



Lis Ingrid Roque Lopes Custódio

**Revisitando o Marching Cubes 33: Garantias
Topológicas e Qualidade da Malha**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Matemática do Departamento de Matemática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Matemática Aplicada

Orientador : Prof. Sinésio Pesco
Co-Orientador: Prof. Claudio Silva

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014



Lis Ingrid Roque Lopes Custódio
**Revisitando o Marching Cubes 33: Garantias
Topológicas e Qualidade da Malha**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Matemática do Departamento de Matemática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Matemática Aplicada. Aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada.

Prof. Sinésio Pesco

Orientador
Departamento de Matemática
PUC-Rio

Prof. Claudio Silva

Co-Orientador
Departamento de Ciência da Computação e Engenharia
Universidade de Nova Iorque

Prof. Marcos Craizer

Departamento de Matemática
PUC-Rio

Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes

Departamento de Informática
PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes Filho

Departamento de Informática
PUC-Rio

Prof. Esdras Soares de Madeiros Filho

Departamento de Matemática
UFC

Prof. Tiago Etienne de Queiroz

Modelo INC.

Prof. Dirce Uesu Pesco

Departamento de Matemática
UFF

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador do Centro Técnico Científico
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de Fevereiro de 2014

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

Lis Ingrid Roque Lopes Custódio

Graduação em Matemática Pura, Universidade Federal Fluminense, UFF.

Mestrado em Matemática Aplicada, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Custódio, Lis

Revisitando o Marching Cubes 33: Garantias Topológicas e Qualidade da Malha / Lis Ingrid Roque Lopes Custódio; orientador: Sinésio Pesco; co-orientador: Claudio Silva. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Matemática, 2014.

v., 63 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Matemática – Tese. 2. Marching Cubes. 3. Extração de Isosuperfícies. 4. Interpolacao Trilinear. 5. garantias topológicas. I. Pesco, Sinésio. II. Silva, Claudio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Matemática. IV. Título.

CDD: 510

“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

Dedico esta tese aos gigantes em minha vida. Aos meus pais, de quem obtive apoio e sobre os ombros cresci.

Agradecimentos

A Deus, refúgio e fortaleza em todos os momentos.

Aos meus pais Ely e Maria Regina, e ao meu irmão Maicon por todo apoio e carinho dados.

Aos meus orientadores Professores Sinesio Pesco e Claudio Silva pela amizade, apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos amigos por compreenderem as muitas ausências e por todo apoio dado.

Aos professores do departamento de Matemática, pela acolhida durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus colegas da PUC-Rio, por toda ajuda dada.

Aos funcionários do departamento de Matemática pela ajuda de sempre, em especial à Creuza e Kátia.

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

Resumo

Custódio, Lis; Pesco, Sinésio; Silva, Claudio. **Revisitando o Marching Cubes 33: Garantias Topológicas e Qualidade da Malha**. Rio de Janeiro, 2014. 63p. Tese de Doutorado — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Marching Cubes 33 proposto por Chernyaev é um dos primeiros algoritmos de extração de isosuperfície destinados a preservar a topologia do interpolante trilinear. Neste trabalho, abordamos três problemas no algoritmo do Marching Cubes 33, dois dos quais estão relacionados com a sua descrição original. Em particular, resolvemos um problema no procedimento para resolver ambiguidades interiores do Marching Cubes 33, que impede que a isosuperfície seja extraída corretamente para o caso ambíguo 13.5.

O algoritmo Marching Cubes é considerado simples, robusto e com baixo custo computacional, características que contribuíram para torná-lo popular entre os algoritmos de extração de isosuperfícies. Porém no que se refere a qualidade da triangulação da malha resultante, não raramente observamos um grande número de triângulos finos (triângulos com ângulos pequenos) e até mesmo degenerados (triângulos com área zero). Buscando unir à coerência topológica uma melhor qualidade na triangulação gerada, propomos uma extensão da tabela de triangulação proposta por Chernyaev, de modo que os vértices da grade passem a fazer parte da triangulação, eliminando assim a possibilidade de geração de triângulos degenerados. Esta nova tabela é utilizada para evitar a criação de triângulos finos, através de pequenas alterações do campo escalar nos vértices da grade.

Palavras-chave

Marching Cubes ; Extração de Isosuperfícies ; Interpolacao Trilinear ; garantias topológicas.

Abstract

Custódio, Lis; Pesco, Sinésio (advisor); Silva, Claudio. **Revisiting Marching Cubes 33: Topological Guarantees and Mesh Quality**. Rio de Janeiro, 2014. 63p. Tese de Doutorado — Departamento de Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Chernyaev's Marching Cubes 33 is one of the first isosurface extraction algorithms intended to preserve the topology of the trilinear interpolant. In this work, we address three issues in the Marching Cubes 33 algorithm, two of which are related to its original description. In particular, we solve a problem with the core disambiguation procedure of Marching Cubes 33 that prevents the extraction of topologically correct isosurfaces for the ambiguous configuration 13.5 thus fixing the original formulation of the algorithm.

The Marching Cubes algorithm is considered simple, robust and with low computational cost, characteristics that contributed to make it the most popular algorithm for isosurfaces extraction. However, regarding the quality of the resulting mesh, frequently it is possible to observe a large number of badly-shaped triangles (triangles with small angles) and even degenerate (triangles with zero area) ones. Seeking to unite a better triangulation quality of the resulting mesh to the topological consistency, we propose an extension of the triangulation table proposed by Chernyaev, so that the vertices of the grid become part of the triangulation generated, thus eliminating the possibility of generation of degenerate triangles. This new table is used to avoid the creation of badly-shaped triangles via small changes of the scalar field on the vertices of the grid.

Keywords

Marching Cubes ; Isosurface extraction ; Trilinear interpolation ; Topological guarantees ; Shape quality.

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Motivação	9
1.2	Contribuição	10
1.3	Divisão da Tese	11
2	Marching Cubes	12
2.1	Algoritmo Marching Cubes	12
2.2	Continuidade e Coerência Topológica da Malha Resultante	13
2.3	Qualidade da Malha Resultante	16
3	Marching Cubes 33: Coerência Topológica	20
3.1	Marching Cubes 33: algoritmo proposto por Chernyaev	21
3.2	Marching Cubes 33: implementação proposta por Lewiner et al.	24
3.3	Problemas no MC33: Algoritmo e Implementação	24
3.4	Soluções	32
3.5	Processo de Verificação	37
3.6	Experimentos com Dados Reais	38
3.7	Material Suplementar	39
4	Marching Cubes 33: Qualidade da Malha Resultante	41
4.1	Algoritmo Proposto por Ramam e Wenger	44
4.2	Marching Cubes 33: Melhorando a Qualidade da Malha	46
4.3	Resultados	53
5	Conclusão	59
5.1	Coerência Topológica	59
5.2	Qualidade da Malha Resultante	59
5.3	Reprodutibilidade	59
5.4	Trabalhos Futuros	60
	Referências Bibliográficas	61