

Trabalho 3

Levy Gurgel Chaves – RA: 264958

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

22 de Maio de 2020

1 Introdução

O objetivo deste trabalho é implementar técnicas fundamentais de processamento de imagens, onde conceitos fundamentais como domínio do tempo, domínio de frequência, transformada de Fourier e compressão de imagens são abordados de maneira prática.

Juntamente com o relatório, está sendo enviado o arquivo LEVY_MO443T3_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 terceiro trabalho, assim como o resultado dos experimentos realizados.

2 O programa

O programa foi desenvolvido em Python em sua versão 3.6.9 com o auxílio das seguintes bibliotecas nas suas respectivas versões: Numpy 1.18.2; Matplotlib 3.2.1; Scikit-image 0.16.2, Scipy 1.4.1 e Open-CV 4.2.0. O mesmo pode ser conferido com o auxílio do Jupyter notebook executando o arquivo *notebook-t3.ipynb*.

2.1 Entrada

O programa realiza a leitura de uma imagem, em escala de cinza, a partir da pasta */images*. Por convenção, a Figura 1 representa a imagem de referência adotada para os experimentos.



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 foram feitas através da função **cv2.imread** onde a mesma retorna um array Numpy possuindo as dimensões MxNx3, onde MxN representam, respectivamente, a quantidade de linhas e colunas da imagem lida e 3 indica a quantidade de diferentes canais.

3.2 Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier é uma importante ferramenta de processamento de imagens que é comumente utilizada para decompor um sinal em uma série infinita de soma de senos e cossenos. A saída da transformação representa a imagem no domínio de Fourier ou frequência, enquanto a imagem de entrada é o equivalente do domínio espacial. Na imagem do domínio de Fourier, cada ponto representa uma frequência particular contida na imagem do domínio espacial.

No campo de processamento de sinais, a transformada é bastante utilizada pois há uma relação direta com a operação de convolução. Esta relação informa que a transformada de Fourier de uma convolução entre um sinal *S* e um filtro *F* é uma multiplicação complexa no domínio da frequência. Reciprocamente, a operação de convolução no domínio da frequência torna-se uma multiplicação no domínio do tempo. Sendo assim, se obtivermos um algoritmo que realiza a transformada de maneira eficiente, então pode-se preferir pagar o preço de transformar a imagem para o domínio de frequência e realizar multiplicações do que aplicar convoluções diretamente no domínio do tempo.

Para a realização dos experimentos optou-se centralizar (deslocar metade de cada dimensão) o espectro gerado através da transformada de Fourier. A motivação para a operação é por sua formulação, o espectro é gerado na posição (0,0) do plano. Como estamos tratando de imagens, o ponto (0,0) refere-se ao canto superior esquerdo. Logo, a centralização foi adotada para

uma melhor visualização e facilitar codificação dos filtros apresentados no restante do relatório de maneira mais eficiente e correta. A visualização, respectivamente, do espectro descentralizado e centralizado da imagem de referência encontra-se na figura 2.

A imagem resultante é comumente de difícil interpretação, porém pode-se entender que quanto mais próximo à região central da imagem 2b maior é a existência de frequências baixas na imagem original, enquanto a presença de componentes em regiões mais distantes ao centro indica a existência de altas frequências.

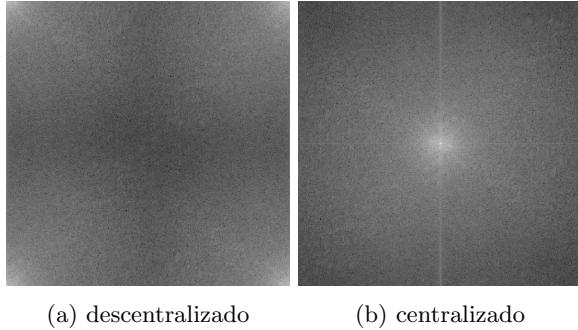


Figura 2: Espectros de Fourier

3.3 Filtros passa-baixa

Filtros passa-baixa têm como finalidade a atenuação de altas frequências, enquanto deixa passar as componentes de baixa frequência. Como vamos aplicar este e os próximos conceitos no domínio de frequência, então é necessário a criação de um filtro adequado para cada banda passante. Neste, no lugar de precisarmos criar uma máscara específica para a convolução no domínio do tempo, é necessário apenas criar um filtro que realize a atenuação de frequências. Tratando-se de filtros passa-baixa, então a máscara mais adequada é aquela que deixa passar as frequências mais próximas da região central no domínio de frequência (como dito anteriormente, pois representa a região contendo maior número de componentes de baixa frequência). Um exemplo pode ser visto na figura 3, onde a região mais escura representa os valores rejeitados.

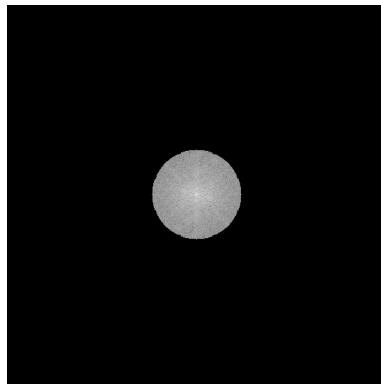


Figura 3: exemplo filtro passa-baixa

Um detalhe associado à criação de filtros passa-baixa é a decisão do valor do raio da circunferência, similar

ao ilustrado na imagem anterior. O tamanho do raio indicará a região a ser considerada, sendo a porção escolhida para o mantimento das frequências. Um raio menor indica maior corte nas componentes de baixa frequência, enquanto que um valor maior indica considerar uma parcela das baixas frequências, podendo até, porventura, considerar frequências maiores.

Alguns experimentos realizados podem ser visualizados na figura 4. A escolha do raio foi efetuada de maneira empírica e pode variar para diferentes imagens de referência. Assim, reforçando a ideia no parágrafo anterior, pode-se perceber que adotando um raio com valor 20 – ver figura 4a – resulta em uma imagem com conteúdo visual visivelmente alterado. Isso acontece pois o conteúdo é formado pela composição entre as componentes de baixa e alta frequência, sendo assim, o corte agressivo de altas frequências acaba afetando a presença de descontinuidades e, consequentemente, um resultado com menos detalhes. Conforme o aumento gradual do raio uma maior quantidade de componentes de altas frequências serão considerados, com isso, mais detalhes são introduzidos após a reconstrução do domínio filtrado.

Pode-se notar que houve uma melhora significativa no conteúdo visual entre as imagens 4a e 4b, enquanto houve pouca mudança entre 4c e 4d. Com a inserção gradual de componentes de altas frequências, a partir de um dado momento, apenas detalhes mais refinados estarão sendo adicionados às imagens – por exemplo, detalhes no pelo ou de fundo e ruídos – mas a maior parte do conteúdo visual reside em componentes radialmente próximos ao centro do espectro de Fourier. Nas duas ultimas imagens (4c e 4d) a diferença é melhor perceptível quando um zoom é aplicado a cada uma.

Por fim, como limitação do método desenvolvido, por questões das bibliotecas adotadas, apenas valores inteiros para o raio da circunferências podem ser utilizados.

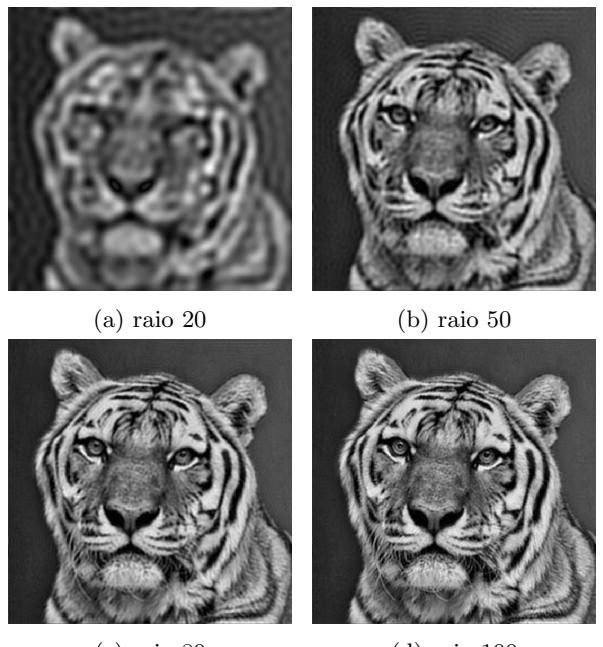


Figura 4: resultado da aplicação de diferentes raios no filtro de passa-baixa

3.4 Filtros passa-faixa

Filtros passa-faixa possuem a característica de passar apenas frequências dentro de uma certa faixa, enquanto rejeita frequências fora dessa faixa. Em comparação aos filtros de passa-baixa e passa-alta, este deixa passar frequências “intermediárias”. Para melhor entendimento e visualização, um exemplo do filtro aplicado ao domínio de frequência pode ser visto na figura 5.

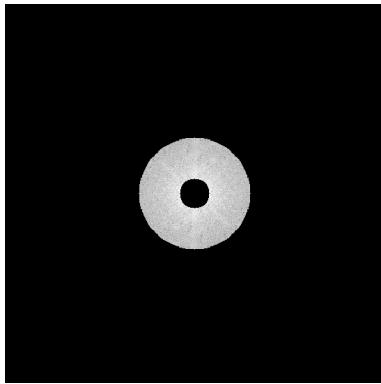


Figura 5: exemplo filtro passa-faixa

Neste, há a presença de duas variáveis: o raio interno (r_i) e externo (r_e). A banda passante considerada será a região delimitada pela área da circunferência de raio maior subtraída da área ocupada pela circunferência de raio menor, rejeitando toda a região restante (porção preta na figura 5). É importante mencionar que as duas circunferências são concêntricas.

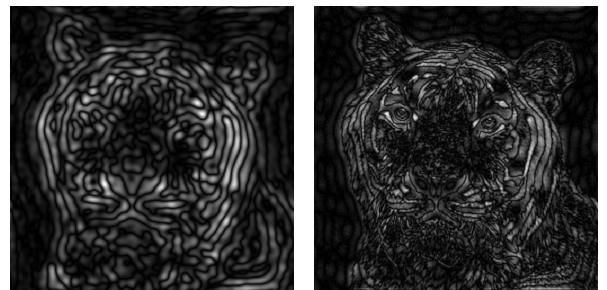
Após a aplicação da máscara explicada anteriormente, alguns valores para r_i e r_e foram variados e os resultados podem ser visualizados na figura 6. Analisando as imagens 6a e 6b, podemos perceber que a faixa inicial (valor de r_i) é relativamente parecida, porém o raio externo da segunda imagem compreende um intervalo maior de frequências. Visualmente, descontinuidades estão destacadas, porém ao considerar uma faixa maior mais detalhes são adicionadas à imagem, por exemplo, região dos olhos, da orelha e do bigode do felino.

Assim, uma explicação para a diferença entre as imagens 6c e 6d é o valor de r_i . É provável que utilizando um valor relativamente menor, 50 neste caso, mais detalhes acerca da face do felino foram incorporados ao resultado final por estarem em uma região de frequência menor.

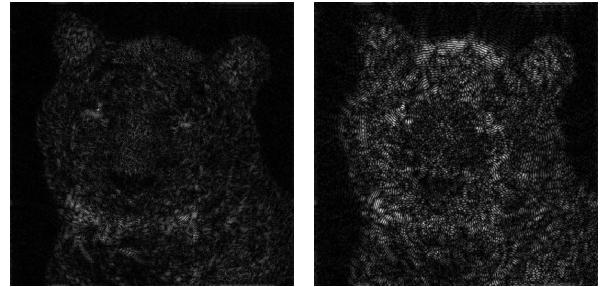
Como limitação, por questões das bibliotecas adotadas, apenas valores inteiros para os raios das circunferências podem ser utilizados e $r_e > r_i$.

3.5 Filtros passa-alta

Filtros passa-alta possuem como comportamento a passagem de altas frequências. Altas frequências em imagens significam valores de pixel que estão mudando drasticamente. Por exemplo, áreas de borda na imagem com grandes mudanças de cor, como a borda entre duas sobreposições de papel branco e preto, é considerado como o conteúdo de alta frequência. Um exemplo



(a) $r_i = 10$ e $r_e = 30$ (b) $r_i = 15$ e $r_e = 100$



(c) $r_i = 80$ e $r_e = 150$ (d) $r_i = 50$ e $r_e = 100$

Figura 6: aplicação do filtro passa-faixa com r_i e r_e diferentes

do filtro aplicado ao domínio de frequência pode ser visualizado em 7, onde as regiões mais escuras representam a banda rejeitada.

Componentes de alta frequência detectadas, por exemplo, poderiam ser utilizadas para realizar um aumento na nitidez, ressaltando bordas na imagem original.

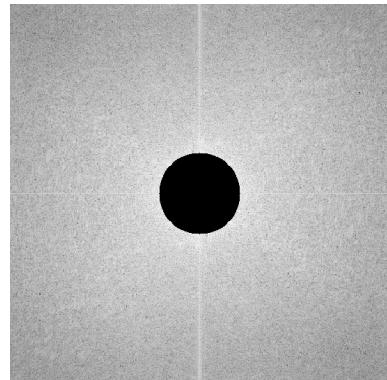


Figura 7: filtro passa-alta

Assim como nos experimentos realizados com o filtro passa-baixa, diversos valores para o raio foram testados – ver Figura 8. Dessa vez, esperava-se que apenas componentes de alta frequência fossem consideradas, ou seja, a imagem fosse formada, primariamente, por bordas, ruídos e contornos. Quanto menor o valor do raio, maior o número de detalhes, uma vez que gradualmente frequências menores estão sendo consideradas (na imagem 8a, por exemplo, o contorno dos olhos e orelhas já são características visíveis). Observa-se, também, que a adoção de raios maiores ocasionam uma diminuição gradual no número de detalhes, obtendo-as-

sim resultados pobres em detalhes.

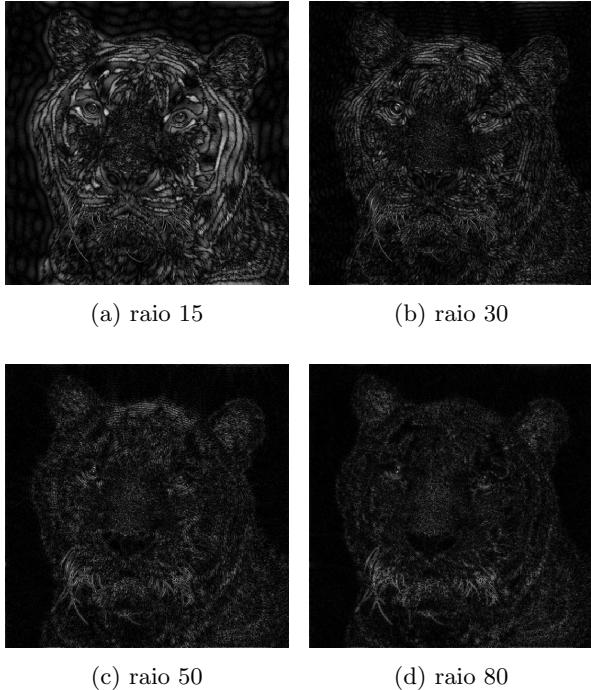


Figura 8: aplicação do filtros passa-alta com diferentes raios

3.6 Compressão de dados

O objetivo da compressão de dados, mais especificamente em imagens, é reduzir a quantidade de dados necessários para a representação de imagens digitais e, portanto, reduzir o custo de armazenamento e possivelmente de transmissão. Existem dois tipos de compressão: sem e com perda. A compressão sem perda é usada para comprimir arquivos ou imagens sem que nenhuma informação seja perdida, nem mesmo um único bit, pois essa perda causaria enormes problemas para o contexto da aplicação. A compressão com perda é geralmente utilizada onde perdas de dados são aceitáveis, onde o conteúdo ainda seja acessível e sua reconstrução seja possível. No contexto de imagens, o resultado pode não ser exatamente igual ao dado original, porém o conteúdo visual se mantém praticamente indiferente, com exceção de alguns detalhes.

No cenário deste trabalho, a tarefa de compressão foi realizada da seguinte maneira: 1) receber uma imagem monocromática como entrada; 2) aplicar a transformada de Fourier; 3) remoção (substituição pelo valor zero) de coeficientes no domínio de frequência cujas magnitudes são menores que um determinado limiar; 4) realizar a transformada inversa de Fourier do domínio filtrado.

Com a finalidade de encontrar o limiar adequado duas alternativas foram testadas: análise de histograma e percentagem do valor máximo.

Adotando a alternativa de analisar os valores presentes no histograma, infelizmente, não foi viável devido à faixa de valores gerados após a transformação para

o domínio de frequência. Por natureza, os valores no domínio de frequência são, em sua maioria, negativos, esparsos e distintos, sendo assim, impossibilitando a geração do histograma para análise.

Utilizando a abordagem de percentagem do limiar máximo, a seguinte fórmula foi definida para o cálculo do limiar (l):

$$l = k \max |F_t(\mathbf{X})|, \quad (1)$$

onde k representa um valor de entrada, $|\cdot|$ indica a operação de módulo e $F_t(X)$ refere-se à transformada de Fourier no sinal \mathbf{X} .

Após o cálculo do valor do limiar, a frequência de corte é obtida e com isso podemos realizar o descarte de frequências inferiores ao valor do limiar. O resultado para alguns valores de k podem ser visualizados na Figura 9. Acima de cada imagem há um valor indicado a percentagem de frequências descartadas para o valor k associado.

Dante dos resultados obtidos, pode-se perceber que o aumento gradual do valor de k implica em uma imagem com menos detalhes. Esse acontecimento é coerente, visto que um limiar maior faz com que uma quantidade maior de valores sejam desconsiderados. Um outro ponto importante é que o domínio de frequência é robusto ao descarte de uma certa quantidade de frequência. Isso pode ser observado que mesmo após o descarte de pouco mais de 98% das frequências o conteúdo visual ainda é identificável, apesar de muito ruidoso. Sendo assim, dado um valor de limiar adequado, tem-se indícios que o método em questão é adequado para realizar uma compressão com perdas, visto que não há como descobrir qual o valor original do dado uma vez que este foi rejeitado.

Como limitação, o método desenvolvido não cuida em descartar apenas uma percentagem das frequências dado um valor inapropriado para k . Podendo possivelmente descartar todos os valores de magnitudes. A implementação também não admite um valor negativo para k , visto que trata-se de um valor incoerente devido ao operador módulo utilizado no cálculo do limiar.

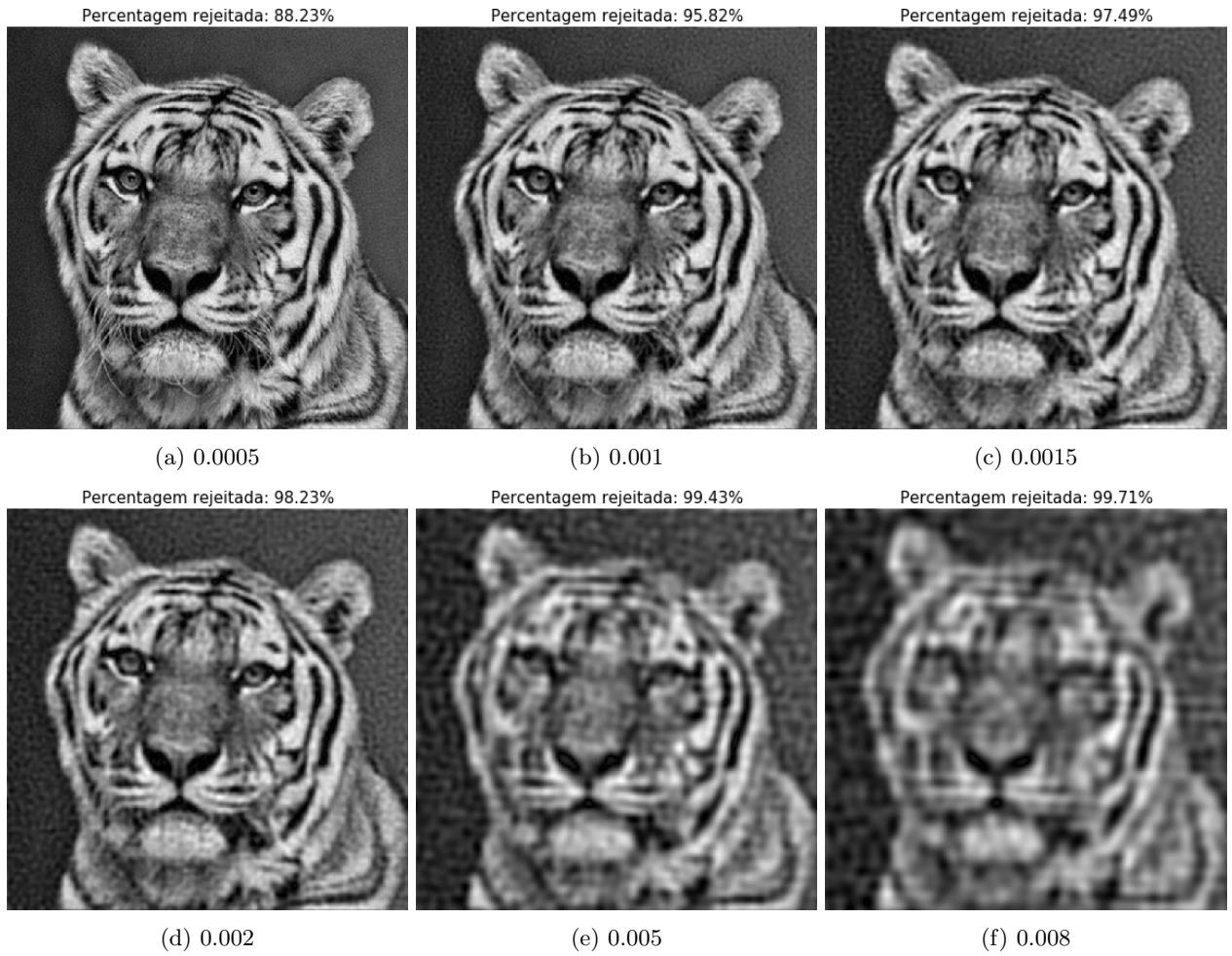


Figura 9: resultados para diferentes valores de k