

MALHAS TRIANGULARES EM MÚLTIPLAS ESCALAS PARA REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS

RICARDO DUTRA DA SILVA¹, WILLIAM ROBSON SCHWARTZ¹
ROSANE MINGHIM², HÉLIO PEDRINI¹

¹ Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas
Campinas-SP, Brasil, 13084-971

² Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo
São Carlos-SP Brasil, 13560-970

III SEEMI - Simpósio em Estatística Espacial e Modelagem de Imagens, 14 - 16 dezembro de 2010 - Foz do Iguaçu

RESUMO

O avanço dos equipamentos e das técnicas para aquisição de dados espaciais tem permitido a geração de modelos com alto grau de realismo. Grandes volumes de dados são frequentes em diversos domínios de conhecimento, tais como sensoriamento remoto, visão computacional, medicina, realidade virtual, entre outros. Malhas irregulares triangulares são representações que possuem várias vantagens com relação ao uso de grades regulares, como adaptabilidade à densidade dos dados, facilidade para manipulação e visualização de superfícies de alta complexidade e organização de estruturas em diferentes níveis de resolução. Este trabalho apresenta uma abordagem para geração de malhas triangulares em múltiplas escalas a partir de uma sequência de imagens suavizadas com filtro Gaussiano. Resultados experimentais mostram que a abordagem multiescala proposta produz malhas compactas em conformidade com métricas de erro de aproximação.

PALAVRAS-CHAVE: malhas triangulares, técnicas multiescala, suavização de imagens.

ABSTRACT

The advance of equipments and techniques for spatial data acquisition has allowed the generation of models with high degree of realism. Large volumes of data are common in several fields of knowledge, such as remote sensing, computer vision, medicine, virtual reality, among others. Irregular triangular meshes are representations that have various advantages over the use of regular grids, such as adaptability to data density, ease of manipulation and visualization of high complexity surfaces and organization of structures at different levels of resolution. This paper presents an approach for generating triangular meshes at multiple scales from a sequence of images smoothed with Gaussian filter. Experimental results show that the proposed multiscale approach produces compact meshes under approximation error metrics.

KEYWORDS: triangular meshes, multiscale techniques, image smoothing.

INTRODUÇÃO

A geração e a distribuição de conjuntos de dados espaciais em resoluções cada vez maiores têm sido possível devido ao grande avanço das tecnologias de aquisição de dados. Diversas aplicações podem ser beneficiadas com o uso de equipamentos avançados para coleta de dados. Satélites e sistemas de varredura a laser são capazes de capturar dados de elevação da superfície terrestre em

alta resolução. Equipamentos de tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultrassonografia adquirem grandes volumes de imagens de órgãos internos do corpo humano. Câmeras de vídeo obtêm conjuntos de pontos que podem representar múltiplas vistas de um objeto.

Estratégias eficientes são requeridas para armazenamento, manipulação e visualização de grandes volumes de dados. Um método comum para aproximar superfícies formadas por um conjunto de pontos utiliza uma malha poligonal, a qual é normalmente representada por um conjunto de triângulos que cobre o domínio dos pontos [1, 2].

Um problema amplamente investigado consiste em criar uma malha que aproxime adequadamente conjuntos de dados espaciais, descritos como nuvens de pontos, preservando características relevantes dos dados e eliminando detalhes desnecessários. Os principais métodos para geração de malhas triangulares podem ser classificados em duas abordagens, os métodos baseados em refinamento e os métodos baseados em simplificação.

Os métodos baseados em refinamento [3, 4, 5] inicialmente constroem uma triangulação que aproxima um pequeno número de pontos do conjunto de dados. A cada iteração, um novo ponto é inserido na malha, tipicamente aquele que apresenta o maior erro na triangulação atual. Ajustes locais são realizados na malha e o método termina a execução quando a triangulação satisfizer uma determinada tolerância de erro ou quando um número requerido de pontos for inserido.

Os métodos baseados em simplificação [2, 6, 7] consideram uma malha com todos ou um grande número de pontos já pertencentes à triangulação e, a cada iteração, eliminam o ponto com o menor erro. A triangulação é refeita no local alterado. Como nos métodos baseados em refinamento, o processo de simplificação termina quando um número requerido de pontos for alcançado ou quando uma tolerância de erro for atingida.

O conceito de múltiplos níveis de detalhe [8, 9] é associado à geração de malhas com o objetivo de se obter representações dos dados em diversas resoluções ou escalas diferentes. Isto permite que os dados possam ser manipulados ou visualizados conforme a resolução requerida pelo usuário.

Este trabalho apresenta um método para geração de malhas triangulares em múltiplas escalas a partir de uma sequência de imagens suavizadas com filtro Gaussiano. Experimentos realizados mostram que a abordagem multiescala produz malhas compactas segundo as métricas de erro de aproximação sob consideração.

METODOLOGIA

A geração de malhas triangulares na metodologia proposta é baseada na triangulação incremental de Delaunay [3], a qual maximiza o ângulo mínimo de todos os triângulos da malha, reduzindo a ocorrência de triângulos muito estreitos e longos que tendem a produzir efeitos indesejáveis, tais como imprecisões no processo de visualização e instabilidade numérica.

Dada uma imagem I em uma determinada escala s , denotada I_s , o critério de inserção de pontos da imagem à malha triangular baseia-se na diferença (distância) máxima entre a superfície aproximada pela triangulação e os dados originais da imagem. Tal distância corresponde a um erro local vertical, denominado erro máximo vertical [10], expresso como

$$E(p) = |h(p) - z(p)| \quad (1)$$

em que $h(p)$ é o valor da altura do ponto p da imagem e $z(p)$ é o valor obtido pela aproximação do ponto p a partir de sua projeção no plano horizontal.

Embora esse critério de inserção de pontos seja simples, rápido e baseado apenas em informação local, ele é sensível a flutuações abruptas, porém, pequenas em escala, tais como variações de alta frequência. Para contornar esse problema, a imagem é suavizada com um filtro Gaussiano [11]. Essa filtragem remove pequenas flutuações ou detalhes finos da imagem, preservando suas características mais representativas.

A cada escala diferente da imagem, tem-se um grau de suavização específico da imagem. Pontos são inseridos na malha em uma determinada escala até que um número requerido de pontos ou erro de aproximação seja atingido. O primeiro parâmetro é útil quando se deseja limitar o tamanho da malha gerada, enquanto o segundo parâmetro é baseado na raiz do erro médio quadrático médio entre a superfície original e a superfície aproximada, garantindo que o erro final entre essas duas superfícies seja menor do que a tolerância de erro especificada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abordagem para geração de malhas triangulares em múltiplas escalas foi testada em um grande conjunto de dados. Devido à limitação de espaço, apenas cinco amostras de dados serão utilizadas na discussão dos resultados.

A Tabela 1 apresenta o número de pontos inseridos na malha, o erro local máximo e a raiz do erro médio quadrático tanto para a abordagem incremental de geração de malhas que utiliza apenas a escala original da imagem quanto para a abordagem que utiliza múltiplas imagens obtidas por meio de suavização com filtro Gaussiano.

Pode-se observar que, embora o mesmo número de pontos seja utilizado em ambas as abordagens, os valores de erros para a técnica multiescala de geração das malhas são menores.

Tabela 1: Comparação entre abordagens monoescala e multiescala.

Imagens	Nº de Pontos	Monoescala		Multiescala	
		Erro Local	RMSE	Erro Local	RMSE
Lena	10.000	39,167	7,807	22,201	6,980
Peppers	15.000	20,667	6,825	8,067	2,307
Palm Island	20.000	11,745	3,768	4,873	1,287
Crater Lake	40.000	1,401	0,445	0,602	0,217
Lake Champlain	50.000	1,058	0,360	0,816	0,116

As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, representações com diferentes graus de suavização da imagem Lena e as malhas triangulares correspondentes aos diferentes níveis de escala.

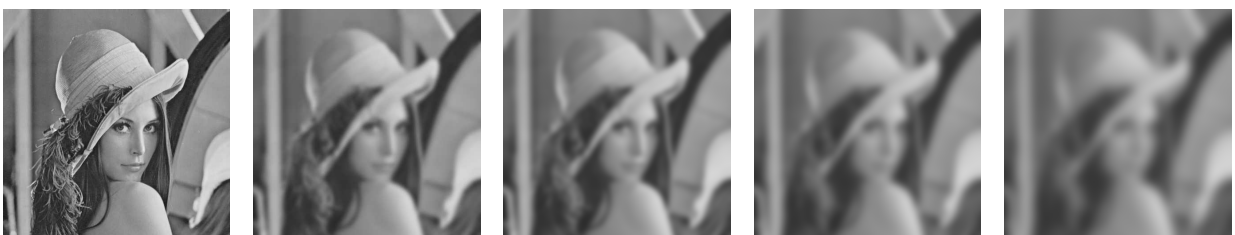


Figura 1: Representação de imagens com diferentes graus de suavização.

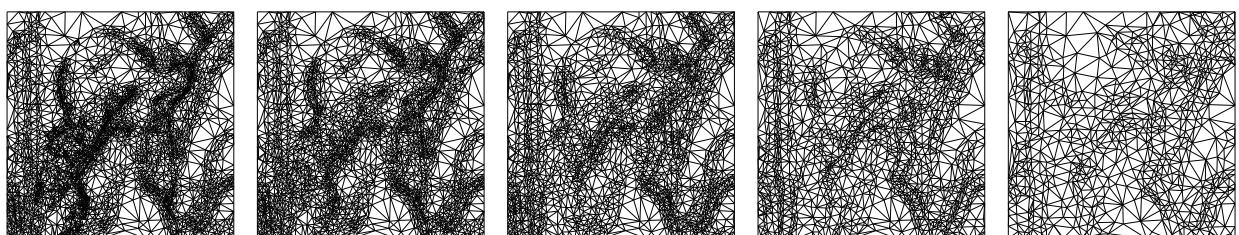


Figura 2: Malhas triangulares correspondentes aos diferentes níveis de escala.

CONCLUSÕES

O método descrito neste trabalho permite a representação de imagens em múltiplas escalas a partir do uso de malhas irregulares triangulares. Sequências de imagens suavizadas com filtro Gaussiano correspondem aos diferentes níveis de resolução.

Pontos são incrementalmente inseridos na malha por meio de um critério local. Os experimentos demonstram que a abordagem multiescala produz malhas com menores taxas de erro para o mesmo conjunto de pontos utilizado na construção das malhas.

Trabalhos futuros incluem a investigação de novas formas de geração das imagens em diferentes níveis de resolução e novos critérios para seleção e inserção de pontos da imagem para construção das malhas.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao CNPq, à FAPESP e à CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Kirkpatrick, D.: Optimal Search in Planar Subdivisions. *SIAM Journal on Computing* **12** (1983) 28–35
- [2] van Kaick, O.M., Pedrini, H.: A Comparative Evaluation of Metrics for Fast Mesh Simplification. *Computer Graphics Forum* **25** (2006) 197–210
- [3] Boissonnat, J., Pons, J., Yvinec, M.: From Segmented Images to Good Quality Meshes Using Delaunay Refinement. In: *Emerging Trends in Visual Computing: LIX Fall Colloquium*, Palaiseau, France (2009) 13–37
- [4] Brown, P.J.C.: A fast algorithm for selective refinement of terrain meshes. *Computer Networks and ISDN Systems* **29** (1997) 1587–1599
- [5] Hoppe, H.: View-dependent refinement of progressive meshes. *Computer Graphics* **31** (1997) 189–198
- [6] Cignoni, P., Montani, C., Scopigno, R.: A comparison of mesh simplification algorithms. *Computers and Graphics* **22** (1998) 37–54
- [7] Luebke, D., Erikson, C.: View-dependent simplification of arbitrary polygonal environments. *Computer Graphics* **31** (1997) 199–208
- [8] Hoppe, H.: Smooth View-Dependent Level-of-Detail Control and its Application to Terrain Rendering. In: *IEEE Visualization*. (1998) 35–42
- [9] Luebke, D., Reddy, M., Cohen, J.D., Varshney, A., Watson, B., Huebner, R.: *Level of Detail for 3D Graphics*. Morgan Kaufmann, San Francisco, United States (2003)
- [10] Garland, M., Heckbert, P.S.: Fast polygonal approximation of terrains and height fields. Technical Report CMU-CS-95-181, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA (1995)
- [11] Pedrini, H., Schwartz, W.: *Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações*. Editora Thomson Learning (2007)