

Sessão I – Modelagem

Artigo

**UM MODELO 3D  
PARA DADOS DE TERRENO**

*Luís Paulo Vieira Braga*  
(UFRJ)

*Suzane Trindade de Araújo*  
(IME-RJ)

*João Carlos Morgado de Sousa*  
(IME-RJ)

**SIBGRAP'91**

IV Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens

Página em branco na versão original impressa.

## UM MODELO 3-D PARA DADOS DE TERRENO

Luis Paulo Vieira Braga

Universidade Federal do Rio de Janeiro

C.P. 68530

21945 Rio de Janeiro , Brasil

E-mail : MAD02005 at UFRJ.BITNET

Suzane Trindade de Araújo

João Carlos Morgado de Souza

Instituto Militar de Engenharia

Praça Gen. Tibúrcio , 80

22290 Rio de Janeiro , Brasil

**ABSTRACT** - We propose a system that builds a Digital Terrain Model (DTM) from a random distributed collection of points in space and also provides an efficient data structure for posterior data processing . First a spatial 3-D triangulation is generated from raw data and then converted into a manageable compressed linear PMI Octree structure .

### 1. INTRODUÇÃO

Desde que consideremos uma feição do terreno como um objeto tri-dimensional podemos criar um modelo para este objeto. Alguns critérios devem ser levados em conta para definir a escolha do modelo de representação mais adequado . De acordo com [ Requicha ] e [ Foley et al. ] algumas propriedades desejáveis são : precisão , domínio , unicidade , validade , fechamento , consistência e eficiência . Por outro lado vários sistemas de modelagem foram formalizados : CSG (Constructive Solid Geometry) , ( Boundary Representation ) , Particionamento Espacial que inclui a Decomposição Celular e Octrees , Instanciamento de Primitivas e Representação por Varredura . Em [ Foley et al. ] há uma descrição das principais características destes modelos .

A opção pela estrutura Octree se deveu às seguintes

vantagens : habilidade em modelar objetos segundo uma precisão de  
 sejada ; indexação espacial por um número inteiro ao invés do ve  
 tor de coordenadas (x,Y,z) ; eficiência nas pesquisas espaciais  
 devido à estrutura hierárquica da octree ; facilidade para opera  
 ções booleanas e cálculos volumétricos ; possibilidade de trata  
 mento de atributos como informações adicionais ao posicionamento  
 geográfico do objeto os quais podem ser armazenados em uma base  
 de dados relacional onde a chave das tabelas seriam os índices  
 espaciais dos obels daquele objeto .

## 2. OCTREES

A idéia fundamental da octree é o esquema de dividir e  
 conquistar da subdivisão binária . Uma octree é construída a par  
 tir da subdivisão do espaço em octantes de modo a formar o objeto  
 como mostra a figura 1 .

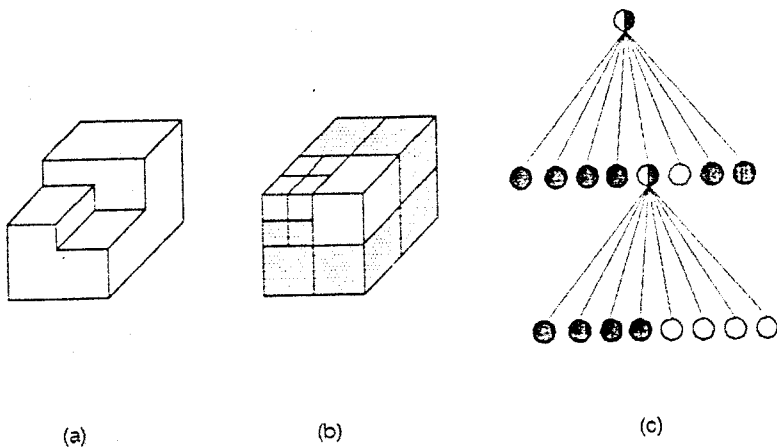


Figura 1 - Decomposição de um objeto em Octree

A codificação de um objeto como uma octree é feita até  
 que todo octante seja cheio ou vazio , isto é , todo octante cin  
 za tenha sido decomposto . Muito trabalho foi feito para desenvo  
 lver algoritmos eficientes para o armazenamento e processamento de

octrees . Alguns como operações booleanas são imediatos enquanto que outros como translação e rotação são mais complexos .

Embora a representação de uma octree pareça exigir uma estrutura de dados hierárquica com ponteiros , existem outras notações alternativas . A octree linear não é exatamente um tipo de octree , mas uma forma de representação mais eficiente . Na octree linear , "voxels" são "obelis" no maior nível de resolução , e , portanto são indivisíveis . A octree linear é descrita por [ Gargantini ] com a seguinte notação . Um voxel Q é completamente descrito através da expansão :

$$Q = q_{n-1} 8^{n-1} + q_{n-2} 8^{n-2} + \dots + q_0 8^0 \quad ( 1 )$$

onde  $q_1$  é um dos dígitos {0,1,2,3,4,5,6,7} que estão associados respectivamente aos octantes NWF,NEF,SWF,SEF,NWT,NET,SWT,SET. Por exemplo , a região sombreada da Figura 2 tem a seguinte representação : {01,10,11,12,13,14,15,16,17,35,51} .

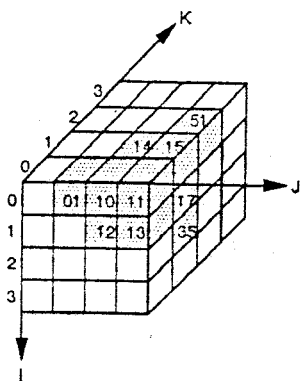


Figura 2 - Representação em Octree Linear

A representação acima pode ainda ser condensada da seguinte forma : Se oito voxels pertencem ao mesmo octante , grupam-se os mesmos pela substituição dos dígitos relativos ao octante comum por uma marca , por exemplo X . A posição da marca X indica diretamente o número de voxels que foram condensados para formar o obel . Para o exemplo anterior teríamos {01,1X,35,51} . Se a marca estiver na posição n , existem  $8^{n+1}$  voxels no obel .

Existem vários critérios de decomposição para gerar uma octree, dando origem a vários tipos de árvores. Particularmente apropriada para poliedros é a PM Octree cujos nós armazenam informações dos pontos, arestas e faces que definem a geometria precisa do objeto. Como em nosso processo de Modelagem de Terreno vai ser gerado um poliedro, optamos por essa forma de octree.

O critério de subdivisão para a PM1 Octree é dado por seis condições:

- a) No máximo um ponto amostral pode estar localizado na região a ser representada por um nó folha da octree.
- b) Se a região de um nó folha de uma octree possuir um ponto amostral, ela não poderá possuir arestas ou faces que não incidam naquele ponto amostral.
- c) Se a região de um nó folha de uma octree não possuir pontos amostrais, ela poderá possuir, no máximo, uma aresta.
- d) Se a região de um nó folha de uma octree não possuir pontos amostrais e possuir uma aresta, ela não poderá possuir nenhuma face que não seja incidente naquela aresta.
- e) Se a região de um nó folha de uma octree não possuir arestas, ela poderá possuir, no máximo, uma face.
- f) Cada nó folha de região é máximo.

Um exemplo de PM1 octree é ilustrado na Figura 3.

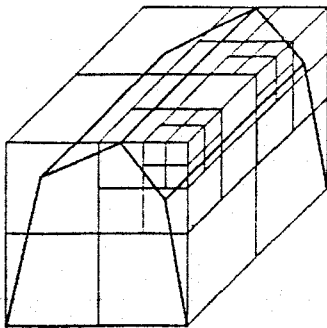


Figura 3 - Um objeto subdividido em PM1 octree

O critério de decomposição pode ser simplificado ao ponto de se exigir apenas um nó por folha , dando origem à PM3 octree . Porém , aumentam os dicionários de controle de arestas decompostas agora em q-arestas . Ver a este respeito a analogia com a PM1 quadtree e a PM3 quadtree [ Araújo e Braga ] .

Como se mencionou anteriormente a PM1 Octree será utilizada para armazenar um poliedro que por sua vez será gerado a partir de uma decomposição em tetraedros do objeto de interesse.

### 3. TRIANGULAÇÃO ESPACIAL

A representação de um objeto em termos de um conjunto de tetraedros oferece diversas possibilidades de processamento : cálculos de massa , centro de massa , momentos de inércia podem ser determinados a partir dos tetraedros ; a rede triangular gerada pode ser utilizada para análises de tensão por meio de técnicas de elementos finitos . No problema que pretendemos tratar não dispomos necessariamente do objeto mas de uma amostragem do mesmo . Trata-se portanto de um problema de reconstrução 3-D que consiste na obtenção de um sólido que contenha os pontos dados . Este problema surge naturalmente em geologia quando se quer modelar um corpo de interesse a partir das informações de uma rede de poços .

Há diversos critérios para a triangulação , optamos pelo critério de Delaunay , que define uma rede triangular de tal forma que cada esfera que circunscreve cada tetraedro não contem nenhum outro vértice . Na figura 4 este critério é ilustrado para o caso 2D . Entre os pontos F , E e D , toma-se o o triângulo ABD porque a circunferência correspondente não contem senão os vértices do triângulo .

Um processo clássico para a construção da rede de Delaunay passa por uma etapa de geração de politopos de influência e em seguida pela obtenção dos tetraedros [ Bowyer ] . A triangulação gerada corresponde ao envelope convexo dos pontos amostrais o que não corresponde em geral ao corpo que se deseja modelar . Torna-se necessário portanto eliminar tetraedros para se atingir a modelagem desejada . Isto será feito seguindo um algoritmo proposto por [ Boissonat ] que estabelece critérios para esta eliminação .

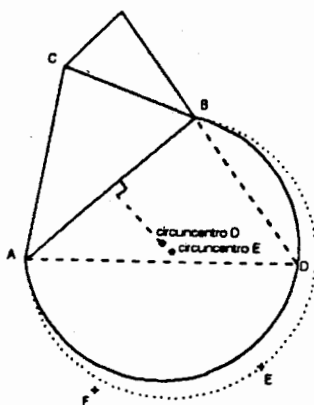


Figura 4 - Versão 2-D do Critério de Delaunay

Inicialmente é calculado um índice para todos os tetraedros na fronteira, este índice é o valor da maior distância de face de tetraedro à esfera que o circunscreve. Quanto maior este índice, maior a prioridade de eliminação. Por outro lado só são eliminados tetraedros se isto não viola as condições para um sólido ser um tetraedro. Isto é, não ter pontos isolados, arestas aladas ou ainda tetraedros adjacentes por apenas um vértice ou uma aresta. O processo corresponde à eliminação de tetraedros supérfluos.

#### 4. UM MODELO PARA DADOS DE TERRENO

A utilização das técnicas descritas nas seções precedentes constitui o processamento principal do sistema proposto. Neste sistema a partir da entrada de um conjunto de pontos no espaço tridimensional é gerada uma triangulação espacial que é em seguida codificada como uma PM1 octree. Embora outras estruturas de dados possam ser utilizadas para redes triangulares [Floriani] a opção pela PM1 Octree se baseia nas características desta estrutura tendo em vista as aplicações previstas. O acompanhamento de um processo de otimização de cava [Periotto e Braga] seria facilmente implementável via operador diferença [Dunstan e Mill]. O procedimento está exemplificado na figura 5 e poderia represen-



tar a extração de um bloco de minério em uma jazida . Outras ope

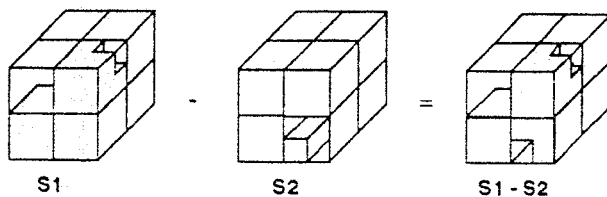


Figura 5 - Diferença entre objetos octree

rações de interesse são : rotação , translação e mudança de escala [ Longhi ] ; operações booleanas [ Dunstan e Mill ]

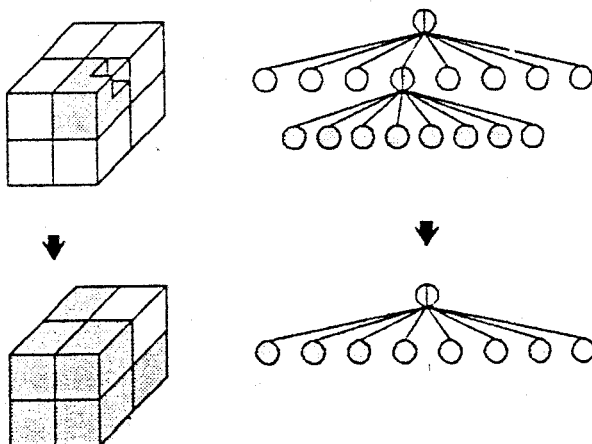


Figura 6 - Mudança de Escala

A especificação completa do sistema é apresentada em [ Araújo ] . O sistema será utilizado no contexto de descrição de objetos de interesse geológico , como por exemplo , reservatórios de petróleo .

## BIBLIOGRAFIA

Araújo,S.T. (1991) : Modelagem Tridimensional de Objetos Cartográficos por Estrutura Octree e Triangulação Espacial , Dissertação de Mestrado , Instituto Militar de Engenharia .

Araújo,R.L. e Braga,L.P.V. (1990) : Armazenamento de Mapas Poligonais utilizando Estruturas Quadtree , Atas do III Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens SBC , pp 226-235 .

Bowyer,A. (1984) : Computing Dirichlet Tessellations , The Computer Journal , vol. 24 , no.2 , pp. 162-166 .

Boissonat,J.D. (1984) : Geometric Structures for Three Dimensional Shape Representation , ACM Transaction on Graphics , vol. 3 , pp 266-286 .

Dunstan,S.P. e Mill,A.J.B. (1990) : Spatial Indexing of Geological Models using Linear Octrees , Computer and Geosciences , Vol. 15 , No. 8 , pp 1291-1301 .

Floriani,L. (1987) : Surface Representations based on Triangular Grids , The Visual Computer ,3 , pp 27-50 .

Foley,J.D. , Van Dam,A. , Feiner,S.K. e Hughes,J.F. (1990) : Computer Graphics , 2nd. edition , Addison Wesley .

Gargantini,I. (1982) : Linear Octrees for Fast Processing of Three-Dimensional Objects , Computer Graphics and Image Processing , 20 , pp 365-375 .

Longhi,M.T. (1987) : Definição e Implementação de um

Modelo de Dados para Representação de Sólidos , Dissertação de Mestrado , Universidade Federal do Rio Grande do Sul .

Periotto,A.J. e Braga,L.P.V. (1988) : Um Sistema Computacional para Planejamento de Lavra a Céu Aberto , Atas do IV Congresso Latino-Ibero-Americano de Pesquisa Operacional e Engenharia de Sistemas , Vol.2 , pp 915-929 .

Requicha,A.A.G. (1980) : Representation for Rigid Solid : Theory , Methods and Systems , Computer Surveys , Vol. 12, pp 437-457 .

Samet,H. (1990) : The Design and Analysis of Spatial Data Structures , Addison Wesley .