

Visualização Interativa Direta de Imagens 3D em Tempo Real

Carlos Augusto Dietrich

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

`cadietrich@inf.ufrgs.br`

1. Introdução

A aquisição de conjuntos de dados 3D tornou-se comum em um crescente número de campos científicos. Em imagens médicas, por exemplo, exames envolvendo CT (tomografias computadas) e RM (ressonância magnética) hoje são comuns na rotina de hospitais. No meio clínico, a visualização de tomografias ainda é feita através de cortes 2D do volume. Algumas estruturas no corpo humano, no entanto, possuem uma anatomia complexa, o que dificulta sua compreensão por este tipo de abordagem.

Lamadé *et alii* (2000) sugerem que a visualização 3D de dados tomográficos aumenta significativamente a compreensão da imagem. Somado a isto, permitir ao usuário a interação com a imagem também possibilitaria uma maior compreensão dos dados contidos na mesma. Entretanto, a visualização 3D de conjuntos de dados volumétricos envolve outros problemas, como a oclusão de estruturas de interesse e o ajuste de funções de classificação.

Neste trabalho serão propostas ferramentas de interação com imagens 3D visualizadas diretamente. Estas ferramentas deverão permitir, basicamente, a seleção de volumes de interesse, através de operações de recorte da imagem. Oferecendo ao usuário este tipo de funcionalidade, através de técnicas de interação amigáveis, objetiva-se contribuir na resolução de problemas inerentes a visualização volumétrica (e.g. oclusão).

2. Visualização Volumétrica

Ao longo dos últimos anos, foram propostas diversas abordagens para a visualização de imagens 3D. Abordagens tradicionais contam com a eficiência da CPU, como as técnicas de *ray-casting* proposta por Levoy (1990) e *shear-warp* proposta por Lacroute e Levoy (1994). Alguns autores também propuseram a construção de *hardware* específico para o tratamento e visualização de conjuntos de dados 3D, como Ray *et alii* (1999). Com a disponibilidade de hardware especializado em texturização em computadores pessoais, vários autores exploraram as capacidades de mapeamento de texturas 3D (Cabral *et alii*, 1994) para a visualização direta de dados volumétricos. A disponibilidade de hardware especializado programável de baixo custo tornou o mapeamento de texturas 3D uma alternativa atraente para a visualização de imagens 3D.

3. Definição do Volume de Interesse (VOI)

Neste trabalho, propõe-se uma função de recorte de planos contra poliedros convexos, que pode ser utilizada para a construção dos polígonos de amostragem da textura 3D. O poliedro convexo representa a área de amostragem da textura 3D, e pode ser definido de forma a amostrar somente áreas de interesse dentro da imagem. Através desta função de

recorte, serão propostas técnicas interativas para a definição do poliedro de amostragem, permitindo, assim, a seleção de volumes de interesse (VOI) na imagem 3D.

3.1 Algoritmo de Recorte

Propõe-se um algoritmo de recorte baseado no paradigma de varredura por um plano (*plane sweep*) que opera sobre um poliedro convexo qualquer. Por questões didáticas, o problema é apresentado aqui no caso análogo 2D (intersecção entre linhas e polígonos convexos).

Um polígono P no plano pode ser definido como uma coleção ordenada de pontos 2D $(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$. A representação de um polígono P por um grafo planar G requer a criação de um vértice v_i em G para cada ponto p_i do polígono. Adicionalmente, uma aresta e_k em G é definida entre dois vértices v_i e v_j se os pontos correspondentes p_i e p_j compartilham um segmento de linha no polígono.

Deseja-se computar a intersecção de uma linha de varredura γ contra um polígono convexo P no plano. Por simplicidade, define-se um movimento horizontal (da esquerda para a direita) sobre uma direção de varredura \vec{s} , com posições intermediárias $\gamma(t)$, onde t representa cada instante de tempo na varredura.

Um evento ocorre quando a linha de varredura passa através de um vértice do polígono. Define-se como o_s a projeção do primeiro vértice atravessado pela linha de varredura (figura 1-b). Para cada vértice projetado \hat{v}_i , define-se o peso (*weight*) de um vértice projetado \hat{v}_i como a distância euclidiana de \hat{v}_i à origem o_s .

Nota-se que, depois de um evento qualquer e antes do próximo, as arestas do polígono interseccionadas por uma linha de varredura não mudam. Estas arestas são chamadas de arestas suporte, já que contêm os pontos que definem a intersecção do segmento com o polígono. Usando uma interpolação linear simples nas equações paramétricas destas arestas, é possível obter os pontos para cada nova posição da linha de varredura.

Para um poliedro P de n vértices, é possível construir uma estrutura de suporte denominada *weighted sweep tree* (WST), que identifica as arestas de suporte e os eventos necessários para atualizá-la. Uma WST $T(P, \vec{s})$ é definida como uma árvore n-ária para uma representação G planar de um polígono P como segue: cria-se um nodo n_i na WST para cada vértice v_i em G ; para cada nodo n_i , define-se uma aresta direcionada e_k entre n_i e um nodo n_j (n_i é o pai de n_j), se v_i é adjacente a v_j no grafo planar e a linha de varredura passa por v_i antes de passar por v_j ($weight(\hat{v}_i) < weight(\hat{v}_j)$).

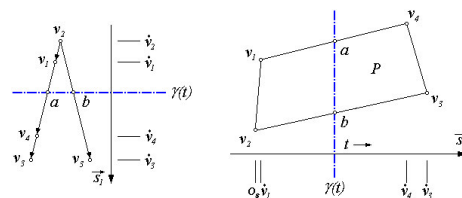


Figura 1. (a) corte na WST; (b) Uma linha de *sweep* que se move da esquerda para a direita. A cada instante de tempo t é computada a intersecção com o polígono.

Define-se um corte na WST Γ com uma distância d , chamado $cut(\Gamma, d)$, como a lista de todas as arestas ($e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$) na WST que satisfazem a condição $weight(v_i) \leq d \leq weight(v_j)$ (onde n_i e n_j são conectados por e_i na WST). Uma busca em profundidade pode ser usada para computar um corte na WST. Uma importante propriedade de um corte é que ele contém as arestas suporte (figura 1b). Assim, transforma-se o problema de calcular as arestas suporte na posição t da linha de varredura no problema de computar um $cut(\Gamma, d)$. Uma mudança no corte ocorre quando a linha de varredura passa por um vértice, o que corresponde a alcançar um nodo n_i na WST. A atualização no corte somente precisa remover a aresta que conecta n_i ao seu pai, e adicionar a aresta que conecta n_i ao seu filho.

Em 3D a noção da WST é estendida a um plano de varredura γ definido por um vetor normal \vec{s} e a um grafo G que representa um poliedro convexo P . O cálculo da WST do grafo G é equivalente ao caso 2D.

No cálculo da intersecção (cut) entre um plano e um poliedro convexo P , as arestas suporte ($e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$) são encontradas. A partir destas arestas e do cálculo dos pontos do polígono de intersecção, é possível redefinir as relações de adjacência dos vértices de P , resultando em dois poliedros P_1 e P_2 (figura 2). Sobre os vértices de P_1 e P_2 , se verificam as três condições: (i) $P_1 \cup P_2 - (P_1 \cap P_2) = P$; (ii) $P_1 = P + (P_1 \cap P_2)$, onde, para todo vértice v_n de P_1 , $weight(v_n) \leq weight(P_1 \cap P_2)$ e (iii) $P_2 = P - (P_1 \cap P_2)$, onde, para todo vértice v_n de P_2 , $weight(v_n) \geq weight(P_1 \cap P_2)$.

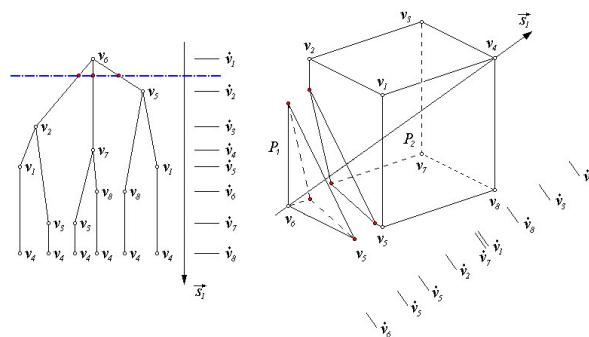


Figura 2. Recorte de um poliedro por um plano, definido sobre a direção de varredura s ,

3.2 Técnicas Para a Definição de Volumes de Interesse

A partir da aplicação da função de recorte definida na seção 3.1, é possível definir um volume de interesse (VOI) através de sucessivas operações de recorte, como ilustrado na (figura 3).

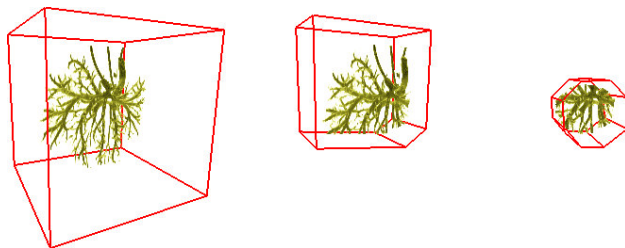


Figura 3. Recorte do VOI através de sucessivas operações de recorte planar

As operações de recorte objetivam remover partes da imagem (o que pode ser visto como dual da segmentação convencional). Este procedimento possibilita, por exemplo, a remoção de parte dos oclusores (objetos circundantes) da estrutura de interesse.

O posicionamento do plano de recorte sobre a imagem 3D pode ser auxiliado pelo procedimento, que pode guiar o usuário na definição dos cortes. Esta técnica é análoga à técnica proposta por Falcão (1998) (*live-wire*), onde características extraídas da imagem são combinadas às indicações do usuário, na estimativa do posicionamento ideal da ferramenta.

4. Considerações Finais

A proposta de ferramentas de interação depende da construção de funções de manipulação do volume e técnicas de interação. O principal objetivo ao qual o trabalho se propõe são ferramentas de recorte, nas quais a função de recorte definida em 3.1 é apropriada. No próximo passo, serão definidas formas de interação (mouse, mouse 3D) com a função de recorte, como a proposta em 3.2 (recorte planar). Neste ponto, vários aspectos influem na decisão da técnica, como a usabilidade do dispositivo de interação ao usuário, por exemplo.

A avaliação da usabilidade das ferramentas será avaliada sobre a análise de conjuntos de dados tomográficos, com usuários especializados no domínio das imagens. Serão consideradas, principalmente, a adaptação dos usuários às ferramentas desenvolvidas e a eficiência da ferramenta na resolução de problemas da visualização 3D de volumes (oclusão, por exemplo).

References

- Cabral B., Cam N., and Foran J. Accelerated Volume Rendering and Tomographic Reconstruction Using Texture Mapping Hardware. ACM Symp. on Vol. Vis., 1994.
- Falcão A.X., Udupa J.K., Samarasekera S., Sharma S.. "User-Steered Image Segmentation Paradigms: Live Wire and Live Lane". Graphical Models and Image Processing 1998; 60:233-260.
- Lacroute P. and Levoy M. Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transform. Comp. Graphics, 28(4), 1994.
- Lamadé W, Glombitza G, Fischer L, Chiu P, Cárdenas CE, Thorn M, Meinzer HP, Grenacher L, Bauer H, Lehnert T, Herfahrt C. The impact of 3-dimensional reconstructions on operation planning in living surgery. Arch Surg 2000; 135(11): 1256-61.
- Levoy M. Efficient ray tracing of volume data. ACM Transactions on Graphics, 9(3):245--261, July 1990.
- Ray H., Pfister H., Silver D. and Cook T. A., "Ray-Casting Architectures for Volume Visualization", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, July/September 1999 (Vol 5, Issue 3, pps 210-223).