Anais do I WORCAP, INPE, São José dos Campos, 25 de Outubro de 2001, p. 94-96

SEGMENTAÇÃO MORFOLÓGICA PELA TRANSFORMAÇÃO DE EXPANSÃO EM Z^2: UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE IMAGENS DE ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO

Vívian Cristina de Almeida Lopes[*, 1], Gerald Jean Francis Banon[**, 1],

(1)Área de Processamento de imagem

Divisão de Processamento de Imagem

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

(*)Doutorado, Bolsa CAPES, e-mail: vivian@dpi.inpe.br; (**) Orientador

Resumo

Apresentamos uma metodologia para segmentação de imagens, formalizada segundo a Morfologia Matemática, sob a ótica da técnica de simulação de imersão *watershed*. O método consiste em expandir a imagem a ser segmentada pela aplicação de novos operadores de dilatação ou erosão. Essa estrutura permite espaço suficiente entre os pixels para a introdução de novos entes geométricos, de modo a oferecer uma segmentação mais precisa, que favorece a análise de imagens de altíssima resolução. Nós Verificamos que o domínio expandido corrige deformações de borda da imersão tradicional, tanto em imagens binárias como em níveis de cinza. Observamos também que sob circunstâncias específicas, algumas propriedades de invariância deixam de ser preservadas no procedimento tradicional, constituindo-se em desafios para a nova abordagem.

Palavras-Chave: segmentação ,watershed, domínio expandido, resolução ultra- alta.

Introdução

O processo de segmentação é uma etapa fundamental na análise de imagem, por fornecer subsídios à interpretação quantitativa de seus dados. Segmentar [1] uma imagem f é particionar seu domínio de definição D_f *em n* conjuntos não vazios disjuntos $X_1, X_2, \dots, X_n$ chamados segmentos, tal que a união de todos os segmentos é igual a D_f; ou seja, separar os objetos entre si. Especificamente para imagens de satélite de alta resolução (3m < resolução espacial $\leq$ 0.5m; as classificações não são uniformes e esse espectro pode ser denominado de altíssima ou ultra- alta resolução), que são ricas em novos detalhes, os algoritmos tradicionais têm-se mostrado pouco eficazes [2]. Precisamente nesse contexto, o formalismo descrito nas próximas seções propõem-se a contribuir. Na primeira seção, descrevemos duas transformações de expansão. Na segunda, a técnica watershed. Na terceira, mostramos alguns resultados preliminares e na última, apresentamos nossas conclusões.

A Transformação de Expansão

Seja E um subconjunto de Z^2. A coleção $\mathcal{P}(E)$ de todos os subconjuntos de E, provida da relação de inclusão ($\subset$), forma um *conjunto parcialmente ordenado*, ($\mathcal{P}(E)$, $\subset$), e como qualquer subcoleção de $\mathcal{P}(E)$ possui um supremo e um ínfimo, dizemos que ele forma um *reticulado completo* [3]. A Morfologia Matemática é uma ferramenta que estuda operadores em reticulados completos, sendo de sólida sistemática e de comprovados resultados robustos a um baixo custo econômico; como exemplo, os hardwares desenvolvidos para processamento de imagem.

A informação digital- topológica está ligada ao conceito de conexidade digital. Banon [4] apresenta um formalismo de análise para imagens binárias que se baseia no conceito de espaço limitado ao invés de vizinhança, para então definir conexidade. O resultado é equivalente ao obtido usando a topologia de Khalimsky [5], porém expressivamente mais direto, cujos novos operadores favorecem a aplicação ora pretendida.

Seja x um ponto em Z^2. Denotemos por $\delta_8(\{x\})$, a vizinhança-8 de x.

Sejam a e b mapeamentos de Z^2 para $\mathcal{P}(Z^2)$ tais que $a(y) \equiv \delta_8(\{2y\})$ e $b(y) \equiv \delta_8(\{2y\})^c$ (o complemento de $\delta_8(\{2y\})$ em Z^2). Sejam δ_a e ${}_b\varepsilon$ dois mapeamentos de $\mathcal{P}(Z^2)$ para $\mathcal{P}(Z^2)$ definidos, para qualquer subconjunto Y em $\mathcal{P}(Z^2)$:

$$\delta_a(Y) \equiv \bigcup_{y \in Y} a(y) \quad \text{e} \quad {}_b\varepsilon(Y) \equiv \bigcap_{y \in Y^c} b(y) \qquad (1)$$

As equações em (1) denotam, respectivamente, uma dilatação e uma erosão. Aplicando-as em imagens, obtemos expansões da mesma, como se verifica na Figura 1.

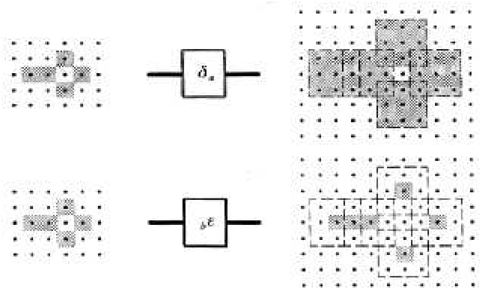

Figura 1: Expansão por dilatação e erosão. FONTE: [4], pg. 5.

Na *imagem expandida* a distância entre duas componentes da imagem de saída é duas vezes esta distância na imagem de entrada. Em termos práticos, considerando-se a grade digital E = $[0, k_1] \times [0, k_2]$, o espaço expandido 2E = $[0, 2k_1] \times [0, 2k_2]$. Os compostos $\varepsilon_a \circ \delta_a$ (*fechamento*) e ${}_b\delta \circ {}_b\varepsilon$ (*abertura*) são dois operadores identidade, de modo que as duas expansões δ_a e ${}_b\varepsilon$ transformam a imagem original em uma imagem expandida sem perda de informação. $(Z^2, \delta_a(\mathcal{P}(Z^2)))$ forma um espaço morfológico, sendo que com os operadores em (1) podemos derivar as conexidades 4 e 8 tradicionais a partir de uma conexidade única, estudando-a no domínio expandido. Ou seja, nesse ambiente, os constituintes objeto e fundo da imagem podem ser analisados usando a mesma conexidade.

Watershed

Watershed por imersão consiste em simular uma imagem f, vista como uma superfície topográfica, sendo imersa a partir de seus mínimos $m_i(f)$, nos quais foi efetuado um furo, em um lago à velocidade constante [6]. As águas vindas de mínimos diferentes, podem se juntar. Nos pontos de encontro é construído um dique, de modo que particionamos a imagem em dois conjuntos diferentes: as bacias de captação (cada uma contém um e somente um $m_i(f)$) e as linhas de partição de águas. Ao final, são os diques que emergem. A sistematização desse procedimento é bem conhecida na literatura e foge ao escopo deste artigo.

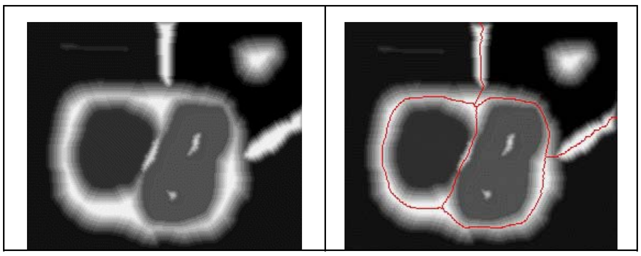

Figura 2: imagem original e watershed da mesma, respectivamente. FONTE: adaptada de [7].

Resultados Preliminares

Todas as figuras apresentadas nesta seção foram obtidas no ambiente Khoros, com o pacote MMACH, sob o sistema operacional Unix, processadas em uma estação Sun Sparc 5. O algoritmo para watershed é o proposto por Vincent-Soille. Constata-se que sua aplicação direta ocasiona uma segmentação defeituosa nos objetos de largura de borda par, como mostra a Figura 3 a seguir.

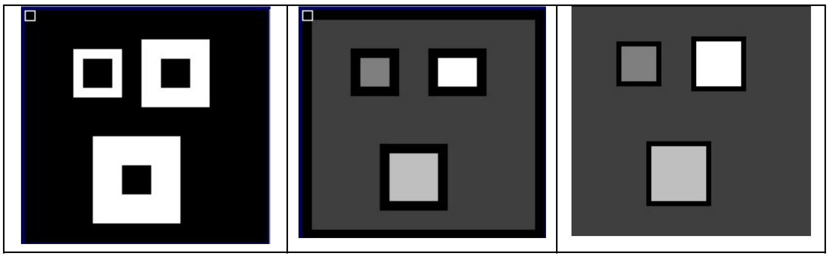

Figura 3: Imagem original, watershed no domínio original e expandido, respectivamente.

Na Figura 3, os objetos têm bordas de largura 1, 2 e 3 pixels, respectivamente. Na largura 2, watershed sem expansão não preservou a forma do objeto. Com a transformação de expansão, a segmentação foi efetuada corretamente. Isso ocorre para imagens binárias e em escalas de cinza. A Figura 4 mostra uma imagem apresentando uma assimetria horizontal em um objeto; nenhuma expansão foi realizada para a segmentação.

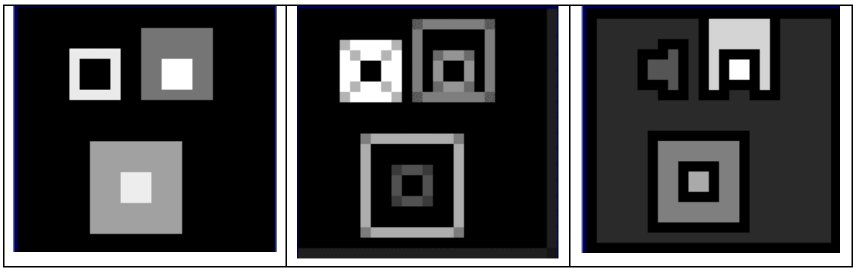

Figura 4: Imagem original, gradiente e watershed da imagem gradiente, respectivamente.

O resultado obtido na Figura 4 é não desejável, pois certas propriedades de invariância geométrica não são preservadas

Conclusão

A análise de imagens no domínio expandido é o que permite estudos sobre conexidade digital usando a abordagem da topologia tradicional. Essa metodologia prova ser propícia à introdução de novos entes geométricos entre objetos em uma imagem, fornecendo uma nova abordagem para a segmentação baseada em watershed, com expressivo nível de precisão, favorável às imagens de satélite de resolução ultra- alta. Comprovamos experimentalmente que o domínio expandido corrige alguns problemas nos algoritmos de praxe para watershed, e que algumas classes de imagens necessitam de um pré-processamento antes de serem expandidas, sendo este um dos desafios para não permitir segmentações patológicas.

Referências

[1] Soille, P. Morphological Image Analises., Springer, 1999.

[2] Fritz, L. High resolution commercial remote sensing satellites and spatial information systems. **In**: 9th Australasian Remote Sensing Photogrammetry Conference, Sydney, Austrália, 12p.; jul. 1998

[3] Banon, G.; Barrera, J. Bases da morfologia matemática para a análise de imagens binárias. **In**: Repositório da URLIB: < http://dpi.inpe.br/banon/1998/06.30.17.56>, 1998.

[4] Banon, G. New insight on digital topology. **In**: International Symposium on Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing (ISMM2000), Palo Alto, Califórnia, EUA, 10p., jun. 2000.

[5] Khalimsky, E.; Kopperman, R.; Meyer, P.,Topology and its Applications 36:1-17 (1990).

[6] Beucher, S.; Meyer, F. The morphological approach to image segmentation: the watershed transformation. **In**: Mathematical Morphology in Image Processing, 433-481, Nova York, 1993.

[7] Beucher, S. Image segmentation and mathematical morphology Home page. In: <http://cmm.ensmp.fr/~beucher/wtshed.html> mai. 2000.