

Paulo Gallotti Rodrigues

**v-Glove: Uma proposta de dispositivo de interação para
aplicações imersivas de realidade virtual**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Alberto Barbosa Raposo

Rio de Janeiro
Abril de 2011



Paulo Gallotti Rodrigues

**v-Glove: Uma proposta de dispositivo de interação para
aplicações imersivas de realidade virtual**

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

Prof. Alberto Barbosa Rapodo

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Marcelo Gattass

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Hugo Fuks

Departamento de Informática – PUC-Rio

Dr. Felipe Gomes de Carvalho

Tecgraf – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de janeiro, 1 de abril de 2011

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

Paulo Gallotti Rodrigues

Graduado em Informática na PUC-Rio em 2007. Sua área de pesquisa atual é Computação Gráfica. Sua experiência profissional inclui mais de 9 anos atuando como analista de sistemas e arquiteto de software na área de telecomunicações.

Ficha Catalográfica

Rodrigues, Paulo Gallotti

v-Glove: uma proposta de dispositivo de interação para aplicações imersivas de realidade virtual / Paulo Gallotti Rodrigues; orientador: Alberto Barbosa Raposo. – 2011.
102 f.: il. (color.); 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2011.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Realidade virtual. 3. Interação 3D. 4. IHC. I. Raposo, Alberto Barbosa. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Dedico este trabalho ao meu filho Eduardo,
que nascerá dentro de alguns meses.

Agradecimentos

A minha esposa Fernanda, pelo seu amor e companheirismo, pelas inúmeras contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho e especialmente pelo suporte na difícil decisão de dedicar-me integralmente ao mestrado.

Aos meus pais por serem grandes exemplos de vida e por terem sempre me apoiado nas decisões mais importantes da minha vida.

Ao meu orientador Alberto Barbosa Raposo, pelo apoio e por toda sua dedicação na elaboração do trabalho, e pela oportunidade de vir para o Tecgraf.

Aos amigos Luciano Soares, Manuel Loaiza e Mathias Zug pelas contribuições na materialização das ideias e na construção do hardware necessário.

Ao amigo Marcus Alencar pela consultoria em Interação Humano-computador e pelo auxílio prestado durante a realização dos testes com os usuários.

Ao pessoal do SecondLab, em particular à Katia Cánepa, Débora Cardador e ao Eduardo Velloso pela grande ajuda no aprendizado do Lilypad Arduino.

Ao pessoal dos grupos do Galileu, Environ e Vídeo Interativo pela participação nos testes com usuários e pelas diversas sugestões e contribuições dadas durante a construção do trabalho.

Ao Tecgraf pelo suporte financeiro e pelo fornecimento de toda a infraestrutura necessária.

À Petrobras através do Ismael Santos, que apoiou a realização do trabalho e viabilizou minha vinda para o Tecgraf através do projeto Galileu.

Resumo

Rodrigues, Paulo Gallotti; Raposo, Alberto Barbosa. **v-Glove: Uma proposta de dispositivo de interação para aplicações imersivas de realidade virtual**. Rio de Janeiro, 2011. 102p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Dispositivos de interação tradicionais como mouse e teclado não se adaptam adequadamente a aplicações imersivas, uma vez que sua utilização nesse tipo de ambiente não é ergonômica, já que o usuário pode estar em pé ou até mesmo em movimento. Além disso, utilizando o modelo atual de interação para esse tipo de aplicação (baseado em *wands* e mouses 3D), o usuário se vê obrigado a realizar diversas mudanças de contexto a cada vez que necessita realizar uma tarefa não suportada no modo imersivo, especialmente a entrada de símbolos. Essas mudanças constantes de contexto da imersão para o WIMP (*Windows, Icons, Menus and Pointers*) introduzem uma ruptura no modo de interação do usuário com a aplicação. O objetivo deste trabalho é explorar as possibilidades de uso de um dispositivo que mapeia uma interface de toque em um ambiente imersivo de realidade virtual. Foi desenvolvida uma luva para interação com ambientes imersivos de realidade virtual 3D (v-Glove) com duas funcionalidades principais: rastreamento da posição referente ao dedo indicador do usuário no espaço e a geração de uma vibração na extremidade do dedo indicador no momento em que este atinge a localização de uma área plana mapeada no espaço de interação. Foram feitos testes quantitativos e qualitativos com usuários para avaliar a v-Glove, comparando-a com um mouse 3D tradicionalmente utilizado em ambientes imersivos.

Palavras-chave

Realidade Virtual; Interação 3D; IHC.

Abstract

Rodrigues, Paulo Gallotti; Raposo, Alberto Barbosa (Advisor). **v-Glove: Proposing an interaction device for immersive virtual reality applications**. Rio de Janeiro, 2010. 102p. MSc Dissertation – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Traditional interaction devices such as mouse and keyboard don't adapt to immersive applications, since their use in this kind of environment isn't ergonomic, because the user may be standing or in movement. Moreover, in the current interaction model for this kind of application (based on wands and 3D mice), the users have to change context every time they need to execute a non-immersive task, specially the symbolic input. These constant context changes from immersion to WIMP (Windows, Icons, Menus and Pointers) introduce a rupture in the user interaction with the application. The objective of this work is to explore the use possibilities of a device that maps a touch interface in a virtual reality immersive environment. We developed a glove for interaction in 3D virtual reality immersive environments (v-Glove), which has two main functionalities: tracking of the position of the user's forefinger in the space and the generation of a vibration in the fingertip when it reaches an area mapped in the interaction space. We performed quantitative and qualitative tests with users to evaluate v-Glove, comparing it with a 3D mouse used in immersive environments.

Keywords

Virtual Reality; 3D Interaction; HCI.

Sumário

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Introdução | 14 |
| 2 | Trabalhos Relacionados | 17 |
| 2.1. | Hardware | 17 |
| 2.1.1. | Sistema de rastreamento de dedos da A.R.T. | 17 |
| 2.1.2. | Feedback tátil em aplicações imersivas de realidade virtual | 19 |
| 2.2. | Software | 20 |
| 2.2.1. | Tela de toque virtual | 20 |
| 2.2.2. | Teclado 3D de realidade aumentada | 23 |
| 2.2.3. | <i>Widgets</i> 3D | 24 |
| 2.3. | Considerações | 26 |
| 3 | v-Glove: um dispositivo de interação para aplicações imersivas de realidade virtual | 27 |
| 3.1. | Princípio de funcionamento | 27 |
| 3.2. | Visão geral | 27 |
| 3.3. | Luva | 28 |
| 3.3.1. | Micro controlador Arduino | 31 |
| 3.3.2. | Antena e modem XBee | 31 |
| 3.3.3. | Feedback tátil | 32 |
| 3.3.4. | Marcadores retroreflexivos | 33 |
| 3.4. | Câmeras de rastreamento | 34 |
| 3.4.1. | Posicionamento das câmeras | 35 |
| 3.4.2. | Iluminador infravermelho | 37 |
| 3.5. | Estações de controle | 38 |
| 3.5.1. | Estação de controle de rastreamento e feedback tátil | 38 |
| 3.5.2. | Estação de controle da aplicação | 39 |
| 3.6. | Sistema da Cave | 40 |
| 3.7. | Arquitetura de software | 41 |
| 3.7.1. | Menu Rendering Service | 42 |
| 3.7.2. | Wii Remote Connector | 43 |
| 3.7.3. | VR Proxy | 45 |
| 3.7.4. | Tactile Feedback Connector | 47 |
| 3.7.5. | Configuration Manager | 49 |
| 4 | Estudo de Caso: Environ | 50 |
| 4.1. | Adaptações no Environ | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.1.1. Interface de menus e <i>widgets</i> | 52 |
| 4.1.2. Cursor do mouse | 53 |
| 4.2. Experimento | 54 |
| 4.2.1. Formato do Estudo | 54 |
| 4.2.2. Grupos de Usuários | 59 |
| 4.2.3. Perfil dos Participantes | 59 |
| 4.2.4. Equipamentos | 60 |
| 4.2.5. Teste Piloto | 61 |
| 4.3. Resultados dos Testes | 61 |
| 4.3.1. Sucesso da Tarefa (<i>task success</i>) | 62 |
| 4.3.2. Duração da tarefa (<i>task time</i>) | 62 |
| 4.3.3. <i>Métricas de situações de usabilidade (issue-based metrics)</i> | 63 |
| 4.3.3.1. Frequência | 63 |
| 4.3.3.2. Prioridade | 64 |
| 4.3.3.3. <i>Rating</i> | 64 |
| 4.3.3.4. Categoria | 64 |
| 4.3.4. Métricas auto-relatadas (<i>self-reported metrics</i>) | 69 |
| 4.3.4.1. Análise quantitativa | 69 |
| 4.3.4.2. Análise qualitativa - sugestões de melhorias | 71 |
| 4.4. Discussões | 74 |
| 4.4.1. Comparação dos resultados das métricas de usabilidade e impacto do perfil dos usuários | 74 |
| 4.4.2. Impacto do feedback tátil na v-Glove | 76 |
| 4.4.3. Impacto do aprendizado na avaliação | 77 |
| 5 Conclusão | 79 |
| 5.1. Trabalhos futuros | 80 |
| 5.1.1. Teste da v-Glove com tarefas de interação 3D | 81 |
| 5.1.2. Ajuste na escala de cores do feedback visual | 81 |
| 5.1.3. Suporte multi-toque e de gestos | 81 |
| 5.1.4. Interação com as duas mãos | 81 |
| 5.1.5. Alteração no Posicionamento das câmeras | 82 |
| 5.1.6. Clicar através do movimento de pinçar entre os dedos | 82 |
| 5.1.7. Plano de toque virtual relativo à localização do usuário | 82 |
| 6 Referências Bibliográficas | 83 |
| Apêndice A – Estrutura de um programa Arduino e código fonte comentado | 87 |
| Apêndice B | 90 |
| Apêndice C – Material para Observação de Uso | 92 |
| C.1 Termo de Consentimento | 92 |

| | |
|---|-----|
| C.2 Questionário inicial – Levantamento de perfil do participante | 93 |
| C.3 Formulário de acompanhamento dos testes | 94 |
| C.4 Questionários pós-testes | 95 |
| Apêndice D – Análise da variância (ANOVA) | 97 |
| D.1 ANOVA no desempenho das tarefas | 97 |
| D.2 ANOVA no questionário pós-testes | 100 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Sistema de rastreamento da A.R.T. [ART Tracking 2011]. | 18 |
| Figura 2.2: Luva para rastreamento de dedos da A.R.T. com 3 e 5 dedos [ART Fingertracking 2011]. | 18 |
| Figura 2.3: Tactile Feedback at the Finger Tips [Scheibe, Moehring e Froehlich 2007]. | 20 |
| Figura 2.4: Inicialização do teclado virtual estático [Tosas e Li 2004]. | 22 |
| Figura 2.5: Virtual Touch Screen for Mixed Reality [Tosas e Li 2004]. | 23 |
| Figura 2.6: ARKB: 3D Augmented Reality Keyboard [Lee e Woo 2003]. | 24 |
| Figura 3.1: Visão geral da solução proposta | 28 |
| Figura 3.2: Primeiro protótipo da v-Glove | 29 |
| Figura 3.3: Diagrama esquemático do circuito da luva [Tune Glove 2011] | 30 |
| Figura 3.4: Micro-controlador Lilypad Arduino 328 [SparkFun 2011] | 31 |
| Figura 3.5: Modem XBee 1mW Chip Antenna [SparkFun 2011] | 32 |
| Figura 3.6: Lilypad Vibe Board [SparkFun 2011] | 33 |
| Figura 3.7: (a) Tecido refletivo 3M 8910 [3M 2011], (b) Tecido refletivo aplicado à v-Glove | 33 |
| Figura 3.8: Wii Remote [Wii Remote 2011] | 35 |
| Figura 3.9: Posicionamento das câmeras IR em relação ao usuário | 36 |
| Figura 3.10: Iluminador infravermelho | 37 |
| Figura 3.11: Estação de controle de rastreamento e feedback tátil com o modem XBee | 39 |
| Figura 3.12: Cave montada no CENPES da Petrobras | 41 |
| Figura 3.13: Diagrama de arquitetura do software | 42 |
| Figura 3.14: Diagrama de classes do Menu Rendering Service | 43 |
| Figura 3.15: Diagrama de classes do Wii Remote Connector | 44 |
| Figura 3.16: Diagrama de sequência da recepção de um evento de infravermelho | 44 |
| Figura 3.17: Diagrama de classes do VR Proxy | 45 |
| Figura 3.18: Diagrama de sequência do carregamento do Environ | 46 |
| Figura 3.19: Diagrama de sequência do envio de um comando para o Environ | 47 |
| Figura 3.20: Diagrama de classes do Tactile Feedback Connector | 48 |
| Figura 3.21: Diagrama de sequência da operação de acionar o feedback tátil | 48 |
| Figura 4.1: Tela principal do Environ em modo desktop [Raposo et al 2009] | 50 |
| Figura 4.2: Interface de menus do Environ no padrão WIMP [Raposo et al 2009] | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.3: <i>Widgets</i> criados neste trabalho | 53 |
| Figura 4.4: Variação das cores do cursor | 54 |
| Figura 4.5: Mouse 3D com acelerômetro utilizado nos testes [Air Mouse 2011] | 55 |
| Figura 4.6: Menu principal da aplicação de testes | 55 |
| Figura 4.7: Opções da segunda e terceira tarefas | 56 |
| Figura 4.8: Opções da quarta e quinta tarefas | 57 |
| Figura 4.9: Instruções para o usuário durante a realização das tarefas | 58 |
| Figura 4.10: Sala utilizada nos testes com os usuários | 60 |
| Figura 4.11: Percentual de sucesso por tarefa para cada dispositivo | 62 |
| Figura 4.12: Média de tempo por grupo | 63 |
| Figura 4.13: Classificação das situações de usabilidade por frequência e prioridade | 66 |
| Figura 4.14: Média de notas por grupos por dispositivo (visão geral) | 70 |
| Figura 4.15: Notas por <i>widget</i> para cada dispositivo | 70 |
| Figura 4.16: Percentual de situações de usabilidade por dispositivo | 75 |
| Figura 4.17: Opinião dos usuários sobre o recurso de feedback tátil na v-Glove | 76 |
| Figura 4.18: Evolução do aprendizado das tarefas | 77 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.1: Classificação dos componentes de interface gráfica do Environ | 52 |
| Tabela 4.2: Média de idade dos participantes | 59 |
| Tabela 4.3: Situações de usabilidade observadas | 65 |
| Tabela 4.4: Sugestões dos participantes | 71 |
| Tabela B.1: Comandos de configuração do modem XBee [Digi 2009] | 91 |
| Tabela D.2: Dados de desempenho dos participantes nas tarefas | 98 |
| Tabela D.3: ANOVA gerado no Excel para o desempenho dos participantes | 99 |
| Tabela D.4: Notas dadas pelos participantes para os dispositivos | 100 |
| Tabela D.5: ANOVA gerado no Excel para as notas dos participantes | 101 |