

Rodrigo Pereira Martins

**Renderização em tempo real
utilizando mapas de
iluminação em alta precisão**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

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

Rio de Janeiro
Abril de 2006



Rodrigo Pereira Martins

**Renderização em tempo real utilizando
mapas de iluminação em alta precisão**

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

Rio de Janeiro
Abril de 2006



Rodrigo Pereira Martins

**Renderização em tempo real utilizando
mapas de iluminação em alta precisão**

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. Luiz Velho

Visgraf — Instituto de Matemática Pura e Aplicada

Prof. Waldemar Celes

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de Abril de 2006

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

Rodrigo Pereira Martins

Graduou-se em Ciência da Computação pela UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro). Atualmente é pesquisador associado ao laboratório VisionLab ICAD IGAMES. Sua linha de pesquisa se concentra em computação gráfica em tempo real, algoritmos de iluminação global e processamento de imagens. Trabalha no desenvolvimento de *engines* para jogos e jogos em diferentes plataformas

Ficha Catalográfica

Martins, Rodrigo P.

Renderização em tempo real utilizando mapas de iluminação em alta precisão/ Rodrigo Pereira Martins; orientador: Bruno Feijó — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Informática, 2006.

99 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Computação Gráfica. 3. Imagens *High Dynamic Range*. 4. *Image Based Lighting*. I. Feijó, Bruno. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

À Deus, minha mãe, meu pai, minha irmã, e todos aqueles de alguma forma me ajudam a percorrer esse caminho.

Agradecimentos

Agradeço à minha família pelo suporte e carinho durante todos esses anos. Ao professor Bruno Feijó pela confiança depositada em mim e ao professor Luiz Velho pelos grandes ensinamentos durante a dissertação. Agradeço também aos meus amigos do Icad, especialmente: Lucas, Börje e Cris pelos grandes momentos de diversão no laboratório. Gostaria de agradecer a Bungie Studios por Halo, Halo 2, Halo 3 ... E finalmente à você que está lendo essa dissertação. Agradecimentos são devidos à CAPES pelo apoio financeiro, à FINEP pela infraestrutura e ao VisionLab por apoiar o desenvolvimento desta pesquisa.

Resumo

Martins, Rodrigo P.; Feijó, Bruno. **Renderização em tempo real utilizando mapas de iluminação em alta precisão**. Rio de Janeiro, 2006. 99p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Em 1997, o trabalho seminal de Paul Debevec e Jitendra Malik sobre a geração de imagens HDR (High Dynamic Range), a partir de câmeras comuns LDR (Low Dynamic Range), facilitou enormemente a geração de sondas de luz (*light probes*). Consequentemente, isto provocou uma explosão de trabalhos sobre renderização de objetos com imagens de luz do mundo real, que é conhecida como Iluminação Baseada em Imagem (*Image-Based Lighting*). A presente dissertação objetiva estudar esta nova área, procurando se situar na questão da composição (*compositing*) em tempo real de objetos sintéticos em imagens reais. Esta dissertação propõe um *pipeline* de renderização em tempo real para jogos 3D, no caso simples de cenas estáticas, adaptando a técnica não em tempo real apresentada por Paul Debevec em 1998. Não há trabalhos escritos na literatura sobre esta adaptação, embora haja alguma referência a desenvolvimentos realizados por fabricantes de placas gráficas nesta direção. Esta dissertação também apresenta um experimento com objetos difusos. Além do mais, o autor dá idéias na direção da solução de problemas de sombra para objetos difusos.

Palavras-chave

Imagens HDR, Processamento de imagens, Renderização em tempo real, Iluminação global.

Abstract

Martins, Rodrigo P.; Feijó, Bruno. **Real time rendering using high dynamic range illumination maps**. Rio de Janeiro, 2006. 99p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In 1997, the seminal work by Paul Debevec and Jitendra Malik on the generation of HDR (High Dynamic Range) images, from ordinary LDR (Low Dynamic Range) cameras, facilitated the generation of light probes enormously. In consequence, this caused a boom of works on the rendering of objects with images of light from the real world, which is known as Image-Based Lighting. The present dissertation aims to study this new area, trying to situate itself in the question of real-time compositing of synthetic objects in real images. This dissertation proposes a real-time rendering pipeline for 3D games, in the simple case of static scenes, adapting the non-real-time technique presented by Paul Debevec in 1998. There is no written work about this adaptation in the literature, although exists some reference to developments done by graphics card manufacturers in this direction. Also this dissertation presents an experiment with diffuse objects. Moreover, the author gives ideas towards the solution of shadow problems for diffuse objects.

Keywords

HDR Images, Image processing, real time rendering, global illumination.

Conteúdo

1	Introdução	13
1.1	O Problema da composição em HDR	13
1.2	Iluminação Baseada em Imagem	20
1.3	Imagens <i>High Dynamic Range</i>	23
1.4	Objetivos e Organização da Dissertação	30
2	Radiometria e fotometria	32
2.1	Luz como energia	32
2.1.1	Medidas radiométricas	32
2.2	Medidas fotométricas	35
3	O Tratamento HDR	38
3.1	Aquisição de imagens HDR	38
3.1.1	Recuperação de curvas de resposta	39
3.1.2	Criação de mapas de radiância	43
3.2	Renderização de objetos sintéticos utilizando mapas de iluminação HDR	44
3.2.1	Método geral	45
3.2.2	Captura de iluminação ambiente	47
3.2.3	Mapeando mapas de iluminação à cena	47
3.2.4	Renderização da cena	48
3.3	Codificação de imagens HDR	48
3.3.1	Características de codificação HDR	49
3.3.2	Formatos	50
3.3.2.1	IEEE 96-bit TIFF	50
3.3.2.2	Formato RGBE	50
3.3.3	Formato OpenEXR	52
3.3.4	Formato para aplicações tempo real sem suporte a texturas em ponto flutuante	53
4	Técnicas de Renderização HDR	54
4.1	Superfícies HDR	54
4.2	Pipeline HDR	55
4.2.1	Renderização da cena	57
4.2.2	Diminuição da superfície de renderização	57
4.2.3	Estágio de <i>Bright Pass Filter</i>	59
4.2.4	<i>Glare</i>	61
4.2.5	Combinação	66
4.2.6	Tonemapping	66
5	Iluminação Baseada em Imagem	69
5.1	Modelos de iluminação e sombreamento	69
5.1.1	Iluminação	69

5.1.1.1	Componente difuso	70
5.1.1.2	Componente especular	71
5.1.1.3	Componente ambiente	72
5.1.1.4	Modelos de iluminação	73
5.1.2	Sombreamento	74
5.2	Mapas de ambiente como iluminação	75
5.2.1	Conceitos básicos de iluminação baseada em imagem	77
5.2.1.1	Aquisição do mapa de iluminação	78
5.2.1.2	Modelagem da geometria da cena	79
5.2.1.3	Mapeamento do mapa de iluminação na superfície do ambiente	79
5.2.1.4	Renderização da cena e pós processamento	80
5.3	Formatos de mapas de iluminação	81
5.3.1	Mapas esféricos	81
5.3.2	Mapas cúbicos	82
5.4	IBL em tempo real	83
5.4.1	<i>Environment mapping</i>	83
5.4.2	Mapas de iluminação difusos	87
5.4.2.1	Oclusão de Ambiente	88
5.4.3	Mapas de ambiente dinâmicos	89
6	Conclusões e trabalhos futuros	92
6.1	Resultados	92
6.2	Conclusões	93
6.3	Trabalhos Futuros	94
	Referências Bibliográficas	95

Lista de Figuras

1.1	Experiência pioneira de Gene Miller com mapa de reflexão fotográfico: (a) ambiente real; (b) bola reflexiva sendo fotografada; (c) cachorro renderizado com o mapa de reflexão. Extraído de G.Miller [1]	15
1.2	Câmera HDR de escaneamento panorâmico SpheroCamHDR (26 F-stops, resolução 10.600 pixels horizontal por 5.300 pixels vertical). Imagem e informações retiradas de www.spheron.com [2]	17
1.3	Técnica de geração de sonda de luz de Debevec [53]. (a) câmera comum com esfera reflexiva (bolas industriais cromadas de 5 cm ou bolas ornamentais de jardim de 15-30cm, encontradas no varejo); (b) geração de mapa de radiância a partir de fotografias com aberturas diferentes da Grace Cathedral, São Francisco (c); (d) sonda de luz da Grace Cathedral, com variação dinâmica de 200000:1. Material extraído de Paul Debevec [3]	18
1.4	Composição de objetos sintéticos em fotografias usando sondas de luz HDR. (a) modelo geométrico do objeto sintético; (b) iluminação do objeto com fundo de floresta; (c) iluminação do objeto com fundo de museu . As sondas usadas estão indicadas no canto superior esquerdo. Material extraído de [3].	18
1.5	Processo geral da técnica de Iluminação Baseada em Imagem .	21
1.6	Geração da textura HDR da cena distante para ser usada na solução de iluminação global	22
1.7	Imagem convencional.	25
1.8	Imagem HDR.	26
2.1	Irradiancia	33
2.2	Saída radiante	34
2.3	Intensidade radiante	34
2.4	Radiância	35
2.5	Plotagem da curva $V(\lambda)$	36
3.1	Conjunto de imagens com exposição diferentes	39
3.2	Método para adição de objetos sintéticos	46
3.3	Formato RGBE	51
3.4	Codificação dos bits no formato OpenEXR. um bit para sinal, cinco para expoente e dez para mantissa	52
4.1	<i>Pipeline</i> HDR para renderização em tempo real	56
4.2	Estágio de <i>bright pass filter</i>	60
4.3	Comparação de filtros gaussianos com valores de pixel não saturados	62
4.4	Plotagem de curva gaussiana	62
4.5	Acesso as coordenadas de textura e seus respectivos pesos.	65

4.6	Separabilidade de filtros gaussianos	66
4.7	Combinação de gaussianas com diferentes raios aplicadas em uma mesma imagem. A imagem original é apresentada a esquerda, as imagens a direita são o resultado da aplicação do filtro gaussiano de raio unitário e da combinação de diferentes raios.	67
4.8	Imagens filtradas de diferentes tamanhos combinadas para gerar o resultado final	68
5.1	Interpretação geométrica do componente difuso	71
5.2	Modelos de sombreamento.	75
5.3	Cena iluminada por luzes sintéticas	76
5.4	Cena iluminada por mapa de iluminação	77
5.5	<i>light probes</i> com diferentes exposições	79
5.6	Mapa de iluminação cúbico	82
5.7	Acesso ao valor de radiância da cena distante (<i>light probe</i>)	84
5.8	Cena renderizada pelo autor utilizando utilizando mapa de iluminação.	86
5.9	Objeto renderizado pelo autor com mapa de iluminação difuso	88

Lista de Tabelas

1.1	Luminância para diferentes ambientes de iluminação.	23
2.1	Diferentes medidas de quantidades radiométricas	35
2.2	Diferentes medidas de quantidades fotométricas	37
4.1	Desempenho baseado nas dimensões do <i>render target</i>	59
6.1	Desempenho médio baseado no tamanho do <i>render target</i>	93