

RETRISE - UM SISTEMA PARA RECONSTRUÇÃO DE FORMAS 3D A PARTIR DE CORTES SERIAIS

Sílvia Olabarriaga
INESC-Lisboa

Albert Brasil
CPG-Neuroanatomia (UFRGS)

Endereço Postal : Rua de Moçambique, 9 - 2º 1100 - Lisboa - Portugal

1. INTRODUÇÃO

RETRISE (REconstrução TRIdimensional a partir de cortes SERiais) é um programa que tem o objetivo de auxiliar a visualização de estruturas de forma tri-dimensional (3D) complexa inseridas na caixa craniana. Foi projetado para atender às necessidades de um projeto de mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciências Morfológicas (Neuroanatomia) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Este trabalho apresenta inicialmente o problema proposto pelo usuário e discute algumas possibilidades de emprego de computadores em sua solução. A seguir apresenta as restrições impostas pelo ambiente de trabalho e o sistema implementado, enfatizando as técnicas usadas para modelagem e interação com o usuário. Por fim, os resultados obtidos são comentado.

2. PROBLEMA PROPOSTO

O objetivo do referido projeto de mestrado é o de estudar a anatomia de estruturas biológicas de forma 3D complexa (cisternas) inseridas na caixa craniana. Para possibilitar a visualização do interior da área de interesse, o cérebro de cadáveres humanos é retirado, preparado quimicamente e seccionado em cortes de mesma espessura. Estes cortes são então fotografados com auxílio de microscópio e sua imagem ampliada em papel. Os desenhos obtidos contêm apenas os contornos das estruturas de interesse e têm tamanho aproximado de 40 X 30 cm.

Na próxima etapa do estudo é necessário compreender a forma 3D a partir do conjunto de desenhos. Sendo a espessura de cada corte de 2mm, obtém-se aproximadamente 40 desenhos para cada amostra, cada um contendo contornos de cerca de 30 cisternas (além das veias, nervos e artérias de cada uma delas). A quantidade de informação é grande, o que dificulta a compreensão da estrutura 3D. Como havia referência na bibliografia acerca de sistemas computacionais para reconstrução de formas 3D a partir de cortes seriais, iniciou-se um estudo de viabilidade de implementação de um sistema deste tipo no equipamento disponível.

3. RECONSTRUÇÃO 3D

O texto a seguir apresenta brevemente o que é reconstrução de formas 3D a partir de cortes seriais. Foi produzido com base na bibliografia consultada ([JOH 83], [STR 83], [WON 83], [KAN 87] e [HUI 88]) e em constatações feitas durante o desenvolvimento do RETRISE.

A reconstrução 3D é composta de três elementos básicos, que são a aquisição de cortes, a reconstrução do modelo 3D e a visualização do mesmo.

3.1 Aquisição de cortes

A aquisição dos cortes bi-dimensionais (2D) pode ser automática ou manual.

Na técnica de aquisição automática, a imagem dos cortes é captada por câmera ou similar, digitalizada e processada para extração das formas de interesse. Como a complexidade visual destes cortes é grande, o processamento destas imagens não é trivial. É necessário identificar não só os elementos e seus contornos, como também permitir tratamento de deformações devido à manipulação da amostra antes de ser fotografada.

Na aquisição manual, os cortes são introduzidos no sistema com auxílio de mesa digitalizadora ou similar. O processo é trabalhoso, mas permite a entrada simultânea de dados resultantes da interpretação prévia dos desenhos, como estrutura hierárquica dos elementos e correção de distorções da imagem.

Em ambos os casos, obtém-se um conjunto de contornos planos, cuja coordenada z depende da posição do corte na amostra.

3.2 Reconstrução do modelo 3D

Há basicamente três tipos de estruturas que podem ser construídas para representar o objeto em estudo, que são contornos, superfície e volume.

O conjunto de contornos obtidos pela digitalização é a representação mais imediata. Os contornos delimitam a região ocupada pelo objeto em cada corte e, quando vistos em conjunto, permitem a determinação aproximada da porção do espaço ocupada pelo mesmo. Esta estrutura é simples, porém limitada quanto às possibilidades de visualização.

A segunda maneira de representar um objeto 3D é através de sua envoltória. A superfície pode ser descrita analiticamente ou através de uma malha de polígonos extraída diretamente do conjunto de contornos, conforme apresentado em [GAN 82], [ANJ 87] e [KAN 87]. A existência de vários algoritmos para este fim pode dar a falsa impressão de que esta é uma tarefa simples. No entanto, isto só é verdade quando o objeto é simples; à medida que a forma das estruturas em estudo tornam-se complexas, a solução deixa de ser trivial.

A terceira técnica consiste em representar o volume através de voxels [HUI 88]. O objeto é armazenado como um array cúbico de elementos que descrevem as características de determinada região do espaço ocupado pelo mesmo. No caso mais simples, é suficiente armazenar elementos binários que indicam se objeto ocupa ou não aquela posição do espaço. Octrees podem ser usadas para armazenamento mais eficiente deste tipo de estrutura.

[HUI 88] afirma que o ideal é usar as três representações no mesmo sistema : voxels seriam armazenados como descrição básica, sendo a superfície obtida a partir destes para exibição.

3.3 Visualização

Para o usuário, este é o componente mais importante do sistema de reconstrução 3D . Deve possibilitar observação a partir de diversos pontos, assim como o controle do tamanho e da região de interesse. O objeto pode ser exibido através de linhas, com ou sem remoção de elementos ocultos, com sobreamento, transparência ou qualquer outra técnica suficientemente didática. O objetivo, antes de tudo, é facilitar a compreensão do modelo construído, o que pode ser alcançado pelo emprego de técnicas de variado grau de sofisticação. Como exemplos pode-se citar

a exibição em tempo-real de seqüências de imagens simples (apenas linhas) obtidas a partir de diversos pontos de vista, ou a imagem estática de um órgão de paredes transparentes, permitindo a visualização de seu interior. O importante é oferecer ao usuário ferramentas interativas que possibilitem "exploração" máxima do modelo reconstruído.

O tipo de representação interna usada pode restringir, no entanto, a visualização do modelo. Contornos possibilitam apenas exibição de linhas, com rudimentar remoção de elementos ocultos feita via algoritmo do pointor [HAR 83]. A exibição com sombreamento é feita de maneira mais direta a partir da descrição da superfície, mas também pode ser obtida a partir da descrição volumétrica do objeto.

4. RESTRIÇÕES IMPOSTAS PELO AMBIENTE DE TRABALHO

O equipamento disponível para implementação do RETRISE era um microcomputador compatível com IBM/PC-XT, com as seguintes características: 4MHz, 20MB de disco rígido, mesa digitalizadora da STI, modelo PD1060, placa gráfica e monitor colorido compatíveis com EGA (640X480X16 cores simultâneas).

Isto posto, verifica-se facilmente que algumas opções de implementação são imediatamente descartadas, tais como exibição com sombreamento, mudança de ponto de vista em tempo-real ou digitalização automática. Assim sendo, optou-se por desenvolver um sistema simples que permitisse visualização do modelo 3D através da exibição do conjunto de contornos digitalizados manualmente.

5. CARACTERÍSTICAS DO RETRISE

RETRISE é um sistema que permite a modelagem e visualização de estruturas 3D a partir de um conjunto de cortes de mesma espessura. Os cortes são digitalizados manualmente e armazenados em disco. Em momento posterior podem ser exibidos individualmente (2D) ou em conjunto (3D). O usuário tem, então, a possibilidade de selecionar alguns componentes para exibição, que pode ser feita sem ou com remoção de linhas ocultas.

Os dados de uma amostra (conjunto de cortes pertencentes ao mesmo cérebro) são organizados em compartimentos, as "cisternas", que contêm veias, nervos e artérias. Além da descrição geométrica desses

componentes, são armazenadas também as paredes destes compartimentos, as "envoltórias das cisternas".

Cada elemento (veia, artéria, nervo ou envoltória) é descrito geometricamente por meio de um conjunto de polígonos fechados, introduzidos no sistema através de mesa digitalizadora. Durante a exibição, cada tipo de elemento é desenhado em cor distinta, a fim de facilitar a compreensão da imagem.

A seguir estas características são apresentadas com maior detalhe.

6. INTERAÇÃO COM O USUARIO

O sistema comunica-se com o usuário através de cardápios localizados à direita da tela, em disposição vertical. Uma opção é selecionada pelo posicionamento de uma barra através das teclas de setas e "return".

Em algumas situações (controle da câmera, por exemplo) o número de opções é muito grande, o que tornaria cansativa a escolha por meio dessa técnica. Nestes casos, a seleção é feita através da inicial do comando. Como os nomes são facilmente memorizáveis ("cima", "amplia", etc.), este método mostrou-se aceitável sob o ponto de vista de utilização.

Durante a digitalização dos contornos, os movimentos da caneta sobre a mesa são reproduzidos na tela através de um cursor em formato de cruz. Um ponto (vértice) só é armazenado quando o usuário pressionar o botão da caneta; a partir de então, o "eco" passa a ser uma linha reta desde o último ponto armazenado até à posição atual da caneta. Desta forma, o usuário pode reduzir o número de vértices de cada polígono ao limite em que seja possível identificar o contorno original a partir da aproximação poligonal.

Para evitar sobrecarga do sistema com detalhes desprezíveis, o módulo digitalizador dispõe de um filtro que verifica a proximidade dos pontos introduzidos. Se estiverem demasiadamente próximos, o ponto é desprezado.

O sistema possibilita ainda a remoção do último ponto armazenado (e assim sucessivamente até o primeiro ponto do polígono), a fim de facilitar a correção de erros de digitalização. Uma vez introduzido na estrutura de dados, um polígono pode ainda ser removido completamente.

7. ESTRUTURA DE DADOS

Os dados pertencentes a determinada amostra são armazenados em quatro arquivos em disco. O nome é composto de duas partes : o nome da amostra e um dos sufixos abaixo :

a) ".DES" : descreve a amostra, armazenando o nome, dimensões do paralelepípedo formado pelo conjunto de cortes (em mm), espessura de cada corte, número e nome das cisternas e apontadores para os outros arquivos;

b) ".ART", ".VEI", ".NER", ".CIS" : contém a descrição geométrica de todas as artérias, veias, nervos e envoltórias das cisternas, respectivamente. Os contornos pertencentes à mesma cisterna são armazenados contiguamente, em ordem crescente de número de corte.

A figura 1 mostra a estrutura de dados armazenada nestes arquivos. Os contornos são representados por meio de uma lista de vértices (x,y,z) unidos por linhas retas. Os polígonos são fechados e o valor de z único para todos os vértices, sendo calculado pelo programa de acordo com o tamanho da amostra, a espessura de cada corte e a ordem do corte a que pertence. A figura 2 apresenta o sistema de coordenadas usado no RETRISE.

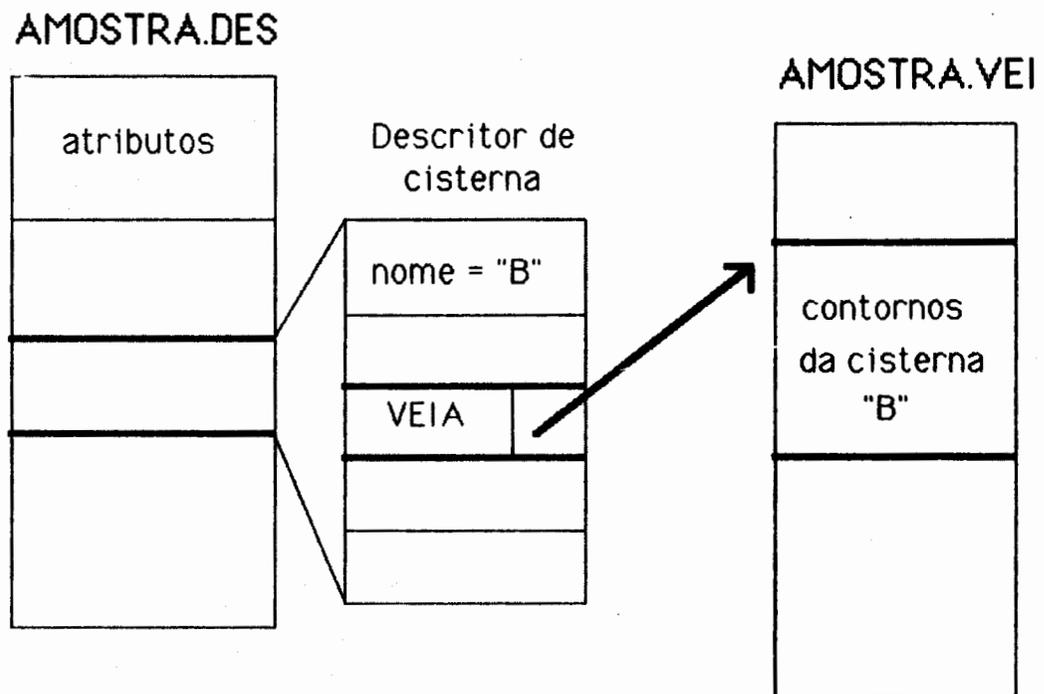


Figura 1 - Arquivos do RETRISE

Algumas observações sobre o uso desta estrutura : a recuperação da geometria de qualquer combinação de cisternas e/ou seus componentes é simples, mas a inclusão e exclusão de polígonos não. Pela própria natureza da aplicação, entretanto, estas operações somente são realizadas durante a fase de entrada de dados, sendo implementadas como segue : a inclusão de polígonos exige relocação dos ponteiros dos descritores das cisternas (ver figura 1) e os polígonos excluídos são simplesmente marcados como tal, permanecendo no arquivo.

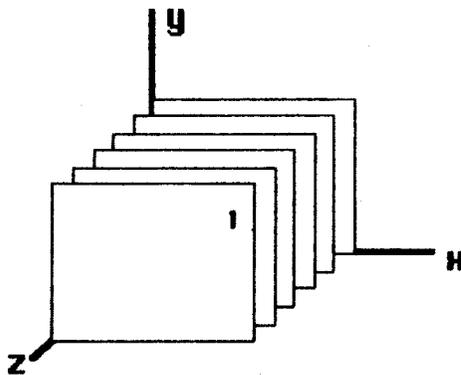


Figura 2 - Sistema de coordenadas

8. VISUALIZAÇÃO

A visualização da amostra pode ser feita em 2D, corte a corte, ou em 3D, através de uma câmera sintética. Em ambos os casos, os componentes são exibidos em diferentes cores.

A exibição em 3D merece destaque. O usuário inicialmente seleciona interativamente o conjunto de componentes a exibir (toda a amostra, veias e envoltória de todas as cisternas, artérias de algumas cisternas, etc). O RETRISE carrega em memória apenas os polígonos pertencentes a estes componentes, classificando-os de acordo com a coordenada z (para remoção de elementos ocultos). Os polígonos são exibidos e o controle da câmera habilitado através da execução dos seguintes comandos :

a) cima, baixo, frente, trás, direita, esquerda, inicial : permitem o deslocamento do observador ao redor da amostra (o ponto de interesse permanece fixo no centro geométrico da mesma);

b) amplia, reduz : altera a distância focal usada na projeção (lente).

Estes comandos são ativados através da tecla correspondente à sua letra inicial: quando minúscula, indica pequeno deslocamento, enquanto que maiúscula significa grande deslocamento.

O usuário pode ainda escolher o tipo de exibição : rápida, em que todos os contornos são simplesmente exibidos, ou remoção simplificada de linhas ocultas. Nesta última o fundo da tela é pintado de branco, e os polígonos exibidos através do algoritmo do pintor [HAR 83] : são desenhados em ordem crescente de z (de trás para frente) na cor correspondente ao tipo de componente, sendo seu interior pintado de preto. Os polígonos são classificados apenas uma vez, durante a carga, a fim de reduzir o tempo de exibição. Isto é possível graças à disposição dos contornos em planos paralelos, o que impede a existência de sobreposição em z . Dependendo da posição do observador, a lista é percorrida ordem inversa (quando o observador está na parte negativa do eixo z , olhando a parte de trás da amostra).

O equacionamento usado para implementação da câmera sintética e projeção, assim como algoritmos para preenchimento de polígonos côncavos e convexos, foram baseados nos conceitos apresentados em [HAR 83].

9. CONCLUSÕES

O RETRISE foi implementado no equipamento descrito no item 4, utilizando linguagem C e rotinas gráficas de entrada ("IE") e de saída ("IS") descritas em [OLA 87b] e [OLA 87a], respectivamente. Produz resultados aceitáveis, na medida que permite visualização 3D da amostra, ainda que de maneira bastante simples.

A exibição poderia ser melhorada através do emprego de "depth-cueing", técnica que consiste em utilizar diferentes tons de uma cor para representar a profundidade. Assim, contornos mais distantes do observador seriam exibidos em tons mais escuros da cor correspondente ao componente, facilitando a compreensão da forma 3D. Esta técnica pode ser implementada em placa compatível com EGA, já que há quatro tons de cada cor, mas exige grande tempo de processamento.

Outra possível extensão do RETRISE seria a reconstrução da superfície 3D a partir dos contornos 2D. A aproximação poderia ser feita via malha de polígonos e permitiria a utilização de um algoritmo eficaz para remoção de elementos ocultos.

Entretanto, todo o esforço para melhorar a exibição pode ser de pouca utilidade se o processo usado para obtenção dos cortes não sofrer alterações. O equipamento utilizado não permite cortes de espessura inferior a 2mm, o que prejudica a qualidade do modelo reconstruído,

devido à diferença entre os intervalos de amostragem nos eixos x,y e no eixo z. As estruturas biológicas em estudo (como veias e artérias) são pequenas (de diâmetro muitas vezes inferior a 1mm) e de formato extremamente irregular. Sendo os cortes de 2mm de espessura, obtém-se o efeito ilustrado pela figura 3(a). Para produzir a imagem da figura 3(b) é necessário que a resolução (ou intervalo de amostragem) seja equivalente nos três eixos.

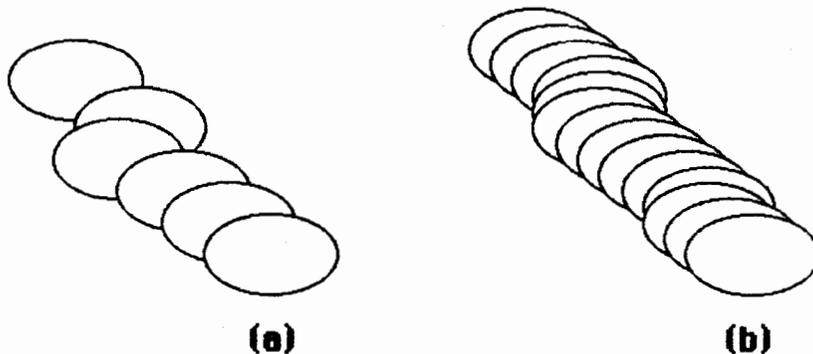


Figura 3 - Visualização 3D de conjuntos de cortes de diferentes espessuras

Resta ainda comentar algumas constatações feitas durante a fase experimental do uso do sistema. A primeira delas é que o usuário prefere não olhar para a tela durante a digitalização dos contornos, invalidando esforços de implementação de realimentação dos movimentos da caneta. A entrada de um contorno é feita "às cegas", sendo a conferência feita apenas após a digitalização estar completa. O usuário afirma que é mais rápido remover e redigitalizar todo o contorno do que olhar para a tela e mesa simultaneamente.

A outra constatação refere-se às técnicas usadas na exibição 3D. Algo tão simples como pintar o fundo da tela de cor diferente, como foi feito na remoção de elementos ocultos, facilitou muito a percepção do volume ocupado pelo objeto, agilizando a compreensão da imagem.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFRGS - Projeto AMPLO - pela permissão de uso das bibliotecas gráficas IS e IE, assim como pelo empréstimo da mesa digitalizadora; à STI, por melhorias implementadas no referido equipamento e ao INESC-Lisboa, pelo apoio na confecção deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

[JOH 83] JOHNSON e. & CAPOWSKI J. A system for the tree-dimensional reconstruction of biological structures. COMPUTERS AND BIOMEDICAL RESEARCH, 16:79-87, 1983.

[STR 83] STREET C. & MIZE R. A simple microcomputer-based three-dimensional serial section reconstruction system (MICROS). Journal of Neuroscience Methods, 7:759-75, 1983.

[WON 83] WONG Y. et alii. Computer reconstruction of serial sections. COMPUTERS AND BIOMEDICAL RESEARCH, 16:580-6, 1983.

[KAN 87] KANEDA K. et alii. Reconstruction and semi-transparent display method for observing inner structure of an object consisting of multiple surfaces. Berlin, The Visual Computer, 3(3):137-144, 1987.

[HUI 88] HUIJSMANS D. & JENSE G. Representations of 3D objects reconstructed from series of parallel 2D slices. In: EARNSHAW R. Theoretical foundations of Computer Graphics and CAD. Berlin, Springer-Verlag, 1988.

[GAN 82] GANAPATHY S. & DENNEHY T. A new general triangulation method for planar contours. In: SIGGRAPH'82, Boston, July 26-30, 1982. Proceedings. Baltimore, ACM, 1982.

[ANJ 87] ANJYO K. et alii. A practical method of constructing surfaces in three-dimensional digitized space. Berlin, The Visual Computer, 3(1):4-12, 1987.

[HAR 83] HARRINGTON S. Computer Graphics - A programming Approach. Auckland, McGraw-Hill, 1983.

[OLA 87b] OLABARRIAGA S. Interface com dispositivos de entrada gráfica. CPGCC-UFRGS, 1987 (RP nº 83).

[OLA 87a] OLABARRIAGA S. et alii. Interface de saída com dispositivos gráficos. CPGCC-UFRGS, 1987 (RP nº 79).