



João Antônio Recio da Paixão

Feature-preserving vector field denoising

Dissertação de Mestrado

Thesis presented to the Postgraduate Program in Mathematics of the Departamento de Matemática, PUC–Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Mestre em Matemática

Advisor : Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes
Co-Advisor: Prof. Thomas Lewiner

Rio de Janeiro
Agosto 2010



João Antônio Recio da Paixão

Feature-preserving vector field denoising

Thesis presented to the Postgraduate Program in Mathematics of the Departamento de Matemática, PUC–Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Mestre em Matemática. Approved by the following commission:

Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes

Advisor

Departamento de Matemática — PUC–Rio

Prof. Thomas Lewiner

Co–Advisor

Departamento de Matemática — PUC–Rio

Prof. Geovan Tavares dos Santos

Departamento de Matemática — PUC–Rio

Prof. Sinésio Pesco

Departamento de Matemática — PUC–Rio

Prof. Luiz Henrique de Figueiredo

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada — IMPA

Prof. José Eugenio Leal

Coordinator of the Centro Técnico Científico — PUC–Rio

Rio de Janeiro — Agosto 27, 2010

All rights reserved.

João Antônio Recio da Paixão

Bachelor of Science in Mathematics from Virginia Tech University.

Bibliographic data

Paixão , João Antônio Recio da

Feature-preserving vector field denoising / João Antônio Recio da Paixão ; advisor: Hélio Côrtes Vieira Lopes; co-advisor: Thomas Lewiner. — 2010.

43 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Matemática)-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Inclui bibliografia

1. Matemática – Teses. 2. Campo Vetorial Discreto. 3. Remoção de Ruído. 4. Caminhada Aleatória. 5. Filtragem. 6. Topologia de Campos Vetorial. I. Lopes, Hélio Côrtes Vieira. II. Lewiner, Thomas. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Matemática. IV. Título.

CDD: 510

Acknowledgments

I would like to gratefully acknowledge the enthusiasm of my advisors Hélio Lopes and Thomas Lewiner throughout these last two years. Hélio believed in me from the very beginning, giving me confidence, support, and freedom in this work. Thomas has been there for absolutely everything and in the process become a true friend. I am eternally grateful for my advisors. I am also forever indebted to another great friend and co-author of this dissertation, Renata Nascimento, who help me in every aspect of this work, I simply do not know how to thank her enough. I would like to thank the other co-authors, Marcos Lage, Fabiano Petronetto, Alex Bordignon and my professors Sinésio Pesco and Geovan Tavares for our discussions, their ideas, and their help. I would also like to thank

-CNPq, FAPERJ, and PUC-Rio for their financial support.

-Professor Luis Fernando Alzugar for the PIV dataset used throughout this work.

-The entire staff at PUC-Rio, especially Kátia, Creuza and Otavio for their assistance with all types of technical problems.

-My colleagues at the mathematics department at PUC-Rio for their care and attention.

-All the teachers I had at Oga Mitá, Santa Teresa, Fieldstone, Pascack Hills, and Virginia Tech throughout the years especially Eric, Angela, Lolla, Marcos, Mrs. Heluk, Mrs. Turner, Mr. Fallon, Mr. Argeski, Mr. Goodman, Mr. Conroy, Mr. Postman, Dr. Brown, Dr. Parry, Dr. Shockley, and Dr. Chapman.

-My students, the people I learned the most from, especially the ones from the Math Emporium and C2 Education.

-My friends for their endless encouragement especially Sam, Henrique, Vitor, Pedro, Mark, Robbie, Dan, Steve, Jason, Vivian, Molly, Rodrigo, Megan, Mario, Jessica, Rudi, Morgan, Gustavo, Felipe, and José.

-My aunts, uncles, and cousins from the Recio and the Paixão families for always being there and the Simões da Paixão family, Trindade Recio family, Figueiredo Santos family, Mougis family, and Tardin family.

-My grandparents, people I truly look up to: Vovó Clara, Vovô Paulo, Vovô Joaquim e Vovó Joaquina.

-My genuine treasures, my sisters, Maria and Fernanda.

-And finally my mom and dad, Antonio and Denise, for simply every single thing in my life that truly matters, thank you.

Abstract

Paixão , João Antônio Recio da; Lopes, Hélio Côrtes Vieira; Lewiner, Thomas. **Feature-preserving vector field denoising**. Rio de Janeiro, 2010. 43p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In recent years, several devices allow to measure real vector fields, leading to a better understanding of fundamental phenomena such as fluid dynamics or brain water movements. This gives vector field visualization and analysis new challenges in many applications in engineering and in medicine. In particular real data is generally corrupted by noise, puzzling the understanding provided by visualization tools. This data needs a denoising step as preprocessing, however usual denoising removes discontinuities and singularities, which are fundamental for vector field analysis. In this dissertation a novel method for vector field denoising based on random walks is proposed which preserves certain discontinuities. It works in a unstructured setting; being fast, simple to implement, and shows a better performance than the traditional Gaussian denoising technique. This dissertation also proposes a semi-automatic vector field denoising methodology, where the user visually controls the filtering scale by validating topological changes caused by classical vector field filtering.

Keywords

Discrete Vector Field. Denoising. Random Walk. Filtering. Vector Field Topology.

Resumo

Paixão , João Antônio Recio da; Lopes, Hélio Côrtes Vieira; Lewiner, Thomas. **Remoção de Ruído em Campo Vetorial**. Rio de Janeiro, 2010. 43p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nos últimos anos, vários mecanismos permitem medir campos vetoriais reais, provendo uma compreensão melhor de fenômenos importantes, tais como dinâmica de fluidos ou movimentos de fluido cerebral. Isso abre um leque de novos desafios a visualização e análise de campos vetoriais em muitas aplicações de engenharia e de medicina por exemplo. Em particular, dados reais são geralmente corrompidos por ruído, dificultando a compreensão na hora da visualização. Esta informação necessita de uma etapa de remoção de ruído como pré-processamento, no entanto remoção de ruído normalmente remove as descontinuidades e singularidades, que são fundamentais para a análise do campo vetorial. Nesta dissertação é proposto um método inovador para remoção de ruído em campo vetorial baseado em caminhadas aleatórias que preservam certas descontinuidades. O método funciona em um ambiente desestruturado, sendo rápido, simples de implementar e mostra um desempenho melhor do que a tradicional técnica Gaussiana de remoção de ruído. Esta tese propõe também uma metodologia semi-automática para remover ruído, onde o usuário controla a escala visual da filtragem, levando em consideração as mudanças topológicas que ocorrem por causa da filtragem.

Palavras-chave

Campo Vetorial Discreto. Remoção de Ruído. Caminhada Aleatória. Filtragem. Topologia de Campos Vetorial.

Contents

1	Introduction	9
1.1	Motivation and contributions	9
1.2	Related work	10
1.3	Organization	11
2	Vector fields concepts	13
2.1	Continuous vector fields	13
2.2	Discrete vector fields	14
2.3	Detection and classification of singularities	15
3	Denoising by random walks	18
3.1	Random walk	18
3.2	Feature-preserving filtering	19
3.3	Implementation and results	21
4	Topology aware denoising	29
4.1	Methodology overview	29
4.2	Progressive filters and scale-space generation	32
4.3	Reconstruction	32
4.4	Results	33
5	Conclusion	38
	Bibliography	40

Ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizados pelo mundo.

Paulo Freire, educador.