

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 PM1 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 .

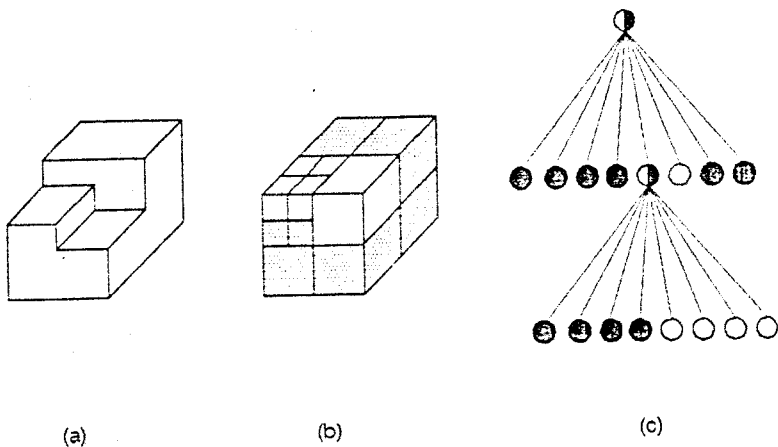


Figura 1 - Decomposição de um objeto em Octree

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} .

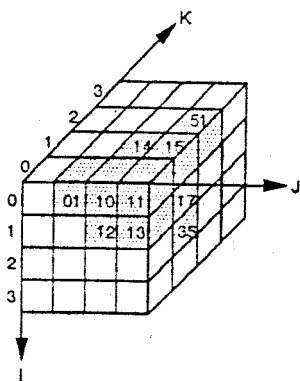


Figura 2 - Representação em Octree Linear

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.

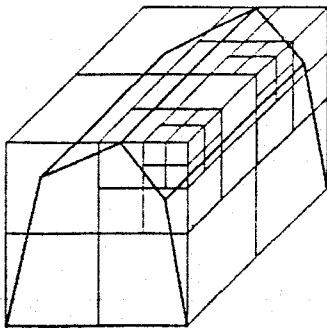


Figura 3 - Um objeto subdividido em PM1 octree

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 .





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

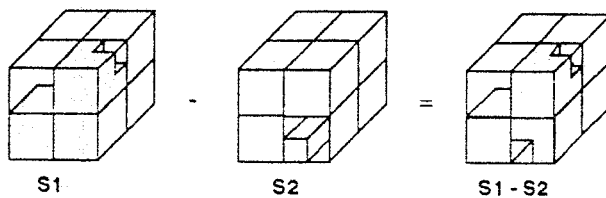


Figura 5 - Diferença entre objetos octree

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

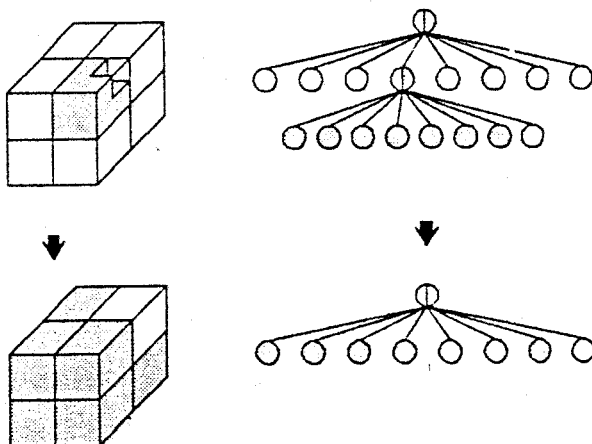


Figura 6 - Mudança de Escala

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 .