

Uma abordagem multi-escala para realce de imagens

Anderson de Rezende Rocha
Leyza Baldo Dorini
Prof. Neucimar Jerônimo Leite

¹Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Instituto de Computação
Caixa Postal 6176 – CEP 13084-971, Campinas, SP
(anderson.rocha, neucimar)@ic.unicamp.br
leyzad@yahoo.com.br

Resumo. Neste trabalho abordamos o problema do realce de imagens através de sua representação no espaço multi-escala. É mostrada uma comparação entre elementos estruturantes não planares e seu comportamento em relação aos elementos estruturantes planares quando utilizados no realce de imagens.

1. Introdução

As operações de realce não linear em uma imagem digital foi inicialmente proposta por Kramer. Esta transformação substitui o valor em um *pixel* pelo máximo ou mínimo entre seus vizinhos. A escolha depende do valor que estiver mais próximo do valor atual do *pixel*.

As vantagens de transformações não lineares para realce de imagens em tons de cinza são muitas. A transformação é rápida, computacionalmente eficiente e fácil de implementar (operadores de máximos e mínimos). Além disso, esta transformação reduz o número de níveis de cinza presentes na imagem eliminando os menos comuns. Com isso, estas transformações podem, por exemplo, serem utilizadas em um processo de binarização ou simplificação de imagens complexas.

Neste trabalho, nós apresentamos uma comparação entre vários elementos estruturantes para realce de imagens. A abordagem multi-escala é feita com elementos estruturantes côncavos tais como parábolas e cones. A abordagem planar é feita com elementos estruturantes cilíndricos ou mesmo totalmente planares (*flats*). A metodologia utilizada inclui comparação de erros médios quadráticos e análise qualitativa. As análises e conclusões relativas aos erros médios quadráticos são apresentadas em anexo. No corpo do texto foi feita apenas uma análise qualitativa. Além disso, como curiosidade, aplicamos os operadores multi-escala como filtro alternado sequencial para aberturas e fechamentos onde cada passo utiliza uma escala diferente.

A abordagem implementada e analisada foi baseada nos artigos *An idempotent scale-space approach for morphological segmentation*¹ e *Image sharpening by morphological filtering*².

2. Elementos estruturantes

No restante deste trabalho estaremos focados nos elementos estruturantes definidos nesta seção. Cada elemento possui uma *escala* que define a sua altura.

2.1. Elemento estruturante parabolóide

O elemento estruturante *parabolóide* definido em uma janela 3×3 é apresentado na tabela 1 e na 1. onde σ denota a escala sendo utilizada.

¹Neucimar J. Leite e Marta D. Teixeira, *Mathematical Morphology and its applications to image and signal processing*, Kluwer Academic Publishers, 2000

²J.G.M. Schavemaker, M.J.T. Reinders, J.J. Gerbrands e E. Backer, *Pattern Recognition*, Elsevier

$-2/\sigma$	$-1/\sigma$	$-2/\sigma$
$-1/\sigma$	0	$-1/\sigma$
$-2/\sigma$	$-1/\sigma$	$-2/\sigma$

Tabela 1: Elemento estruturante parabolóide

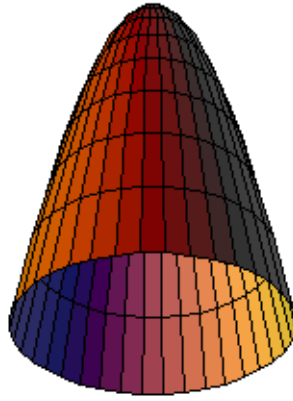


Figura 1: Elemento estruturante parabolóide

$-1/\sigma$	$-1/\sigma$	$-1/\sigma$
$-1/\sigma$	0	$-1/\sigma$
$-1/\sigma$	$-1/\sigma$	$-1/\sigma$

Tabela 2: Elemento estruturante cônico

2.2. Elemento estruturante cônico

O elemento estruturante *cônico* definido em uma janela 3×3 é apresentado na tabela 2 e na 2, onde σ denota a escala sendo utilizada.

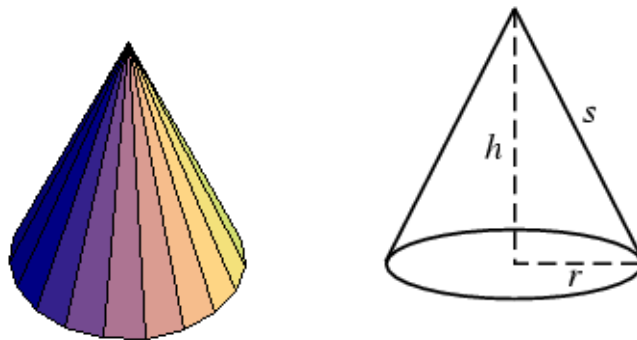


Figura 2: Elemento estruturante parabolóide

2.3. Elemento estruturante planar ou cilíndrico

O elemento estruturante *cilíndrico* definido em uma janela 3×3 é apresentado na tabela 3 e na 3, onde σ denota a escala sendo utilizada. Quando σ é zero temos o elemento estruturante planar convencional. Quando $\sigma = 5$ temos um cilindro de altura 5.

3. Morfologia para sinais discretos limitados

Quando tratamos de imagens discretas no mundo real, nós podemos ter entradas e saídas com domínios limitados por um tamanho. Para isso, nós precisamos introduzir o conceito de operações morfológicas limitadas. Neste caso, o sinal digital tem um domínio limite $\{0, 1, 2, \dots, n\}$ e é restrito a um valor inteiro nos limites k_1 e k_2 . Em implementações práticas, estes limites do tipo de dados do *pixel*. Para imagens de 8 bits sem sinal o intervalo é $0 - 255$, para imagens de 16 bits o intervalo é de $0 - 65535$.

O conceito de transformações morfológicas limitadas é muito importante no espaço multi-escala. Em grande parte das aplicações, após uma transformação o resultado de um *pixel* ultrapassa o domínio

σ	σ	σ
σ	σ	σ
σ	σ	σ

Tabela 3: Elemento estruturante cilíndrico

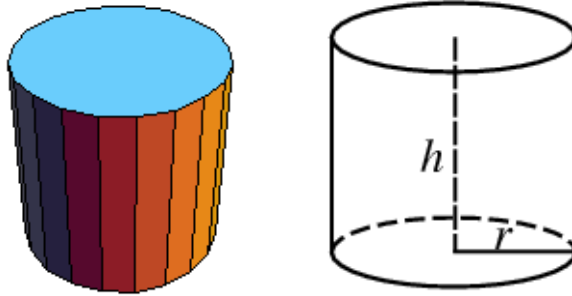


Figura 3: Elemento estruturante cilíndrico

da imagem. Neste caso, não basta simplesmente setar o *pixel* como máximo (mínimo) valor do domínio. Precisamos de uma metodologia para mapearmos o *pixel* fora do intervalo novamente para seu domínio válido.

Neste trabalho, utilizamos o conceito de dilatação e erosão no espaço multi-escala com domínio limitado.

3.1. Erosão

A **erosão multi-escala limitada** por um sinal f e um elemento estruturante multi-escala h é definido pela equação 1.

$$(f \ominus h)(x) = \min\{f(z) - h_x(z) : z \in D[h_x] \cap D[f]\} \quad (1)$$

Há três diferenças entre esta definição de erosão e a definição clássica: (i) para cada ponto x , z é escaneado no domínio do elemento estruturante transladado, mas restrito ao domínio de f ; (ii) o elemento estruturante transladado h_x pode ser planar ou multi-escala; (iii) a operação de subtração é definida pela equação 2.

$$t - v = \begin{cases} k_1 & \text{se } t < k_2 \text{ e } t - v \leq k_1, \\ t - v & \text{se } t < k_2 \text{ e } k_1 \leq t - v \leq k_2, \\ k_2 & \text{se } t < k_2 \text{ e } t - v > k_2, \\ k_2 & \text{se } t = k_2. \end{cases} \quad (2)$$

Os valores k_1 e k_2 representam os respectivos limites inferior e superior do domínio.

3.2. Dilatação

A **dilatação multi-escala limitada** por um sinal f e um elemento estruturante multi-escala h é definida pela equação 3.

$$(f \oplus h)(x) = \max\{f(z) + h_x(z) : z \in D[h_x] \cap D[f]\} \quad (3)$$

A operação de adição é definida pela equação 4.

$$t + v = \begin{cases} k_1 & \text{se } t = k_1, \\ k_1 & \text{se } t > k_1 \text{ e } t + v \leq k_1, \\ t + v & \text{se } t > k_1 \text{ e } k_1 \leq t + v \leq k_2, \\ k_2 & \text{se } t > k_1 \text{ e } t + v \geq k_2. \end{cases} \quad (4)$$

A grande vantagem das operação com domínio limitado é que estas não geram *overflow*, isto é, as imagens de entrada e saída pertencem ao mesmo domínio independente do elemento estruturante utilizado na operação morfológica.

4. Operador de realce

O operador de realce de imagens (ϵ) é definido em termos da dilatação e erosão morfológicas. A definição apresentada na equação 5 é uma extensão da definição inicial de Kramer.

$$\epsilon[f](x, \rho) = \begin{cases} F^\oplus(x, \rho) & \text{se } F^\oplus(x, \rho) - F(x, 0) < F(x, 0) - F^\ominus(x, \rho) \\ F^\ominus(x, \rho) & \text{se } F^\oplus(x, \rho) - F(x, 0) > F(x, 0) - F^\ominus(x, \rho) \\ F(x, 0) & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (5)$$

onde ρ denota a escala do elemento estruturante sendo utilizado. Este operador de realce é parametrizado pelo elemento estruturante $g^p(x)$. Caso estejamos lidando com um elemento estruturante planar, temos a definição inicial proposta por Kramer.

É importante observar que a equação 5 define apenas uma passagem pela imagem. No entanto, o foco deste trabalho é sobre o comportamento desta função em aplicações iterativas procurando atingir a idempotência.

5. Implementação realizada

Para implementar o operador de realce iterativo foram utilizadas duas abordagens.

- **Abordagem 1:** a cada passada na imagem é feita uma dilatação e uma erosão. As imagens resultantes da dilatação e da erosão são comparadas ponto a ponto com a imagem original e o ponto mais próximo do ponto atual é selecionado. A imagem resultante é então passada como entrada para a próxima passagem do operador de realce sendo então a nova imagem original. Este procedimento é repetido até que nenhum ponto seja alterado (idempotência).
- **Abordagem 2:** a cada passada na imagem é feita a sua dilatação e sua erosão até a idempotência. As imagens resultantes da dilatação e da erosão são comparadas ponto a ponto com a imagem original e o ponto mais próximo do ponto atual é selecionado. Em resumo, o operador de realce em si é aplicado apenas uma vez.

As duas abordagens apresentaram resultados muito semelhantes. No entanto, a **Abordagem 2** atinge a idempotência mais rapidamente.

6. Resultados

Esta seção apresenta uma análise qualitativa dos resultados obtidos. Várias imagens são apresentadas. Em algumas imagens foi aplicado níveis diferentes de *blur* para medir quão bom foi o operador implementado.

6.1. Quadro de Candinsky

A Figura 4 apresenta um quadro de Candinsky. O operador de realce comportou-se muito bem neste caso. O melhor resultado foi obtido com 15 iterações.

- Blur = 10
- B = Parabolóide
- Escala = 0.25
- Iterações = 15



Figura 4: Quadro de Candinsky, *Blur* = 10



Figura 5: Quadro de Candinsky, *Blur* = 10

Note como o contorno foi realçado. Devido às propriedades de idempotência do espaço multi-escala a cada iteração realizada os mínimos vão sendo unidos e, uma vez que desaparecem, não são aparecem novamente.



Figura 6: Quadro de Candinsky, contorno da imagem *blurred*



Figura 7: Quadro de Candinsky, resultado do operador de realce

6.2. Quadro de Caspar Davi Friderich

A Figura 9 apresenta um quadro de Caspar Davi Friderich.

- Blur = 5
- B = Parabolóide
- Escala = 0.125
- Iterações = 15



Figura 8: Quadro de Candinsky, contorno da imagem realçada



Figura 9: Quadro de Caspar Davi Friderich, *Blur* = 5



Figura 10: Quadro de Caspar Davi Friderich, *Blur = 5*



Figura 11: Quadro de Caspar Davi Friderich, contorno da imagem *blurred*



Figura 12: Quadro de Caspar Davi Friderich, resultado do operador de realce



Figura 13: Quadro de Caspar Davi Friderich, contorno da imagem realçada

7. Conclusões

Após os testes realizados podemos concluir que a aplicação de elementos estruturantes não planares para realce de imagens produz muito bons resultados. Quando aplicados até a idempotência, notamos que os mínimos de uma imagem que desaparecem em uma iteração não mais aparecem nas iterações subsequentes. A imagem final tende a ser simplificada pois há uma redução no número de níveis de cinza.

Quando comparada à operação com elementos estruturantes planares proposta inicialmente por Kramer, notamos que a idempotência é atingida com um número de menor passos. A operação com elementos estruturantes não planares tendem a realçar o contorno das imagens não destruindo muito a mesma. Um realce com elemento planar tende a binarizar a imagem quando aplicado até a idempotência podendo então ser utilizado em um processo de estudos de limiarização.

Quanto maior a escala sendo utilizada, mais rápido é atingido a idempotência. Quando elementos estruturantes cilíndricos são utilizados o processo de binarização ocorre mais rapidamente. No entanto, a destruição da imagem é maior.

A idéia de utilizar os filtros alternados sequenciais (Seção ??) com escalas crescentes produz alguns resultados artísticos que acreditamos não ter muita utilidade na prática.

É importante ressaltar que essas conclusões são extremamente relacionadas aos testes realizados.