

Capítulo 5

Conclusão

Os trabalhos de Mitchell e colaboradores [SM92, HM94] nos inspiraram a estudar e classificar algoritmos clássicos da transformada de distância (TD) com o enfoque de erosões morfológicas nos padrões paralelo, seqüencial e por propagação.

Como resultado destes estudos, foram apresentadas equivalências restritas entre os padrões paralelos e seqüenciais, sendo divididos em dois casos: no primeiro, se as somas de Minkowski de decomposições *raster* e *anti-raster* de funções estruturantes são estáveis em uma janela finita, então existe a equivalência entre a erosão paralela, pela união das somas de Minkowski das decomposições *raster* e *anti-raster*, e a intersecção das erosões seqüenciais pelas decomposições *raster* e *anti-raster*; no segundo caso, existe a equivalência quando uma seqüência de somas de Minkowski de funções estruturantes se estabilizam em uma janela finita, quando isto ocorre é possível obter a equivalência entre uma erosão paralela pela função estruturante resultante desta soma e a composição de duas erosões seqüenciais, uma *raster* e outra *anti-raster*. Neste segundo caso também é possível calcular a TD usando estas erosões seqüencias, porém não são aplicáveis para a métrica euclidiana. Para o padrão por propagação foi observado que, quando uma função estruturante é decomposta por uma seqüência não crescente de funções es-

truturantes, é possível obter a equivalência entre os padrões paralelo e por propagação. Todo esse estudo de equivalência foi útil para melhorar a eficiência da TD.

Na classificação da TD, foi apresentada uma nova formulação para a TD seqüencial e para a TD por propagação. Na TD por propagação também foi possível calcular a métrica euclidiana (TDE). Com esta classificação foi possível reescrever algoritmos clássicos da TD através de erosões morfológicas, destacando a reescrita do algoritmo do Vincent [Vin92].

Como resultados adicionais, dois novos algoritmos foram apresentados: TD por propagação direcional e TDE multidimensional. O primeiro algoritmo também encontra a TDE, quando é usado a decomposição de função estruturante definida por Huang e Mitchell [HM94]. O segundo algoritmo é baseado em erosões morfológicas por uma família de decomposições de funções estruturantes direcionais de tamanho 2. A decomposição unidimensional de função estruturante permite independência de linhas e colunas fazendo o algoritmo muito satisfatório para processamento paralelo e facilmente extensível para dimensões mais altas. O algoritmo de erosão por propagação usa uma fila de propagação de tamanho fixo permitindo implementações simples e eficientes. Como o algoritmo trabalha por erosão morfológica, apenas comparações e adições são usadas.

Foi confirmado que a *morfologia matemática* é muito satisfatória para a compreensão e projeto de algoritmos eficientes para a TD. Os algoritmos apresentados neste trabalho são os mais simples para a TD disponíveis na literatura, tanto para codificação quanto para compreensão. O algoritmo da TDE multidimensional apresentou desempenho de cerca de 9 acessos por pixel envolvendo somente adições, sendo um dos mais rápidos algoritmos da TDE conhecido na literatura.

Trabalhos futuros

Como sugestões para pesquisas futuras, seria interessante estudar a relação entre k e as dimensões e níveis de cinza de uma imagem $f \in [0, k]^{\mathbb{E}}$ e uma função estruturante b para determinar a equivalência restrita entre os padrões paralelos e seqüenciais da erosão e não simplesmente assumir k suficientemente grande ou tendendo para o infinito.

Um trabalho interessante que estuda as condições para que dilatações e erosões em espaço-escala morfológico sejam idempotentes foi realizado por Leite e Teixeira [LT00]. Neste trabalho também existe um resultado para determinar o número de iterações necessárias, entre escalas, para que a idempotência seja calculada. Este resultado seria o ponto de partida para determinar a relação entre k e as dimensões e níveis de cinza de f e b na equivalência restrita entre os padrões paralelos e seqüenciais da erosão.

Também como sugestões para trabalhos futuros, seria interessante implementar os resultados de Vliet e Verwer [VV88] de operadores por propagação para imagens em níveis de cinza, incluindo o trabalho da dilatação por propagação definida por Barrera e Hirata [BHJ97] e os resultados de dilatações e erosões em espaço-escala morfológico realizados por Leite e Teixeira [LT00], tudo isso para o espaço multidimensional. Como resultado deste estudo, seria possível implementar vários operadores existentes em morfologia matemática nos padrões paralelo, seqüencial e por propagação definidos nesta tese.

Referências Bibliográficas

[BHJ97] J. Barrera e R. Hirata Jr. Fast algorithms to compute the elementary operators of mathematical morphology. No *Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, páginas 163–170, São Paulo, Brasil, Outubro 1997.

[HM94] C.T. Huang e O.R. Mitchell. A Euclidean distance transform us-

ing grayscale morphology decomposition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16:443–448, 1994.

- [LT00] N.J. Leite e M.D. Teixeira. An idempotent scale-space approach for morphological segmentation. No *Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing*, volume 18, páginas 341–350, Palo Alto, USA, Junho 2000.
- [SM92] F.Y.-C. Shih e O.R. Mitchell. A mathematical morphology approach to Euclidean distance transformation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1:197–204, 1992.
- [Vin92] L. Vincent. Morphological algorithms. No E. R. Dougherty, editor, *Mathematical Morphology in Image Processing*, capítulo 8, páginas 255–288. Marcel Dekker, New York, 1992.
- [VV88] L.J. van Vliet e B.J.H. Verwer. A contour processing method for fast binary neighbourhood operations. *Pattern Recognition Letters*, 7(1):27–36, 1988.