



Rustam Câmara Mesquita

**Geração Automática de Função de
Transferência para Realce de Fronteiras
Baseada em Derivadas Médias**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Waldemar Celes Filho

Rio de Janeiro
Dezembro de 2017



Rustam Câmara Mesquita

**Geração Automática de Função de
Transferência para Realce de Fronteiras
Baseada em Derivadas Médias**

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

Prof. Waldemar Celes Filho

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Membro externo da banca

De onde vem o membro externo

Prof. Membro da banca

Departamento de ? – PUC-Rio

Prof. Membro da banca

Departamento de ? – PUC-Rio

Prof. Membro da banca

Departamento de ? – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de Dezembro de 2017

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

Rustam Câmara Mesquita

Graduado em Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Brasil) em 2014, tornou-se bolsista de mestrado associado ao Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico da PUC-Rio em 2015, onde iniciou seu desenvolvimento profissional em computação gráfica. Durante o mestrado, direcionou sua pesquisa para a geração de funções de transferência em visualização científica.

Ficha Catalográfica

Mesquita, Rustam

Geração Automática de Função de Transferência para Realce de Fronteiras Baseada em Derivadas Médias / Rustam Câmara Mesquita; orientador: Waldemar Celes Filho. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Informática, 2017.

v., 22 f: il. color. ; 30 cm

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

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Detecção de Fronteiras;. 3. Função de Transferência;. 4. Visualização Científica;. 5. Visualização Volumétrica;. I. Celes Filho, Waldemar. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Aos meus pais e irmãs,
pela paciência e constante encorajamento.

Agradecimientos

I would like to first thank my advisor ...

Then I wish to thank ...

Resumo

Mesquita, Rustam; Celes Filho, Waldemar. **Geração Automática de Função de Transferência para Realce de Fronteiras Baseada em Derivadas Médias**. Rio de Janeiro, 2017. 22p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Encontrar manualmente uma boa função de transferência para visualização volumétrica é uma tarefa difícil que exige um conhecimento prévio sobre os dados sendo visualizados. Por isso, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos, com o objetivo de facilitar esse processo. No entanto, poucos trabalhos se esforçaram em obter métodos automáticos para a detecção de funções de transferência. A grande maioria busca melhorar o controle do usuário sobre a função de transferência indicando regiões potencialmente interessantes em histogramas e facilitando sua manipulação através de interfaces. Além disso, os resultados encontrados são geralmente apresentados na área médica, buscando melhorar a visualização dos exames de ressonância magnética, tomografia computadorizada ou ultrassom. Assim, visando mostrar que os conceitos utilizados nesses trabalhos podem ser explorados na área de petróleo e gás, este trabalho propõe um novo método para detecção automática de funções de transferência com o intuito de visualizar as interfaces entre regiões de um reservatório de petróleo. A abordagem proposta também é avaliada na detecção de fronteiras entre diferentes materiais de volumes médicos e outros volumes científicos amplamente utilizados.

Palavras-chave

Detecção de Fronteiras; Função de Transferência; Visualização Científica; Visualização Volumétrica;

Abstract

Mesquita, Rustam; Celes Filho, Waldemar (Advisor). **Automatic Generation of Transfer Function for Boundary Highlight Based on Average Derivatives**. Rio de Janeiro, 2017. 22p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Finding a good transfer function for volume rendering is a difficult task, that requires previous knowledge about the data domain itself. Therefore, many researches have been developed in the past few years aiming to overcome this barrier. However, only a few of them have concentrated forces into obtaining an automatic transfer function detector. Most of them focus on improving user control over transfer function domain, indicating potentially interesting regions and easing its manipulation through different histograms. Also, the results are often presented in medical field, through MRI, CT scan or ultrasound images. Thus, with the purpose of showing that the concepts used in these works can be exploited on oil and gas research field, this work proposes a novel method to automatically detect transfer functions, aiming to visualize the interfaces between different regions in the reservoir. The proposed approach is also tested in detecting boundaries between different materials of medical datasets and other datasets widely used.

Keywords

Boundary Detection; Transfer Function; Scientific Visualization; Volume Rendering;

Sumário

1	Introdução	12
2	Trabalhos Relacionados	15
3	INSERIR TITULO PARA: GORDON	17
3.1	1d	17
3.2	2d	17
3.3	Avaliação do método	17
4	INSERIR TITULO PARA: NOSSO MÉTODO	18
4.1	Detecção de fronteiras	18
4.2	Avaliação média das derivadas	18
4.2.1	Malhas estruturadas	18
4.2.2	Malhas não estruturadas	18
4.3	Geração da função de transferência	18
5	Resultados	19
6	Conclusão e Trabalhos Futuros	20
	Referências Bibliográficas	21

Lista de figuras

- | | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Fatia da tomografia computadorizada da cabeça de um indivíduo (3). | 12 |
| 1.2 | Visualização volumétrica da mesma TC apresentada na figura 1.1 a partir de diferentes funções de transferência (3). | 13 |
| 1.3 | Visualização volumétrica de reservatório de petróleo. | 14 |

Lista de tabelas

Knowing yourself is the beginning of all wisdom.

Aristóteles, .

1

Introdução

Visualização volumétrica é a vertente da computação gráfica caracterizada por visualizar campos escalares, isto é, representar visualmente um volume de dados que relaciona um valor escalar a um ponto no espaço. Esses dados podem vir de inúmeras fontes, desde exames médicos de ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada (TC) a simulações físicas, como em reservatórios de petróleo e fraturas em materiais. Um campo escalar também pode ser interpretado como a variação de uma determinada informação num espaço delimitado. Por exemplo, um exame de tomografia computadorizada informa como a densidade da estrutura fisiológica varia naquela região em que foi escaneada, como visto na figura 1.1, onde a cor preta indica a menor densidade e a cor branca a maior.

Um componente essencial da visualização volumétrica é a função de transferência (FT): um mapeamento feito entre voxels do volume renderizado e um ou mais atributos que compõem suas propriedades ópticas, como por exemplo, cor e opacidade. Ou seja, através da função de transferência é possível definir como cada elemento do volume de dados será visto na imagem final. Um objetivo prático do uso de FTs seria, dado uma TC da cabeça de um indivíduo, visualizar apenas seu crânio. Essa prática auxilia os médicos no exame e diagnóstico de pacientes, o que mostra o quanto pode ser importante utilizar funções de transferência. As imagens na figura 1.2 mostram visualizações volumétricas da tomografia apresentada na figura 1.1, utilizando diferentes funções de transferência.



Figura 1.1: Fatia da tomografia computadorizada da cabeça de um indivíduo (3).

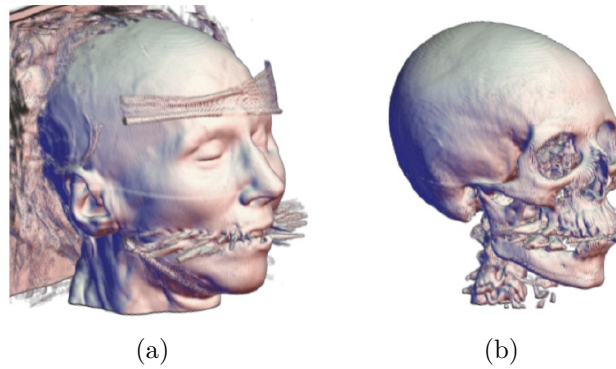


Figura 1.2: Visualização volumétrica da mesma TC apresentada na figura 1.1 a partir de diferentes funções de transferência (3).

No entanto, obter FTs que isolem corretamente estruturas internas do volume, ou que simplesmente resultem em uma visualização adequada de toda a estrutura de interesse, não é uma tarefa fácil para um usuário comum. Definir manualmente uma função de transferência é um trabalho repetitivo de tentativa e erro, que exige paciência e um conhecimento mínimo sobre os dados sendo visualizados. Por esse motivo, a busca por métodos automáticos é tão importante e vem sendo desenvolvida há mais de 20 anos.

Em 1998, *Kindlmann e Durkin* (4) promoveram um grande salto no estado da arte com seu método semiautomático. Alguns trabalhos que vieram a seguir buscaram o mesmo objetivo: automatizar a criação de FTs que destacassem as fronteiras entre diferentes materiais do volume, permitindo ao usuário um controle fino sobre a função obtida. Mas a maioria das pesquisas que se sucederam resultaram em um aprimoramento da interface com o usuário. Através de histogramas 2D, regiões de possíveis fronteiras são reveladas, cabendo então ao usuário selecioná-las, atribuindo cor e opacidade.

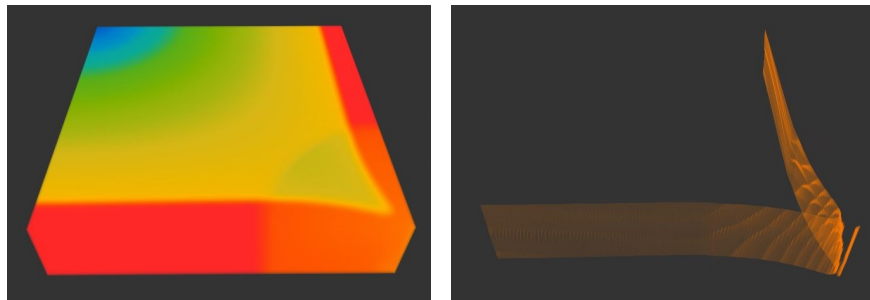
Esse tipo de abordagem dá ao usuário controle total sobre a função de transferência que será gerada, ao mesmo tempo que as interfaces sofisticadas minimizam a necessidade de se conhecer os dados sendo visualizados. Contudo, esses trabalhos retomam o processo repetitivo de tentativa e erro. Além disso, como a relação entre as regiões dos histogramas e os materiais do volume não são intuitivas, a interface apresenta um novo desafio ao usuário.

Durante esses anos, a grande maioria das pesquisas têm analisado seus resultados na área médica, sem avaliar a aplicabilidade de tais métodos em outros dados científicos. Como consequência, os métodos desenvolvidos exploram apenas malhas estruturadas, deixando de lado dados representados por malhas não estruturadas, como reservatórios de petróleo, por exemplo.

Segundo *Rosa et al. 2006, p. xii, p. 517* (9), um dos métodos mais sofisticados para se estimar características e prever o comportamento de

reservatórios de petróleo é utilizar simulação numérica. A simulação permite, por exemplo, determinar as melhores condições para a produção de petróleo, assim como estimar o volume de óleo e gás que poderá ser extraído durante a exploração do reservatório.

Assim como no caso dos volumes médicos, a aplicação de FTs pode destacar regiões do reservatório, ou realçar a interface entre elas. Por exemplo, a área de contato entre a água e o óleo (denominada frente de avanço) é uma informação importante sobre o fluxo do reservatório. As frentes de avanço delimitam regiões importantes na fase de recuperação secundária de um reservatório e podem ser calculadas analiticamente, mas não visualizadas sem uma função de transferência apropriada.



(a) Simulação da saturação de óleo em um reservatório. (b) Realce da fronteira mais evidente da imagem ao lado.

Figura 1.3: Visualização volumétrica de reservatório de petróleo.

Com base na abordagem feita por *Kindlmann e Durkin* (4) este trabalho desenvolve um novo método para geração automática de funções de transferência, com o objetivo de realçar fronteiras de um volume de dados. A técnica é voltada para malhas estruturadas e não estruturadas. Desta forma, são apresentados resultados para volumes sintéticos, volumes médicos e volumes de reservatório.

No capítulo 2 alguns trabalhos relacionados a este são comentados, realçando suas contribuições e questões em aberto que deram espaço a outros trabalhos. No capítulo 3, o método criado por *Kindlmann e Durkin* (4) é explicado e avaliado segundo os objetivos e motivações deste trabalho. A abordagem proposta por essa dissertação é apresentada no capítulo 4 e seus resultados e comparações avaliados no capítulo 5. Por fim, conclusões e trabalhos futuros são discutidos no capítulo 6.

2

Trabalhos Relacionados

Desde a publicação de “Semi-automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering” em 1998, *Kindlmann e Durkin* (4) vêm sendo citados quando o assunto é função de transferência. Seu trabalho, que será explicado em maiores detalhes no capítulo 3, utiliza a mesma ideia dos detectores de aresta como em (1) para encontrar fronteiras, onde uma aresta se encontra nos pontos de primeira derivada máxima e segunda igual a zero. Com o modelo matemático de uma fronteira ideal e suas derivadas, uma relação entre um valor escalar e sua distância até o centro da fronteira é extraída. Para compor a função de transferência, o usuário fornece uma função que relaciona opacidade e distância à fronteira. A opacidade final de um voxel é então dada pela relação entre seu valor escalar e suas derivadas médias.

Um histograma 2D acumula a ocorrência de todos os pares de valores do volume e magnitude do gradiente, que são respectivamente os eixos x e y . O histograma ajuda a identificar as fronteiras. Elas aparecem como arcos que vão de um valor escalar ao outro. Em volumes mais complexos é muito comum arcos se sobreponem. Isso indica uma falha na classificação destes valores, pois não é possível definir a qual fronteira eles realmente pertencem. Afim de essa sobreposição, uma versão 2D da função de transferência também é proposta, utilizando a primeira derivada de cada voxel no lugar de sua média.

Em 2001, *Kniss et al.* (5) estenderam essa metodologia para funções de transferência 3D, também buscando classificar melhor as fronteiras. A complexidade da FT 3D gerou a necessidade de aprimorar a interface com o usuário, fornecendo ferramentas de inspeção de dados no volume com resposta direta na função de transferência. Dessa forma era possível saber que região da FT correspondia à porção do volume selecionada. No ano seguinte *Kniss et al.* (6) aprimoraram ainda mais o controle do usuário sobre a função de transferência, porém, perdendo o caráter automático da geração de FTs.

Anos depois *Park e Bajaj* (8) utilizaram traçado de raios para eliminar as médias de *Kindlmann e Durkin* (4) e obter uma função de transferência espacial, onde a opacidade é calculada individualmente para cada voxel. No mesmo ano, também buscando resolver a sobreposição de regiões, *Lum e Ma* (7) optaram por mudar o domínio da função de transferência. Neste método, para

cada voxel do volume registra-se em um histograma 2D o par de vizinhos mais próximos na direção do gradiente. Os dois eixos do histograma são horizontais, sendo um inferior no sentido crescente dos valores e um superior decrescente. Dessa forma, as fronteiras são identificadas como segmentos retos que ligam os eixos e não mais arcos como em (4).

Muitos trabalhos seguiram esse mesmo caminho, em busca de um novo domínio para a função de transferência. É o caso de *Sereda et al.* (10), que identificam os valores extremos de uma fronteira (FL e FH) através de 3 possíveis perfis de função. As ocorrências de FL e FH são acumuladas em seu “Histograma LH”: um histograma 2D aonde as fronteiras ideais se apresentam como regiões circulares acima da reta $FL = FH$. Um algoritmo de crescimento de região é proposto para agrupar todas as entradas do histograma que pertencem à mesma fronteira. Caso o usuário queira ver mais de uma região, ele deve indicar sementes para o algoritmo.

Outro exemplo de um novo domínio para a função de transferência é apresentado por *Haidacher et al.* (2). Eles propõem acumular em um histograma 2D a média e o desvio padrão de todos os voxels. Mas assim como em (10) o histograma apresenta as fronteiras e os materiais entre elas de forma visualmente semelhante, forçando o usuário ao processo de tentativa e erro. Gradativamente os trabalhos seguintes desta área foram diminuindo o foco em automatizar a geração de funções de transferência, como visto em (12, 11) que propõem novas ferramentas de seleção para o histograma 2D usado por (4).

, aumentando seu controle sobre a função de transferência.

sobre..... Como resultado, o usuário ganhou um controle maior sobre a visualização final, mas não sobre a função de transferência em si, uma vez que a interface tornou-se menos intuitiva.

3

INSERIR TITULO PARA: GORDON

Texto...

3.1

1d

Texto...

3.2

2d

Texto..

3.3

Avaliação do método

Atacar treshold do gordon, apresentando minha solução. Mas sem criticar de forma negativa.

Comentar 2^a derivada média.

4

INSERIR TITULO PARA: NOSSO MÉTODO

Texto...

4.1

Detecção de fronteiras

Texto...

4.2

Avaliação média das derivadas

Texto...

4.2.1

Malhas estruturadas

Explicar malha estruturada...

4.2.2

Malhas não estruturadas

Explicar malha não estruturada...

4.3

Geração da função de transferência

Texto...

5 Resultados

Texto...

6

Conclusão e Trabalhos Futuros

Texto...

Referências bibliográficas

- [1] CANNY, J.. **A computational approach to edge detection.** IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8(6):679–698, Nov 1986.
- [2] HAIDACHER, M.; PATEL, D.; BRUCKNER, S.; KANITSAR, A. ; GRÖLLER, M. E.. **Volume visualization based on statistical transfer-function spaces.** In: 2010 IEEE PACIFIC VISUALIZATION SYMPOSIUM (PacificVis), p. 17–24.
- [3] KINDLMANN, G.. **Semi-automatic generation of transfer functions for direct volume rendering.** Dissertação de Mestrado, Cornell University, Ithaca, New York, Jan. 1999.
- [4] KINDLMANN, G.; DURKIN, J. W.. **Semi-automatic generation of transfer functions for direct volume rendering.** In: IEEE SYMPOSIUM ON VOLUME VISUALIZATION, p. 79–86,170, Oct. 1998.
- [5] KNISS, J.; KINDLMANN, G. ; HANSEN, C.. **Interactive volume rendering using multi-dimensional transfer functions and direct manipulation widgets.** In: VISUALIZATION, 2001. VIS '01. PROCEEDINGS, p. 255–562.
- [6] KNISS, J.; KINDLMANN, G. ; HANSEN, C.. **Multidimensional transfer functions for interactive volume rendering.** 8(3):270–285.
- [7] LUM, E. B.; MA, K.-L.. **Lighting transfer functions using gradient aligned sampling.** In: PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON VISUALIZATION '04, VIS '04, p. 289–296. IEEE Computer Society.
- [8] PARK, S.; BAJAJ, C.. **Multi-dimensional transfer function design for scientific visualization.** p. 6.
- [9] ROSA, A.; DE SOUZA CARVALHO, R. ; XAVIER, J.. **Engenharia de reservatórios de petróleo.** Interciência.
- [10] SEREDA, P.; BARTROLI, A. V.; SERLIE, I. W. O. ; GERRITSEN, F. A.. **Visualization of boundaries in volumetric data sets using LH histograms.** 12(2):208–218.

- [11] WANG, Y.; CHEN, W.; SHAN, G.; DONG, T. ; CHI, X.. **Volume exploration using ellipsoidal gaussian transfer functions.** In: 2010 IEEE PACIFIC VISUALIZATION SYMPOSIUM (PacificVis), p. 25–32.
- [12] ZOU, Y.; BAI, D.; WANG, S. ; KANG, Y.. **A new two-dimensional transfer functions for volume rendering.** In: 2010 3RD INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, volumen 8, p. 3733–3736.