

Trabalho 2

Levy Gurgel Chaves – RA: 264958

MO433/MC920 - Introdução ao Processamento de Imagem Digital
Universidade Estadual de Campinas
Prof. Hélio Pedrini

23 de Abril de 2020

1 Introdução

O objetivo deste trabalho é realizar a aplicação de alguns filtros no domínio espacial através da operação de convolução e analisar a resposta dos filtros sugeridos em uma determinada imagem monocromática.

Juntamente com o relatório, está sendo enviado o arquivo LEVY_MO443T2_264958.zip, contendo todo o conteúdo apresentado neste relatório. A seção 2 comenta detalhadamente sobre a entrada e as saídas do programa, enquanto a seção 3 apresenta a explicação da solução dos problemas descritos no segundo trabalho, assim como o resultado dos experimentos realizados.

2 O programa

O programa foi desenvolvido em Python em sua versão 3.7.5 com o auxílio das seguintes bibliotecas nas suas respectivas versões: Numpy 1.18.2; Matplotlib 3.2.1; Scikit-image 0.16.2 e Scipy 1.4.1. O mesmo pode ser conferido com o auxílio do Jupyter notebook executando o arquivo *notebook-t2.ipynb*.

2.1 Entrada

O programa realiza a leitura de uma imagem monocromática a partir da pasta */images* contida dentro do projeto. Por convenção, a Figura 1 representa a imagem de referência adotada para os experimentos nas próximas seções.



Figura 1: Imagem de referência para experimentos

2.2 Saída

As imagens relativas aos resultados dos experimentos possuem formato *PNG* e são armazenadas na pasta */output*.

3 Soluções e decisões tomadas

3.1 Leitura das imagens

A leitura das imagens foi feita através da função `skimage.io.read` onde a mesma retorna um array Numpy possuindo as dimensões $M \times N \times C$, onde $M \times N$ representam as dimensões da imagem lida e C indica a quantidade de diferentes canais.

3.2 Convolução

Convolução é uma operação matemática fundamental importante no processamento de sinais e imagens. Convolução opera em dois sinais (em 1D) ou duas imagens (em 2D): pode-se pensar em como um sinal de entrada (ou imagem), e o outro (chamado máscara) como um filtro na imagem de entrada, produzindo uma imagem de saída (assim a convolução toma duas imagens como entrada e produz uma terceira como saída).

No contexto de processamento de imagens, a primeira entrada é normalmente uma imagem em escala de cinza. Entretanto, a segunda é geralmente uma matriz muito menor que a primeira. Com o intuito de produzir a imagem de saída, a operação de convolução é feita através do deslizamento da máscara sobre uma imagem. Geralmente adota-se como ponto de partida o canto superior esquerdo, de modo a mover o centro da máscara por todos os pixels da imagem. Cada posição da máscara corresponde a um único pixel de saída, cujo valor é calculado multiplicando-se o peso da máscara e o valor do pixel da imagem subjacente para cada uma das células, e então soma-se todos esses resultado.

Em relação a tratativa dos valores presentes nas bordas, durante a realização dos experimentos optou-se por utilizar o modo reflexão. Neste modo a linha ou coluna da borda são refletidos com o intuito de preencher os elementos faltantes. Para realizar a operação de convolução, a função `ndimage.filters.convolve` disponibilizada pela biblioteca Scipy foi escolhida por já ser uma função otimizada e fornecer diversas maneiras de tratar o problema nas bordas da imagem.

3.3 Filtros digitais

Após o processo de aquisição de uma imagem pode ocorrer que o resultado obtido possua algum tipo de ruído, descontinuidade indesejada ou pobre contraste.

Devido a estes e possivelmente algumas outras questões durante o processo de aquisição a técnica de filtragem se tornou necessária. A filtragem pode ser entendida como uma técnica utilizada para modificar ou realçar uma imagem, seja através do destaque ou remoção de certas características (GUPTA; CHANDEL, 2013). As operações de processamento de imagem implementadas com filtragem incluem, por exemplo, suavização, aumento nitidez e acentuação de bordas.

3.3.1 Primeiro filtro

O primeiro filtro a ser avaliado e testado pode ser visualizado abaixo:

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Este possui pico de intensidade no pixel central e considera vizinhos próximos. Sua operação é aplicada de maneira radial, desconsiderando as bordas superiores e inferiores. Em regiões homogêneas, observa-se que o resultado é zero; entretanto se o pixel central possuir intensidade consideravelmente maior que seus vizinhos resultará, certamente, em aumento do valor final de intensidade.

A imagem 2a mostra a imagem após a aplicação da máscara e 2b é a imagem anterior com alguns ajustes para uma melhor visualização dos resultados. Os resultados indicam que o filtro em questão reduz o contraste da imagem, mas acentuando algumas mudanças bruscas de intensidades, ou seja, destacam bordas dos objetos que estão contidos na imagem. Observa-se na figura 2b que o filtro foi capaz de capturar e apresentar as bordas entre alguns objetos de maneira bem acentuada, contudo também apresenta ruídos, por exemplo, na região do chão foram encontradas diversas falsas descontinuidades inexistentes na imagem original.

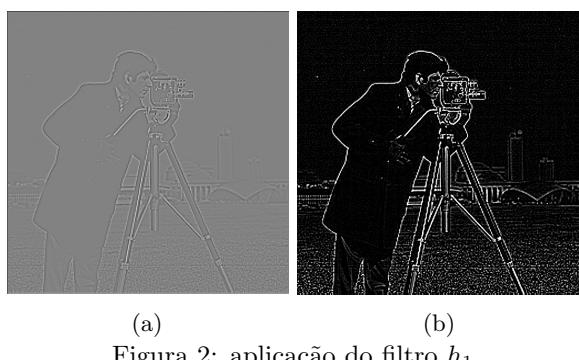


Figura 2: aplicação do filtro h_1

3.3.2 Segundo filtro

$$h_2 = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Representa um filtro linear clássico conhecido como filtro gaussiano. Este nome lhe foi concedido pois é uma máscara em que seus valores são gerados através de uma função gaussiana de duas dimensões. Devido à sua forma gaussiana, em duas dimensões, o filtro é rotacionalmente simétrico, indicando que a intensidade de suavização aplicada pelo filtro será a mesma em todas as direções (incluindo as diagonais). Sendo assim, um filtro gaussiano substitui cada pixel por uma média ponderada da vizinhança do pixel atual, de forma que os pesos em relação a um vizinho diminuem radialmente de acordo com a distância ao pixel central.

O resultado (ver Figura 3) da aplicação de uma máscara gaussiana é uma sensação de borramento da imagem final, indicando que o brilho original pode não ser mantido, implicando em redução de contraste. A sensação de borramento – facilmente notada na região da face do operador da câmera – é obtida pois altas intensidades tendem a ser removidas (geralmente associadas à descontinuidades ou ruídos) e ocorrem pequenas variações em baixas intensidades. Devido a este comportamento, pode-se considerar como um filtro de passa baixa.



Figura 3: aplicação do filtro h_2

3.3.3 Terceiro e quarto filtro

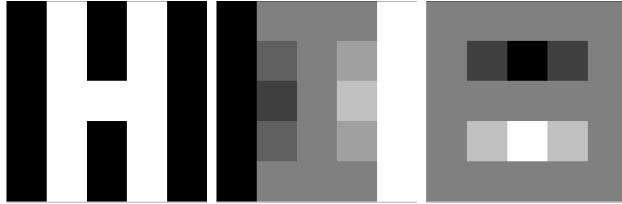
$$h_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad h_4 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Com o intuito de melhor entender a resposta do terceiro e do quarto filtro, optou-se por realizar um teste em uma imagem menor (Figura 4a), analisar a saída e expandir este resultado para a imagem de referência.

Como a coluna central da máscara h_3 é composta por zeros, ela não inclui os valores centrais originais da região em análise na imagem, mas calcula a diferença entre as intensidades de pixels à esquerda e à direita da região em particular; respondendo maximamente para descontinuidades verticais em relação ao pixel em análise. Assim aumentando a mudança repentina das intensidades e tornando bordas mais visíveis – ver figura 4b.

Analogamente, a máscara h_4 responde maximamente para descontinuidades horizontais em relação ao pixel em análise. Como a segunda linha da máscara é composta apenas por zeros, ela não inclui os valores

originais da borda na imagem, mas calcula a diferença entre as intensidades de pixels acima e abaixo da região em particular – ver figura 4c. Constatase que na região central da letra H foram ressaltadas duas regiões de descontinuidade horizontais (respetivamente, os pixels mais escuros e mais claros na região central).



(a) Imagem teste (b) h_3 aplicado (c) h_4 aplicado
Figura 4: imagem teste e respostas dos filtro h_3 e h_4

O teste inicial teve a finalidade em descobrir mais informações sobre o comportamento dos filtros antes de aplica-los de forma direta na imagem de referência.

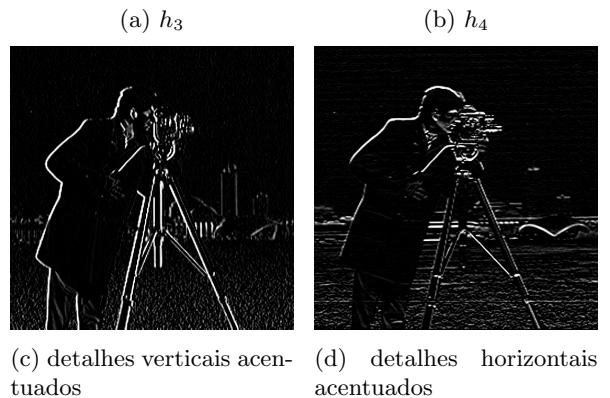
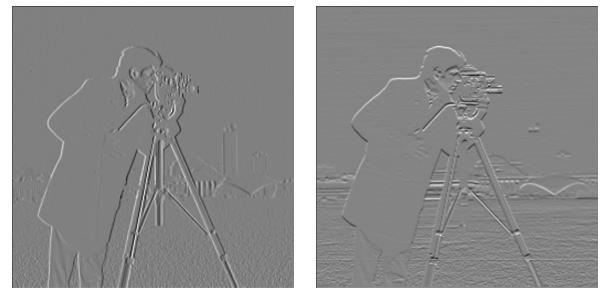
O resultado da aplicação das respectivas máscaras na imagem de referência pode ser visualizado na figura 5. Sendo assim, nota-se que os filtros ressaltam descontinuidades verticais e horizontais, ou seja, podem ser utilizados para detectar bordas. Isto porque quando aplicamos h_3 , comparamos pixels para encontrarmos os locais onde ocorrem as mudanças verticais. Isto é mais evidente no fundo da imagem onde obtém-se estruturas verticais dos edifícios e detalhes no ombro do operador da câmera que são realmente horizontais não aparecem. O mesmo raciocínio pode ser invertido quando utiliza-se h_4 , então espera-se que estruturas horizontais estejam em destaque.

No entanto, nota-se ver que na imagem 5d muitos detalhes do objeto de suporte da máquina fotográfica não foram capturados. Isto porque quando a máscara h_4 é aplicada, analisa-se a imagem de cima para baixo, e só há detecção de bordas que estão na horizontal. Por outro lado, h_3 detectará bordas do suporte da máquina fotográfica porque a imagem será processada da esquerda para a direita. Isto detectará as bordas esquerda e direita do suporte, pois há diferença de intensidades dos objetos que estão alinhados verticalmente na imagem.

De fato, a afirmação anterior é verificada e podemos vê-la de maneira mais clara, especialmente na cabeça do operador, na câmera ou na estrutura do edifício ao fundo comparando as figuras 5c e 5d.

Ao combinarmos o resultado da resposta dos filtros h_3 e h_4 através da seguinte fórmula: $\sqrt{h_3^2 + h_4^2}$, observa-se que a imagem resultante é a combinação da detecção das linhas verticais com as horizontais (ver Figura 6). O resultado é coerente visto que os dois filtros em questão realizam o cálculo, de maneira aproximada, da derivada da imagem nos eixos vertical e horizontal (GONZALEZ; WOODS, 2001). De posse das duas derivadas, pode-se calcular a magnitude do gradiente da imagem.

O realce nas bordas proporcionado pela magnitude do gradiente é, de certa forma, fácil de analisar e entender, pois representa a norma do gradiente, sendo uma combinação da detecção das bordas horizontais e verticais.



(a) h_3 (b) h_4
(c) detalhes verticais acentuados (d) detalhes horizontais acentuados
Figura 5: aplicação dos filtros h_3 e h_4



Figura 6: respostas de h_3 e h_4

3.3.4 Quinto filtro

$$h_5 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

O filtro em questão representa uma máscara cujo pixel central possui peso 8 e leva em consideração toda a sua vizinhança, incluindo diagonais, com peso negativo. Este é conhecido como operador de Laplace, cuja função é realizar uma aproximação da aplicação da derivada de segunda ordem em uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2001). Isto tenderá a produzir imagens com bordas acinzentadas e outras descontinuidades, todas sobrepostas a um fundo escuro e sem características.

Após a aplicação da máscara, a imagem resultante comumente ressalta descontinuidades e atenua regiões apresentando mudanças sutis de níveis de cinza, assim como mostrado na Figura 7.

Um experimento interessante é que o filtro em questão pode também ser utilizado para fornecer uma imagem de maneira mais nítida. O conceito de nitidez está relacionado à um realce aparente das descontinui-



Figura 7: resultado da aplicação do filtro h_5

dades da imagem, dando uma sensação de uma maior quantidade de detalhes.

O experimento consistiu em alterar o valor central da máscara h_5 de 8 para 9. Com isso, podemos interpretar que a nova máscara é resultado da máscara h_5 adicionada ao filtro identidade (onde pixel central assume o valor 1 e zero todo o restante) de mesma dimensão. O efeito dessa operação pode ser pensado que há uma adição da imagem original à imagem após o resultado do filtro. Um exemplo pode ser visto na figura 8, onde pode-se notar um resultado muito mais nítido devido ao realce dos detalhes de bordas.



Figura 8: imagem de referência com aumento de nitidez

3.3.5 Sexto filtro

$$h_6 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Uma rápida análise de como os números estão dispostos neste filtro permite inferir que este representa um filtro da média. Comumente um fator de normalização – definido pela soma dos coeficientes da máscara – é atrelado ao filtro com o intuito de manter o valor médio. A ideia principal é simplesmente atribuir cada valor do pixel resultado pelo valor médio dos elementos que estão sendo avaliados, uma vez que cada elemento possui peso unitário. Pode ser considerado como um filtro de passa baixa, pois tende a atenuar altas frequências e, consequentemente, torna-o útil para remover ruídos ou diminuir descontinuidades. Com isso, o efeito final da aplicação pode ser pensado como um

método de suavização, reduzindo a quantidade de variação de intensidade entre pixels vizinhos.

Um ponto negativo encontrado nos experimentos com esse tipo de filtro é que ele pode ser muito sensível quando pixels da região em análise apresenta valores muito acima dos demais e, com isso, acaba afetando o valor final da média. Um exemplo onde isso ocorre pode ser visualizado na figura 9. Após a aplicação do filtro da média, nota-se que novas regiões em tons médios de cinza foram criadas na imagem de saída; onde, anteriormente, certas regiões não apresentavam nenhuma intensidade luminosa.



Figura 9: Antes e depois da aplicação do filtro da média 3×3

A figura 10 apresenta os resultados para o filtro da média considerando diferentes vizinhanças. Pode-se notar que a quantidade de vizinhos a serem considerados na máscara possui grande impacto no resultado final. Quanto maior o número de vizinhos considerados implica em uma maior área de suavização e, consequentemente, a imagem tende a ficar mais borrada.



(a) máscara 3×3 (b) máscara 7×7 (c) máscara 11×11
Figura 10: filtro da média com diferentes tamanhos de máscara

3.3.6 Sétimo filtro

$$h_7 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Com a finalidade de melhor entender a resposta do filtro, novamente, foi utilizada uma outra imagem de teste (figura 11a). Observa-se inicialmente que a máscara possui diagonal secundária em que todos seus elementos possuem valor de 2 e todo o restante assume valor de -1. Isso mostra que quando estiver avaliando uma região homogênea, o resultado é uma cor escura devido à somatória dos elementos no filtro ser 0.

A resposta da máscara na imagem de teste pode ser visualizada na figura 11b. A máscara resulta em uma alta resposta positiva para regiões que possuem linhas diagonais claras (45 graus no sentido anti-horário) com

fundo escuro e uma alta resposta negativa para linhas diagonais escuras com fundo claro. Uma variante interessante é que se optarmos por detectar linhas diagonais escuras em fundo claro é necessário apenas inverter os sinais dos elementos presentes no filtro.



Figura 11: Antes e depois da aplicação do filtro h_7

O resultado da aplicação na imagem de referência pode ser visto na [12](#). Assim como a resposta da aplicação na imagem teste, observa-se que bordas possuindo 45 graus no sentido anti-horário obtiveram um destaque maior ao aplicarmos o filtro na imagem de referência – ver figura [12b](#) – assim como aquelas que possuem angulação similar.

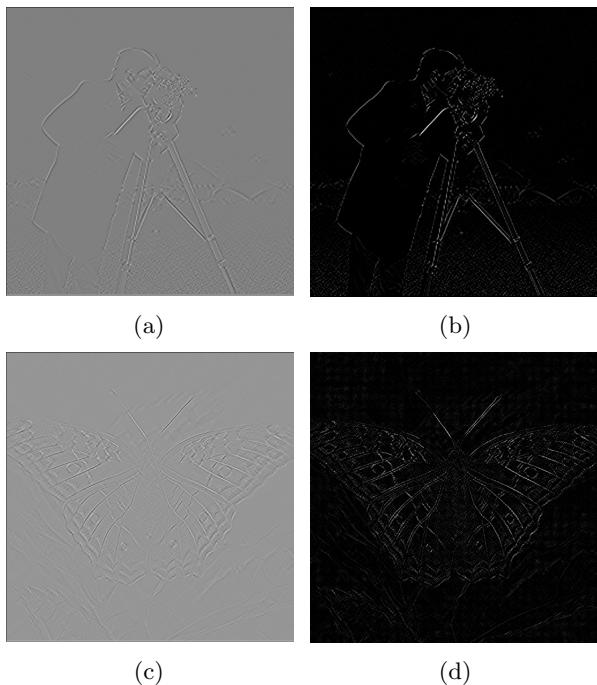


Figura 12: resultados da aplicação do filtro h_7

3.3.7 Oitavo filtro

$$h_8 = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

Dante do exposto na subseção anterior, analogamente, os resultados para o filtro h_8 são semelhantes aos do filtro h_7 , alterando apenas a acentuação da angulação das diagonais detectadas. Com a finalidade de melhor entender a resposta do filtro, a mesma imagem de teste anterior foi utilizada. Observa-se inicialmente que a máscara possui diagonal principal positiva com

valor 2 e os seus vizinhos com valor -1. Isso mostra que ao avaliar uma região homogênea, o resultado é uma cor escura devido à somatória dos elementos no filtro ser 0.

A resposta pode ser visualizada na imagem [13b](#). A máscara resulta em uma alta resposta para região que possui uma linhas diagonais claras (135 graus no sentido anti-horário) com fundo escuro e uma alta resposta negativa para linhas diagonais escuras com fundo claro.

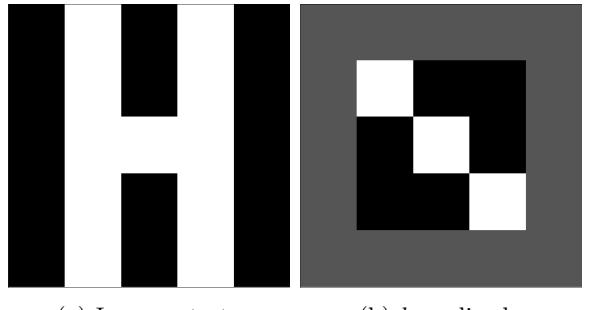


Figura 13: Antes e depois da aplicação do filtro h_8

Assim como a resposta da aplicação na imagem de referência, observa-se que bordas possuindo 135 graus no sentido anti-horário foram destacadas nas figuras [14b](#) e [14d](#), assim como aquelas que estão na outra diagonal. Os detalhes diagonais da asa da borboleta foram detectados, porém os detalhes da parte direita da asa e da antena esquerda foram mais acentuados, justamente por possuírem angulação próxima ou igual a 135 graus.

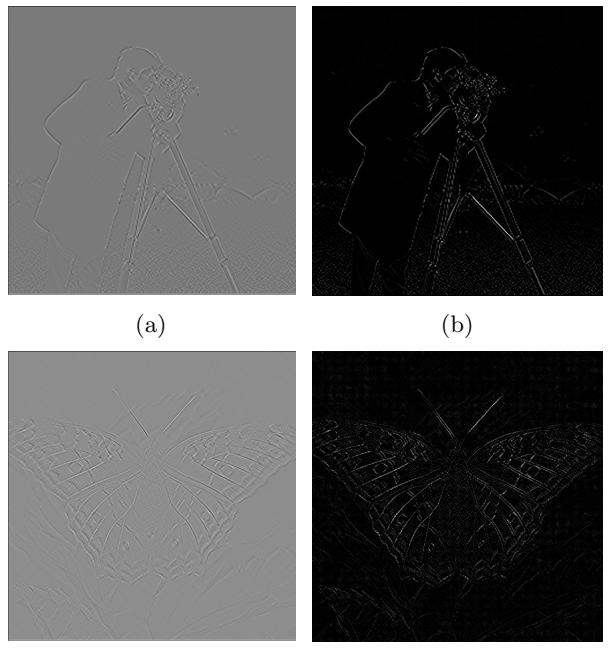


Figura 14: resultados da aplicação do filtro h_8

Referências

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 2nd. ed. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2001. ISBN 0201180758.

GUPTA, G.; CHANDEL, r. Image filtering algorithms and techniques: A review. 10 2013.