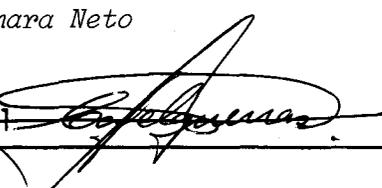


1. Publicação nº <i>INPE-4170-PRE/1067</i>	2. Versão	3. Data <i>Maio 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DPI</i>	Programa <i>SISPRO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO INTERPOLAÇÕES</i> <i>SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÕES</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título <i>"UM SISTEMA DE MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO PARA MICROCOMPUTADOR"</i>		10. Páginas: <i>6</i>	
		11. Última página: <i>6</i>	
9. Autoria <i>Carlos Alberto Felgueiras</i> <i>Guaraci José Erthal</i> <i>Luiz Alberto Vieira Dias</i> <i>João Argemiro C. Paiva</i> <i>Gilberto Câmara Neto</i>		12. Revisada por <i>Celso Luiz Mendes</i> <i>Celso Luiz Mendes</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Dr. Marco Antônio Raupp</i> <i>Director Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>O presente trabalho descreve os principais aspectos teóricos e de implementação de um sistema de Modelagem Digital de Terreno, MDT, para ser executado em microcomputadores. Esse sistema está integrado a um Sistema Geográfico de Informações que permite combinar os dados de MDT's com mapas temáticos, imagens de satélite e outras informações pictóricas, para obter mapeamentos derivados.</i>			
15. Observações <i>Trabalho submetido para a apresentação no XIV Seminário Integrado de Software e Hardware, que se realizará de 11 a 19 de Julho de 1987, Salvador, Bahia.</i>			

UM SISTEMA DE MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO PARA MICROCOMPUTADOR

C.A. Felgueiras*, G.J. Erthal**, L.A.V. Dias***, J.A.C. Paiva****, G. Câmara Neto*****

SUMÁRIO

O presente trabalho descreve os principais aspectos teóricos e de implementação de um sistema de Modelagem Digital de Terreno, MDT, para ser executado em microcomputadores. Esse sistema está integrado a um Sistema Geográfico de Informações que permite combinar os dados de MDT's com mapas temáticos, imagens de satélite e outras informações pictóricas, para obter mapeamentos derivados.

ABSTRACT

This paper describes theoretical and implementation features of a Digital Terrain Modeling System, DTM. This system runs in a microcomputer and is integrated with a Geographic Information System which allows the combination of DTM data with thematic maps, satellite images, etc, to obtain new derived maps.

- * Engenheiro Eletrônico, UNICAMP-Campinas, 1982, Ms.C INPE, em curso. Áreas de interesse: Processamento de Imagens, Computação Gráfica. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP.
- ** Engenheiro Mecânico, ITA-SP, 1979, Ms.C INPE, 1984. Áreas de interesse: Processamento de Imagens, Computação Gráfica. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP.
- *** Engenheiro Eletrônico, EPUC-RJ, 1966, Ms.C INPE, 1968, Ms.C Rice University (USA), 1971, Ph.D Rice University (USA), 1973. Áreas de interesse: Processamento de Imagens, Computação Gráfica. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP.
- **** Engenheiro Eletricista, UFES-Vitória, 1984. Áreas de interesse: Processamento de Imagens, Computação Gráfica. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP.
- ***** Engenheiro Eletrônico, ITA-SP, 1979, Ms.C Computação Aplicada, INPE, 1982. Áreas de interesse: Processamento de Imagens, Computação Gráfica, Projeto de Sistemas Computacionais. INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP.

1. INTRODUÇÃO

Um *modelo digital de terreno*, MDT, é um modelo matemático, tratável computacionalmente, que representa a distribuição espacial de uma característica vinculada a uma superfície real. Dentre essas características podemos citar: temperatura, relevo, densidade populacional, etc.

O modelo digital é gerado a partir de um conjunto de pontos $[(x_i, y_i, z_i), i = 1..n]$ amostrados da superfície real. As coordenadas (x_i, y_i) desses pontos representam as posições de amostragem na superfície e as coordenadas z_i estão associadas à característica da superfície que se quer modelar.

Os modelos digitais são usados para se obter informações relevantes da superfície sem a necessidade de se trabalhar diretamente na superfície real. Essas informações podem ter caráter *qualitativo*, como por exemplo a visualização da superfície através de uma projeção geométrica planar do modelo ou *quantitativo*, que podem envolver cálculos de áreas, volumes, etc.

Os dados de MDT's podem ser combinados com outros tipos de informações digitais como *imagens de satélite*, cartas pontuais e dados não gráficos na forma tabular. Isto, usualmente, é realizado por Sistemas Geográficos de Informações (SGI), cujas aplicações incluem cartografia, hidrografia, geologia, etc. (Erthal et alii, 1986).

2. OBJETIVOS DO SISTEMA DE MDT

Ao iniciar o desenvolvimento do sistema de MDT, aqui apresentado, os seguintes objetivos foram delineados:

- a) estudo das metodologias correntes da área de MDT;
- b) desenvolvimento e implementação de um sistema de MDT para ser executado em microcomputadores;
- c) integração desse sistema ao SGI do INPE.

Este artigo descreve os principais aspectos teóricos e de implementação de um sistema de modelagem de terreno em microcomputadores.

O sistema de modelagem digital de terreno, aqui apresentado, está integrado ao SGI do INPE que foi desenvolvido para ser executado num microcomputador de 16 bits, tipo IBM-PC, e está implementado em linguagem C sob um sistema operacional compatível com o UNIX.

3. OS ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE MDT

Um sistema de modelagem digital de terreno incorpora, basicamente, os seguintes elementos (Doyle, 1978):

- Aquisição
- Preprocessamento
- Gerenciamento e Armazenamento

- Aplicações.

O *processo de aquisição* de dados consiste em amostrar as triplas de dados (x,y,z) que representarão a superfície a ser modelada. Esses dados podem ser adquiridos: manual ou automaticamente de mapas existentes, por levantamento em campo, através de modelos estereoscópicos ou por instrumentos transportados por aviões ou satélites. O processo de aquisição é determinante na qualidade do modelo final da superfície. Um modelo por mais sofisticado que seja não pode compensar os males causados por uma amostragem mal feita.

O *preprocessamento* inclui tarefas de formatação e correção dos dados amostrados para que estes possam ser mais facilmente utilizados na geração de produtos na fase de aplicações. Dentre estas podemos destacar: edição dos dados amostrados, transformação de coordenadas, geração de modelos de grades poligonais e conversão de formatos.

O *gerenciamento e armazenamento* de dados de MDT estão diretamente relacionados as formas de consulta, armazenamento, recuperação, deleção e demais operações envolvidas na manipulação de dados e estruturas do sistema. Esta fase é responsável pela eficiência temporal dos programas que compõem as fases de aquisição, preprocessamento e aplicações; pela versatilidade do sistema para aceitar novas aplicações; e pela transportabilidade dos dados processados e, ou, produtos de aplicações para outros sistemas.

As *aplicações* são responsáveis pela geração de produtos, diretamente sobre os dados digitalizados ou sobre os modelos, que são utilizados pelos especialistas.

As aplicações mais frequentes em sistemas de MDT são: determinação do mapa de contornos, geração de projeções geométricas planares, geração de perfis, determinação da intervisibilidade entre pontos, e simulação de terrenos.

4. METODOLOGIA IMPLEMENTADA

4.1 - AQUISIÇÃO

A aquisição de dados é realizada por um programa que lê os dados amostrados por uma mesa digitalizadora, transforma-os para um sistema de coordenadas definido pelo usuário e armazena os pontos, já transformados, num arquivo de pontos.

A transformação, do sistema de coordenadas da mesa (x,y) para o sistema de coordenadas do usuário (u,v), requer o conhecimento de 4 pontos de controle e é realizada por equações de transformação do tipo:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy \quad (4.1)$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy \quad (4.2)$$

Esse mapeamento possibilita transformações de escala, rotação, translação, "skew" e "Keystoning".

O cálculo dos coeficientes da transformação são realizados pela solução de um sis

tema de equações lineares obtidos com a substituição das coordenadas (x,y) e (u,v) dos 4 pontos de controle nas equações 4.1 e 4.2.

4.2 - GERAÇÃO DO MODELO

O modelo implementado é um modelo de grade regular retangular obtido diretamente do conjunto de pontos amostrados na fase de aquisição.

O programa que gera esse modelo está dividido, basicamente, em três módulos: *geração da região de interesse, organização dos pontos amostrados e a geração da grade propriamente dita.*

O primeiro módulo define uma região de interesse sobre a projeção horizontal do plano xy dos pontos amostrados. A região de interesse utilizada por este modelo foi o polígono convexo que contém todos os pontos amostrados projetados no plano xy. A região de interesse define a região dentro da qual a interpolação de um ponto tem significado em relação aos pontos amostrados. Utilizando-se esses pontos para a estimação da cota de um ponto fora da região de interesse estaríamos procedendo a uma extrapolação e, nesse caso, não se poderia garantir consistência do valor obtido.

O algoritmo implementado é baseado no método "hull" definido em Handley, (1985).

O segundo módulo objetiva organizar os pontos amostrados, segundo uma estrutura de árvore conhecida como (2d-A). Essa organização cria um particionamento no plano xy que separa os pontos amostrados em grupos segundo um critério de proximidade.

A organização dos pontos amostrados aumenta a eficiência temporal de busca de uma vizinhança de interpolação para cada ponto da grade. Sem uma organização o tempo total de busca, para cada ponto da grade, é proporcional a n onde n é o número total de pontos da grade, e com o particionamento essa proporcionalidade é reduzida para $\log_{10}n$.

A geração do modelo de grade propriamente dito é responsável pela criação de uma estrutura de grade regular retangular a partir do conteúdo dos arquivos de pontos organizados e árvore (2d-A).

Os valores das cotas (coordenadas z) dos pontos da grade são estimados pela interpolação do ponto considerando-se uma vizinhança ao redor do mesmo. Essa vizinhança pode ser um raio de influência em torno do ponto ou uma quantidade de pontos amostrados mais próximos ao ponto interpolado (Pettinati, 1983).

A busca da vizinhança de cada ponto da grade é otimizada pela estrutura de organização definida sobre os pontos amostrados.

O módulo permite a escolha entre uma das seis funções interpoladoras listadas a seguir:

- 1) interpolação pela média ponderada dos n vizinhos mais próximos com peso: $w = \frac{1}{d^n}$;
- 2) interpolação pela média ponderada dos n vizinhos mais próximos com peso:

$$w = \frac{e^{-\alpha d^n}}{d^n}, \text{ onde } \alpha = ((\Sigma d)/n)^{-1};$$

3) interpolação pela média ponderada dos n vizinhos mais próximos por quadrante com peso: $w = \frac{1}{d^n}$;

4) interpolação pela média ponderada dos n vizinhos mais próximos por quadrante com peso:

$$w = \frac{e^{-\alpha d^n}}{d^n}$$

5) aproximação pelo critério dos mínimos quadrados ponderados com peso: $w = \frac{1}{d^n}$;

6) aproximação pelo critério dos mínimos quadrados ponderados com peso:

$$w = \frac{e^{-\alpha d^n}}{d^n} .$$

4.3 - REFINAMENTO DO MODELO

O objetivo do programa de refinamento é a densificação de uma grade regular retangular já existente.

O interpolador utilizado no refinamento é do tipo bilinear aplicado localmente à célula retangular que o ponto interpolado pertence.

A saída deste programa é um arquivo imagem.

4.4 - APLICAÇÃO

Atualmente estão disponíveis as seguintes aplicações: projeção geométrica planar e geração do mapa de contornos.

O programa de projeção permite ao usuário gerar a projeção de uma grade regular ou de uma imagem criada pelo módulo de refinamento. É possível escolher entre as projeções perspectiva, paralela ou par estereoscópico. A projeção escolhida é realizada sobre as linhas da grade, ou imagem, permitindo-se a escolha de diferentes direções de visualização. Essa direção é escolhida pelo usuário a partir da definição dos ângulos azimutal e zenital de visualização da superfície.

A definição das isolinhas do mapa de contorno é realizada diretamente sobre os dados da grade. Inicialmente todos os pontos que pertencem a uma isolinha são obtidos como intersecções com as células do modelo. Esses pontos são então separados de acordo com a linha de uma isolinha que eles pertencem. A última fase do programa traça uma curva suave sobre cada linha obtida. Esta curva é definida por um interpolador de Akima 2-d. A faixa de variação das cotas das isolinhas e a diferença de cota entre as isolinhas devem ser definidas pelo usuário.

5. CONCLUSÕES

Descreveu-se, neste trabalho, algumas características importantes envolvidas no desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno. Este sistema tem uma primeira versão concluída. Alguns estudos e trabalhos estão sendo realizados para serem incorporados novos processamentos ao sistema com o objetivo de enriquecer a potencialidade do mesmo para versões futuras. Estes estudos incluem:

- a) novas interpoladores, tanto para a geração de grade regular como para o refinamento da mesma grade;
- b) geração de mapa de declividades a partir do M.D.T.;
- c) métodos de visualização do M.D.T. em perspectiva com introdução de técnicas que aumentem o realismo do resultado como por exemplo sombreamento;
- d) utilização do M.D.T. para correção radiométrica de imagens (TM) do satélite LANDSAT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIMA, H. A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures. *Journal of the Association for Computing Machinery*. 17(4):589-602, Oct, 1970.
- DOYLE, F.J. Digital Terrain Models: An Overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44(12):1481-1485, Dec, 1978.
- ERTHAL, G.J.; OLIVEIRA, M.O.B.; FELGUEIRAS, C.A.; NETO, G.C. e PAIVA, J.A.C. O Banco de Dados Geográficos do INPE. *Anais do Iº Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*. Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro - PUC - Rio de Janeiro, 11 e 12 de abril de 1986.
- HANDLEY, C.C. Efficient Planar Convex Hull Algorithm. *Image and Vision Computing*. 3(1): 29-35, Feb, 1985.
- PETTINATI, F. Modelamento Digital de Terreno e Representação Gráfica de Superfície. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.