira Prates
UERJ

Prof. André Soares Monat
UERJ

Prof. João Miguel T. D. Tien
UERJ

Prof. Ney Dummont
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de abril de 2003

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

Marcelo Medeiros Carneiro

Formado em Engenharia de Computação pela PUC-Rio em 1992. Obteve o grau de mestre em Computação Gráfica também pela PUC-Rio em 1995. Entre 1992 e 1994 foi pesquisador do Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica (TeCGraf) onde desenvolveu projetos para a Petrobrás e Eletrobrás. Desde 1994 é analista de sistemas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) onde desenvolve projetos científicos.

Ficha Catalográfica

Carneiro, Marcelo Medeiros

Interfaces assistidas para deficientes visuais utilizando dispositivos reativos e transformadas de distância / Marcelo Medeiros Carneiro; orientadores: Luiz Velho, Marcelo Gattass. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Informática, 2003.

[15], 162f : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Tecnologias assistidas. 3. Dispositivos hápticos. 4. Ferramentas não visuais. 5. Interfaces para deficientes visuais. 6. Transformadas de distância. I. Velho, Luiz. II. Gattass, Marcelo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Aos meus pais
Fernando e Luzia

Agradecimentos

- Ao meu orientador, Prof. Luiz Velho, por ter acreditado em meu trabalho, pela dedicação, compreensão, paciência, sabedoria, conselhos e, acima de tudo, por me manter sempre motivado mesmo nos momentos mais difíceis;
- Ao meu co-orientador, Prof. Marcelo Gattass, pela compreensão e apoio desde o tempo em que eu era estagiário do TeCGraf, há dez anos, depois durante meu mestrado e agora no doutorado;
- A Prof^a Clarisse Sieckenius pela brilhante sugestão deste tema, provocando mudanças no rumo da tese e uma nova injeção de ânimo;
- As Prof^{as} Simone Barbosa e Raquel Prates pelas valiosas contribuições durante a fase de testes com usuários;
- Aos Profs. André Monat, João Miguel, Bruno Feijó e Waldemar Filho por terem aceitado sem hesitações o convite para compor a banca de defesa;
- A Prof^a Maria Salete, Profs. Ramón de Souza e José Francisco de Souza e Dr. Hélder Costa Filho, por abrirem as portas do Instituto Benjamin Constant;
- A todos do Instituto Benjamin Constant que aceitaram prontamente o convite para participar deste trabalho, Adilson da Silva, Alessandro dos Santos, Alexandre de Olim, Daniele da Rocha, Elane Malaquias, Elvis Ramos, Elza Costa, Fabiane Cristina, Filippe Silvestre, Francisco Antônio, Francisco Rocha, Jorge Mendes, Leandro Fausto, Luis Fernando da Conceição, Marcos Henrique Lima, Maria das Graças Alvim e Omar Pinho Filho;
- A psicanalista LÍlian Krakowski e pelas sugestões e revisão do texto;
- Aos professores Paulo Jorge (in memoriam), Luiz Nélío, Joaquim de Assis, Ricardo Barros por terem me apoiado para realizar o doutorado;
- Ao Prof. Pedro Vellasco pela compreensão durante a reta final deste trabalho;
- A PUC-Rio, UERJ, IPRJ e Instituto Benjamin Constant por oferecerem todas as condições para a realização deste trabalho;
- Ao CNPq pelo apoio financeiro;
- A minha família, especialmente meus pais, pelo suporte durante a minha vida;
- A minha noiva Cristiane, por todo o amor que tenho recebido, pelas orações, compreensão e apoio constantes;
- A Deus acima de tudo, pela luz, inspiração, por sempre ter colocado em minha vida pessoas maravilhosas e sempre ter me guiado pelos melhores caminhos.

Resumo

Carneiro, Marcelo. **Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais utilizando Dispositivos Reativos e Transformadas de Distância**. Rio de Janeiro, 2003. 162p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A evolução natural dos modelos de interface com o usuário ocorrida nas últimas décadas popularizou o padrão baseado em metáforas puramente visuais. Este processo impediu o acesso de deficientes visuais a computadores e a novas tecnologias. Algumas propostas foram feitas para reverter esta realidade. Entretanto, a maioria delas estava baseada em adaptações dos modelos já existentes, e não em modelos específicos para deficientes visuais. O desenvolvimento de aplicações para tais usuários é uma tarefa que requer a utilização de novas tecnologias, outras ferramentas e outras mídias de comunicação.

Esta tese de doutorado propõe a utilização de dispositivos reativos no projeto e implementação de interfaces gráficas capazes de assistir usuários cegos na concretização de tarefas simples de interação em duas dimensões. Tais dispositivos permitem explorar a percepção tátil, geralmente muito apurada em cegos, aumentando a eficiência da comunicação entre o usuário e a interface. Além disto, este trabalho investiga a utilização de transformadas de distância como um poderoso mecanismo de suporte a diversas tarefas de interação bidimensionais.

Palavras-chave

Tecnologias Assistidas, Dispositivos Hápticos, Ferramentas não visuais, Interfaces para Usuários Cegos, Transformadas de Distância.

Abstract

Carneiro, Marcelo. **Assistive Interfaces for the Visual Impaired using Force Feedback Devices and Distance Transforms**. Rio de Janeiro, 2003. 162p. Doctoral Thesis - Computer Science Department, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The natural evolution of user interface models that occurred in the last few decades ended up popularizing a standard model based almost exclusively on visual metaphors. This process has left visually impaired users unable to use computers and to access new technologies. Some actions have been made to revert this scenario. Most of them were based on adapting the existing models instead of creating specific solutions for the visually impaired community. The development of applications for such users requires the use of new technologies, tools and communication media.

This thesis proposes the use of force feedback devices in the project and implementation of assistive user interfaces, helping blind users in simple 2D interaction tasks. By exploring the sense of touch, such devices can be used to improve the efficiency of the communication between the user and the interface. Also, this work investigates the use of distance transforms as a powerful mechanism to support many 2D interaction tasks.

Keywords

Assistive Technology, Haptic Devices, Non visual tools, User Interfaces for the Blind, Distance Transforms.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivações	1
1.2	Interface e Estilos de Interação	2
1.3	O Deficiente Visual e a Interface	5
1.4	Resumo das Contribuições Científicas	7
1.5	Organização da Tese	8
2	Conceitos Básicos	10
2.1	Deficiências Visuais	10
2.2	Modelo Mental	12
2.3	Percepção Háptica	14
2.4	Procedimentos Exploratórios	17
2.5	Interfaces Hápticas	20
3	Dispositivos Hápticos	23
3.1	Dispositivos de Uso Geral	24
3.1.1	SideWinder Joystick (Microsoft)	24
3.1.2	PHANToM (Sensable)	27
3.1.3	WingMan Mouse (Logitech)	28
3.1.4	Tangible Mouse (Fuji Xerox)	30
3.1.5	SmartFinger (Universidade de Tóquio)	31
3.1.6	CyberForce (Immersion)	32
3.1.7	PenCat/Pro (Immersion)	33
3.2	Dispositivos para Deficientes Visuais	34
3.2.1	Pantograph (CITI)	34
3.2.2	The Moose (Universidade de Stanford)	35
3.2.3	GUIDE (Universidade de Stuttgart)	36
3.2.4	Display Rotativo de Braille (NIST)	37
3.2.5	Display Tátil de Imagens (NIST)	38

3.3 Limitações das Tecnologias Hápticas	38
3.4 Escolha do Dispositivo para a Tese	40
4 Interfaces e Aplicações Hápticas	42
4.1 Aplicações de Uso Geral	42
4.1.1 Simulação Cirúrgica e Treinamento Médico	42
4.1.2 Modelagem e Visualização	43
4.2 Aplicações para Deficientes Visuais	44
4.2.1 Educação e Entretenimento	44
4.2.2 Sistemas de Desenho	45
4.2.3 Representação de Objetos Geométricos	48
4.2.4 Sistemas de Orientação e Mobilidade	52
4.3 Comparações com a Proposta da Tese	54
4.3.1 Quanto ao dispositivo háptico	55
4.3.2 Quanto ao cálculo da força reativa	55
5 Rendering Háptico e Transformadas de Distância	57
5.1 Rendering Háptico	57
5.2 Transformada de Distância	59
5.2.1 Transformada de um Objeto Discreto	61
5.2.2 Transformada de um Objeto Contínuo	62
5.2.3 Algoritmo de Mauch	63
5.3 Vantagens da Utilização de Transformadas de Distância	65
5.4 Escolha do Algoritmo para Calcular a Transformada de Distância	67
6 Proposta de Interface Assistida	69
6.1 Propriedades Hápticas Consideradas	70
6.2 Técnicas Não-Visuais de Interação	72
6.2.1 Interação com Texturas	73
6.2.2 Interação com Objetos Geométricos	74
6.2.3 Percepção de Propriedades Espaciais	80
6.3 Implementação de um Protótipo	81
6.3.1 Implementação de Texturas	82
6.3.2 Implementação de Objetos Geométricos	84

7 Experimentos Práticos	85
7.1 Seleção de Usuários	85
7.2 Definição dos Testes	88
7.2.1 Testes Geométricos	88
7.2.2 Testes Espaciais	89
7.2.3 Testes com Texturas	90
7.3 Testes-Piloto	91
7.4 Aplicação dos Testes	94
8 Resultados	98
8.1 Geral	98
8.2 Testes Geométricos	100
8.3 Testes Espaciais	105
8.4 Testes com Texturas	108
8.5 Segundo a Categoria do Usuário	111
8.6 Segundo o Tempo de Cegueira do Usuário	111
8.7 Segundo a Percepção Visual do Usuário	112
9 Avaliação	113
9.1 Geral	113
9.2 Testes Geométricos	113
9.3 Testes Espaciais	117
9.4 Testes com Texturas	119
9.5 Perfil dos Usuários	122
10 Conclusão	125
10.1 Sugestões de Aperfeiçoamento da Interface Assistida	126
10.2 Contribuições Científicas	128
10.3 Trabalhos Futuros	130
Referências	134
Apêndice A Roteiro dos Testes	149

A.1	Introdução	149
A.2	Apresentação do Programa	150
A.3	Testes Geométricos	152
A.4	Testes Espaciais	153
A.5	Testes com Texturas	154
A.6	Avaliação Final	155
Apêndice B Questionário de Avaliação		156
B.1	Identificação do Usuário	156
B.2	Avaliação dos Testes Geométricos	156
B.3	Avaliação dos Testes Espaciais	156
B.4	Avaliação dos Testes com Texturas	156
B.5	Avaliação Geral	157
Apêndice C Dados Quantitativos Medidos nos Testes		158
C.1	Testes Geométricos	158
C.2	Testes Espaciais	158
C.3	Testes com Texturas	159
Apêndice D API para o Joystick		160

Lista de Figuras

Figura 1.1: Linguagem de Comando	3
Figura 1.2: Menus	3
Figura 1.3: WIMP	5
Figura 2.1: Modelo Mental	13
Figura 2.2: Funções de <i>percepção</i> e sua inversa <i>ação</i>	13
Figura 2.3: Gráficos em alto relevo (Lederman & Campbell, 1982)	16
Figura 2.4: <i>Exploratory Procedures</i> (Lederman & Klatzky, 1987)	18
Figura 2.5: Exploração utilizando uma sonda (O'Modhain, 1999)	19
Figura 2.6: Tipos de Interação (Mensvoort, 2002)	21
Figura 3.1: SideWinder Joystick	24
Figura 3.2: Efeitos Baseados no Tempo (Chen & Marcus, 1998)	25
Figura 3.3: Efeitos Baseados no Espaço (Chen & Marcus, 1998)	26
Figura 3.4: PHANToM Desktop	27
Figura 3.5: WingMan Mouse	29
Figura 3.6: Tangible Mouse	31
Figura 3.7: SmartFinger (Ando et al., 2002a)	32
Figura 3.8: CyberForce	33
Figura 3.9: PenCat/Pro	34
Figura 3.10: Pantograph	35
Figura 3.11: The Moose	35
Figura 3.12: GUIDE (Weber, 1993b)	36
Figura 3.13: Display Rotativo de Braille	37
Figura 3.14: Display Tátil de Imagens	38
Figura 4.1: Sistemas Médicos	43
Figura 4.2: Sistemas de Modelagem e Visualização Hápticos	44
Figura 4.3: Museus Hápticos	45
Figura 4.4: Aplicações de Educação e Entretenimento	45
Figura 4.5: TDraw (Kurze, 1996)	46
Figura 4.6: Grade de células do IC2D (Kamel & Landay, 2002)	48
Figura 4.7: Multivis (Yu et al., 2000)	49

Figura 4.8: Representação de Linhas em 3D (Ramloll et al., 2000)	50
Figura 4.9: Testes com PHANToM (Sjöström, 2002)	51
Figura 4.10: Testes com WingMan mouse (Sjöström, 2002)	52
Figura 4.11: Sistema Mengkudu (Morris & Joshi, 2002)	53
Figura 4.12: Sistema de Orientação e Mobilidade (Ross & Blasch, 2000)	54
Figura 5.1: Loop principal do rendering háptico	58
Figura 5.2: Equação geral da força resultante	59
Figura 5.3: Transformada de Distância	60
Figura 5.4: Métrica Euclidiana	60
Figura 5.5: Campo de distância, métrica Euclidiana (Mauch, 2000)	61
Figura 5.6: Campo de distância, métrica 3-4 (Peixoto & Velho, 2000)	62
Figura 5.7: Evolução de interfaces	63
Figura 5.8: Algoritmo de Mauch	64
Figura 5.9: Descrição da Geometria de Objetos	65
Figura 5.10: Normal a uma Superfície Implícita	66
Figura 5.11: Eixo Medial	67
Figura 5.12: Aproximação de uma Curva	68
Figura 6.1: Modelo Genérico de Texturas	74
Figura 6.2: Forças Reativas de Atração e de Textura	75
Figura 6.3: Modelo Reativo de Atração para a Borda	77
Figura 6.4: Problema de interseções de múltiplas arestas	78
Figura 6.5: Caminhos pelo interior e exterior de um objeto	78
Figura 6.6: Controle da extensão de arestas	79
Figura 6.7: Textura <i>Bump</i>	83
Figura 6.8: Hierarquia de Classes (Parcial) do Protótipo	84
Figura 7.1: Testes Geométricos	88
Figura 7.2: Testes Espaciais	89
Figura 7.3: Testes com Texturas	90
Figura 7.4: Ambiente de Testes	94
Figura 8.1: Resultado geral dos testes	100
Figura 8.2: Teste mais fácil e mais difícil	100
Figura 8.3: Índice de Acerto nos Testes Geométricos	101
Figura 8.4: Objeto mais fácil e mais difícil de ser reconhecido	101

Figura 8.5: Distância Média do Cursor aos Objetos	102
Figura 8.6: Utilização do Tempo nos Testes Geométricos	102
Figura 8.7: Índice de Acerto nos Testes Espaciais	105
Figura 8.8: Utilização do Tempo no Teste S1	106
Figura 8.9: Utilização do Tempo no Teste S2	106
Figura 8.10: Utilização do Tempo no Teste S3	107
Figura 8.11: Utilização do Tempo no Teste S4	107
Figura 8.12: Utilização do Tempo no Teste S5	107
Figura 8.13: Índice de Acerto nos Testes com Texturas	108
Figura 8.14: Índice de troca entre duas texturas diferentes	108
Figura 8.15: Você encontrou texturas semelhantes?	109
Figura 8.16: Textura mais fácil e mais difícil de ser reconhecida	109
Figura 8.17: Utilização do Tempo no Teste com a Textura T1	110
Figura 8.18: Utilização do Tempo no Teste com a Textura T2	110
Figura 8.19: Utilização do Tempo no Teste com a Textura T3	111
Figura 8.20: Índice de acerto segundo a categoria	111
Figura 8.21: Índice de acerto segundo o tempo de cegueira	112
Figura 8.22: Índice de acerto segundo a percepção visual	112
Figura 9.1: Eficiência da Força Reativa de Atração para a Borda	114
Figura 9.2: Problemas nos Testes Espaciais	119
Figura 10.1: Preparação de uma imagem para visualização háptica	132
Figura 10.2: Exemplo de mapa tátil (Click & Go Interactive)	132

Lista de Tabelas

Tabela 7.1: Usuários Selecionados	86
Tabela 8.1: Resultado Geral dos Testes	99
Tabela 8.2: Mapa de Cobertura nos Testes Geométricos	105
Tabela 9.1: Perfil dos Usuários.....	123