



Renata Thomaz Lins do Nascimento

**Visualização por Imagens Auto-animadas de
Campos Vetoriais Baseada na sua Topologia**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Thomas Lewiner

Rio de Janeiro
Março de 2011



Renata Thomaz Lins do Nascimento

**Visualização por Imagens Auto-animadas de
Campos Vetoriais Baseada na sua Topologia**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Matemática Aplicada do Departamento de Matemática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada.

Prof. Thomas Lewiner

Orientador

Departamento de Matemática — PUC-Rio

Prof. Luiz Velho

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada - IMPA

Prof. Esteban Clua

Instituto de Computação – UFF

Prof. Sinésio Pesco

Departamento de Matemática – PUC-Rio

Prof. Hélio Lopes

Departamento de Matemática – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de Março de 2011

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

Renata Thomaz Lins do Nascimento

Graduou-se Bacharel em Ciência da Computação na Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

Ficha Catalográfica

Nascimento, Renata

Visualização por Imagens Auto-animadas de Campos Vetoriais Baseada na sua Topologia / Renata Thomaz Lins do Nascimento; orientador: Thomas Lewiner. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Matemática, 2011.

v., 61 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Matemática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Matemática – Tese. 2. Campo vetorial. 3. Visualização. 4. Métodos topológicos. 5. Imagem auto-animada. 6. Edição baseada na topologia. 7. Computação Gráfica.

I. Lewiner, Thomas. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Matemática. III. Título.

CDD: 510

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado força e coragem de seguir adiante.

Aos meus pais Urânia e Thomaz e à minha irmã Bárbara por estarem sempre ao meu lado e por me ajudarem a realizar meus sonhos.

Ao meu tio Antônio Célio por todo apoio e incentivo durante minha caminhada.

Ao meu orientador Thomas Lewiner por toda paciência e dedicação durante o desenvolvimento do trabalho e principalmente pela amizade que construímos.

Aos amigos Cabral, Douglas, Allan, Thales, Aninha, Clarissa, Sabrina, Lis, Maria por toda ajuda e companhia nos últimos anos, e em especial ao João Paixão, pelas horas e horas de discussão e companheirismo.

Aos funcionários do departamento de Matemática por toda ajuda.

Ao CNPq, CAPES, FAPERJ e à PUC-Rio, pelos auxílios sem os quais esse trabalho não poderia ter sido concretizado.

Resumo

Nascimento, Renata; Lewiner, Thomas. **Visualização por Imagens Auto-animadas de Campos Vetoriais Baseada na sua Topologia**. Rio de Janeiro, 2011. 61p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A visualização de campos vetoriais é uma componente essencial de numerosas aplicações, em particular na Visualização Científica. Porém, produzir representações de um fluxo nem sempre é uma tarefa simples, principalmente em se tratando de dados medidos, pois estes se apresentam corrompidos por ruídos.

Esse trabalho apresenta uma técnica de visualização baseada em imagens auto-animadas, que expressa o movimento do fluxo à base de ilusões ópticas. A utilização de informações topológicas é proposta tanto como forma de melhorar o desempenho das técnicas existentes como na remoção de ruído, onde o conhecimento do usuário sobre o dado se torna peça fundamental no processo.

Palavras-chave

Campo vetorial; Visualização; Métodos topológicos; Imagem auto-animada; Edição baseada na topologia; Computação Gráfica.

Abstract

Nascimento, Renata; Lewiner, Thomas (Advisor). **Topology-aware Vector Field Visualization by Self-animating Images**. Rio de Janeiro, 2011. 61p. MSc. Thesis — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Vector field visualization is an essential component of various applications, particularly in Scientific Visualization. However generating useful flow representation is not a simple task, especially when dealing with measured data which is corrupted by noise.

This work presents a self-animating image visualization technique which conveys the flow movement based on optical illusions. The field's topological information is used to improve the performance of existing techniques and remove noise, where the user's knowledge of data is fundamental.

Keywords

Vector field; Visualization; Topological methods; Self-animated images; Topology-aware editing; Computer Graphics.

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Motivação e Objetivos	12
1.2	Trabalhos Relacionados	13
2	Conceitos Básicos	18
2.1	Campo Vetorial e Fluxo	18
2.2	Grafo Topológico	22
2.3	Campo Discreto	23
3	Técnicas Utilizadas	24
3.1	Detecção de Singularidades	24
3.2	Espaço de Escala	28
3.3	Geração das Linhas de Fluxo	29
3.4	Imagens Auto-Animadas e Otimização	31
4	Técnicas Desenvolvidas	35
4.1	Edição de Campos Vetoriais - Remoção de Ruidos	35
4.2	Segmentação do Campo Vetorial	38
4.3	Imagens Auto-Animadas e Grafo Topológico	41
5	Resultados	45
6	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	57
	Referências Bibliográficas	59

Lista de figuras

1.1	<i>Rotating snakes</i>	11
1.2	Linhas de fluxo igualmente espaçadas	14
1.3	Passos intermediários na geração das linhas	14
1.4	Visualização utilizando LIC	15
1.5	Esquema topológico de um fluxo em volta de um cilindro	15
1.6	Visualização de campos através de PAR	16
1.7	Visualização de campos através de PAR - método computacional	16
1.8	Filtragem de campos vetoriais	17
1.9	Espaço de escala	17
2.1	Singularidade - sela	20
2.2	Singularidade - poço	20
2.3	Singularidade - fonte	21
2.4	Órbita fechada	22
2.5	Grafo topológico	23
2.6	Grade regular	23
3.1	Interpolação bilinear	24
3.2	Curva com índice -2 em volta do ponto p	25
3.3	Curva no sentido anti-horário	26
3.4	Curva no sentido horário	26
3.5	Regiões fracas	27
3.6	Espaço de escala em imagens	29
3.7	Espaço de escala em campos vetoriais	29
3.8	Esquema de criação das linhas de fluxo	30
3.9	Linhas de fluxo	31
3.10	Otimização da ilusão de Fraser-Wilcox	31
3.11	Otimização do fragmento	34
4.1	Campo vetorial artificial	35
4.2	Campo vetorial artificial na escala $s = 10$	36
4.3	Interface de mudanças topológicas	37
4.4	Interpolação e reconstrução	38
4.5	Segmentação do campo sem tratamento de bordo	39
4.6	Exemplos de segmentação do campo sem tratamento de bordo	39
4.7	Esquema de segmentação do campo sem tratamento de bordo	40
4.8	Esquema tratamento de bordo - primeira parte	40
4.9	Segmentação a partir das separatrizes	41
4.10	Segmentação com a primeira parte de tratamento de bordo	41
4.11	Segmentação final	42
4.12	Posicionamento dos fragmentos desconsiderando a segmentação	42
4.13	Posicionamento dos fragmentos considerando a segmentação	43
4.14	Otimização considerando a segmentação do campo	44
5.1	Edição: Resultado 1 - Experimento em campo vetorial analítico	46

5.2	Edição: Resultado 2 - Campo vetorial medido por um PIV	47
5.3	Visualização: Resultado 1 - Campos estáticos	48
5.4	Visualização: Resultado 2 - Campo com duas singularidades	49
5.5	Visualização: Resultado 3 - Campo com quatro singularidades	50
5.6	Visualização: Resultado 4 - Campo com quatro singularidades	51
5.7	Visualização: Resultado 5 - Campo com seis singularidades	52
5.8	Grafos topológicos dos resultados	53
5.9	Edição e visualização: Resultado 6 - Dado analítico	54
5.10	Edição e visualização Resultado 7 - PIV	55

*Dificuldades são como as montanhas: só se
aplainam quando avançamos sobre elas.*

Émile Zola.