

EXTRAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

MURILO V. G. DA SILVA
OLIVER M. VAN KAICK
WILLIAM R. SCHWARTZ
HÉLIO PEDRINI

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Departamento de Informática, Curitiba-PR, Brasil
{murilo,oliver,william}@pet.inf.ufpr.br helio@inf.ufpr.br

RESUMO - Redes de drenagem possuem diversas aplicações, tais como determinação de áreas com risco de erosão, análise de bacias hidrográficas, delimitação de áreas inundadas, transporte de sedimentos e estudo de relevo. O cálculo dos caminhos de escoamento da água é, em geral, dependente do modelo utilizado para representar a superfície do terreno. Tipicamente, dados de elevação são representados através de uma grade regular de pontos, uma malha triangular irregular ou um mapa de contornos. A implementação de um algoritmo para extração de redes de drenagem é afetada pela presença de erros nos dados de elevação, normalmente introduzidos durante o processo de digitalização utilizado para gerar os dados a partir dos mapas topográficos ou modelos de fotogrametria. Este trabalho apresenta um método automático para extração de redes de drenagem a partir de modelos digitais de terrenos. Os resultados têm demonstrado uma relação satisfatória entre velocidade e capacidade em processar grandes volumes de dados.

ABSTRACT - Drainage network provides important information on several applications, such as determination of flood areas and erosion, determination of watershed, transportation of sediments, and geomorphology. The calculation of water flow is, in general, dependent on the terrain model used to represent the surface. Typically, terrain data are represented through a regular grid of points, a triangular irregular mesh, or a map of contours. The implementation of a drainage network extraction algorithm is affected by the occurrence of errors in the elevation data, as a result of digitization techniques used to generate the data. This work presents an automatic method for extracting the drainage network from digital elevation models. The results have demonstrated a good balance between capacity of processing great volumes of data and time efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A extração de redes de drenagem possui diversas aplicações, tais como determinação de áreas com risco de erosão, análise de bacias hidrográficas, delimitação de áreas inundadas, transporte de sedimentos e estudo de relevo. Devido à complexidade e ao elevado tempo requerido na extração manual de redes de drenagem, métodos automáticos têm sido propostos para caracterizar informação de drenagem a partir de modelos digitais de terreno.

O cálculo dos caminhos de escoamento da água é, em geral, dependente do modelo utilizado para representar a superfície do terreno. Tipicamente, dados de elevação são representados através de uma grade regular de pontos, uma malha triangular irregular ou um mapa de contornos.

A identificação de redes de drenagem é uma tarefa que apresenta alto custo computacional, particularmente quando o tamanho e a densidade dos dados são elevados. Em virtude das crescentes capacidades de co-

leta e distribuição de dados e à necessidade de resoluções cada vez mais altas, torna-se imprescindível a formulação de modelos e algoritmos eficientes de forma a permitir um tempo de resposta aceitável. Adicionalmente, a implementação de um algoritmo para extração de redes de drenagem é afetada pela presença de erros nos dados de elevação, normalmente introduzidos durante o processo de digitalização utilizado para gerar os dados a partir dos mapas topográficos ou modelos de fotogrametria. Erros comuns são a inclusão de pontos artificiais de máxima e mínima elevação, ou seja, picos e depressões.

Em nosso trabalho, o cálculo dos caminhos de escoamento em uma malha regular é baseado nas diferenças de elevação entre pontos vizinhos. O modelo permite que o fluxo possa ser dividido entre todos os pontos vizinhos possuindo menor elevação que a célula em questão, proporcionalmente aos seus valores de declividade.

Nos métodos de extração de redes de drenagem ba-

seados em malhas regulares, os elementos geomorfológicos são representados através de resolução espacial uniforme. Além disso, direções de fluxo são restritas a incrementos de 45 graus, em virtude da discretização da grade.

Este trabalho descreve um método para a determinação de redes de drenagem em modelos digitais de terrenos. Amostras reais de terrenos são utilizadas para validação do método proposto. Os resultados têm demonstrado uma relação satisfatória entre velocidade e capacidade em processar grandes volumes de dados.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Avanços crescentes nas capacidades de coleta e distribuição de dados, bem como a formulação de algoritmos eficientes permitindo tempos de resposta mais aceitáveis, têm aumentado o número de aplicações na área de hidrologia.

Modelagem de processos têm sido amplamente propostos, por exemplo, análise de bacias hidrológicas (GARROTE (1995); JULIEN (1995)), evolução do relevo (WILLGOOSE (1991); HOWARD (1994); JOHNSON (1995); TUCKER (1997)a; TUCKER (1998)), erosão de solos (MITAS (1998); LAFLEN (1997)), análise de estabilidade de inclinação (MONTGOMERY (1994)), e erupção de vulcões (MIYAMOTO (1997)).

Embora a natureza de tais modelos varie desde a identificação real de bacias hidrológicas (GARROTE (1995)) à simulação hipotética da evolução de montanhas ao longo de milhões de anos (TUCKER (1997)b), todos eles compartilham o tema comum relativo ao escoamento de material (água, sedimentos, lava) sobre a superfície topográfica. A necessidade de um modelo de fluxo sobre o terreno apresenta três elementos comuns: (a) divisão da superfície de um terreno em um conjunto de elementos discretos conexos; (b) aplicação de continuidade de massa dentro de cada elemento do terreno; e (c) definição de caminhos e redes de fluxo ao longo da superfície discretizada do terreno.

Várias estratégias diferentes têm sido propostas para representar superfícies de terrenos, incluindo as malhas regulares retangulares, as malhas irregulares triangulares e mapas de contorno. Dentre estas, as malhas regulares e irregulares são mais adequadas para simular a dinâmica de mudança da superfície. A simplicidade dos modelos regulares e a grande abundância de dados por meio de modelos digitais de elevação têm favorecido o uso de tais modelos na área de hidrologia. Entretanto, modelos de grade regular possuem algumas desvantagens: (a) os elementos devem ser representados através de resolução espacial uniforme; (b) as direções de fluxo são restritas a incrementos de 45 graus (embora esta limitação possa ser reduzida pelo uso de algoritmos de fluxo múltiplo tais como, FREEMAN (1991); QUINN (1991); COSTA-CABRAL (1994); TARBOTON (1997)).

Estas e outras desvantagens têm motivados o desenvolvimento de modelos de terrenos baseados em malhas triangulares, permitindo resolução espacial variável e o uso de procedimentos de interpolação mais naturais (e.g., SAMBRIDGE (1995); BRAUN (1997); LANCASTER (1998)). Apesar destas vantagens, entretanto, o uso de modelos triangulares é menos freqüente que as malhas regulares, devido à complexidade das estruturas de dados e dos algoritmos requeridos para a manipulação das triangulações.

3 EXTRAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM

O cálculo dos caminhos de escoamento no modelo digital de terreno é realizado considerando-se as diferenças de elevação entre pontos vizinhos. Em cada célula da imagem, o algoritmo inicialmente considera existir uma quantidade pré-determinada de água que escoará para os vizinhos mais baixos. A quantidade de água que escoar para cada vizinho é proporcional ao seu valor de declividade. O cálculo é aplicado recursivamente a todos os vizinhos mais baixos possuindo uma quantidade de água maior do que um limiar.

Para a extração das redes de drenagem, o algoritmo mantém uma matriz com as mesmas dimensões da imagem original e, inicialmente, contendo valor zero em todas as suas posições. Cada posição está associada a uma célula da imagem. O valor de cada posição da matriz é incrementado para cada célula correspondente por onde a água é escoada.

A figura 1 ilustra o funcionamento do algoritmo. A figura 1(a) representa uma região do modelo digital de elevação, onde a célula sob investigação é a do centro. Os valores nas outras células representam a diferença entre seus valores de elevação e o valor de elevação da célula central. Por exemplo, o valor -4 da célula localizada no canto superior esquerdo indica que ela representa um valor de elevação com 4 unidades abaixo do valor contido na célula central.

O algoritmo verifica para quais vizinhos a água escoará. Isto é ilustrado na figura 1(b). A figura 1(c) mostra as células da matriz de acumulação que são incrementadas nesta etapa. Em seguida, o algoritmo faz recursivamente o mesmo cálculo para cada célula para onde a água escoou. Este processo é ilustrado na figura 1(d). O incremento correspondente na matriz de acumulação é mostrado na figura 1(e).

Após a determinação dos caminhos de escoamento para todos os pontos da imagem, um algoritmo de afinamento GONZALEZ (1992) é aplicado de modo que cada caminho possua largura de apenas um pixel. O algoritmo também permite que apenas os fluxos longos sejam apresentados, ou seja, aqueles contendo um número de componentes conexos GONZALEZ (1992) maior do que um limiar pré-determinado.

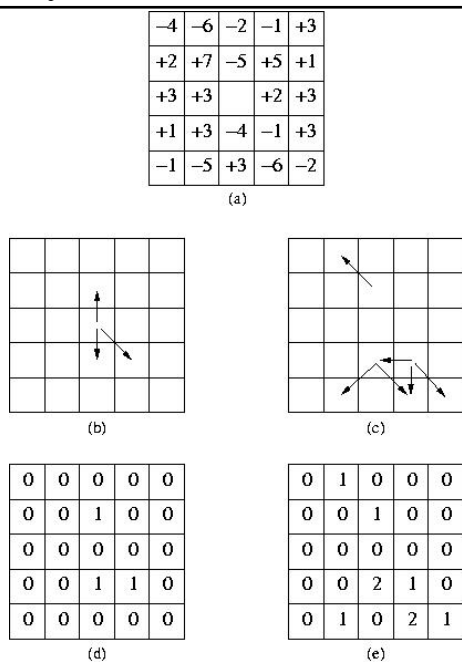


Figura 1 - Rede de drenagem. (a) oito vizinhos adjacentes; (b) modelo de elevação; (c) direção de fluxo; (d) caminhos do fluxo.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Várias amostras de terrenos foram utilizadas para avaliar o desempenho de nosso método. Os algoritmos foram implementados em linguagem C e executados em um microcomputador Pentium III com 866 MHz e 1 Gbyte de RAM.

As figuras 2 e 3 mostram a extração de redes de drenagem para os modelos digitais de terrenos correspondentes ao USGS DEM Crater Lake e ao USGS DEM Emory, respectivamente. Para cada amostra, são apresentadas as redes de drenagem extraídas pelo algoritmo, bem como as redes após a aplicação do algoritmo de afinamento e de redução através dos componentes conexos.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta um método automático para extração de redes de drenagem a partir de modelos digitais de terrenos. O algoritmo permite que o fluxo possa ser dividido entre todos as células vizinhas possuindo menor elevação que a célula sob investigação, proporcionalmente aos seus valores de declividade.

Resultados experimentais demonstraram que o método é simples e capaz de manipular grandes volumes de dados. Uma extensão deste trabalho visa à extração de redes de drenagem através de malhas triangulares irregulares.

REFERÊNCIAS

BRAUN, J. Modelling landscape evolution on geological time scales: a new method based on irregular spatial discretization. **Basin Research**, [S.l.], v.9, p.27-52, 1997.

COSTA-CABRAL, M. Digital elevation model networks (demon): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. **Water Resources Research**, [S.l.], v.30, n.6, p.1681-1692, 1994.

FREEMAN, T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. **Computers and Geosciences**, [S.l.], v.17, p.413-422, 1991.

GARROTE, L. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models. **Journal of Hidrology**, [S.l.], v.167, p.279-306, 1995.

GONZALEZ, R. C. **Digital Image Processing**. Reading, Massachusetts, USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

HOWARD, A. A detachment-limited model of drainage basin evolution. **Water Resources Research**, [S.l.], v.30, p.2261-2285, 1994.

JOHNSON, D. **Preliminary results from a planform kinematic model of orogen evolution, surface processes and the development of clastic foreland basin stratigraphy. Stratigraphic Evolution of Foreland Basins, SEPM Special Publication**, p.3-24. Number 52. Doro-bek S. L. and Ross G. M., 1995.

JULIEN, P.; SAGHAFIAN, B. Raster-based hydrologic modeling of spatially-varied surface runoff. **Water Resources Bulletin**, [S.l.], v.31, n.3, p.523-536, 1995.

LAFLEN, J. et al. Wepp-predicting water erosion using a process-based model. **Journal of Soil and Water Conservation**, [S.l.], v.52, p.96-102, 1997.

LANCASTER, S. **A nonlinear river meander model and its incorporation in a landscape evolution model (unpublished)**. Massachusetts Institute of Technology, 1998. Tese de Doutorado.

MITAS, L. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. **Water Resources Research**, [S.l.], v.34, p.505-516, 1998.

MIYAMOTO, H. Simulating lava flows by an improved cellular automata method. **Computers and Geosciences**, [S.l.], v.23, p.283-292, 1997.

MONTGOMERY, D. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, [S.l.], v.30, n.4, p.1153-1171, 1994.

QUINN, P. et al. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, [S.l.], v.5, p.59–80, 1991.

SAMBRIDGE, M.; BRAUN, J. Geophysical parameterization and interpolation of irregular data using natural neighbors. **Geophysical Journal International**, [S.l.], v.122, p.837–857, 1995.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, [S.l.], v.33, n.2, p.309–319, Fevereiro, 1997.

TUCKER, G. E. Drainage basin response to climate change. **Water Resources Research**, [S.l.], v.33, n.8, p.2031–2047, 1997.

TUCKER, G. Predicting sediment flux from fold and thrust belts. **Basin Research**, [S.l.], v.8, p.329–349, 1997.

TUCKER, G. Hillslope processes, drainage density and landscape morphology. **Water Resources Research**, [S.l.], v.34, p.2751–2764, 1998.

WILLGOOSE, G.; BRAS, R. A physically based coupled network growth and hillslope evolution model, 1, theory. **Water Resources Research**, [S.l.], v.27, p.1671–1684, 1991.

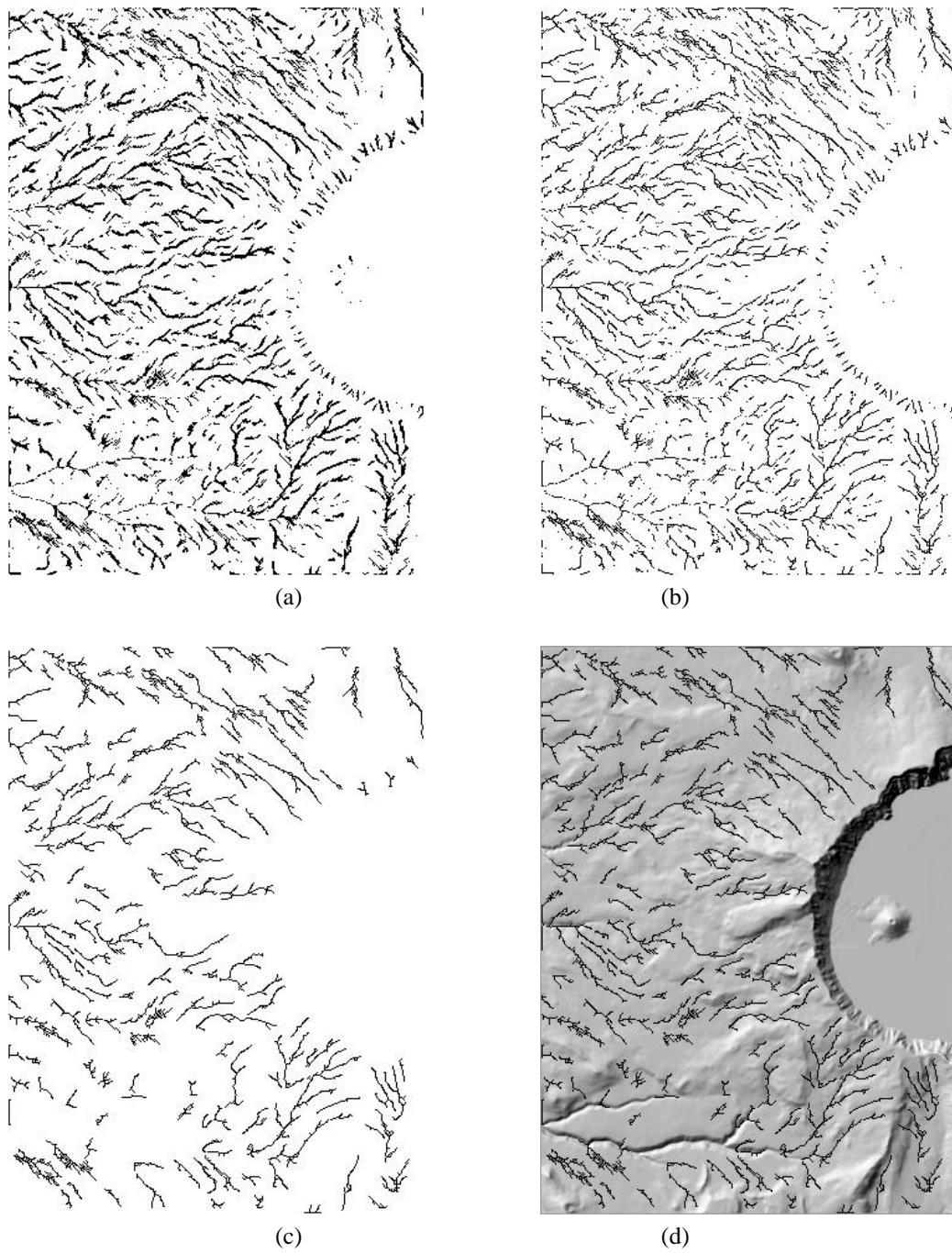


Figura 2 - (a) Rede de drenagem obtida pelo algoritmo (limiar de acumulação = 150); (b) após aplicação do algoritmo de afinamento; (c) após eliminação dos menores fluxos pelo algoritmo de componentes conexos (limiar = 20); (d) rede de drenagem final sobreposta ao modelo USGS DEM Crater Lake.

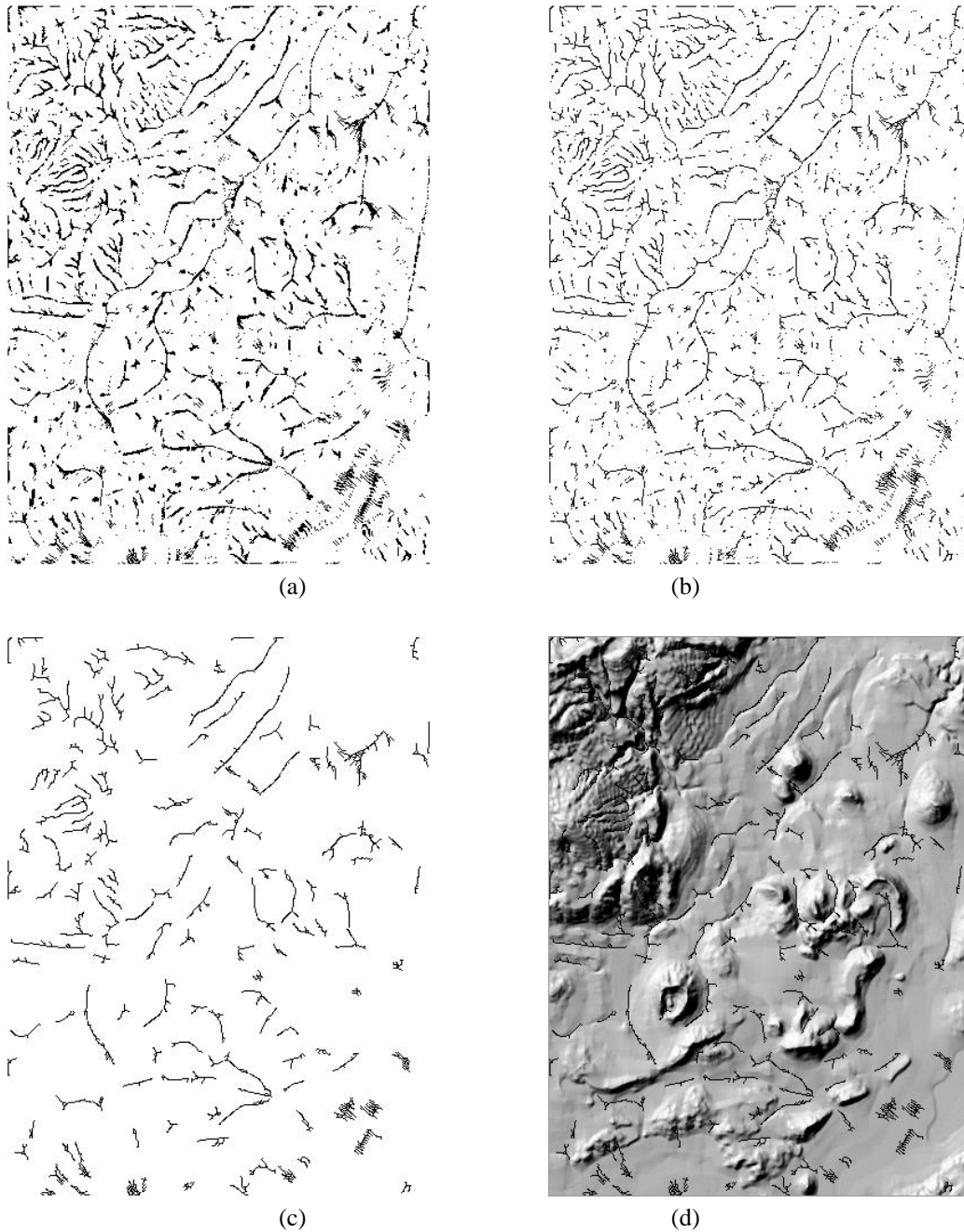


Figura 3 - (a) Rede de drenagem obtida pelo algoritmo (limiar de acumulação = 150); (b) após aplicação do algoritmo de afinamento; (c) após eliminação dos menores fluxos pelo algoritmo de componentes conexos (limiar = 20); (d) rede de drenagem final sobreposta ao modelo USGS DEM Emory.