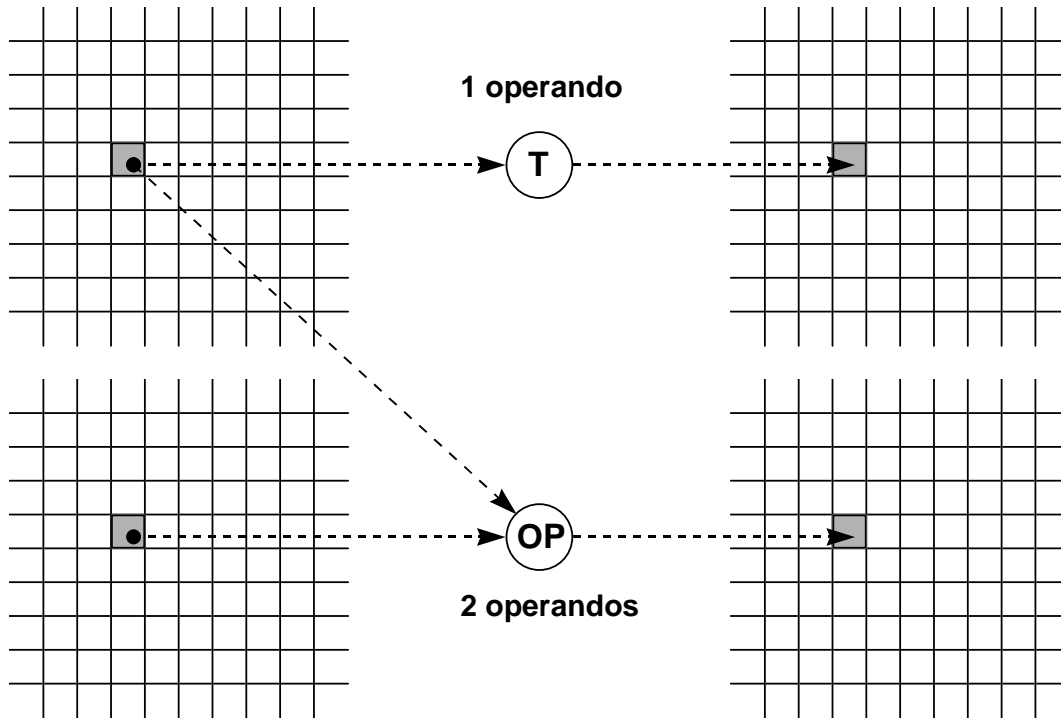


Operações Pontuais



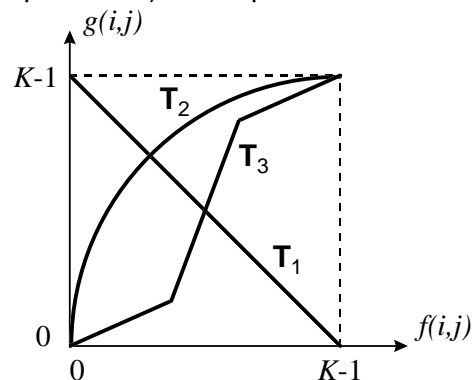
Operações Pontuais

Nas operações pontuais, cada ponto da imagem-resultado - $g(i,j)$ - é obtido por

- uma transformação **T** do ponto de coordenadas homólogas da imagem-operando - $f(i,j)$ ou por
- uma operação **OP** entre os pontos de coordenadas homólogas das imagens-operando - $f_1(i,j)$ e $f_2(i,j)$

A transformação **T** deve ser uma função unívoca com um domínio que é a gama de valores permitidos para a imagem original; essa transformação pode ser realizada por meio de tabelas de transformação (LUT's - "Look-Up Tables") e interpretada com o auxílio de um diagrama como o figurado.

A operação **OP** pode ser uma qualquer operação (aritmética, lógica, de comparação, ...) admitida pela natureza dos valores dos pontos das imagens.

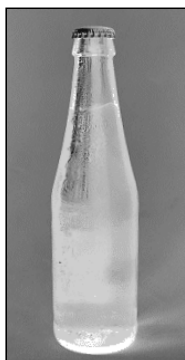


Operações Pontuais

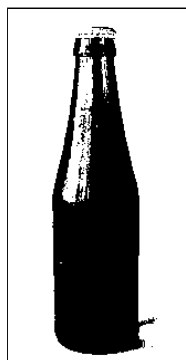
Exemplos de transformações - 1 operando



original



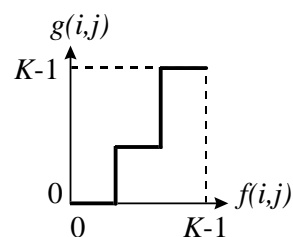
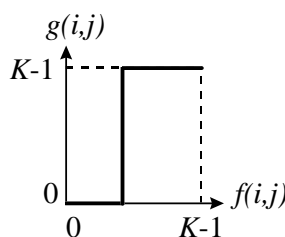
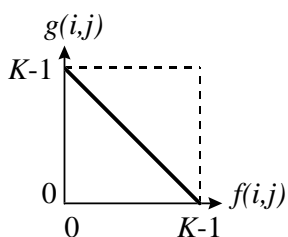
negativo



"threshold"

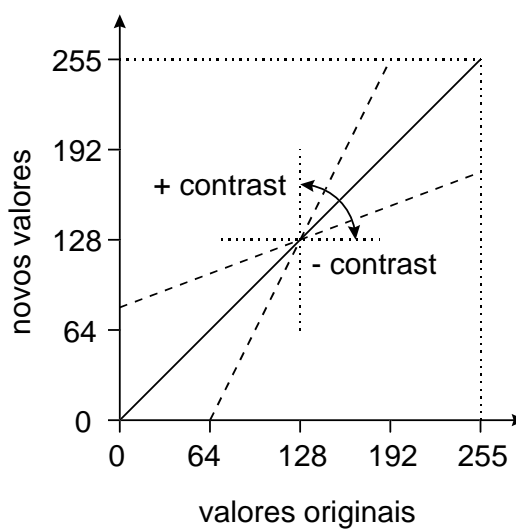
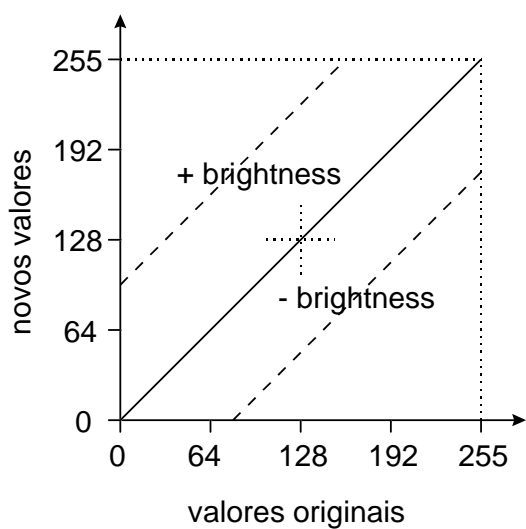


"threshold" binível



Operações Pontuais

Manipulação de brilho ("brightness") e de contraste ("contrast")



Operações Pontuais

Exemplo (manipulação de brilho e de contraste)



original



+20% brightness



+50% contrast

Operações Pontuais

Equalização de histograma

Uma consequência da realização de operações pontuais (com 1 imagem operando) é a modificação do histograma (diagrama que representa a frequência de ocorrência dos brilhos) da imagem.

Por vezes, pretende-se impôr uma determinada forma ao histograma da imagem processada; nesse caso, a transformação pontual a realizar é determinada a partir do conhecimento dos histogramas inicial (imagem original) e final (imagem processada).

No caso, de uso muito frequente, da equalização de histograma, pretende-se que o histograma final seja constante; a correspondente função de transformação é proporcional ao histograma cumulativo da imagem original.

Deve notar-se que a operação de equalização de histograma só conduziria a histogramas efectivamente constantes se a gama de brilhos fosse contínua e fosse infinito o número de pontos na imagem; no caso das imagens digitais, a discretização do espaço e dos brilhos não permite que esse resultado seja conseguido; apesar disso, essa operação é muito usada com o objectivo de efectuar uma normalização da escala de brilhos.

Operações Pontuais

Equalização de histograma (exemplo)



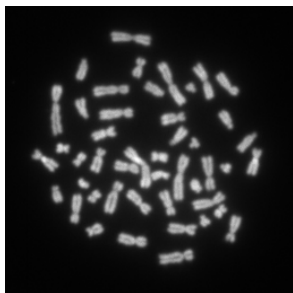
imagem original



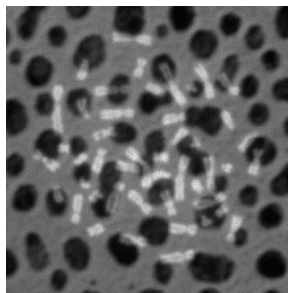
imagem equalizada

Operações Pontuais

Com 2 imagens-operando de 8 bits por ponto (exemplos)

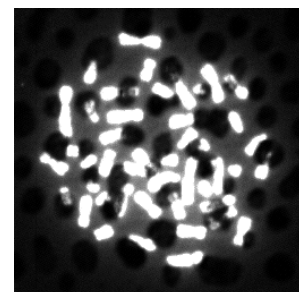
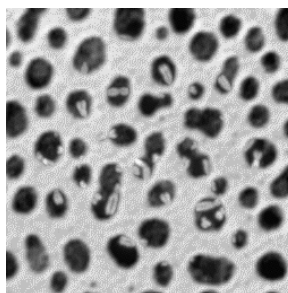
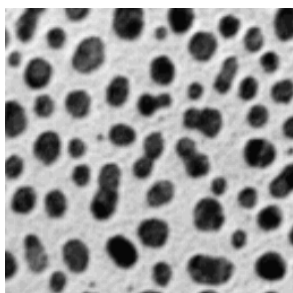


OP1



OP2

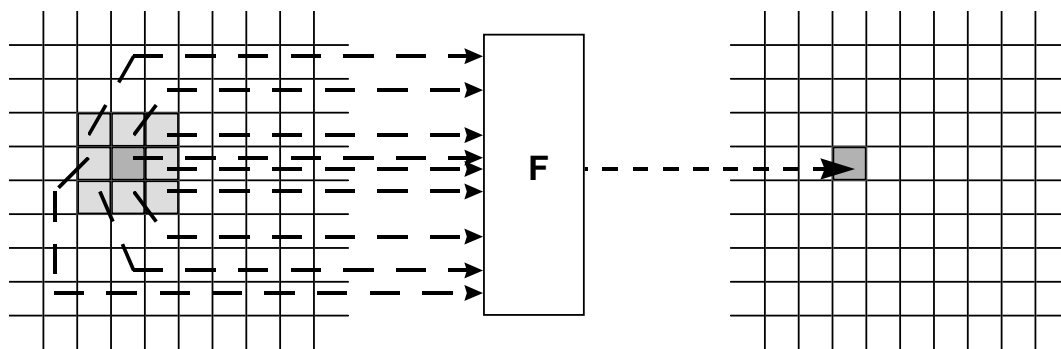
$(OP1 + OP2) / 2$



$(OP1 \times OP2) / 255$

Max (OP1 , OP2)

Operações Locais



Nas operações locais, cada ponto da imagem-resultado é obtido pela aplicação de uma função de transformação **F** que usa como argumentos o ponto homólogo da imagem original e um conjunto de pontos vizinhos desse.

Frequentemente a vizinhança considerada consiste numa “**janela**” de dimensão **KxK**. Na ilustração acima figurada, usa-se uma janela **3x3** centrada no ponto com coordenadas idênticas às do ponto-resultado.

A função **F** pode ser a combinação linear dos valores dos pontos “vistos” através da janela (caso em que a operação se designa por **convolução**), mas também pode ser uma certa função lógica ou não-linear dos mesmos valores.

Operações Locais

No caso da **convolução** os coeficientes (ou pesos) da combinação linear dos pontos são escolhidos de modo a que a operação local correspondente tenha o efeito pretendido.

Cada ponto-resultado - $g(i,j)$ - será obtido por meio de $g(i,j) = \sum_k w_k \cdot f_k(i,j)$ em que cada $f_k(i,j)$ corresponde ao ponto da imagem com posição idêntica, na janela, ao coeficiente com o mesmo índice, como na figura seguinte (para o caso 3x3).

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

$$g(i,j) = w_1 f(i-1,j-1) + w_2 f(i,j-1) + w_3 f(i+1,j-1) + w_4 f(i-1,j) + w_5 f(i,j) + w_6 f(i+1,j) + w_7 f(i-1,j+1) + w_8 f(i,j+1) + w_9 f(i+1,j+1)$$

Por exemplo, para suavizar (“smoothing”) uma imagem (isto é, para atenuar as variações bruscas de brilho) podem usar-se janelas de coeficientes como as seguintes (no caso 3x3):

1	1	1
1	1	1
1	1	1

filtro de média

1	1	1
1	0	1
1	1	1

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Operações Locais

Por outro lado, para salientar as variações bruscas de brilho podem usar-se, por exemplo, coeficientes como os dos filtros laplacianos:

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

-1	2	-1
2	-4	2
-1	2	-1

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

No caso de **operações locais não-lineares**, ainda para janelas 3x3, podem, por exemplo, considerar-se as operações realizadas pelos filtros de:

- mínimo (“erode”) $g(i, j) = \min\{f_k(i, j)\}$
- máximo (“dilata”) $g(i, j) = \max\{f_k(i, j)\}$
- mediana $g(i, j) = \text{mediana}\{f_k(i, j)\}$

Operações Locais

No caso das **operações locais lógicas**, geralmente consideram-se aplicáveis a imagens binárias (cada ponto tem apenas o valor lógico 0 ou 1); a operação lógica é definida por uma tabela com saída em regra binária (mas pode não o ser) e entrada constituída pela palavra binária formada pela concatenação dos valores na janela (segundo uma ordem estabelecida).

Por exemplo, numa imagem binária constituída por objectos sólidos (de valor 1) sobre um fundo (“background”) de valor 0, a detecção dos pontos do bordo do objecto (aqueles que contactam com o fundo) pode ser efectuada, para uma ordenação dos bits como a seguinte

1°	2°	3°
4°	5°	6°
7°	8°	9°

por meio de uma tabela que realize a operação:

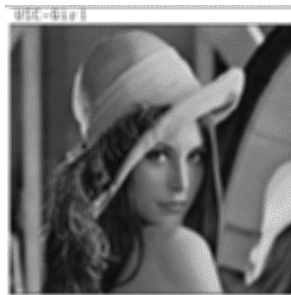
$$g(i, j) = ([f_5(i, j) = 1] \text{ AND } [\text{AND}\{f_k(i, j)\} = 0])$$

Operações Locais

Exemplos



original



"smooth" 5 x 5



"dilate" 3 x 3



"laplacian" 3 x 3 (1,-8,1)



"erode" 3 x 3

Operações Locais

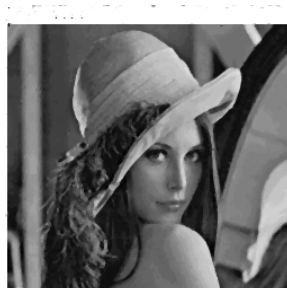
Exemplos



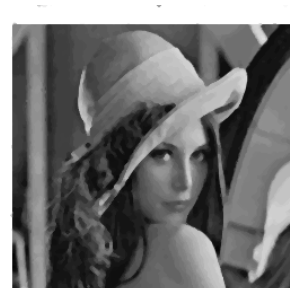
original
(10% ruído impulsivo)



média 3 x 3



mediana 3 x 3



3 x (mediana 3 x 3)

Operações Locais

Exemplos



original



resultado de operação
local lógica para detecção
dos bordos dos objectos

Operações Globais

Nas operações globais, cada ponto da imagem-resultado depende dos valores de todos os restantes pontos da imagem.

As transformadas bidimensionais referidas a propósito da compressão de imagem por transformadas são um bom exemplo de operações globais.

A determinação do histograma de uma imagem, embora neste caso o resultado não seja uma imagem, também é exemplo de uma operação global.

As transformações geométricas de imagem, ao menos quando definidas por meio da fixação de um certo número de pares de pontos correspondentes, são também operações de tipo global.

Realce de Imagem

As operações pontuais, locais e globais antes referidas, podem ser usadas com o objectivo de melhorar, segundo algum critério, a aparência das imagens; nesse caso, dizem-se operações de **realce de imagem** ("image enhancement").

- A modificação de histograma, realizada por operações pontuais, permite melhorar certas características da imagem, nomeadamente fazendo a acentuação de contraste; é o caso da transformação T_3 na figura da página 2, ou ainda o caso da equalização de histograma.
- Para efeito de redução de ruído podem usar-se diversas operações como, por exemplo
 - média de várias capturas da mesma imagem, realizada por uma sequência de operações pontuais com 2 imagens-operando
 - filtros de média, realizados com operações locais do tipo convolução
 - filtros de mediana, de moda, ou minmax, realizadas por operações locais não-lineares
 - filtragem passa-baixo, realizada por operações globais e pontuais (transformada de Fourier, seguida de operação lógica pontual com uma máscara binária, seguida de transformada inversa de Fourier)

Realce de Imagem

- aplicação de um algoritmo "out-range" (filtro de média aplicado apenas se a diferença entre o ponto central e a média da janela exceder um certo valor limiar)
- filtro de média ao longo de orlas (filtro de média de todos os pontos da janela, se não existir orla; filtro de média dos pontos da janela situados sobre a orla, se esta existir) [Obs.: a noção de orla é definida já a seguir]
- Para efeitos de realce de orlas ("edge enhancement"), isto é, para salientar os pontos da imagem que se situam em zonas de variação de brilho muito intensa, podem usar-se muitos métodos, nomeadamente
 - deslocação da imagem de 1 ponto (em diagonal, por exemplo) seguida da sua subtracção à imagem original (transformação geométrica seguida de operação pontual aritmética)
 - determinação do gradiente digital, definido como uma combinação das diferenças de 1ª ordem nas direcções horizontal e vertical, formando-se duas imagens - a de amplitude do gradiente e a de orientação do gradiente:

$$g(i, j) = \sqrt{[f(i, j) - f(i-1, j)]^2 + [f(i, j) - f(i, j-1)]^2}$$

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{[f(i, j) - f(i, j-1)]}{[f(i, j) - f(i-1, j)]}\right)$$

Realce de Imagem

- subtração à imagem original do seu laplaciano, já definido, o que equivale a aplicar um dos operadores locais seguintes:

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

1	-2	1
-2	5	-2
1	-2	1

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

- aplicação de um operador de “unsharp masking”, constituído por uma sequência de duas operações; na primeira, obtém-se uma versão suavizada da imagem (por meio de filtros de média ou de filtragem de Fourier); na segunda, realiza-se uma operação pontual de combinação entre a imagem original e a que resulta da primeira operação:

$$f(i, j) \rightarrow f_L(i, j)$$

$$g(i, j) = c \cdot f(i, j) - (1 - c) \cdot f_L(i, j), \quad c \in [0.6; 0.85]$$

Realce de Imagem

- aplicação de um operador de diferenciação estatística (operador de Wallis)

$$g(i, j) = (f(i, j) - f_L(i, j)) \cdot \frac{A \cdot \sigma_D}{A \cdot \sigma(i, j) + \sigma_D} + (\alpha \cdot \mu_D + (1 - \alpha) \cdot f_L(i, j))$$

em que μ_D e σ_D são a média e o desvio padrão desejados, A e α são constantes de controlo, e $\sigma(i, j)$ e $f_L(i, j)$ são, respectivamente, o desvio padrão local e a versão suavizada da imagem (como no caso precedente)

- aplicação de um operador de “coefficient rooting” (cálculo da transformada de Fourier, alteração dessa transformada, e transformada de Fourier inversa do resultado obtido)

$$f(i, j) \xrightarrow{\mathcal{F}} F(m, n)$$

$$\bar{F}(m, n) = \frac{F(m, n)}{|F(m, n)|} \cdot |F(m, n)|^\alpha, \quad \alpha \in [0; 1]$$

$$g(i, j) \xleftarrow{\mathcal{F}^{-1}} \bar{F}(m, n)$$

Realce de Imagem

- Para efeitos de realce de linhas pode-se somar à imagem original os resultados de um conjunto de operadores (cada um para uma dada direcção espacial) de detecção de linhas; entende-se por linha uma série de pontos contíguos que são consistentemente bastante mais claros ou bastante mais escuros do que os restantes pontos vizinhos.
 - no caso de linhas delgadas (isto é, de espessura próxima de 1 ponto de imagem) podem detectar-se as linhas usando os seguintes operadores locais 3x3:

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

Deve notar-se que os operadores acima não detectam apenas linhas, mas também outras estruturas da imagem, como pontos isolados e orlas; para evitar esse problema o operador pode ser usado apenas condicionalmente, tornando-se não-linear.

- os operadores anteriores podem ser generalizados para efeitos de detecção de linhas espessas.