

Hedlena Maria de Almeida
Bezerra

Colorização 3D para
Animação 2D

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Pós-graduação em
Informática

Rio de Janeiro
Junho de 2005



Hedlena Maria de Almeida Bezerra

Colorização 3D para Animação 2D

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. Luiz Carlos Pacheco R. Velho

Rio de Janeiro
Junho de 2005



Hedlena Maria de Almeida Bezerra

Colorização 3D para Animação 2D

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 Carlos Pacheco R. Velho

Co-Orientador

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada

Prof. Waldemar Celes

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Luiz Henrique de Figueiredo

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de Junho de 2005

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

Hedlena Maria de Almeida Bezerra

Graduou-se em Bacharelado em Ciência da Computação na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em 2003.

Ficha Catalográfica

Bezerra, Hedlena Maria de Almeida

Colorização 3D para Animação 2D/ Hedlena Maria de Almeida Bezerra; orientador: Bruno Feijó; co-orientador: Luiz Carlos Pacheco R. Velho. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

82 f: il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Dissertações. 2. Animação tradicional. 3. Animação assistida por computador. 4. Renderização não-foto-realística. 5. Rastreamento de objetos. 6. Colorização automática. I. Feijó, Bruno. II. Velho, Luiz Carlos Pacheco R.. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Aos meus amigos Erika, Gi e Matheus.

Agradecimentos

A Deus, pela imensa graça de poder realizar este mestrado e por toda força que encontrei Nele para seguir até o fim.

Em especial à minha mãe, Maria Helena, por todo o amor, apoio e sacrifício para que eu pudesse chegar até aqui. Aos meus irmãos Helenilson, Hednilson, Nilshelena e Nillena por me fazerem acreditar que nunca estarei sozinha.

Aos meus amigos Erika, Gi e Matheus, aos quais esta dissertação é dedicada. Espero que, ao menos por um instante, eu possa demonstrar-lhes como são importantes na minha vida. Meus agradecimentos por fazerem nascer e crescer o sonho acadêmico e principalmente por todo o suporte emocional para que eu fosse sempre "*To infinity and beyond*".

Ao professor Luiz Velho por ter feito meus olhos brilharem desde que aceitou-me como aluna. Muito obrigada por ter acreditado em mim e no meu sonho. Pelas inúmeras horas de atenção ao nosso trabalho, pelos ensinamentos, pela paciência e "puxões de orelha", pelas idéias brilhantes que me fizeram admirá-lo ainda mais.

Ao professor Bruno Feijó por toda confiança que depositou na minha capacidade. Muito obrigada por ter sido meu maior amigo na PUC, por sempre me apoiar nas inúmeras dificuldades que passamos, por todos os ensinamentos, por toda a sua calma, sua paciência e inestimável apoio.

Aos meus amigos Malu, Marcelo Nery, Palu, Adeline, Börje, Marcelo Sgambato, Suzana e Tristan, por estarem presentes nessa etapa da minha vida e, sobretudo, pelas inúmeras vezes que me fizeram acreditar que eu sou capaz de fazer muito. Ao meu amigo "virtual" Daniel Sýkora pelos inúmeros esclarecimentos e suporte oferecido. A Paulinha por ter sido sempre meu exemplo nesse universo da animação. Obrigada pela sua amizade e todo o apoio para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

Aos meus amigos da PUC, em especial aos meus fiéis escudeiros Bruno, Daniel, Eraldo e Michel, por me acompanharem nesses longos 2 anos fazendo com que eu nunca me sentisse sozinha em frente aos inúmeros desafios. À minha amiga Aletéia, pelas inúmeras vezes que nos fizemos rir dos nossos problemas, fazendo a vida um pouco mais doce, sempre acreditando que, no final, tudo vai dar certo.

Aos meus amigos do IMPA que me fizeram amar esse lugar. Em especial aos meus amigos do VISGRAF: Adailson, Asla, Cucaracho, Esdras, Geisa, Ives, Lourena, Margareth, Marcelo, Nair, Nelma, Perfeleco, Ricardo, Serginho, Tatá e Zé, pelo imenso companherismo e suporte.

Ao professor Alejandro, pelo imenso carinho, cuidado e atenção. Aos meus amigos da Newstorm: Celso, Fábio, Idê, Ricardo, Romero, Saulo, Taci e Tininha por sempre acreditarem que eu pudesse ir mais longe.

A César Coelho por todos os desenhos do adorável urso contido nesta dissertação e, principalmente, pelo suporte oferecido como brilhante animador.

A CAPES, FINEP e, em especial, à PUC-Rio pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado. Ao laboratório ICAD/VisionLab pelo apoio. Ao IMPA pela acolhida.

Resumo

Bezerra, Hedlena Maria de Almeida; Feijó, Bruno; Velho, Luiz Carlos Pacheco R.. **Colorização 3D para Animação 2D**. Rio de Janeiro, 2005. 82p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação discute a aplicação de efeitos de colorização 3D a animações 2D produzidas pela técnica quadro-a-quadro. Utilizando algoritmos de processamento de imagens, desenhos 2D são preparados para receber técnicas de sombreamento evitando a transformação da cena para uma geometria 3D. Esta preparação se dá através da obtenção de mapas de normais que aproximam a geometria do desenho. O sombreamento é obtido através de um conjunto de técnicas de renderização foto-realistas e não-foto-realistas, que podem ser adaptadas para utilização de normais aproximadas. Visando amenizar o trabalho exaustivo de colorir cada desenho, um método baseado no relacionamento entre imagens é apresentado para colorir automaticamente cada quadro numa sequência de animação. O processo de colorização considera a necessidade de possíveis intervenções humanas para garantir a qualidade final de cada imagem da animação. Um estudo sobre aproximação de normais, técnicas de sombreamento, segmentação de imagens e rastreamento de objetos é amplamente discutido nesta dissertação.

Palavras-chave

Animação tradicional, animação assistida por computador, renderização não-foto-realista, rastreamento de objetos, colorização automática.

Abstract

Bezerra, Hedlena Maria de Almeida; Feijó, Bruno; Velho, Luiz Carlos Pacheco R.. **3D Colorizing for 2D Animation**. Rio de Janeiro, 2005. 82p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation discusses the 3D colorization effects usage over a 2D animation, which has been produced through frame-by-frame techniques. Normal vector maps approximates the drawing geometry and provide the ability to perform shading effects by applying digital image processing algorithms, avoiding 3D geometry scene transformation. A set of photorealistic and non-photorealistic renderization techniques, which can be adapted to normal approximation usage, is proposed in the colorization process. Also, a method based on interframe dependence is presented, aiming to reduce the thoroughgoing effort of colorizing each individual frame within an animation. This colorization process considers possible human interventions to ensure image's result quality. Finally, this dissertation provides a comprehensive study regarding several topics, such as normal approximations, shading techniques, image segmentation and object tracking.

Keywords

Traditional animation, computer assisted animation, non-photorealistic rendering, tracking systems, automatic colorization.

Conteúdo

1	Introdução	15
1.1	Motivação e Objetivos	16
1.2	Estrutura da dissertação	18
2	Animação Assistida por Computador	20
2.1	Animação Assistida por Computador	21
2.2	Animação de Personagens	22
2.3	O Computador no Processo de Animação	23
3	Inferindo Geometrias 3D a partir de Imagens 2D	27
3.1	Digitalização	27
3.2	Esqueletonização	29
3.3	Extração de Curvas	30
3.4	Normais às curvas	31
3.5	Orientação	31
3.6	Suavização	32
3.7	Rotulamento	32
3.8	Interpolação	33
4	Colorização 3D	37
4.1	Técnicas de Sombreamento	38
5	Rastreamento	49
5.1	Correspondência entre regiões	49
5.2	Desafios na colorização	50
5.3	Colorização assistida baseada na imagem	53
5.4	Algoritmo para colorização	63
6	Aplicação	69
6.1	Processando imagens de entrada	69
6.2	Colorindo a imagens	70
6.3	Sombreamento imagens	71
6.4	Propagação da colorização	72
6.5	Armazenamento	73
7	Resultados	74
7.1	Sombreamento	74
7.2	Rastreamento	76
8	Conclusões	81
8.1	Trabalhos Futuros	83
	Referências Bibliográficas	83

Lista de Figuras

1.1	Seqüência de quadros de uma animação. [Fonte: notas de aula da disciplina Introdução a Computação gráfica do Centro de Informática da UFPE.]	15
1.2	Linha de produção (<i>pipeline</i>) de Colorização. Início com a digitalização dos quadros e término com a colorização semi-automática.	17
3.1	Linha de produção de pré-processamento de imagens 2D.	28
3.2	Entrada de dados da linha de produção.	29
3.3	O processo de esqueletonização aplicado à imagem à esquerda remove <i>pixels</i> sobressalentes e produz imagens mais simples para análise futura.	30
3.4	Um exemplo de <i>chain code</i> .	30
3.5	Identificação de vetores normais a uma curva.	31
3.6	Estimando vetores normais. (a) imagem original. (b) vetores normais no espaço RGB.	32
3.7	Rotulamento de uma imagem através de algoritmos de preenchimento.	33
3.8	Máscara (em vermelho) indicando a região da imagem a ser interpolada.	34
3.9	Interpolação. À esquerda, imagem original. À direita, normais no espaço RGB.	35
3.10	Normais mapeadas numa esfera escalada em z . a) $S = 0.25$ b) $S = 0.5$ c) $S = 1$ d) $S = 2$ e) $S = 4$ f) $S = 10$.	35
3.11	Normais mapeadas numa esfera uniforme. $S = (0.125, 0.25, 1)$.	36
4.1	Sombreamento muito utilizado em animações tradicionais. Imagem do filme <i>Les Triplettes de Belleville</i> .	37
4.2	Sombreamento feito por um animador. Em a) Imagem indicando as posições e intensidades de sombra; b) Imagem colorida; c) Aplicação da sombra a imagem colorida.	38
4.3	Na figura a) Imagem Original b) Imagem exibindo o campo de normais.	39
4.4	Exemplo de sombreamento em estilo desenho animado.	40
4.5	Imagem sombreada em estilo desenho animado a partir de normais aproximadas.	41
4.6	Seqüência de desenhos sombreados em estilo desenho animado aplicado através da assistência do computador.	42
4.7	Imagem sombreada em estilo <i>Phong</i> renderizada pela ferramenta.	44
4.8	Sombreamento <i>Phong</i> com adição de contorno.	44
4.9	Mapeamento de reflexão através do algoritmo de <i>chrome mapping</i> . A textura ambiente mostrada em b) é refletida em a).	46
4.10	Mapeamento de reflexão através do algoritmo de <i>chrome mapping</i> .	47

4.11	Mapeamento de textura onde as propriedades do material cromo foram simuladas.	48
5.1	Ambigüidade na colorização. Como saber qual o melhor casamento entre as circunferências das imagens a) e b)?	51
5.2	Casamento entre regiões de maneira intuitiva.	52
5.3	Quando as distâncias entre os pareamentos são iguais, a ambigüidade permanece.	53
5.4	Casamento intuitivo utilizando informações de volume e geometria.	54
5.5	Quando aliadas, informações de geometria e posição podem resolver ambigüidades.	55
5.6	A estrutura topológica da cena pode ser um grande aliado na resolução de ambigüidades.	56
5.7	Pontos de arestas amostradas em duas formas. A região em verde indica o casamento entre dois pontos. A região em vermelho indica um ponto sem correspondência.	57
5.8	Casamento de formas através do algoritmo de <i>shape context</i> . À esquerda, imagem original, à direita imagem destino.	58
5.9	Grafo de vizinhança. Regiões (círculos) e suas vizinhanças (linhas) na imagem exemplo (esquerda) e destino (direita).	59
5.10	Domínio local. Os nós de rótulos A , B e C serão confrontados apenas com os nós de rótulos 1 e 2.	60
5.11	À esquerda, grafo-fonte; à direita grafo-destino com nós a serem coloridos.	61
5.12	a) Regiões de I . b) Grafo de I . c) Vizinhança de r . d) Pontos amostrados no contorno de regiões na vizinhança de r .	62
5.13	Retas lançadas a partir do centróide de r interceptando pontos amostrados no contorno de q .	63
5.14	Função de vizinhança $F_{(r,q)}$.	64
5.15	Conjunto de funções de vizinhança $F_{(r,i)}$ para todo $i \in V$.	65
5.16	a) Funções de vizinhança para regiões A e B hipotéticas. b) Valores das diferenças quadráticas entre cada pareamento possível. Os pareamentos de menor valores são escolhidos para refletir a diferença de topologia entre as regiões A e B .	66
5.17	Valores dos casamentos entre as regiões da iteração corrente. Apenas os dois melhores valores serão utilizados.	67
5.18	a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam novas regiões na sequência.	67
5.19	a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam disparidade entre os volumes nas regiões fonte e destino.	68
5.20	a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam disparidade entre os volumes e vizinhanças nas regiões fonte e destino.	68
6.1	Módulos do sistema.	70
6.2	Imagem rotulada.	71
6.3	Painéis armazenam configurações de cada passo da colorização.	72
7.1	Círculo original.	75

7.2	a)Mapeamento de Reflexão. b)Textura.	75
7.3	a)Mapeamento de Reflexão. b)Textura.	76
7.4	Mapeamento de Reflexão: composição da imagem na cena.	77
7.5	a)Esfera simulando as propriedades do cromo. b)Textura.	77
7.6	Informações consideradas: Função de Vizinhaça	78
7.7	Informação considerada: Função de Vizinhaça e volume.	79
7.8	Informação considerada: Função de Vizinhaça e centróide.	80

Lista de Tabelas

6.1	Parâmetros para sombreamentos.	71
-----	--------------------------------	----

"To infinity and beyond..."

Buzz Lightyear, *Pixar Animation Studios*.