Extração de Isosuperfícies Usando Galerias de Design

Sibgrapi paper ID: 89517

Resumo—A visualização de dados volumétricos é um problema comum em diversas áreas do conhecimento, onde destacamse a visualização de imagens médicas e a visualização de dados sísmicos. Os métodos de visualização indireta de dados tridimensionais tem como grande desafio permitir ao usuário visualizar apenas a informação desejada, por meio da extração de isosuperfícies de qualidade. Para atingir este objetivo, é necessário converter as preferências do usuário, expressas por meio de alguma interface gráfica, em isovalores. Neste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação para extração de isosuperfícies com interface gráfica baseada em Galerias de Design, onde o usuário explora o espaço de isovalores através de representações visuais das isosuperfícies correspondentes, assistindo o usuário na seleção do parâmetro ótimo.

Abstract – The visualization of volumetric data is a common problem in many areas, like medical imaging and sismic data visualization. The main challenge of indirect visualization methods is to allow the user to visualize only the desired information, by extracting high quality isosurfaces. Thus, it is necessary to convert user preferences to isovalues. In this work, an application to extract isosurfaces was developed. A graphical interface based on Design Galleries is presented, where the user explores the isovalues space through visual representations of corresponding isosurfaces, assisting the user in the optimal parameter selection.

Palavras-chave-Galeria de Design; Isosuperfícies; Isovalor; Marching Cubes;

I. INTRODUÇÃO

Uma das mais interessantes sub-áreas da visualização científica, que tem tido um rápido crescimento, é a visualização volumétrica. Os métodos de visualização de dados volumétricos tem como objetivo gerar uma projeção bidimensional de um conjunto de dados amostrados em um domínio tridimensional discreto. Um exemplo típico de dados desta natureza é um conjunto de imagens representando fatias do corpo humano, adquiridas por meio de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, por exemplo. Esse tipo de dado é geralmente chamado de dado volumétrico.

Em geral, esses dados representam informação de densidade numa determinada posição do espaço. Matematicamente, podemos representá-los por meio de uma função do tipo:

$$f: D \subset \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R},\tag{1}$$

onde D é o domínio tridimensional do dado volumétrico.

Podemos particionar as classes de métodos para visualização de dados volumétricos em métodos 2d, métodos 3d diretos e métodos 3d indiretos. Nos métodos 2d, apenas fatias do volume são exibidas. Nos métodos 3d diretos, a partir de um ponto de vista, uma imagem bidimensional é gerada usando os dados volumétricos e uma função de transferência, que converte o dado contido em cada amostra do volume em uma cor tipicamente no formato RGBA. Os métodos 3d indiretos são motivados por um importante resultado que garante que, se uma função f, como definida acima, é contínua, e c é um valor regular de f, então $f^{-1}(c)$ é uma superfície contínua, ou isosuperfície. Nesta classe de métodos, isosuperfícies representadas por malhas de triângulos são inicialmente extraídas do volume, e, em seguida, esta representação é renderizada usando técnicas convencionais. Este trabalho está focado na classe de métodos 3d indiretos, ou métodos baseados na extração de isosuperfícies, como ilustra a figura 1.

Determinar o isovalor c mais apropriado é um desafio inerente de qualquer método de extração de isosuperfícies. Métodos baseados em tentativa e erro são extremamente laboriosos. Um tópico relacionado é a escolha da função de transferência mais apropriada nos métodos 3d diretos.

As Galerias de Design têm se mostrado uma alternativa eficiente para substituir interfaces baseadas em tentativa e erro. Neste tipo de interface, um conjunto de parâmetros é apresentado para o usuário na forma de um mosaico de imagens ou animações, como ilustra a figura 2. Posteriormente,



Figura 1. Galeria de Design com miniaturas representando isosuperfícies extraídas usando isovalores distintos

os parâmetros selecionados pelo usuário neste mosaico são usados para gerar novos mosaicos, ou galerias, refinando a seleção inicial, e consequentemente permitindo ao usuário obter resultados mais precisos.Desse modo, as Galerias de Design apresentam um grande potencial para resolver o problema de extração de isosuperfícies, assistindo o usuário no processo de seleção de isovalores.

Neste trabalho, uma aplicação para extração de isosuperfícies com interface gráfica baseada em Galerias de Design foi desenvolvida. Nesta aplicação, o usuário explora o espaço de isovalores de um dado volumétrico através de imagens de isosuperfícies representando seus isovalores correspondentes. Estas imagens são apresentadas ao usuário em forma de mosaico. Usando um algoritmo genético, novas galerias são geradas a partir das seleções do usuário em galerias anteriores, até que um isovalor satisfatório seja encontrado. Além disso, uma variante de interface de Galerias de Design é apresentada, onde o usuário é capaz de destacar parâmetros de uma galeria para visualizar suas representações visuais em resolução mais alta.

A. Trabalhos Relacionados

As Galerias de Design foram apresentadas em 1997 por Marks *et al.* [2] com o objetivo de ajudar o usuário a explorar espaços de parâmetros multidimensionais através de representações visuais. No trabalho original, são descritos usos das galerias em diversos problemas não lineares, como: seleção e posicionamento de luz em cenas tridimensionais; seleção de funções de transferência de cor e opacidade para renderização de volumes; além de aplicações em animação.

O uso de Galerias de Design se disseminou rapidamente na indústria e no meio acadêmico. Na indústria, é possível encontrar Galerias de Design em *softwares* populares como o Adobe After Effects CS4 [3], onde um componente denominado *Brainstorm* usa uma interface baseada nas Galerias de Design para ajuste de parâmetros de animação. No Adobe Photoshop



Figura 2. Exemplo de Galerias de Design aplicadas ao problema de colorização de imagens, extraída do *software Adobe Photoshop CS4* [1].

CS4 [1], Galerias de Design são usadas para recolorir imagens, exibindo variações de cores da imagem em uma interface de galerias.

No meio acadêmico, galerias já eram usadas para realizar ajuste de parâmetros antes mesmo do trabalho original de Marks *et al.*. Em 1996, He *et al.* [4] trataram do problema de otimização de funções de transferência para visualização de dados volumétricos. No método proposto, o usuário seleciona parâmetros organizados em galerias de imagens, e métodos estocásticos usam as seleções para gerar novos parâmetros.

Diversos outros trabalhos se basearam em galerias para resolver problemas de ajuste de parâmetros multidimensionais. Entre os mais recentes, destacamos o trabalho de Ngan *et al.* [5], que usam galerias para selecionar parâmetros de funções de distribuição de reflectância bidirecional (BRDF); e o trabalho de Shapira *et al.* [6], onde galerias são usadas para recolorir imagens, explorando um espaço de alta dimensão representando possíveis manipulações de cor.

Recentemente, Vieira *et al.* [7] apresentaram as Galerias Inteligentes, que estendem o uso das Galerias de Design realizando aprendizagem supervisionada, ou seja, aprendizagem por exemplo. Esta aprendizagem é realizada a partir de bancos de dados obtidos das seleções dos usuários nas Galerias de Design. Em particular, esta abordagem é apropriada para resolver problemas subjetivos, e pode ser aplicado ao problema de extração de isosuperfícies. A incorporação de aprendizagem supervisionada na aplicação proposta é uma possível extensão futura deste trabalho.

II. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Nesta seção uma visão geral do método será apresentada, bem como a descrição dos pontos relevantes.

A. Visão Geral

As Galerias de Design têm como objetivo dar assistência ao usuário na seleção de parâmetros quando o resultado puder ser representado por meio de imagens, ou seja, quando II for um espaço de imagens. Inicialmente, é realizada uma amostragem do espaço dos parâmetros $\Psi \subset \Omega$, onde Ω é o espaço de parâmetros. O conjunto de amostras é dado de entrada para a função π , e finalmente o conjunto das imagens resultantes $\pi(\Psi)$ é organizado em uma interface onde o usuário pode interagir selecionando parâmetros. Opcionalmente, uma reamostragem no espaços dos parâmetros é realizada considerandose a seleção do usuário na galeria inicial, e seguindo-se alguma estratégia de refinamento. No trabalho original [2], este refinamento é realizado por *clustering*. A Figura 3 descreve as Galerias de Design.

Um dado volumétrico é representado, geralmente, por uma amostragem de uma função de densidade f definida em um domínio D, como na Equação (1). O problema de extração de isosuperfícies é baseado no seguinte resultado:

Teorema 1: Se $f: D \subset \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$ é uma função diferenciável e $c \in f(D)$ é um valor regular de f, então $f^{-1}(c)$ é uma



Figura 3. Galerias de Design: uma galeria é gerada a partir de uma amostragem $\Psi \subset \Omega$. O usuário seleciona bons parâmetros e opcionalmente uma nova galeria é gerada com parâmetros de Ω que refinam as seleções do usuário.

superfície regular em \mathbb{R}^3 .

Um dos maiores desafios deste problema é a seleção do isovalor c que vai gerar a isosuperfície $f^{-1}(c)$ desejada. Uma vez encontrado o isovalor ótimo, isosuperfícies são geralmente extraídas de dados volumétricos usando algoritmos derivados do algoritmo *Marching Cubes* [8], que é aplicado em grids uniformes retangulares representando funções de densidade. Diversos trabalhos aperfeiçoaram e extenderem este algoritmo. Neste trabalho, usamos a implementação de Lewiner *et al.* [9], que apresenta soluções para casos ambíguos com garantias topológicas.

Para adaptar as Galerias de Design ao problema de extração de isosuperfícies, o espaço de parâmetros Ω é definido como o espaço unidimensional de possíveis isovalores. A partir de uma amostragem inicial $\Psi \subset \Omega$ do espaço de isovalores, isosuperfícies representando estes isovalores são extraídas e representadas na galeria por imagens renderizadas a partir de um determinado ponto de vista (subseção II-B). Seleções do usuário são usadas por um algoritmo genético para gerar novos isovalores e compor uma nova galeria (subseção II-C), até que o usuário encontre o isovalor ótimo. A variação da interface de Galerias de Design desenvolvida é apresentada na subseção II-D.

B. Geração da Galeria Inicial

Parar gerar a primeira galeria, é necessário amostrar o espaço de parâmetros Ω . Neste trabalho, por simplicidade, optou-se por se realizar uma amostragem uniforme $\Psi_1 \subset \Omega$. Inicialmente, é necessário realizar uma varredura no dado volumétrico para determinar o maior (c_{max}) e menor (c_{min}) valor da função de densidade f. O conjunto de isovalores usados na primeira galeria é dado por

$$\Psi_1 = \left\{ c_{min} + i \cdot \left(\frac{c_{max} - c_{min}}{n-1} \right); i = 0 \dots n-1 \right\},$$

onde n é a quantidade de elementos desejado por galeria.

Para cada isovalor c_i de Ψ_1 , extrai-se uma isosuperfície $f^{-1}(c_i)$, representada por uma malha de triângulos. Como citado anteriormente, essa extração é realizada por uma implementação do algoritmo Marching Cubes [9]. Em seguida, uma imagem $\pi(f^{-1}c_i)$ é renderizada, onde π é a projeção da superfície na imagem, a partir de um determinado ponto de vista. O conjunto de imagens representando os isovalores de Ψ_1 é organizado na forma de mosaico, ou galeria. Existem na literatura diversas variantes desta interface. Na subseção II-D, apresentamos uma nova variante para este tipo de interface.

C. Reprodução e Refinamento da Galeria

Após a geração da galeria inicial, o usuário seleciona os isovalores, representados pelas imagens das isosuperfícies, de sua preferência. Aplicando-se um algoritmo genético, estes isovalores vão dar origem a um novo conjunto de isovalores $\Psi_2 \subset \Omega$, que por sua vez vão gerar uma nova galeria como descrito na subseção II-B. O objetivo deste algoritmo genético é refinar as seleções dos usuários, permitindo ao usuário se aproximar do isovalor ótimo.

A inicialização do algoritmo genético corresponde ao procedimento de amostragem inicial no espaço de isovalores Ω (subseção II-B). Na etapa de seleção, n pares de isovalores são sorteados usando uma variável aleatória uniforme. Desse modo, é possível que um isovalor seja sorteado uma vez, mais de uma vez, ou nenhuma vez. Inclusive, um isovalor pode ser par dele mesmo.

Para cada par de isovalores pais, um isovalor filho é gerado usando uma variável aleatória uniforme X, responsável por realizar uma combinação convexa aleatória entre os pais. Como o espaço de parâmetros é unidimensional, esta combinação convexa é uma simples interpolação linear. Dado um par de pais c_A e c_B , seu filho c_{AB} é dado por

$$c_{AB} = X \cdot c_A + (1 - X) \cdot c_B$$

Opcionalmente, pode-se optar por inserir um isovalor aleatório na nova galeria, correspondendo a uma mutação genética. Isto evita a convergência para mínimos locais.

D. Interface

Normalmente, uma galeria de design é composta por um mosaico de parâmetros, representados por imagens em baixa resolução, e um visualizador de parâmetros, onde o usuário visualiza um determinado parâmetro através de sua imagem em alta resolução, como por exemplo a figura 4.

Apresentamos neste trabalho uma alternativa onde o mosaico e o visualizador são integrados. Navegando com o mouse, o usuário é capaz de aplicar uma escala em uma determinada imagem do mosaico para visualizá-la em alta resolução. As outras imagens do mosaico têm escala unitária e são apenas transladadas para dar espaço à imagem em alta resolução. Para obter um efeito de transição de escala suave, o fator de escala s depende linearmente da distância r do cursor do mouse ao centro da imagem (na posição original), de acordo com a equação

$$s_i(r) = \begin{cases} 2 & \text{se } r < \frac{L}{5} \\ 2 - \frac{(r - \frac{L}{5})}{\frac{L}{2} - \frac{L}{5}} & \text{se } \frac{L}{2} \le r \le \frac{L}{2} \\ 1 & \text{se } r > \frac{L}{2}, \end{cases}$$
(2)

onde L é a medida do lado do quadrilátero.

Assim, a imagem terá zoom máximo num raio de $\frac{L}{5}$, evitando a sensação de imagem tremida, e zoom mínimo



Figura 4. Exemplo de interface de Galerias de Design. O mosaico de parâmetros é organizado no bordo da galeria e o visualizador de parâmetros exibe, no centro da galeria, uma imagem em resolução maior, representando o parâmetro selecionado em verde.



Figura 5. Posicionamento dos quadriláteros das imagens do mosaico. As circunferências virtuais, em vermelho, representam as regiões onde, navegando com o cursor do mouse, o usuário é capaz de alterar a escala (zoom) de cada imagem.

quando o mouse estiver fora do quadrilátero (exceto nos cantos).

Para calcular a translação dos outros quadriláteros das imagens, é necessário determinar se estes estão posicionados acima, abaixo, à esquerda ou à direita do quadrado que está sofrendo escala. Dependendo da posição, esta translação é dada por

$$\pm \left(\frac{L-s\cdot L}{2}\right).$$

Note que para evitar que os quadriláteros posicionados no bordo da galeria desapareçam, é necessário posicioná-los com uma margem de $\frac{L}{2}$, como ilustra a Figura 5.

III. RESULTADOS

Para validar a aplicação, foram usados três dados volumétricos com dimensões de $256 \times 256 \times 256$, onde a função de densidade assume valores entre 0 e 255. Em todos os exemplos o usuário teve sucesso em atingir um isovalor final satisfatório usando três galerias.

O primeiro exemplo é o dado volumétrico de um pé humano (Figura 6). O objetivo do usuário era encontrar um isovalor que extraísse uma isosuperfície representando o esqueleto do pé. O segundo exemplo é o dado volumétrico de uma árvore bonsai (Figura 7). No terceiro exemplo, o usuário buscava extrair os ossos do crânio em um dado volumétrico de uma cabeça humana (Figura 8). As Tabelas I, II e III exibem os isovalores usados em cada galeria, e os tempos de execução para extrair cada isosuperfície.

A. Limitações

De acordo com as tabelas apresentadas, é possível verificar que a maior limitação de performance está na quantidade de malhas a serem extraídas pelo algoritmo Marching Cubes, que toma, aproximadamente, entre 2 e 4 segundos por isovalor. Isto torna a interface não interativa. Com o aumento da quantidade de núcleos das CPUs mais modernas, este problema pode ser amenizado com uma implementação em paralelo.

Outro problema é o posicionamento da câmera para renderização das imagens. Dependendo do modelo e do ponto de vista, a imagem resultante pode não ser satisfatória para o usuário analisar a isosuperfície extraída. Diversas soluções heurísticas podem ser aplicadas para escolha do ponto de vista. Destacamos o trabalho recente de Vieira *et al.* [7] que usa aprendizagem para determinar o melhor ponto de vista.

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação para extração de isosuperfícies com interface gráfica baseada em Galerias de Design, onde o usuário explora o espaço de isovalores através de representações visuais das isosuperfícies correspondentes, assistindo o usuário na seleção do parâmetro ótimo. Foram usados três volumes para validar a interface, e atingidos resultados satisfatórios para o usuário.

A. Trabalhos Futuros

Para atingir tempos interativos, um dos próximos passos deste trabalho é paralelizar a extração das isosuperfícies. Além disso, como no trabalho de Vieira *et al.* [7], pretende-se transformar as Galerias de Design desenvolvidas em Galerias Inteligentes, incorporando uma implementação das Máquinas de Suporte Vetorial (SVM) para realizar aprendizagem, e facilitar ainda mais o trabalho do usuário.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Systems, "Photoshop cs4," Software, Outubro 2008.
- [2] J. Marks, B. Andalman, P. A. Beardsley, W. Freeman, S. Gibson, J. Hodgins, T. Kang, B. Mirtich, H. Pfister, W. Ruml, K. Ryall, J. Seims, and S. M. Shieber, "Design galleries: a general approach to setting parameters for computer graphics and animation," in *Siggraph.* ACM, 1997, pp. 389–400.
- [3] A. Systems, "After effects cs4," Software, Outubro 2008.
- [4] T. He, L. Hong, A. Kaufman, and H. Pfister, "Generation of transfer functions with stochastic search techniques," in *VISUALIZATION*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE, 1996, pp. 227–234.
- [5] A. Ngan, F. Durand, and W. Matusik, "Image-driven navigation of analytical brdf models," in *Rendering Techniques*, June 2006, pp. 399– 408.
- [6] L. Shapira, A. Shamir, and D. Cohen-Or, "Image Appearance Exploration by Model-Based Navigation." *Computer Graphics Forum*, vol. 28, no. 2, pp. 629–638, 2009. [Online]. Available: http: //dblp.uni-trier.de/db/journals/cgf/cgf28.html#ShapiraSC09
- [7] T. Vieira, A. Bordignon, A. Peixoto, G. Tavares, H. Lopes, L. Velho, and T. Lewiner, "Learning good views through intelligent galleries," *Computer Graphics Forum*, vol. 28, pp. 717–726, 2009. [Online]. Available: http://www.matmidia.mat.puc-rio.br/tomlew/pdfs/intelgallery_eg.pdf
- [8] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm," *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 21, no. 4, pp. 163–169, Jul. 1987. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1145/37401.37422
- [9] T. Lewiner, H. Lopes, A. W. Vieira, and G. Tavares, "Efficient implementation of marching cubes cases with topological guarantees," *Journal of Graphics Tools*, vol. 8, pp. 1–15, 2003.

Tabela I Isovalores e tempos de execução do modelo de um pé humano

Inicialização		1º Ref	finamento	2º Refinamento	
Iv ¹	$\mathbf{T} \cdot \mathbf{E}^2$	Iv ¹	$\mathbf{T} \cdot \mathbf{E}^2$	Iv ¹	$T.E^2$
0.1	3.09 seg.	85.68	2.32 seg.	111.748	2.17 seg.
17	3.38 seg.	94.52	2.24 seg.	111.370	2.12 seg.
34	4.76 seg.	94.86	2.22 seg.	110.228	2.14 seg.
51	3.80 seg.	87.04	2.27 seg.	108.443	2.14 seg.
68	2.74 seg.	94.18	2.22 seg.	111.554	2.12 seg.
85	2.31 seg.	93.50	2.24 seg.	108.999	2.15 seg.
102	2.18 seg.	106.25	2.15 seg.	111.391	2.12 seg.
119	2.09 seg.	101.83	2.18 seg.	111.146	2.12 seg.
136	2.02 seg.	89.76	2.27 seg.	106.454	2.16 seg.
153	1.93 seg.	111.35	2.17 seg.	111.717	2.11 seg.
170	1.88 seg.	111.86	2.13 seg.	111.508	2.13 seg.
187	1.86 seg.	103.36	2.20 seg.	111.472	2.15 seg.
204	1.84 seg.	92.65	2.23 seg.	111.197	2.14 seg.
221	1.82 seg.	94.35	2.24 seg.	108.647	2.15 seg.
238	1.80 seg.	101.32	2.19 seg.	107.729	2.17 seg.
255	1.80 seg.	197.10	1.83 seg.	74.10	2.52 seg.
Total	39.80 seg.		35.10 seg.		34.61 seg.

¹Isovalor. ²Tempo de Execução.

Tabela II
Isovalores e tempos de execução do modelo de uma árvore
BONSAI

Inicialização		1º Refinamento		2º Refinamento	
Iv ¹	$\mathbf{T} \cdot \mathbf{E}^2$	Iv ¹	$T.E^2$	Iv ¹	$T.E^2$
0.1	4.19 seg.	44.3062	2.30 seg.	41.0550	2.31 seg.
31.875	2.35 seg.	61.8375	2.10 seg.	43.3851	2.19 seg.
63.75	2.06 seg.	59.9250	2.03 seg.	46.0148	2.19 seg.
95.625	2.03 seg.	55.4625	2.07 seg.	38.8875	2.33 seg.
127.5	2.11 seg.	38.8875	2.43 seg.	40.8765	2.31 seg.
159.375	1.99 seg.	40.8000	2.40 seg.	45.8490	2.18 seg.
191.25	1.89 seg.	41.4375	2.38 seg.	52.8966	2.03 seg.
223.125	1.75 seg.	34.1063	2.36 seg.	42.0846	2.25 seg.
255	1.73 seg.	60.5625	2.02 seg.	149.100	2.07 seg.
Total	22.48 seg.		20.63 seg.		20.39 seg.

¹Isovalor. ²Tempo de Execução.

Tabela III Isovalores e tempos de execução do modelo de uma cabeça

Inicialização		1º Refinamento		2º Refinamento	
Iv ¹	$\mathbf{T} \cdot \mathbf{E}^2$	Iv ¹	$\mathbf{T}.\mathbf{E}^2$	Iv ¹	$\mathbf{T}.\mathbf{E}^2$
0.1	4.74 seg.	90.8438	1.90 seg.	65.5350	2.25 seg.
31.875	3.13 seg.	94.6687	1.85 seg.	80.5673	2.02 seg.
63.75	2.30 seg.	91.1625	1.89 seg.	70.1282	2.20 seg.
95.625	1.87 seg.	82.2375	1.96 seg.	69.2931	2.15 seg.
127.5	1.76 seg.	40.4813	2.73 seg.	79.3146	2.00 seg.
159.375	1.78 seg.	72.6750	2.09 seg.	45.9096	2.64 seg.
191.25	1.82 seg.	65.6625	2.21 seg.	61.3594	2.30 seg.
223.125	1.77 seg.	79.3688	1.99 seg.	80.5673	2.00 seg.
255	1.74 seg.	4.1000	5.61 seg.	51.3379	2.49 seg.
Total	20.91 seg.		22.23 seg.		20.05 seg.

¹Isovalor. ²Tempo de Execução.



Figura 6. Galerias geradas para seleção de isovalor em um dado volumétrico de um pé humano. Em verde os isovalores selecionados pelo usuário nas galerias. Na última galeria, com zoom destacado, o isovalor final 108.999 selecionado pelo usuário. (Ver Tabela I).



Figura 7. Galerias geradas para seleção de isovalor em um dado volumétrico de uma planta bonsai. Em verde os isovalores selecionados pelo usuário nas galerias. Na última galeria, com zoom destacado, o isovalor final 42.08 selecionado pelo usuário. (Ver Tabela II).



Figura 8. Galerias geradas para seleção de isovalor em um dado volumétrico de uma cabeça humana. Em verde os isovalores selecionados pelo usuário nas galerias. Na última galeria, com zoom destacado, o isovalor final 51.33 selecionado pelo usuário.(Ver Tabela III).