

Vitor Barata Ribeiro Blanco Barroso

**Geração de Sombras em Tempo Real
para Modelos CAD**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Pós-Graduação em Informática

Rio de Janeiro
Abril de 2007

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Vitor Barata Ribeiro Blanco Barroso

Geração de Sombras em Tempo Real para Modelos CAD

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Waldemar Celes Filho

Rio de Janeiro

Abril de 2007

Vitor Barata Ribeiro Blanco Barroso

Geração de Sombras em Tempo Real para Modelos CAD

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

Waldemar Celes Filho
Orientador
PUC-Rio

Marcelo Gattass
PUC-Rio

Luiz Henrique de Figueiredo
IMPA

Marcelo de Andrade Dreux
MEC/PUC-Rio

José Eugênio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de abril de 2007

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

Vitor Barata Ribeiro Blanco Barroso

Graduou-se em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade de Brasília. Especializou-se em Informática, na área de Computação Gráfica, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Trabalhou junto ao laboratório TecGraf no desenvolvimento de algoritmos de cinemática inversa e geração de sombras. Desenvolveu junto com seu orientador durante o Mestrado ferramentas de renderização 3D em tempo real com a utilização de técnicas de mapeamento de sombras.

Ficha Catalográfica

Barroso, Vitor Barata Ribeiro Blanco

Geração de sombras em tempo real para modelos CAD / Vitor Barata Ribeiro Blanco Barroso ; orientador: Waldemar Celes Filho. – 2007.

86 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Informática) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Renderização em tempo real. 3. Algoritmos de sombras. 4. Mapeamento de sombras. 5. Anti-serrilhamento. 6. Modelos CAD. I. Celes Filho, Waldemar. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Para meus pais, Claudia e Paulo, pelo apoio e confiança e por sempre me manterem à luz do conhecimento e da razão.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Waldemar Celes pela compreensão enquanto o tema e o foco da Dissertação ainda não estavam definidos e pelo apoio durante toda a realização do trabalho.

Ao Professor Marcelo Gattass pela oportunidade e pelo incentivo à realização de trabalhos junto ao laboratório TecGraf, com acesso a recursos e ambiente valiosos.

Ao CNPq, à PUC-Rio e ao TecGraf, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais e irmãos, por todo o estímulo, apoio e confiança.

À minha namorada, pelo apoio nos momentos de estresse, o carinho nos momentos felizes, o incentivo, a compreensão e as divertidas sugestões.

Aos meus colegas da PUC-Rio e do TecGraf pela amizade, o ambiente descontraído e todo o apoio e o incentivo.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento e do Tecgraf pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que me estimularam ou ajudaram.

Resumo

Barroso, Vitor B. R. B.; Celes Filho, Waldemar. **Geração de Sombras em Tempo Real para Modelos CAD**. Rio de Janeiro, 2007. 86p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O mapeamento de sombras é uma técnica de renderização amplamente utilizada para a geração de sombras de superfícies arbitrárias em tempo real. No entanto, devido a sua natureza amostrada, apresenta dois problemas de difícil resolução: o aspecto “chamuscado” de objetos e a aparência serrilhada das bordas das sombras. Em particular, o sombreamento de modelos CAD (*Computer-Aided Design*) apresenta desafios ainda maiores, devido à existência de objetos estreitos com silhuetas complexas e o elevado grau de complexidade em profundidade. Neste trabalho, fazemos uma análise detalhada dos problemas de chamuscamento e serrilhamento, revisando e completando trabalhos de diferentes autores. Apresentamos ainda algumas propostas para melhoria de algoritmos existentes: o alinhamento de amostras independente de programas de vértice, um parâmetro generalizado para o LiSPSM (*Light-Space Perspective Shadow Map*), e um esquema de particionamento adaptativo em profundidade. Em seguida, investigamos a eficácia de diferentes algoritmos quando aplicados a modelos CAD, avaliando-os em critérios como facilidade de implementação, qualidade visual e eficiência computacional.

Palavras-chave

Renderização em tempo Real; Algoritmos de sombras; Mapeamento de sombras; Anti-serrilhamento; Modelos CAD

Abstract

Barroso, Vitor B. R. B.; Celes Filho, Waldemar. **Real-Time Shadow Mapping Techniques for CAD Models**. Rio de Janeiro, 2007. 86p. MsC Thesis - Department of Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Shadow mapping is a widely used rendering technique for shadow generation on arbitrary surfaces. However, because of the limited resolution available for sampling the scene, the algorithm presents two difficult problems to be solved: the incorrect self-shadowing of objects and the jagged appearance of shadow borders, also known as aliasing. Generating shadows for CAD (Computer-Aided Design) models presents additional challenges, due to the existence of many thin complex-silhouette objects and the high depth complexity. In this work, we present a detailed analysis of self-shadowing and aliasing by reviewing and building on works from different authors. We also propose some improvements to existing algorithms: sample alignment without vertex shaders, a generalized parameter for the LiSPSM (Light-Space Perspective Shadow Map) algorithm, and an adaptive z-partitioning scheme. Finally, we investigate the effectiveness of different algorithms when applied to CAD models, considering ease of implementation, visual quality and computational efficiency.

Keywords

Real-time rendering; Shadow algorithms; Shadow mapping; Anti-aliasing; CAD models

Sumário

1	Introdução	14
1.1.	Algoritmos de geração de sombras	15
1.2.	Particularidades de modelos CAD	17
1.3.	Contribuições e organização do trabalho	18
2	Trabalhos relacionados	20
2.1.	Anti-chamuscamento	20
2.2.	Filtragem	21
2.3.	Reparametrização e particionamento	21
2.4.	Amostragem irregular e outras técnicas	23
2.5.	Extensões	23
3	Técnicas de redução do chamuscamento e de filtragem	24
3.1.	Tratamento do chamuscamento	25
3.1.1.	Técnicas baseadas em <i>bias</i>	26
3.1.2.	Alinhamento de amostras ou reconstrução	28
3.2.	Tratamento do serrilhamento com filtragem	32
3.2.1.	Mapas de variância (VSMs)	33
3.2.2.	Filtro de percentual mais próximo (PCF)	34
4	Técnicas para melhor aproveitamento de resolução	40
4.1.	Métrica de erro de serrilhamento	40
4.2.	Técnicas de reparametrização perspectiva	43
4.2.1.	Reparametrização no caso ótimo	46
4.2.2.	Reparametrização generalizada	51
4.3.	Técnicas de particionamento	56
4.3.1.	Particionamento por faces	56
4.3.2.	Particionamento em z	57
5	Implementação e resultados	63

5.1. Técnicas anti-chamuscamento	64
5.2. Técnicas de filtragem	66
5.3. Técnicas de reparametrização e particionamento	67
5.4. Sombras em movimento	70
5.5. Resultado final	70
6 Conclusão e trabalhos futuros	77
7 Referências bibliográficas	79
Apêndices	82
A Área coberta por um feixe através de um pixel	82
B Verificação do processo iterativo para o particionamento em z	85

Lista de figuras

Figura 1 – Importância das sombras na localização espacial de objetos	14
Figura 2 – Algoritmo de volumes de sombra	16
Figura 3 – Algoritmo de mapeamento de sombras	17
Figura 4 – Exemplo de chamuscamento em padrões de Moiré	25
Figura 5 – Chamuscamento por desalinhamento de amostras	26
Figura 6 – Efeito de vazamento de luz devido a um <i>bias</i> exagerado	27
Figura 7 – Sombras grossas e vazamento de luz com interpolação	29
Figura 8 – Plano tangente quase paralelo à luz	30
Figura 9 – Efeito de serrilhamento	32
Figura 10 – Efeito de vazamento de luz com VSM	35
Figura 11 – Filtragem insuficiente com núcleo baseado em pixels	36
Figura 12 – Aprimoramentos ao kernel do filtro PCF	37
Figura 13 – Efeito de faixas usando PCF com núcleo regular	37
Figura 14 – Artefatos com filtragem adaptativa em baixa resolução	38
Figura 15 – Sombras suaves com PCF 5×5	39
Figura 16 – Efeito de serrilhamento em mapeamento de sombras	41
Figura 17 – Reparametrização perspectiva do mapa de sombras	44
Figura 18 – Efeito da reparametrização perspectiva	45
Figura 19 – Erros de serrilhamento nas direções x e z	48
Figura 20 – Erros máximos em x e z e Fator de Armazenamento	50
Figura 21 – Reparametrização perspectiva generalizada	52
Figura 22 – Parâmetro n'_{LiSPSM} generalizado	54
Figura 23 – Erro de serrilhamento para diferentes valores de γ	55
Figura 24 – Particionamento por faces	57
Figura 25 – Particionamento em z	59
Figura 26 – Fator de Armazenamento para particionamento em z	60
Figura 27 – Efeito de “costura”	61
Figura 28 – Chamuscamento e vazamento de luz com <i>second-depth</i>	65
Figura 29 – Qualidade obtida com n'_{LiSPSM} original e generalizado.	69
Figura 30 – Qualidade obtida por mapeamento tradicional	73

Figura 31 – Qualidade obtida com reparametrização perspectiva	74
Figura 32 – Qualidade obtida com reparametrização e particionamento	75
Figura 33 – Qualidade final obtida com as técnicas recomendadas	76
Figura 34 – Área vista por um feixe de raios paralelos	82
Figura 35 – Área vista por um feixe de raios convergentes	83
Figura 36 – Área vista por um feixe periférico	84
Figura 37 – Gráfico da área vista por um feixe	85

Lista de tabelas

Tabela 1 – Funções típicas para Z_{bias}	27
Tabela 2 – Medidas de velocidade de referência para a visualização	64
Tabela 3 – Medidas de velocidade de métodos anti-chamuscamento	65
Tabela 4 – Eficiência de técnicas de filtragem	67
Tabela 5 – Eficiência da reparametrização e do particionamento	69
Tabela 6 – Desempenho em uma GeForce 8800 GTS	71
Tabela 7 – Desempenho em uma GeForce 6800 GT	71

A sombra é a maneira pela qual os corpos mostram suas formas. A forma dos corpos não poderia ser percebida em detalhes sem a sombra.

Leonardo da Vinci (1452-1519)