

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

2020 / 2021, 2º Semestre

Capítulo 3



Filtros Espaciais

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

3.1 Filtros espaciais lineares

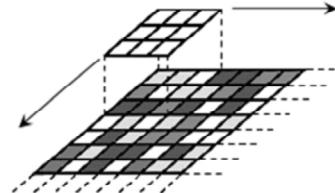
A filtragem linear consiste na aplicação de uma operação de correlação entre uma imagem **f** e um filtro de matriz **h** ('kernel'), resultando numa nova imagem **g**

$$g(i, j) = \sum_{k,l} f(i + k, j + l)h(k, l) \quad g = f \otimes h$$

Em geral o tamanho da matriz do filtro é muito menor do que a imagem.

A operação de convolução pode ser usada em vez da correlação.

$$g = f * h$$



$$g(i, j) = \sum_{k,l} f(i - k, j - l)h(k, l) = \sum_{k,l} f(k, l)h(i - k, j - l)$$

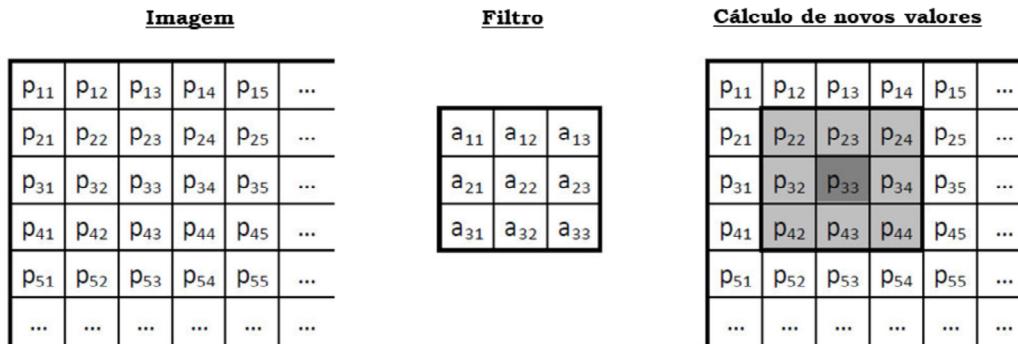
Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Filtro Espacial Linear

(Figura adaptada de: NLNRS, 1997)

3.1 Filtros espaciais lineares



Habitualmente é conveniente proceder à normalização do filtro para evitar saturação excessiva na imagem output.

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Filtro Espacial Linear

O filtro espacial linear é caracterizado pelos coeficientes da matriz a_{ij} .

O novo valor a atribuir a cada pixel depende do seu valor inicial e dos valores dos pixels vizinhos, dentro da janela de n por n pixels.

A equação no slide indica qual o novo valor do pixel p_{22} após a aplicação de um filtro de 3x3 com coeficientes a_{ij} . O numerador corresponde a uma soma ‘pesada’ dos valores iniciais dos pixels da janela de 3 por 3, sendo o peso relativo de cada pixel dado pelo coeficiente da matriz. O denominador serve para normalizar a imagem final, sendo a soma dos coeficientes.

(Figura adaptada de: NLNRS, 1997)

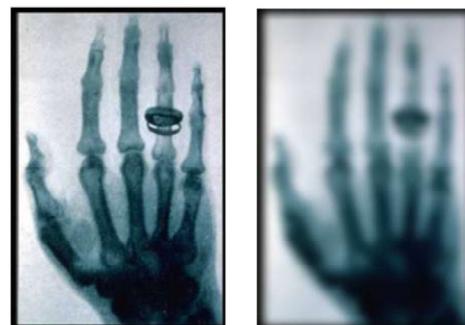
3.2 Filtros espaciais lineares – Suavização

Exemplo de filtros de 3x3 pixels

1	1	1
1	1	1
1	1	1

1	1	1
1	2	1
1	1	1

Efeito de suavização



Versões normalizadas

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

0.1	0.1	0.1
0.1	0.2	0.1
0.1	0.1	0.1

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Filtros Passa-Baixo

Todos os filtros representadas na figura tem o efeito de suavizar a imagem (filtros Passa-Baixo). As baixas frequências são mantidas, e as altas frequências eliminadas.

O resultado da aplicação destes filtros é, para cada pixel, uma média dos 9 valores da janela de 3 por 3 pixels na imagem inicial, com pesos relativos definidos pelos coeficientes. Os filtros da linha de cima não estão normalizados, enquanto que nos da linha de baixo há uma indicação do factor de normalização a usar em cada caso.

(Figura de cima adaptada de: NLNRS, 1997)

(Figura de baixo, esq.: © 2008 R. C. Gonzalez & R. E. Woods)

(Figura de baixo, dir.: ?)

3.2 Filtros espaciais lineares – Suavização



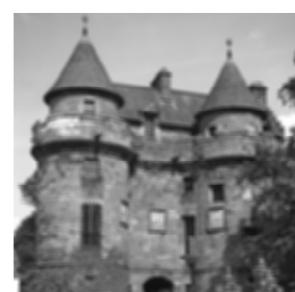
Original



Filtros de média >>>>

3x3 | 5x5

7x7 | 9x9



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de aplicação de filtros de média

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.2 Filtros espaciais lineares – Suavização



$$\frac{1}{5} \begin{pmatrix} 1 & 1 & [1] & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{5} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ [1] \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{25} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & [1] & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de aplicação de filtros lineares

Aplicação de filtros lineares passa-baixo para suavização. Geral, e apenas ao longo da horizontal ou vertical.

(Figuras: B. Girod, 2011)

3.3 Filtros espaciais não lineares

Existem filtros espaciais não lineares, como por exemplo:

- Filtro de mediana
- Filtro bilateral

Nestes filtros usa-se igualmente uma janela deslizante, normalmente de forma quadrada com o lado sendo um número inteiro ímpar.

Exemplo de aplicação de um filtro de mediana de 3x3:

166	178	181	168	154	140	142
175	184	188	183	177	162	153
180	186	190	187	182	176	167

166, 175, 178, 180, 181, 184, 186, 188, 190

166	178	181	168	154	140	142
175	184	188	183	177	162	153
180	186	190	187	182	176	167

140, 142, 153, 154, 162, 167, 176, 177, 182

181				
-----	--	--	--	--

181	184	182	176	162
-----	-----	-----	-----	-----

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Filtros não lineares

Exemplo de aplicação de um filtro de mediana de 3x3.

Relativamente ao filtro linear passa-baixo, o filtro de mediana tem as seguintes vantagens:

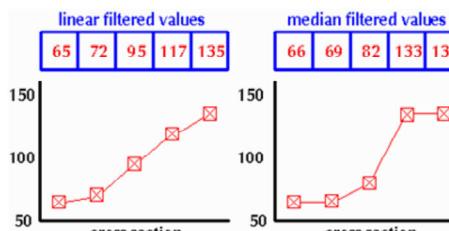
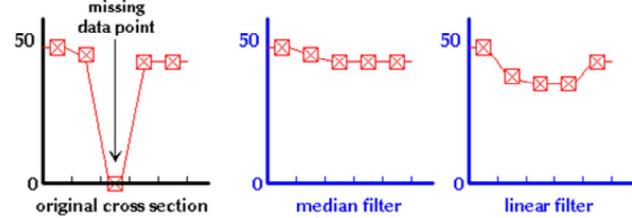
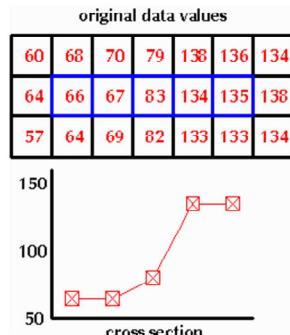
- A suavização é menos acentuada
- Os valores finais existem sempre na imagem inicial
- O resultado final não é afectado por um reduzido número de pixels com valores muito diferentes dos restantes.

(Figura adaptada de: NLNRS, 1997)

3.3 Filtros espaciais não lineares

Filtro de mediana

Exemplos de situações onde o filtro de mediana é particularmente eficaz



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Comparação dos filtros de média e de mediana

Em situações onde há uma variação de valores numéricos rápida entre duas zonas da imagem, essa variação é mantida por aplicação de um filtro de mediana.

Um caso em que o filtro de mediana é muito útil é quando há lacunas nos dados. Este tipo de ruído afecta em geral pixels isolados, sendo os seus valores colocados a 0 ou 255 (dados a 8 bits).

(Figuras adaptadas de: NLNRS, 1997)

3.3 Filtros espaciais não lineares



Original



Imagens filtradas >>>

Média 5x5 | Média 7x7

Mediana 5x5 | Mediana 7x7



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Exemplo de aplicação de filtro de média e de mediana

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.3 Filtros espaciais não lineares

Imagen original

80	30	90	80	90	80	90
140	120	120	140	120	120	140
80	50	120	120	50	120	80
80	200	30	120	30	100	30
200	140	80	200	80	240	200

Filtro mediana
(padding 0)

0	80	80	90	80	90	0
90	90	120	120	120	90	80
80	120	120	120	120	100	80
80	80	120	80	120	80	80
0	80	80	30	80	30	0

Filtro mediana
(padding simétrico)

80	90	90	90	90	90	90
80	90	120	120	120	90	90
80	120	120	120	120	100	100
80	80	120	80	120	80	100
200	140	140	80	120	100	200

Filtro mínimo

0	0	0	0	0	0	0
0	30	30	50	50	50	0
0	30	30	30	30	30	0
0	30	30	30	30	30	0
0	0	0	0	0	0	0

Filtro máximo

140	140	140	140	140	160	140
140	140	140	140	140	140	140
200	200	200	140	140	180	140
200	200	200	200	240	240	240
200	200	200	200	240	240	240

Filtro moda

0	0	0	0	0	0	0
0	120	120	120	120	120	0
0	120	120	120	120	120	0
0	80	120	120	120	30	0
0	0	0	0	0	0	0

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Filtros espaciais não-lineares

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.4 Redução de ruído com filtros espaciais



Imagen Original contaminada com ruído do tipo Sal & Pimenta (5% dos pixels)

Filtro Média 3x3



Filtro Mediana 3x3



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Redução de ruído – ‘sal e pimenta’

Por vezes as imagens encontram-se corrompidas por ruído, de diferentes tipos, sendo necessário proceder a sua eliminação. Um tipo comum de ruído é o chamado ‘sal e pimenta’ (salt and pepper), que conciste na presença de pixels isolados com valores 0 ou 255 (no caso de dados a 8 bits) espalhados pela imagem. O slide mostra a simulação deste tipo de ruído na imagem de teste do palácio de Falkland. Neste caso 5% dos pixels da imagem original, de 512x512 pixels, foram contaminados.

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.4 Redução de ruído com filtros espaciais



Imagen Original contaminada com ruído do tipo Sal & Pimenta (10% dos pixels)

Filtro Média 3x3



Filtro Mediana 3x3



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Redução de ruído – ‘sal e pimenta’

O filtro de média mostra-se inadequado para remover este tipo de ruído, mesmo quando a percentagem de pixels contaminados é pequena. Ao contrário, o filtro de mediana mostra-se eficaz a remover ruído do tipo Sal & Pimenta, mesmo para percentagens elevadas de pixels contaminados, como no exemplo do slide (10% dos pixels).

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.4 Redução de ruído com filtros espaciais

Imagen com ruído (linhas em falta)



Imagen filtrada

1	1	1
0	0	0
1	1	1



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Redução de ruído - linhas em falta

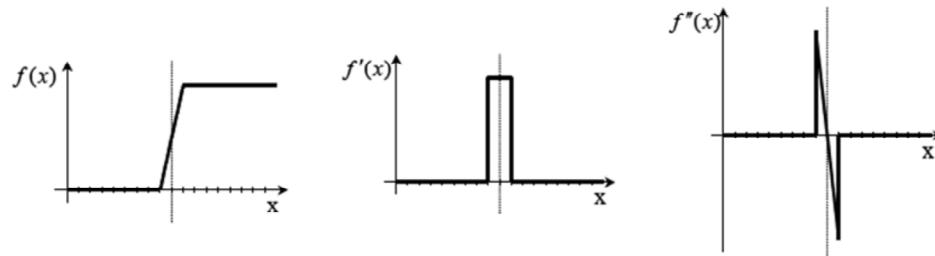
O ruído presente na imagem da esquerda consiste na falha de linhas ou parte de linhas de dados. Este tipo de ruído é frequente em imagens obtidas a partir de satélites de observação da Terra, principalmente devido a problemas de transmissão. Neste caso a abordagem mais adequada seria substituir as linhas em falta pelos valores médios dos pixels vizinhos não corrompidos.

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Deteção de contornos / fronteiras

Descontinuidade espacial da intensidade dos pixels



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Detecção de fronteiras / contornos

(Figura: M. Coimbra, 2009)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Função Gradiente

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} i + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} j$$

Função Laplaciano

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

Há várias formas de adaptar estas funções para se poder aplicar a imagens, através de filtros espaciais lineares.

Por exemplo,

Operadores Roberts

1	0
0	-1

0	1
-1	0

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

Para imagens digitais, com a variável espacial discreta (pixel):

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

Operadores Laplaciano

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

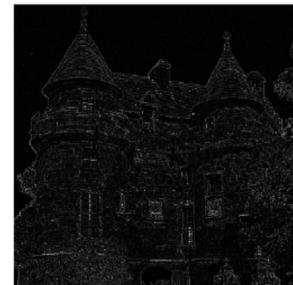
1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

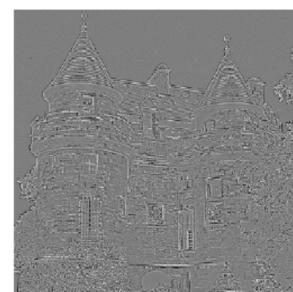


Operador Laplaciano

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(a) com \mathbf{h} | (b) com $-\mathbf{h}$

(a) + (b) | \mathbf{h} com origem 0.5



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Operadores Laplaciano

Com 4-vizinhos



Com 8-vizinhos



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

(Figuras: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Detecção de contornos (ou fronteiras) direcionais

Operadores Prewitt

Horizontais

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

Verticais

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Exemplo de operadores obliquos

1	1	0
1	0	-1
0	-1	-1

0	-1	-1
1	0	-1
1	1	0

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Imagen original

140	140	140	30	30	30	30
140	140	140	30	30	30	30
140	140	140	30	30	30	30
140	140	80	80	80	80	80
140	80	80	80	80	80	80

Prewitt horizontal **h**

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	40	150	150	150
0	0	0	40	150	150	150
0	0	0	0	0	0	0

Prewitt horizontal **-h**

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	60	10	0	0	0	0
60	120	70	0	0	0	0
120	120	60	0	0	0	0

Contornos Verticais

0	0	255	255	0	0	0
0	0	255	255	0	0	0
0	60	255	255	0	0	0
60	120	170	110	0	0	0
120	120	60	0	0	0	0

Contornos Horizontais

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	60	10	40	150	150	150
60	120	70	40	150	150	150
120	120	60	0	0	0	0

Todos os contornos

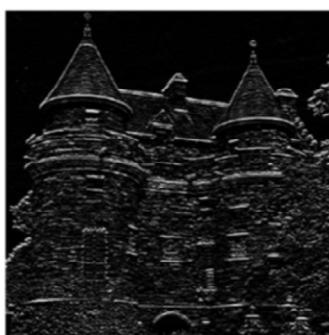
0	0	255	255	0	0	0
0	0	255	255	0	0	0
0	60	255	255	0	0	0
60	120	170	110	150	150	150
120	120	60	0	0	0	0

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos



Contornos Horizontais

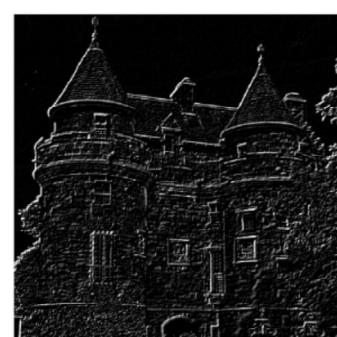
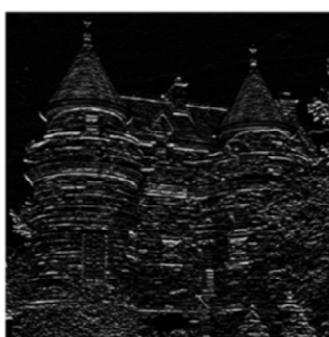


Contornos Verticais

Operadores

Prewitt

Contornos Obliquos



(Figura: A.R.S. Marçal)

3.5 Filtros para deteção de contornos

Operadores Sobel

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

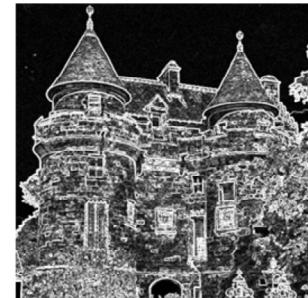
Filtro Laplaciano



Filtro Prewitt



Filtro Sobel



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

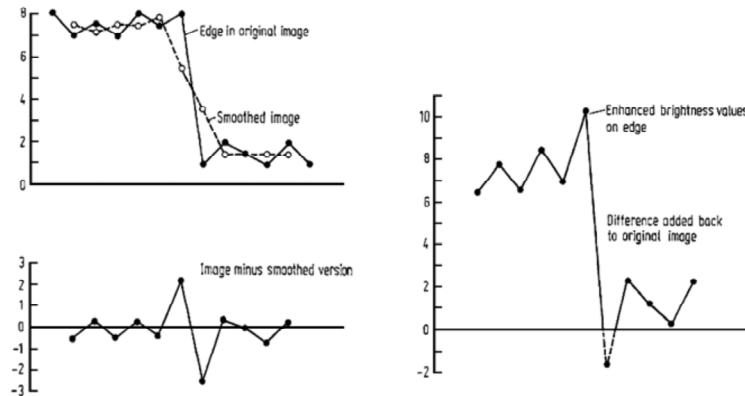
André Marçal, DM / FCUP

(Figura: A.R.S. Marçal)

3.6 Outras operações – Realce de contornos

Há várias formas de realçar os contornos dos objetos duma imagem, por exemplo:

- Imagem original + (Imagen original - Imagem suavizada)
- Imagem original \pm Imagem de contornos



Realce de contornos

A figura mostra um exemplo do 1º caso. O slide mostra como este método opera numa zona de fronteira entre 2 áreas homogéneas. Inicialmente aplica-se um filtro passa-baixo à imagem original, obtendo-se uma imagem suavizada. Em seguida faz-se a subtração da imagem original e da suavizada (gráficos da esquerda). A imagem final obtém-se adicionando esta diferença à imagem original (gráfico da direita).

(Figura adaptada de: Richards, 1999)

3.6 Outras operações – Realce de contornos



$$\begin{array}{c} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ \hline -1/9 & 17/9 & -1/9 \\ \hline -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ \hline \end{array} \end{array} \\ \text{original-smoothed} \quad \text{original} \quad \text{equivalent single} \\ (\text{high frequency mask}) \quad \quad \quad \text{kernel} \end{math>$$

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

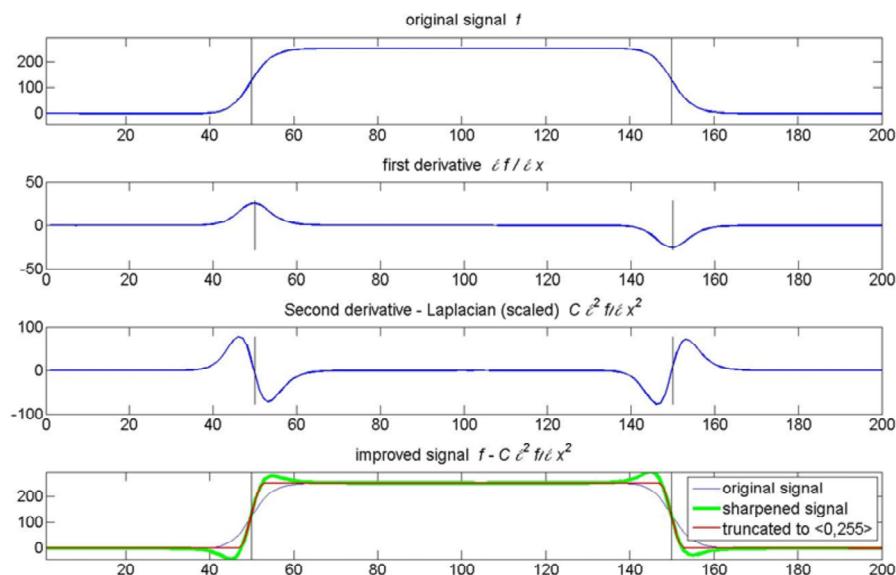
André Marçal, DM / FCUP

Realce de contornos

A figura mostra um exemplo do 1º caso. O slide mostra como este método opera numa zona de fronteira entre 2 áreas homogéneas. Inicialmente aplica-se um filtro passa-baixo à imagem original, obtendo-se uma imagem suavizada. Em seguida faz-se a subtração da imagem original e da suavizada (gráficos da esquerda). A imagem final obtém-se adicionando esta diferença à imagem original (gráfico da direita).

(Figura adaptada de: Richards, 1999)

3.6 Outras operações – Realce de contornos



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Realce de contornos

A figura mostra um exemplo do 2º caso, através de um perfil de intensidades ao longo de uma linha/coluna. Os gráficos mostram (de cima para baixo):

- Sinal original (f) – intensidade dos pixels ao longo de uma linha/coluna.
- Gradiente, 1ª derivada (df/dx).
- Laplaciano, 2ª derivada (d^2f/dx^2).
- Sinal final, após operação realce de contornos (verde).

Neste caso subtraiu-se uma versão adaptada (factor multiplicativo C) do Laplaciano ao sinal original.

(Figura: Svoboda, 2008)

3.6 Outras operações – Realce de contornos

Imagen
Original



Im. Original
+ Laplaciano



realce via filtro
média de 5x5



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Realce de contornos

Um filtro para realçar os contornos dos objectos de uma imagem pode ser obtido por adição da imagem original (figura da esquerda) com a imagem obtida por aplicação de filtro de detecção de contornos. O resultado é uma imagem onde as zonas de fronteira aparecem realçadas. Neste exemplo foram usados filtros gradiente (centro) e laplaciano (direita) de 3x3.

(Figura: © 2004 R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins)

3.6 Outras operações – Detetor de cantos

Harris corner detector

O detetor de cantos de Harris usa uma sequência de operações de filtragem espacial (suavização, Laplaciano, etc.) para identificar cantos em objetos numa imagem.



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Detetor de cantos Harris

(Figura: A.R.S. Marçal)