

Carlos André Tavares Campos

**Comportamento das componentes
de sistemas multi-toque baseados
em reflexão interna total confinada**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Marcelo Gattass

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2009

Carlos André Tavares Campos

**Comportamento das componentes
de sistemas multi-toque baseados
em reflexão interna total confinada**

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

Prof. Marcelo Gattass

Orientador

Departamento de informática – PUC–Rio

Alberto Raposo

Tecgraf – PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes

Departamento de informática – PUC–Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de fevereiro de 2009

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

Carlos André Tavares Campos

Graduou-se em 2004 em Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, onde continuou seus estudos no programa de Mestrado em Informática, com interesse nas áreas de Visão Computacional e Computação Gráfica. Desde 2003, atua com desenvolvimento e pesquisa na área de sísmica no laboratório Tecgraf.

Ficha Catalográfica

Campos, Carlos André Tavares

Comportamento das componentes de sistemas multi-toque baseados em reflexão interna total confinada / Carlos André Tavares Campos ; orientador: Marcelo Gattass. – 2009.

98 f. : il. (col.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Informática)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Sistemas multi-toque. 3. Reflexão interna total confinada. 4. Dispositivo de interface com usuário. I. Gattass, Marcelo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

Ao professor Marcelo Gattass, orientador desta dissertação, que confiou no desenvolvimento do meu trabalho e soube me guiar nos momentos cruciais.

Ao meu pai pela sua ajuda para transcrever todos os resultados experimentais obtidos ao longo deste trabalho.

Aos colegas e amigos que me ajudaram e apoiaram desde o início desta longa trajetória, em especial ao Felipe Lobo e Pablo Bioni que me ajudaram a desenvolver e montar o primeiro protótipo que foi utilizado com plataforma de testes, para todos os experimentos contidos nesta dissertação.

A Petrobras e Tecgraf pelo apoio financeiro.

Resumo

Campos, Carlos André Tavares; Gattass, Marcelo. **Comportamento das componentes de sistemas multi-toque baseados em reflexão interna total confinada**. Rio de Janeiro, 2009. 98p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os sistemas multi-toque (*multitouch*) estão se tornando cada vez mais utilizados, substituindo a tradicional interface humano-computador baseada em mouse (*WIMP interfaces*). Um sistema multi-toque pode se basear no fenômeno físico da reflexão interna total confinada (FTIR) da luz numa superfície de acrílico. Com o barateamento dos projetores e câmeras, a construção de mesas e painéis multi-toque se tornou uma possibilidade viável para universidades e empresas. Naturalmente, a qualidade desses sistemas depende do ajuste dos materiais, das luzes, das câmeras e dos projetores utilizados. Este assunto é ainda uma área em aberto, com pouca literatura disponível tendo em vista seus aspectos comerciais. Esta dissertação apresenta um estudo sobre a construção de mesas e painéis multi-toque com base em equipamentos e materiais de baixo custo. O princípio geral de funcionamento e a tecnologia de cada componente são discutidos. Um protótipo foi construído para avaliar o comportamento de cada componente. Com base nos resultados obtidos são apresentadas algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave

Sistemas Multi-toque; reflexão interna total confinada; Dispositivo de Interface com Usuário.

Abstract

Campos, Carlos André Tavares; Gattass, Marcelo (Advisor). **Components of a multitouch system based on frustrated total internal reflection.** Rio de Janeiro, 2009. 98p. MSc. Dissertation, Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Multitouch systems are becoming more popular replacing traditional WIMP user interfaces. A multitouch system can be based on frustrated total internal refraction of the light in an acrylic surface. With the use of commodity projectors and cameras these systems are now becoming widely affordable. Naturally the quality of these systems depends upon the right choice of material, lights, cameras and projectors. Giving its importance, there is a need for more information on this subject in the literature. This thesis presents the general design of a multitouch systems and a detailed discussion of the expected behavior of each component. A prototype was built to evaluate the proposed solution. Results are discussed to support some conclusions and suggestions of future work.

Keywords

Multitouch systems; frustrated total internal reflection; user-interfaces devices.

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Multitouch	16
1.2	Objetivos do trabalho	17
1.3	Organização da dissertação	17
2	Trabalhos relacionados	19
2.1	Diamond Touch	20
2.2	Smart Skin	20
2.3	Touch Light	21
2.4	O sistema DI	22
2.5	O sistema FTIR	23
2.5.1	Princípio de funcionamento do sistema FTIR	23
3	Componentes e características do sistema multitouch	27
3.1	Circuitos Elétricos	27
3.1.1	Intensidade da luz emitida pelo LED	27
3.1.2	Conexão dos LEDs	29
3.2	Iluminador de LEDs IR	31
3.3	Tela	32
3.4	Projektor	35
3.5	Câmera	37
4	Algoritmos do sistema multitouch	40
4.1	Calibração da câmera	40
4.1.1	Projeção perspectiva	40
4.1.2	Calibração de câmera como uma minimização	41
4.1.3	Homografia	42
4.1.4	Cálculo da Homografia	43
4.2	Rastreamento dos toques	44
4.2.1	Subtração da luminosidade de fundo	45
4.2.1.1	Luminosidade para tons de cinza	46
4.2.1.2	Cálculo da imagem sem ruído de fundo	46
4.2.1.3	Atualização do modelo de fundo	47
4.3	Identificação de regiões conexas	47
4.3.1	Binarização da imagem	48
4.3.2	Filtro da mediana	48
4.3.3	Busca de regiões conexas	49

4.3.4	Descarte de regiões	50
4.4.	Tracking de regiões	50
4.5	Broadcast de regiões	52
4.6	Programas Multitouch	55
5	Resultados	57
5.1	Intensidade da luz emitida pelo LED	57
5.2	Sistema de projeção	59
5.3	Calibração da câmera	60
5.4	Algoritmo de rastreamento dos toques	63
5.4.1	Eliminação da luz de fundo	63
5.4.2	Busca de regiões conexas	63
5.4.2.1	Identificação de regiões conexas	65
5.5	Tracking de regiões	66
5.6	Tela do sistema multitouch	67
5.6.1	Revestimento da placa de acrílico com parafina gel	67
5.6.2	Acoplamento dos LEDs	69
5.6.3	Homogeneidade da luz sobre a superfície do acrílico	69
5.6.4	Efeito da luminosidade de fundo na qualidade da imagem	71
6	Discussão	72
6.1	Intensidade de luz emitida pelo LED	72
6.2	Sistema de projeção	73
6.3	Calibração da câmera	74
6.4	Algoritmo de rastreamento dos toques	76
6.4.1	Eliminação da luz de fundo	76
6.4.2	Busca de regiões conexas	77
6.4.3	Binarização da imagem	77
6.4.4	Filtro da mediana	78
6.4.5	Imagens entrelaçadas	79
6.5	Tracking de regiões	80
6.5.1	Broadcast de regiões	81
6.5.2	Integração com o sistema operacional Windows	82
6.6	Tela do sistema multitouch	83
7	Conclusões	84
8	Trabalhos futuros	86
9	Referências bibliográficas	88

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Primeiro sistema multitouch desenvolvido por Bill Buxton.	19
Figura 2.2 - Ilustração do sistema multitouch <i>Diamond Touch</i> . Sistema em uso (A). Esquemático do seu funcionamento (B).	20
Figura 2.3 - Sistema multitouch <i>Smart Skin</i> . Grade de fios de cobre (A). Estimativa do afastamento do dedo do usuário da tela (B).	21
Figura 2.4 - O sistema multitouch <i>Touch Light</i> . Foto do sistema (A). Esquemático do sistema (B).	22
Figura 2.5 - Sistema <i>multitouch</i> baseado na iluminação difusa. O Microsoft Surface (A). Esquemático do interior do sistema (B).	22
Figura 2.6 – Aspecto de uma imagem vista em um sistema multitouch baseado no princípio do FTIR.	23
Figura 2.7 – Sistema multitouch FTIR básico.	24
Figura 2.8 – Sistema multitouch com borracha transparente sobre a tela.	24
Figura 2.9 – Sistema multitouch com silicone texturizado opaco sobre a tela.	25
Figura 3.1- Diagrama do circuito elétrico utilizado para testar o comportamento do LED com a variação da corrente elétrica.	28
Figura 3.2 - Montagem para medida da intensidade luminosa dos LEDs. Visão geral da configuração com o LED de 5mm (A). Detalhe mostrando o resistor de 18 ohm de 5w (branco) e o resistor variável em azul. Fibra óptica conectada ao foto espectrômetro e fixada no suporte metálico (B).	29
Figura 3.3 - Esquema de ligação de um conjunto de cinco leds em paralelo.	30
Figura 3.4 - Esquema de ligação de um conjunto de cinco LEDs em série com um resistor.	30
Figura 3.5 - Esquema de ligação de cinco LEDs em série com dois resistores.	30

Figura 3.6 - Montagem e fixação dos LEDs de 10 mm no perfil em U de alumínio. Vista lateral (A), Vista frontal (B).	32
Figura 3.7 - Aspectos da parafina em gel. Temperatura ambiente (A). Parafina em gel cristal derretida a uma temperatura de 80 ^o C (B).	33
Figura 3.8 - Placa de acrílico sendo pré - aquecida por 4 lâmpadas de 250w posicionadas sobre a placa.	34
Figura 3.9 - Montagem de calibração com a caixa de MDF: Vista lateral (A), Vista frontal (B).	35
Figura 3.10 - O projetor Sony VLP-EX4 utilizado nesse estudo (A). Gráfico mostrando a relação entre o afastamento do projetor da tela e o tamanho da imagem projetada (B).	36
Figura 3.11 - Sistema de montagem dos espelhos para projeção de imagens na superfície da mesa. Configuração feita com um espelho e o projetor fora da estrutura (A). Configuração utilizando dois espelhos com o projetor no interior da estrutura (B).	37
Figura 3.12 - A filmadora digital Sony DCR-H21 (A). Curva de sensibilidade para a faixa de comprimento de ondas entre 400 e 1400 nm (B). A linha vermelha representa a sensibilidade da câmera no modo NightShot e a linha na cor azul a sensibilidade no modo convencional de uso.	37
Figura 3.13 - Efeito do filtro ICF sobre as cores da imagem capturada pela câmera. Imagem de uma câmera Sony com o ICF removido causando distorção nos tons das cores (A). Imagem normal capturada com o ICF (B).	38
Figura 3.14 - Filme fotográfico velado fixado na lente da filmadora (A). Curva de transmissão da luz por comprimento de onda do filme fotográfico velado (B).	39
Figura 4.1 - Modelo de uma câmera fotográfica utilizada na modelagem das equações da projeção perspectiva	40
Figura 4.2 - Processo de interação nas quatro etapas de funcionamento do programa de reconhecimento.	45
Figura 4.3 - Bloco do fluxograma relativo à parte de subtração da radiação de fundo. Primeira etapa do programa de reconhecimento.	46

Figura 4.4 - Bloco do fluxograma relativo à parte do algoritmo de tracking de regiões do programa.	48
Figura 4.5 - Ilustração do resultado da aplicação do filtro mediano num pixel de uma imagem.	49
Figura 4.6 - Bloco do fluxograma relativo à parte de tracking de regiões do programa.	51
Figura 4.7 - Cálculo da distância D entre uma região nova R e a última coordenada P_{n-1} de uma das regiões ativas.	51
Figura 4.8 - Cálculo da distância D_{EST} entre uma região nova R e a estimativa P_{EST} da próxima coordenada de uma das regiões ativas.	52
Figura 4.9 - Bloco do fluxograma relativo à parte broadcast das regiões encontradas	52
Figura. 5.1 - Resposta do LED de 5 mm de diâmetro em função da corrente elétrica aplicada.	57
Figura. 5.2 - Resposta do LED de 10 mm de diâmetro em função da corrente aplicada.	58
Figura 5.3 - Espectros de emissão de luz dos LEDs de 5 mm e 10 mm diâmetro.	58
Figura 5.4 - Imagens capturadas pela câmera Sony DCR-H21. Usando LEDs de 5 mm de diâmetro (A) e de 10 mm de diâmetro (B).	59
Figura 5.5 - Efeito da luz difusa refletida pelo espelho na projeção da imagem. Imagem formada no espelho (A). Detalhe do desfoque gerado na tela (B).	59
Figura 5.6 - Grade de calibração do sistema <i>multitouch</i> .	60
Figura 5.7 - Calibração da homografia feita com 4 pontos (A) e 20 pontos (B).	63
Figura 5.8 - Efeito da eliminação da luz de fundo. Imagem capturada pela filmadora (A). Imagem obtida após a eliminação da luz de fundo (B).	63
Figura 5.9 - Imagem binária de uma mão apoiada sobre a tela de	64

acrílico.

Figura 5.10 - Imagem binária após aplicação do filtro mediano.	64
Figura 5.11 - Coordenadas centrais pintadas em vermelho das regiões encontradas na imagem binária.	65
Figura 5.12 - Aspecto borrado da imagem capturada durante o movimento do dedo sobre a tela. Imagem não binarizada (A). Imagem binarizada (B).	66
Figura 5.13 - Rastro do movimento de um dedo sobre a tela.	66
Figura 5.14 - Distância entre as coordenadas de uma região durante o movimento do dedo sobre a tela.	67
Figura 5.15 - Aplicação da parafina gel sobre a placa de acrílico.	68
Figura 5.16 - Aspecto final da camada de parafina gel sobre a placa de acrílico.	68
Figura 5.17 - Fonte linear de luz conectada à placa de acrílico. Montagem dos LEDs de 5mm no perfil de alumínio (A). Fonte luminosa conectada à placa de acrílico (B).	69
Figura 5.18 - Correspondência entre a tabela de cores e os valores numéricos.	69
Figura 5.19 - Efeito do alinhamento dos LEDs de 5 mm de diâmetro na homogeneidade da luz. Inclinação em 30 graus (A). Inclinação em 90 graus (B).	70
Figura 5.20 - Uniformidade da intensidade da luz na tela do sistema <i>multitouch</i> . Os 20 LEDs foram posicionados perpendiculares ao acrílico (A e B) e inclinados de um ângulo igual a 30 graus em relação à face lateral da placa de acrílico (C e D).	70
Figura 5.21 - Ação do filtro de infravermelho em imagens obtidas com a filmadora Sony DCR-H21. Sem filtro (A). Um filtro (B). Três filtros (C).	71
Figura 6.1 – Configurações alternativas do sistema de projeção. Usando um espelho perpendicular ao projetor (A). Usando um projetor com distância de projeção menor (B).	73

Figura 6.2 – Distorção radial. Imagem original (A). Imagem com correção da distorção radial (B).	75
Figura 6.3 – Histograma de uma imagem capturada usando LEDs de 5 mm. Imagem capturada (A). Histograma (B).	77
Figura 6.4 – Imagem capturada pela filmadora usando LEDs de 5mm (A) e respectivo histograma (B).	78
Figura 6.5 – Efeito do entrelaçamento da imagem. Imagem capturada pela filmadora (A). Imagem da filmadora binária (B).	79
Figura 6.6 – Efeito do desentrelaçamento da imagem. Imagem formada pelas linhas pares (A). Imagem formada pelas linhas ímpares (B). Soma das imagens (C).	80
Figura 8.1 – Câmera Playstation eye (A). Projetor Benq Mp771 (B). Flex Strip (C).	87

Everything is best for something and worst for something else.

Bill Buxton