

**Francisco Mauro Alves
Fonseca**

**Texturas com Relevo
utilizando Iluminação por
Pixel e Processamento
Paralelo**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Pós-graduação em
Informática**

Rio de Janeiro
Janeiro de 2004



Francisco Mauro Alves Fonseca

**Texturas com Relevo utilizando Iluminação
por Pixel e Processamento Paralelo**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Informática do Departamento de Informática
da PUC-Rio

Orientador: Prof. Bruno Feijó
Co-Orientador: Prof. Marcelo Dreux

Rio de Janeiro
Janeiro de 2004



Francisco Mauro Alves Fonseca

**Texturas com Relevo utilizando Iluminação
por Pixel e Processamento Paralelo**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre 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. Bruno Feijó

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Marcelo Dreux

Co-Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes

Departamento de Matemática — PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo Azambuja Sauerbronn

Departamento de Expressão Gráfica — UFRJ

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —

PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de Janeiro de 2004

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

Francisco Mauro Alves Fonseca

Graduou-se em Ciência da Computação na UFV - Universidade Federal de Viçosa. Durante sua graduação, foi pesquisador do CNPq em um trabalho de iniciação científica no departamento de Informática da UFV. Durante o Mestrado foi bolsista da CAPES, desenvolvendo um trabalho aplicado em renderização baseada em imagens. Atualmente trabalha desenvolvendo jogos eletrônicos.

Ficha Catalográfica

Fonseca, Francisco M. A.

Texturas com Relevo utilizando Iluminação por Pixel e Processamento Paralelo/ Francisco Mauro Alves Fonseca; orientador: Bruno Feijó; co-orientador: Marcelo Dreux. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2004.

110 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Dissertações. 2. Computação Gráfica. 3. Renderização Baseada em Imagem. 4. Texturas com Relevo. 5. *Pipeline* Programável. 6. Processamento Paralelo. I. Feijó, Bruno. II. Dreux, Marcelo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Aos meus pais, Francisco e Maria Enedina, à minha irmã Denise, ao meu avô Matias e aos meus saudosos avós Emílio, Quiquita e Petita.

Agradecimentos

A Deus.

À minha família por ter me oferecido a base necessária que me permitiu ter chegado com êxito até este momento da minha vida.

À minha futura esposa Évelin pelo constante apoio, pela interminável paciência e pelas inúmeras vezes em que o seu amor e atenção foram essenciais na renovação da minha dedicação para continuar a realizar este trabalho.

Ao meu orientador Bruno Feijó por toda a atenção dedicada a este trabalho e, principalmente, pela confiança depositada.

Ao Prof. Marcus Vinícius Alvim de Andrade, da Universidade Federal de Viçosa, por ter sido o grande responsável pelo meu ingresso na área de Computação Gráfica.

Aos amigos Alexandre Duarte, Marcelo Reis, Marconi de Arruda e Luis Gustavo pela amizade e pelos diversos momentos agradáveis desfrutados ao longo deste período.

Ao amigo Gilliard Lopes pela amizade, pelas oportunidades oferecidas ao longo deste período e pelo constante ensinamento através do qual foi possível alcançar um amadurecimento como pesquisador e como pessoa.

Ao amigo Fabio Policarpo pela constante ajuda no desenvolvimento do programa e por ter disponibilizado a biblioteca de computação gráfica paralelo3D para a implementação do sistema.

Ao Prof. Marcelo Dreux e ao colega Esteban Clua pela dedicação a este trabalho na forma de orientações, leituras e correções.

Aos colegas dos laboratórios ICAD/Igames e Lab-Pós pelo convívio amistoso e saudável, o que tornou ainda mais proveitoso este período de estudo; e aos funcionários do Departamento de Informática sempre prestativos no atendimento.

À CAPES e à FINEP pelo apoio financeiro, e aos laboratórios ICAD/Igames e VisionLab pelo ambiente de trabalho oferecido.

Resumo

Fonseca, Francisco M. A.; Feijó, Bruno; Dreux, Marcelo. **Texturas com Relevo utilizando Iluminação por Pixel e Processamento Paralelo**. Rio de Janeiro, 2004. 110p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A principal motivação para realização deste trabalho é verificar a viabilidade de uso da técnica de mapeamento de textura com relevo em aplicações que exijam interação em tempo real como, por exemplo, jogos eletrônicos.

Esta dissertação apresenta uma extensão ao mapeamento de textura com relevo que suporta a representação de efeitos dependentes do ponto de vista e da direção de iluminação, que antes não eram possíveis de serem representados. Além disso, propõe uma forma de paralelizar tal mapeamento entre CPU e GPU (*Graphic Processor Unit*), utilizando-se para isto da tecnologia de *Hyper-Threading*.

Nesta nova abordagem, cada amostra pertencente a uma textura com relevo é aumentada para incluir três valores escalares representando o vetor normal à superfície reproduzida pela textura. Desta forma, o cálculo de iluminação pode ser efetuado por *pixel*.

A paralelização do processo de mapeamento de textura com relevo demonstra-se favorável uma vez que são obtidos ganhos de até 37% em relação ao tempo de processamento da abordagem convencional.

Palavras-chave

Computação Gráfica, Renderização Baseada em Imagem, Texturas com Relevo, *Pipeline* Programável, Processamento Paralelo.

Abstract

Fonseca, Francisco M. A.; Feijó, Bruno; Dreux, Marcelo. **Relief Textures using Per Pixel Lighting and Parallel Processing.** Rio de Janeiro, 2004. 110p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The main motivation for this work is to verify the feasibility of using relief texture mapping in high-demand real-time applications, such as computer games.

This dissertation presents an extension to relief texture mapping that supports the representation of effects that depend of viewpoint and illumination direction, which could not be represented with previous techniques. Moreover, it proposes a way to parallelize relief texture mapping between CPU and GPU, using Hyper-Threading technology.

In this new approach, each element that belongs to a relief texture is augmented to include three scalar values representing the normal vector of the reproduced surface. So, the illumination can be calculated per pixel. In the proposed approach, the parallelization of the relief texture mapping represents an acceleration of up to 37% when compared to conventional techniques.

Keywords

Computer Graphics, Image-Based Rendering, Relief Textures, Programmable Pipeline, Parallel Processing.

Conteúdo

1	Introdução	15
1.1	Contexto Histórico	17
1.2	Visão Geral do Mapeamento de Texturas com Relevo	20
1.3	Objetivos do Trabalho	21
1.4	Estrutura da Dissertação	23
1.5	Contribuições Alcançadas	24
2	Texturas com Relevo e Equações de Pré <i>Warping</i>	25
2.1	Imagens e Mapas de <i>Warp</i>	25
2.2	Imagens com Profundidade e Texturas com Relevo	26
2.3	<i>Warping</i> Tridimensional de Imagens	27
2.4	A Fatoração Ideal	30
2.5	Equações de Pré <i>Warping</i> para Texturas com Relevo	32
2.5.1	Os Coeficientes das Equações de Pré <i>Warping</i>	34
2.6	Ordem Compatível de Oclusão	35
2.7	Discussão	38
3	Amostragem e Reconstrução de Imagens	40
3.1	O Problema Computacional	41
3.2	Representação Computacional dos Dados de Entrada	41
3.2.1	Posição corrente do Observador	41
3.2.2	Textura com Relevo	42
3.2.3	Quadrilátero	44
3.3	Processo de Aquisição de Texturas com Relevo	45
3.4	Amostragem e Reconstrução a partir de Texturas com Relevo	46
3.4.1	Amostragem Unidimensional Realizada em Dois Passos	47
3.4.1.1	Limitações	50
3.4.2	Amostragem Assimétrica Realizada em Dois Passos	51
3.4.3	Amostragem Realizada em Dois Passos com Compensação de Deslocamento	54
3.4.4	Amostragem Intercalada Realizada em Um Passo	58
3.5	<i>Framework</i> de Amostragem e Reconstrução	58
3.6	Cálculo de Iluminação por <i>Pixel</i>	65
3.6.1	Sistemas de Coordenadas do <i>Pipeline</i> Gráfico	65
3.6.1.1	Iluminação no Espaço da Textura	66
3.6.2	O programa de Vértice	67
3.6.3	O programa de Fragmento	68
3.7	Discussão	70
4	Processamento Paralelo	73
4.1	Conceitos Relacionados com Paralelismo	74
4.1.1	Categorias de Sistemas	74
4.1.2	Modelos de Programação	74

4.2	<i>Hyper-Threading</i>	75
4.3	Otimização do Processo de Amostragem e Reconstrução	76
4.3.1	Abordagem Paralela	78
4.3.2	Abordagem <i>Multi-Threaded</i>	82
4.4	Discussão	87
5	Resultados	88
5.1	Medidas de Desempenho	89
5.2	Tempo de CPU	89
5.3	Quadros por Segundo	90
5.4	Utilização de Texturas com Relevo em Jogos Eletrônicos	93
5.5	Discussão	94
6	Conclusão	100
6.1	Trabalhos Futuros	102
7	Bibliografia	105

Lista de Figuras

1.1	Dados e processos da Computação Gráfica.	15
1.2	Exemplo de uma textura mapeada sobre um polígono.	17
1.3	Mesma vista da Figura 1.2 renderizada utilizando o mapeamento de rugosidades.	18
1.4	Ilustração da técnica de mapeamento de deslocamentos.	19
1.5	Algoritmo de mapeamento de textura com relevo.	20
1.6	Comparação entre as técnicas de mapeamento de rugosidades e mapeamento de textura com relevo.	22
2.1	Modelo de câmera de projeção perspectiva.	27
2.2	Representação do modelo de câmera de projeção paralela.	27
2.3	Textura de cor (a) e mapa de profundidade (b) associado a uma textura com relevo.	28
2.4	Uma textura com relevo e sua reprojeção visualizada de um ângulo oblíquo.	28
2.5	Recuperação das coordenadas de um ponto no espaço Euclidiano a partir de uma imagem de projeção perspectiva com profundidade.	29
2.6	Ponto \hat{x} no espaço Euclidiano projetado sobre o suporte da imagem fonte e sobre o suporte da imagem destino.	30
2.7	A amostra \vec{x}_s é deslocada para \vec{x}_i com o propósito de obter a visão de \hat{x} visto de \hat{C}_t	31
2.8	Cálculo da projeção do ponto \hat{x} sobre uma câmera destino de projeção perspectiva a partir de suas coordenadas em uma câmera fonte de projeção paralela.	33
2.9	Câmeras de projeção paralela e perspectiva compartilhando o mesmo plano de projeção	35
2.10	Ordem compatível de oclusão.	37
2.11	Ordem compatível de oclusão: intuição geométrica.	37
3.1	Estrutura do algoritmo de mapeamento de textura com relevo.	46
3.2	A textura com relevo é dividida em quatro regiões.	47
3.3	<i>Warping</i> de um <i>texel</i>	50
3.4	Ruídos resultantes de oclusão.	51
3.5	Sistemas de coordenadas e transformações pelas quais os vértices são processados através do <i>pipeline</i> gráfico.	66
3.6	Captura de amostras além do limite do plano de suporte da imagem fonte.	71
3.7	Divisão do espaço do objeto dentro de regiões numeradas.	71
4.1	Arquitetura de processadores.	76
4.2	Diagrama do processo convencional envolvido na amostragem e reconstrução de imagens a partir de texturas com relevo.	76

4.3	Diagrama do processo paralelo envolvido na amostragem e reconstrução de imagens a partir de texturas com relevo.	78
4.4	Máquina de estados da <i>thread</i> de CPU.	78
4.5	Diagrama do processo <i>multi-threaded</i> envolvido na amostragem e reconstrução de imagens a partir de texturas com relevo.	82
4.6	Ilustração do processo de divisão do mapa de normal com profundidade.	83
4.7	Visão incompleta da superfície representada.	84
4.8	<i>Pipeline</i> de multi-processadores para uma arquitetura com <i>Hyper-Threading</i>	87
5.1	Texturas de entrada para os experimentos realizados.	96
5.2	Resultados visuais obtidos através da execução da variante 1.	97
5.3	Resultados visuais obtidos através da execução da variante 1.	98
5.4	Resultados visuais obtidos através da execução da variante 1.	99
6.1	Qualquer ponto visível de qualquer posição de um observador pode ser descrito pela função plenótica.	103

Lista de Tabelas

5.1	Amostras para realização dos experimentos.	90
5.2	Tempo de CPU para as quatro variantes de implementação da abordagem seqüencial.	90
5.3	Média de quadros por segundo para as abordagens seqüencial, paralela e <i>multi-threaded</i> para um observador estático.	91
5.4	Média de quadros por segundo para as abordagens seqüencial, paralela e <i>multi-threaded</i> para um observador em movimento.	92
5.5	Informações sobre os modelos poligonais que originaram os mapas de normal das amostras 1, 2 e 3.	93

Lista de Algoritmos

1	Ordem compatível de oclusão para imagens fonte de projeção perspectiva.	36
2	Ordem compatível de oclusão para imagens fonte de projeção paralela.	38
3	Pseudo-código para o passo horizontal do estágio de pré <i>warping</i> de uma textura com relevo.	48
4	Pseudo-código para o estágio de reconstrução do passo horizontal do pré <i>warping</i> de uma textura com relevo.	49
5	Pseudo-código para o passo horizontal do <i>warping</i> assimétrico.	53
6	Pseudo-código para o estágio de reconstrução do passo horizontal do <i>warping</i> assimétrico.	54
7	Pseudo-código para o passo horizontal do <i>warping</i> com compensação de valores de profundidade.	56
8	Pseudo-código para o estágio de reconstrução do passo horizontal do <i>warping</i> com compensação de deslocamento.	57
9	Pseudo-código para o estágio de reconstrução da abordagem intercalada.	59
10	Pseudo-código para instanciação do quadrilátero quad.	59
11	Reinicialização dos recursos do algoritmo de mapeamento de textura com relevo.	60
12	Configuração do modelo de câmera associado ao quadrilátero quad.	61
13	Inicialização de <i>lookup tables</i>	61
14	Pseudo-código para amostragem 1D realizada em dois passos.	63
15	Pseudo-código para o mapeamento de textura com relevo.	64
16	Programa de vértice para o cálculo de iluminação por <i>pixel</i>	67
17	Programa de fragmento para o cálculo de iluminação por <i>pixel</i>	69
18	Pseudo-código para renderizar seis texturas com relevo, cada uma associada a uma das faces da caixa envolvente do objeto a ser representado.	72
19	Pseudo-código para instanciação do quadrilátero quad modificado para conter a operação que cria a <i>thread</i> de CPU.	79
20	Pseudo-código para a rotina principal de desenho executada uma vez por quadro.	80
21	Pseudo-código para a <i>thread</i> de CPU.	81
22	Pseudo-código para dividir o <i>buffer</i> de imagens de entrada para o algoritmo de mapeamento de textura com relevo.	83
23	Pseudo-código para unir os <i>buffers</i> de quad1 e quad2.	85

24	Pseudo-código para a rotina principal de desenho executada uma vez por quadro modificada de acordo com a nova abordagem. .	86
25	Renderização de objetos 3D em jogos eletrônicos através de técnicas de mapeamento de textura.	94