

e Shapiro (1992), Heijmans (1991), Sternberg (1986), Giardina e Dougherty (1988), Gader (1991), Lucke e Chakrabarti (1995) e Shih e Mitchell (1991).

9.6 Problemas

- Suponha que uma imagem esteja corrompida por ruído sal-e-pimenta, ou seja, apresente pontos isolados brancos e pretos aleatoriamente distribuídos na imagem. Mostre como o ruído pode ser eliminado por meio do uso de operações morfológicas.
- Verifique se são corretas as afirmações:
 - $(A \ominus B) \ominus C = A \ominus (B \ominus C)$
 - $(A \odot B) \odot B = A \odot B$
 - $\mathcal{D}(A, B) = \mathcal{D}(B, A)$, em que \mathcal{D} representa a operação de dilatação.
- Considerando uma imagem binária A e um elemento estruturante adequado B , descreva a função das duas operações morfológicas a seguir. Utilize uma imagem binária para exemplificar o uso dessas operações morfológicas.
 - $X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c$ $k = 1, 2, \dots$
 - $M = A - (A \ominus B)$

- Dada uma imagem binária, verifique que, em geral, as operações de dilatação e erosão não são funções *inversas*, ou seja

$$\mathcal{D}(\mathcal{E}(A, B), B) \neq \mathcal{E}(\mathcal{D}(A, B), B) \quad (9.52)$$

- Com base na figura 9.28, aplique a operação de dilatação na imagem A com o elemento estruturante B , cuja origem não está incluída no conjunto B .

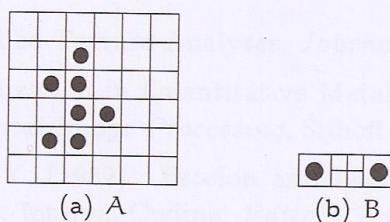


Figura 9.28: Dilatação. (a) imagem original; (b) elemento estruturante que não contém a origem.

- Prove que a abertura e o fechamento são duais com respeito à complementação e reflexão de conjuntos, ou seja

$$(A \bullet B)^c = A^c \odot \hat{B}$$

- Mostre o resultado da dilatação de um círculo de raio $2r$ por um elemento estruturante circular de raio $r/2$ com origem no centro do círculo.
- Mostre o resultado da erosão de um quadrado com lado r por um elemento estruturante circular de raio $r/4$ com origem no centro do círculo.

9. Encontre o resultado da aplicação das operações de dilatação e erosão para a imagem mostrada na figura 9.29 a partir do elemento estruturante B.

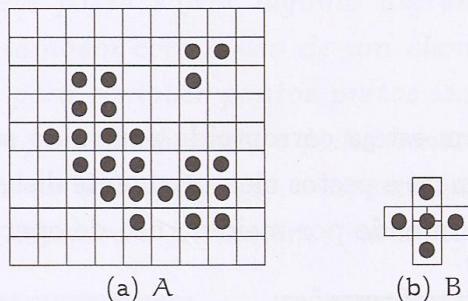


Figura 9.29: Dilatação e erosão. (a) imagem original; (b) elemento estruturante.

10. Encontre o resultado da aplicação das operações de abertura e fechamento para a imagem A mostrada na figura 9.30 a partir do elemento estruturante B.

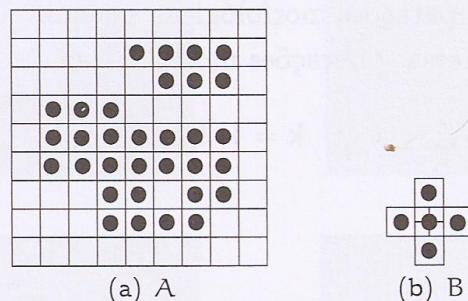


Figura 9.30: Abertura e fechamento. (a) imagem original; (b) elemento estruturante.

11. Descreva as operações de dilatação e erosão para imagens tons de cinza.

12. Mostre os resultados após a erosão da imagem A pelos elementos estruturantes B_1 a B_4 , conforme a figura 9.31. Os círculos nos elementos estruturantes representam a posição da origem.

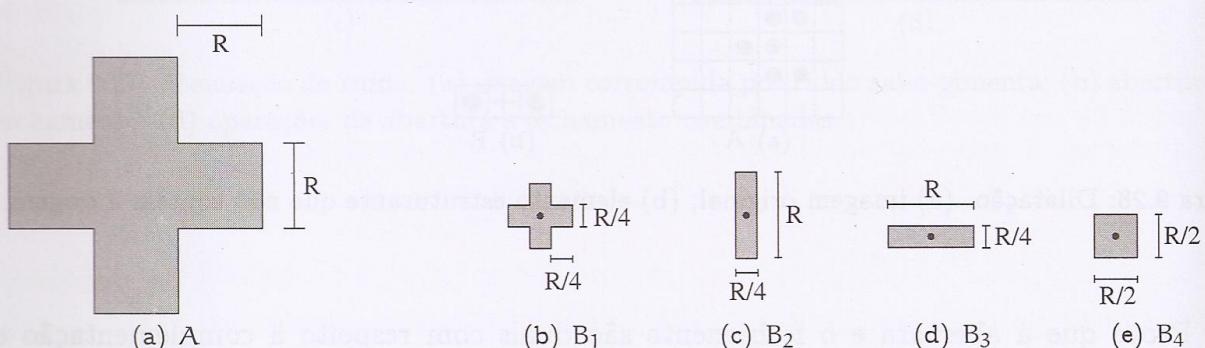


Figura 9.31: Erosão. (a) imagem original; (b)-(e) elementos estruturantes.

13. Mostre que as equações a seguir são válidas:

$$(a) (A \ominus B) \oplus C \subseteq (A \oplus C) \ominus B$$

$$(b) (A \cup B) \ominus C = (A \ominus C) \cup (B \ominus C)$$

14. Certos elementos estruturantes podem ser decompostos em subconjuntos equivalentes. Qual a principal vantagem em realizar essa decomposição?
15. Descreva três utilizações práticas da transformada acerto-ou-erro.

Referências Bibliográficas

- Cheng, F. e Venetsanopoulos, A. N. (1992). An Adaptive Morphological Filter for Image Processing, *IEEE Transactions on Image Processing* 1(4): 533–539.
- Dougherty, E. R. (1992). *An Introduction to Morphological Image Processing*, SPIE Press, Bellingham, WA, Estados Unidos.
- Gader, P. D. (1991). Separable Decompositions and Approximations of Greyscale Morphological Templates, *Computer Vision Graphics and Image Processing: Image Understanding* 53(3): 288–296.
- Giardina, C. R. e Dougherty, E. R. (1988). *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos.
- Goutsias, J., Vincent, L. e Bloomberg, D. S. (2000). *Mathematical Morphology and Its Applications to Image and Signal Processing*, Kluwer Academic Publishers.
- Haas, A., G. G. M. e Serra, J. (1967). Morphologie Mathématique et Granulométries en Place, *Annales des Mines* 11: 736–753.
- Hadwiger, H. (1957). *Vorlesungen Über Inhalt, Oberfläche und Isoperimetrie*, Springer-Verlag, Berlim, Alemanha.
- Haralick, R. M. e Shapiro, L. G. (1992). *Computer and Robot Vision*, Vol. 1, Addison-Wesley, Reading, MA, Estados Unidos.
- Haralick, R. M., Sternberg, S. R. e Zhuang, X. (1987). Image Analysis Using Mathematical Morphology, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 9(4): 532–550.
- Heijmans, H. J. A. M. (1991). Theoretical Aspects of Gray-Level Morphology, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13(6): 568–582.
- Heijmans, H. J. A. M. (1994). *Morphological Image Operators*, Academic Press, Nova York, NY, Estados Unidos.
- Klein, J. C. e Serra, J. (1972). The Texture Analyzer, *Journal of Microscopy* 95(2): 349–356.
- Lantuéjoul, C. (1980). Skeletonization in Quantitative Metallography, in R. M. Haralick e J. C. Simon (eds.), *Issues of Digital Image Processing*, Sijhoff and Noordhoff, Groningen, Holanda.
- Liang, J., Piper, J. e Tang, J.-Y. (1989). Erosion and Dilation of Binary Images by Arbitrary Structuring Elements Using Interval Coding, *Pattern Recognition Letters* 9(3): 201–209.
- Lucke, L. e Chakrabarti, C. (1995). A Digit-Serial Architecture For Gray-Scale Morphological Filtering, *IEEE Transactions on Image Processing* 4(3): 387–391.
- Maragos, P. (1996). Differential Morphology and Image-Processing, *IEEE Transactions on Image Processing* 5(6): 922–937.
- Maragos, P. A. e Schafer, R. W. (1986). Morphological Skeleton Representation and Coding of Binary Images, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing* 34(5): 1228–1244.
- Matheron, G. (1967). *Eléments pour une théorie des milieux poreux*, Masson, Paris, França.
- Matheron, G. (1975). *Random Sets and Integral Geometry*, Wiley, Nova York, NY, Estados Unidos.
- Minkowski, H. (1911). *Gesammelte Abhandlungen*, Teubner Verlag, Leipzig-Berlim, Alemanha.
- Serra, J. (1967a). *Echantillonage et Estimation des Phénomènes de Transition Minier*, PhD thesis, University of Nancy.