

RECONSTRUÇÃO MORFOLÓGICA POR DILATAÇÕES CONDICIONAIS PARA DETECÇÃO DE FEIÇÕES EM IMAGENS DIGITAIS

*Thiago Statella*¹

*Erivaldo Antônio da Silva*²

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados obtidos pela detecção de feições em imagens digitais através de reconstrução morfológica da área de interesse. A área de estudo foi uma imagem Ikonos do aeroporto de São José dos Campos-SP. Em uma etapa inicial, a imagem foi processada para criação de marcadores para as pistas do aeroporto. Estas foram reconstruídas em seguida e transformações de afinamento e gradiente foram aplicadas para detecção dos eixos e bordas das feições.

PALAVRAS-CHAVE: Detecção de feições, Morfologia Matemática, Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT: This paper shows the results obtained by feature detection in digital images using morphological reconstruction of the interested area. The studied area was an Ikonos image of the airport São José dos Campos-SP. Initially, the image was processed in order to create markers tracks for the airport. The tracks were reconstructed and then transformations of thinning and gradient were applied to detect the axis and borders of the features.

KEYWORDS: Features detection, Mathematical Morphology, Digital Image Processing.

1 Mestre em Ciências Cartográficas, pela Universidade Estadual Paulista; professor do Deptº de Construção Civil do IFMT – Campus Cuiabá. E-mail: thiago.statella@cba.ifmt.edu.br.

2 Doutor em Engenharia de Transportes, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Usp); professor do Deptº de Cartografia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente-SP. E-mail: erivaldo@fct.unesp.br.

INTRODUÇÃO

Imagens de Sensoriamento Remoto (SR) têm servido como fonte de dados para estudos em diversas áreas, como Cartografia, Áreas Urbanas, Florestas, Ambientes Agrícolas, entre outras. O aumento da quantidade de sensores remotos nos últimos anos tem gerado um número cada vez maior de imagens da superfície terrestre. Muitas estão acessíveis aos usuários sem custo nenhum, disponibilizadas por órgãos de pesquisa, como o Inpe, que distribui gratuitamente milhares de imagens dos programas CBERS e Landsat. A quantidade de imagens cresce a uma taxa maior do que a capacidade que operadores humanos têm de analisar e extrair informações relevantes destes produtos. Isso abre espaço para a utilização de processos semiautomáticos de extração de informações. E é neste âmbito que este trabalho se enquadra. A proposta é usar técnicas de processamento digital de imagens e, mais especificamente, a Morfologia Matemática, para detectar semiautomaticamente feições em imagens digitais. A área de estudo é uma imagem Ikonos do aeroporto de São José dos Campos-SP. O método empregado pode ser resumido em três etapas: processamento das imagens para a criação de marcadores das pistas do aeroporto, que eram as feições de interesse; reconstrução das pistas por dilatações condicionais; e aplicação de transformações de afinamento e gradiente para detectar eixos e bordas das pistas do aeroporto.

MORFOLOGIA MATEMÁTICA

A Morfologia Matemática (MM) é uma ferramenta para a extração de componentes de imagens que sejam úteis na representação e descrição da forma de uma região, como fronteiras, esqueletos e fecho convexo; e também uma ferramenta para pré-processamento, como filtragem, afinamento e poda (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Baseando-se na ideia de reticulado completo e ordenamento parcial de conjuntos, a MM tem como fundamento dois operadores básicos: erosão e dilatação.

Definição 1. Seja B um subconjunto de Z^2 , $B \subset E$. A Erosão ε de f por B é o valor mínimo entre as translações de f pelos vetores $-b$ de B . Chama-se B de elemento estruturante (EE).

$$\varepsilon_B(f) = \bigwedge_{b \in B} f_{-b} \quad (1)$$

Definição 2. A dilatação δ de f por B é o valor máximo entre as translações de f pelos vetores $-b$ de B .

$$\delta_B(f) = \bigvee_{b \in B} f_{-b} \quad (2)$$

O elemento estruturante B é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), que é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado dessa transformação permite avaliar o conjunto desconhecido (FACON, 1996).

A seguir, duas formas básicas de EEs são apresentadas.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & \mathbf{1} & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} : \text{Elemento estruturante cruz. A posição em negrito marca a origem do EE.}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{1} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} : \text{Elemento estruturante caixa.}$$

A Figura 1 demonstra numericamente o processo de erosão com o EE caixa.

Figura 1. Demonstração Numérica do Processo de Erosão.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
97	101	96	75	60	48	31	34	39
99	100	93	70	58	46	29	33	37
102	102	92	68	58	45	30	34	38

(a)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
97	101	96	75	60	48	31	34	39
99	92	68	58	45	29	29	29	37
102	102	92	68	58	45	30	34	38

(b)

A Figura 1a mostra a faixa de uma imagem em tons de cinza, na qual estão grifadas as posições a serem visitadas pelo *pixel* central do elemento estruturante e que, portanto, terão seus valores modificados. Os índices $x_1, \dots, x_7$ são os identificadores dos *pixels* submetidos ao processo. A erosão produz, então, o resultado exibido na Figura 1b. Esta traz sombreadas as posições cujos valores foram modificados.

A Figura 2 faz uma demonstração numérica do processo de dilatação por um EE caixa. A Figura 2a exibe a mesma faixa de tons de cinza mostrada na Figura 1a, porém a Figura 2b apresenta o resultado da dilatação.

Figura 2 Demonstração Numérica do Processo de Dilatação.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
97	101	96	75	60	48	31	34	39
99	100	93	70	58	46	29	33	37
102	102	92	68	58	45	30	34	38

(a)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
97	101	96	75	60	48	31	34	39
99	102	102	96	75	60	48	39	37
102	102	92	68	58	45	30	34	38

(b)

Na Figura 2, o EE foi transladado ao longo da faixa e, a cada transladação, o maior tom de cinza encontrado na vizinhança do *pixel* central (incluindo ele próprio e considerando-se a conectividade definida pelo EE) substituiu o valor original da imagem naquele ponto³.

³ Mais detalhes sobre as propriedades e exemplos de aplicação de erosão e dilatação podem ser encontrados em Banon e Barrera, 1998; Serra, 1986; Barrera, 1987; Haralick, Sternberg e Zhuang, 1987; e Facon, 1996.

Muitos operadores morfológicos consideram as imagens como sendo conjuntos indivisíveis, porém pode surgir a necessidade de restringir os processos na região específica de uma imagem, como, por exemplo, processar algumas falhas em imagens metalográficas, estudar uma célula específica numa imagem contendo vários tipos delas, etc. Uma primeira possibilidade de processar parcialmente uma imagem consiste em definir um subconjunto da imagem onde as operações são válidas. Por exemplo, tratar um subconjunto Z do conjunto inicial X . O operador de dilatação condicional permite realizar esse tipo de processamento (FACON, 1996).

Definição 3 Para imagens binárias, pode-se definir a dilatação do subconjunto Z condicionada a X (com $Z \subset X$) pelo elemento estruturante B , como:

$$\delta_{cX}^B(Z) = \delta^B(Z) \cap X \quad (3)$$

Definição 4 Para imagens em tons de cinza, a dilatação de uma função f condicionada a uma função g , com $D_f = D_g$ e $f \leq g$, é:

$$\delta_{cg}^B(f) = \delta^B(f) \wedge g \quad (4)$$

Definição 5 Com base na Definição 4, é possível reconstruir a imagem g através de sucessivas dilatações condicionais do subconjunto f , até a convergência. Assim, baseado em Soille (1999), a reconstrução por dilatação condicional de uma imagem máscara g a partir de uma imagem marcadora f é:

$$R_g(f) = \delta_{cg}^{(i)}(f) \quad (5)$$

Em que i é tal que $\delta_{cg}^{(i)}(f) = \delta_{cg}^{(i+1)}(f)$.

Apoiando-se nas operações de dilatação e erosão, é possível definir transformações crescentes e idempotentes: os filtros de abertura e fechamento.

Definição 6 A abertura γ de f por um elemento estruturante B , denotada por $\gamma_B(f)$, é a erosão de f por B seguida de uma dilatação pelo transposto de B (SOILLE, 1998).

$$\gamma_B(f) = \delta_B[\varepsilon_B(f)] \quad (6)$$

Definição 7 O fechamento⁴ ϕ de f por um elemento estruturante B , denotado $\phi_B(f)$, é a dilatação de f por B seguida de uma erosão pelo transposto de B (ibid.).

$$\phi_B(f) = \varepsilon_B[\delta_B(f)] \quad (7)$$

Segundo Soille (1998), uma transformação tendo as mesmas propriedades da abertura, mas que não pode ser escrita como uma única erosão, seguida pela dilatação com o elemento estruturante transposto, é chamada de abertura algébrica. Sua operação dual é o fechamento algébrico. Matheron (1975) mostrou que qualquer abertura algébrica pode ser definida como o supremo de uma família de aberturas.

Uma poderosa ferramenta para a filtragem de componentes conectados é uma abertura algébrica chamada abertura de área.

Definição 8 A abertura de área γ_λ é equivalente à união de todas as aberturas com o elemento estruturante conectado B_i cujo tamanho em número de *pixels* é igual a λ (SOILLE, 1998).

$$\gamma_\lambda = \bigvee_i \{ \gamma_{B_i} \mid B_i \text{ conectado e } Area(B_i) = \lambda \} \quad (8)$$

Definição 9 O fechamento de área ϕ_λ é equivalente à interseção de todos os fechamentos com o elemento estruturante conectado B_i cujo tamanho em número de *pixels* é igual a λ (ibid.).

⁴ As propriedades de abertura e fechamento podem ser encontradas em Banon e Barrera, 1998.

$$\phi_\lambda = \bigwedge_i \{\phi_{B_i} \mid B_i \text{ conectado e } Area(B_i) = \lambda\} \quad (9)$$

Em análise de imagens, é comum considerar que os objetos da imagem são regiões de níveis de cinza homogêneos. Daí, segue que as bordas dos objetos estão localizadas onde existem altas variações de níveis de cinza. Gradientes Morfológicos são operadores que realçam variações de intensidade de *pixel* em uma vizinhança determinada por um EE.

Definição 10 O gradiente morfológico básico ρ_B é definido como a diferença aritmética entre a dilatação e a erosão, por um elemento estruturante B

$$\rho_B(f) = \delta_B(f) - \varepsilon_B(f) \quad (10)$$

Em algumas aplicações, é de interesse a extração de *pixels* da imagem baseada não só na configuração da estrutura relevante, mas também na configuração dos *pixels* de fundo que formam a vizinhança da estrutura. São utilizados, então, dois EE: um para testar os *pixels* relevantes e outro para testar sua vizinhança. Esta é a ideia da transformação *hit-miss*.

Definição 11. A transformação *hit-miss* de um conjunto X por um EE composto $B = (B_1, B_2)$ é o conjunto de pontos x tais que, quando a origem de B coincide com x , B_1 está contido em X e B_2 está contido em X^c .

$$HMT_B(X) = \varepsilon_{B_1}(X) \cap \varepsilon_{B_2}(X^c) \quad (11)$$

Com base na transformação *hit-miss*, é possível definir o operador de afinamento:

Definição 12 O afinamento de um conjunto ou imagem binária X por um EE composto é a diferença entre X e a transformação *hit-miss* de X :

$$AFI_B(X) = X / HMT_B(X) \quad (12)$$

Os processos de afinamento fazem aparecer, nas imagens finais, as linhas genéricas procuradas para permitir uma futura pesquisa, mas também segmentos de tamanho reduzido aderidos às estruturas principais da imagem, que são o resultado do processo sobre extremidades da entidade. Quando essa entidade é relativamente espessa, é possível tirá-los com um processo de abertura. Caso contrário, é possível utilizar uma variante do afinamento, o *pruning*.

Definição 13 Um *pruning* paramétrico, de tamanho n , consiste em se iterar o processo de afinamento n vezes, utilizando um EE composto para a detecção de pontos finais:

$$PRU_B^n(X) = [AFI_B(X)]^n \quad (13)$$

Como exemplos, na detecção de pontos finais podem ser usados os EE B_1 e B_2 para testar, respectivamente, os *pixels* relevantes e de fundo:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Como área de estudo, foi utilizada uma imagem Ikonos, com resolução espacial de 4 metros, adquirida na faixa espectral do infravermelho próximo, apresentada na Figura 3.

Figura 3. Imagem Ikonos Tomada na Banda do Infravermelho Próximo.



As feições de interesse na Figura 3 são as pistas do aeroporto de São José dos Campos-SP. Uma abertura de área foi utilizada para eliminar faixas brancas visíveis nas pistas, as quais atrapalhariam a detecção das bordas. vO resultado é exibido na Figura 4.

Figura 4. Abertura de Área para Eliminação de Faixas Brancas nas Pistas.



O próximo passo foi produzir uma imagem de marcadores das pistas. A imagem da Figura 4 foi então binarizada com limiar 75, teve seus

valores de brilho invertidos e, em seguida, afinada até a convergência. Os resultados são exibidos, respectivamente, nas Figuras 5 e 6.

Figura 5. Binarização da Imagem Filtrada.

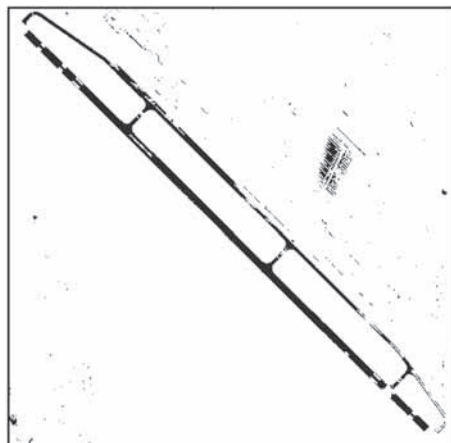
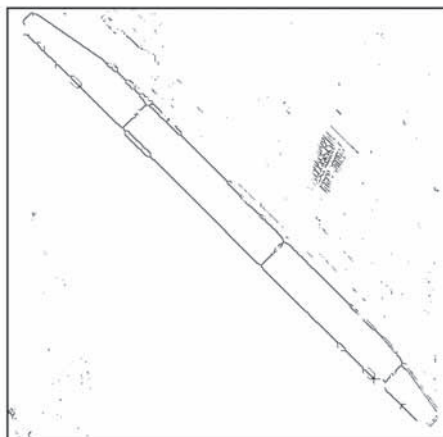
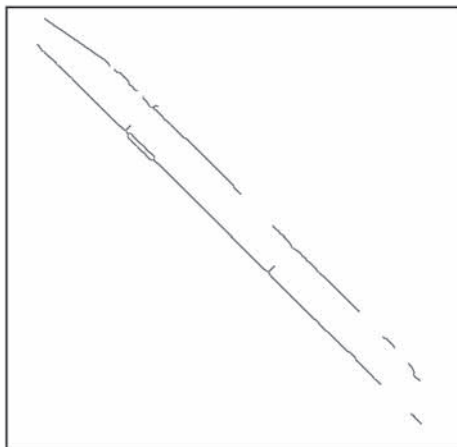


Figura 6. Afinamento da Imagem Binarizada até a Convergência.



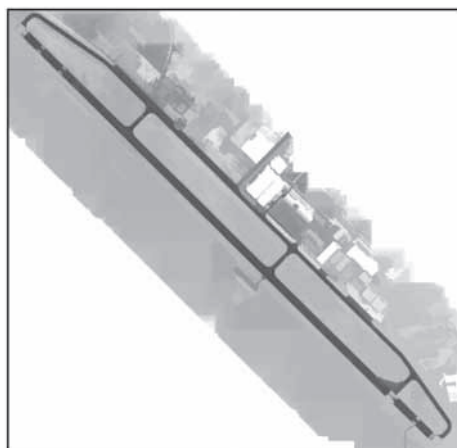
A imagem vista na Figura 6 ainda não apresenta conjuntos que sejam representativos apenas das pistas do aeroporto, portanto uma operação de *pruning*, iterada 10 vezes, foi adotada. O resultado pode ser visto na Figura 7.

Figura 7. Aplicação de *Pruning*.



Produzida a imagem de marcadores, a etapa seguinte foi reconstruir as pistas. Isso foi conseguido por meio de 70 dilatações da imagem mostrada na Figura 7, com o elemento cruz, condicionadas à imagem filtrada (Figura 4). A reconstrução morfológica obtida é mostrada na Figura 8

Figura 8. Reconstrução Morfológica das Pistas do Aeroporto.



Em seguida, a imagem mostrada na Figura 8 foi binarizada com o limiar 90 e submetida a um afinamento até a convergência, extraído-se os eixos

das pistas. Os resultados são vistos nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Figura 9. Binarização da Imagem Parcialmente Reconstruída.

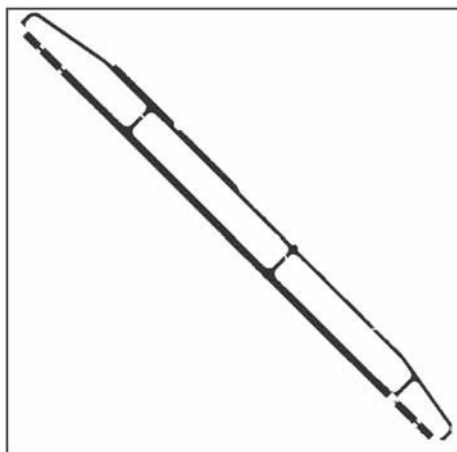
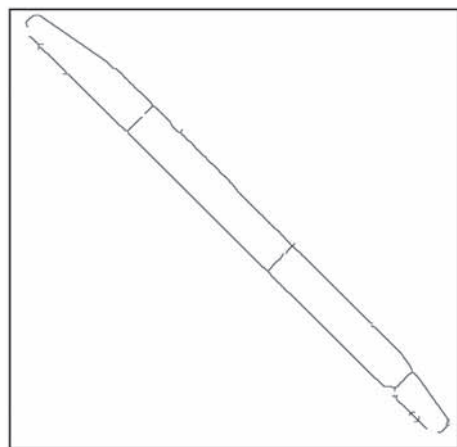
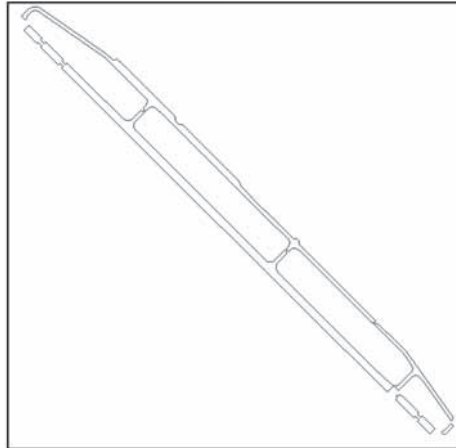


Figura 10. Detecção do Eixo das Pistas.



As bordas das pistas foram detectadas através da aplicação do gradiente morfológico. O resultado é mostrado na Figura 11.

Figura 10. Detecção das Bordas das Pistas Usando Gradiente Morfológico.



CONCLUSÃO

As respostas espectrais de alvos adjacentes, ainda que distintos, podem apresentar grande similaridade. Os valores de brilho registrados pelo sensor para alvos vizinhos, diferentes, podem ser muito próximos, iguais, ou mesmo uma fusão das respostas desses alvos. Mas esses fenômenos não são prerrogativa de alvos vizinhos. Feições diversas, que se encontram afastadas umas das outras, também podem apresentar níveis de cinza muito semelhantes ou iguais. Isso se torna um importante problema quando se planeja extrair-las baseando-se unicamente em atributos de brilho. É então razoável se pensar em, ao invés de se trabalhar com a imagem toda, buscar uma maneira de restringir os processamentos somente à área de interesse. Isto foi feito através da transformação de dilatação condicional para reconstrução de alvos. O método baseou-se na seguinte sequência de operações: obtenção de uma imagem de marcadores que representem adequadamente os alvos desejados, reconstrução morfológica controlada por meio de iterações somente destes alvos e aplicação de operadores para a extração de bordas e eixos das feições.

REFERÊNCIAS

- BANON, G. J. F.; BARRERA, J. *Bases da Morfologia Matemática para a análise de imagens binárias*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 1998.
- BARRERA, J. *Uma abordagem unificada para os problemas de Processamento Digital de Imagens* a Morfologia Matemática. São José dos Campos-SP. Dissertação (Mestrado), INPE.
- FACON, J. *Morfologia Matemática: teoria e exemplos*. Curitiba: Puc, 1996.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2000.
- HARALICK, R. M.; STERNBERG S. R.; ZHUANG, X. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Whashington-EUA, v. PAMI-9, n. 4, p. 532-555, jul. 1987.
- MATHERON, G. *Random sets and integral geometry*. New York-EUA: Wiley, 1975.
- SERRA, J. P. F. Introduction to mathematical morphology. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, San Diego-EUA, v. 35, n. 3, p. 283-305, 1986.
- SOILLE, P. *Morphological image analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 1998.