

Trabalho 3 de Introdução ao Processamento de Imagens

Nome: Miguel Augusto S. Guida - RA: 174847

Maio de 2020

1 Introdução

O objetivo deste trabalho é aplicar a transformada rápida de Fourier (do inglês, Fast Fourier Transform - FFT) em imagens digitais, convertendo-as para o domínio de frequência. A filtragem das imagens no domínio de frequência possibilita a alteração de seus valores originais em novas informações, de forma a atenuar o ruído nas imagens, suavizar os dados, aumentar o contraste, realçar detalhes (bordas) das imagens, entre outras operações.

Aplicaremos os filtros passa-baixa, passa-alta e passa-faixa em imagens monocromáticas por meio do espectro de Fourier, com diferentes valores de núcleos dos filtros. Para o processo de compressão, diferentes estratégias podem ser aplicadas às imagens, tal como a remoção de coeficientes cujas magnitudes são menores do que de um determinado limiar (atribuindo-se valores iguais a zero para ele).

2 O Programa

O programa foi desenvolvido no Jupyter Notebook, utilizando Python 3.7.6. As bibliotecas utilizadas foram Numpy 1.18.1, OpenCV 4.2.0, Matplotlib 3.1.3. Para executar o programa, basta rodar arquivo "trabalho3_ra174847_mc920.ipynb" no programa Jupyter Notebook.

3 Entrada e Saída de Dados

As imagens de entrada e saída estão no formato PNG. Todas imagens estarão presentes no diretório do programa implementado.

4 Filtragem

Como descrito na Introdução, aplicaremos 3 tipos de filtros em uma imagem monocromática, filtros passa baixa, passa alta e passa faixa.

Inicialmente, lemos a imagem como uma matriz através da função `imread()` do OpenCV. A partir dessa matriz, calculamos a FFT 2D com a função `numpy.fft.fft2()`, que retorna uma matriz de números complexos representando a transformada de fourier da imagem, e com as mesmas dimensões. Aplicamos outra função do numpy, `numpy.fft.fftshift()`, que vai transladar as frequências baixas para o centro da matriz que contém a transformada.

Tendo agora a matriz com as frequências transladadas, podemos multiplicá-la por outra matriz que representará um filtro, e assim selecionamos quais frequências da imagem original serão preservadas e quais serão descartadas.

Com o filtro aplicado, transladamos as frequências de volta para as suas coordenadas originais, através da função `numpy.fft.ifftshift()` e com a matriz resultante, aplicamos a FFT 2D inversa (com a função `numpy.fft.ifft2()`) para obter a imagem original com o filtro aplicado.

5 Compressão

No domínio de frequência, podemos comprimir as imagens impondo um limite inferior para o valor absoluto de suas componentes, e atribuindo valor zero para as frequências que estiverem abaixo deste limite. Observa-se que à medida que aumentamos esse limite, maior é o número de componentes que têm seu valor atribuído para zero, e consequentemente, perdemos a informação contida nas componentes descartadas, podendo ser detalhes relevantes para a imagem se escolhermos um limite inferior muito alto.

Na figura 1, exibimos as imagens e espectros obtidos através da compressão no domínio de frequência, com limites inferiores iguais a 1.000, 10.000, e 100.000 respectivamente.

6 Filtros Passa Baixa

Os filtros passa baixa têm a propriedade de limitar as componentes de alta frequência das imagens. Como as bordas, ruídos e outras transições abruptas de intensidade estão presentes nas altas frequências da transformada, a imagem obtida através desta filtragem é mais "embaçada" que a imagem original, por perder traços e detalhes (efeitos de suavização e borramento).

Aplicamos 3 tipos de filtro passa baixa: Ideal, Butterworth e Gaussiano.

Para aplicar filtros com núcleos diferentes escolhemos 5 valores diferentes para a frequência de corte D_0 , para cada um dos 3 tipos. A frequência de corte determina se uma componente será barrada ou não, de acordo com sua distância

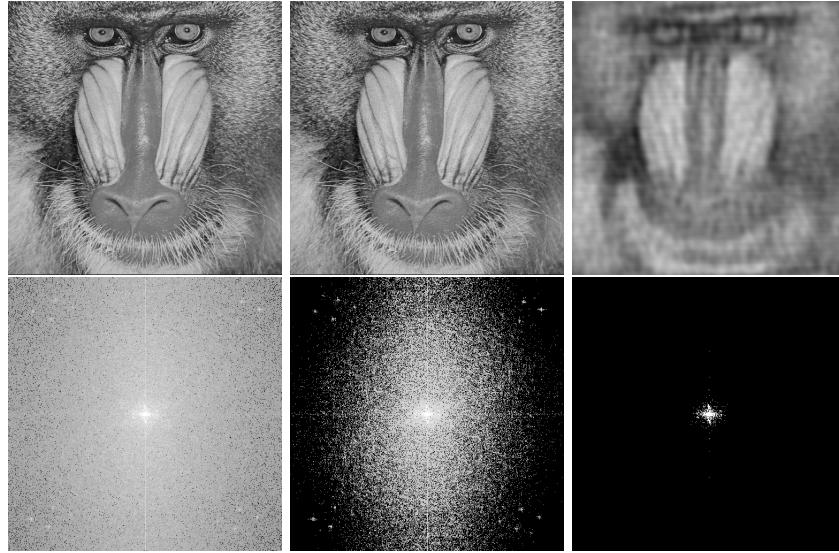


Figure 1: Imagens com compressão e seus respectivos espectros

até a origem.

6.1 Filtros Passa Baixa Ideal

As frequências contidas dentro do círculo de raio D_0 não sofrerão alterações, enquanto que todas frequências fora desse círculo serão atenuadas.

Podemos observar que quando a frequência de corte é alta, a imagem obtida é semelhante à original, por descartar um número de frequências da imagem que não afeta a olho nu a visualização da imagem.

À medida que diminuímos a frequência de corte, ou seja, diminuímos a quantidade de coeficientes de baixa frequências da imagem, podemos perceber uma perda maior de detalhes.

A figura 2 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com $D_0 = 50, 25, 15, 10$ e 5 . Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 3.

6.2 Filtros Passa Baixa Butterworth

Diferente do filtro passa baixa ideal, o Butterworth não apresenta uma transição na frequência de corte abrupta, seguindo a equação $H(u, v) = 1/(1+[D(u, v)/D_0]^{2n})$. Podemos observar que o filtro de Butterworth preserva mais detalhes da imagem quando comparado ao filtro ideal, ao permitir uma transição entre as frequências selecionadas e as descartadas.

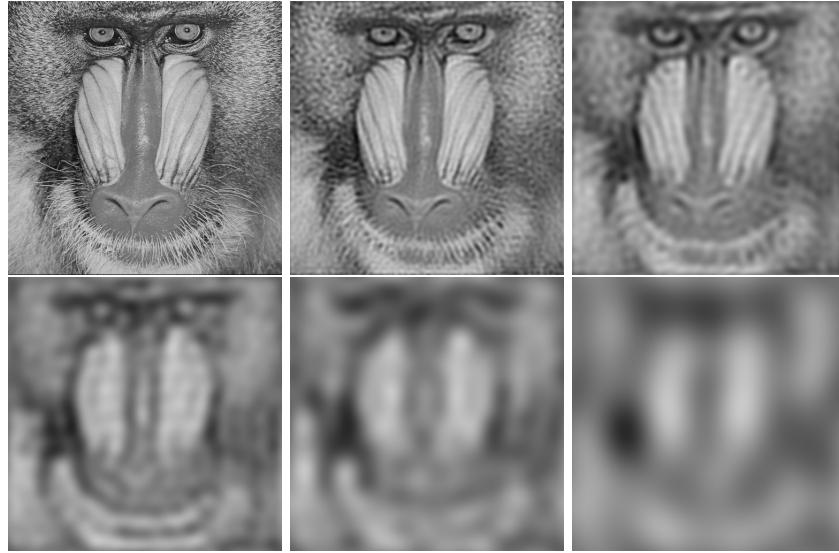


Figure 2: Imagem Original X Imagens com filtro passa baixa ideal aplicado. D_0 variando entre 50, 25, 15, 10 e 5.

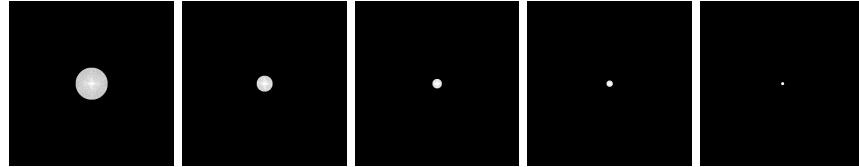


Figure 3: Espectros dos filtros passa baixa ideal com D_0 igual a 50, 25, 15, 10 e 5

A figura 4 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com o valor da varável n fixado em $n = 2$ e $D_0 = 50, 25, 15, 10$ e 5 . Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 5.

6.3 Filtros Passa Baixa Gaussiano

Assim como o filtro de Butterwort, o filtro Gaussiano possibilita uma transição suave entre as frequências escolhidas e as barradas, seguindo a equação $H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$.

Podemos observar que o filtro Gaussiano também preserva mais detalhes da imagem que o filtro ideal, e possui resultado parecido com o filtro de Butterworth. A figura 6 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com $D_0 = 50, 25, 15, 10$ e 5 . Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 7.

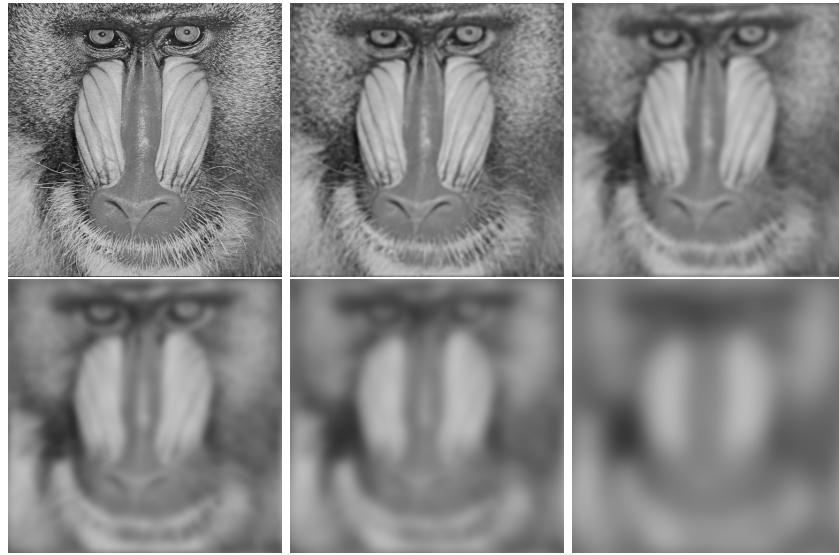


Figure 4: Imagem Original X Imagens com filtro passa baixa butterworth aplicado. Com $n = 2$ e D_0 variando entre 50, 25, 15, 10 e 5.

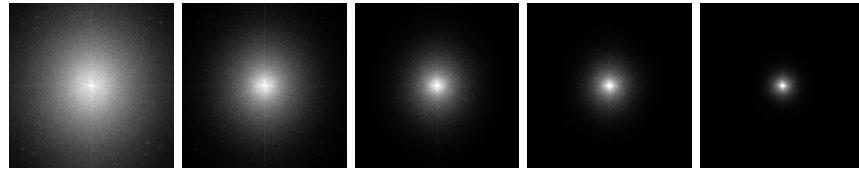


Figure 5: Espectros dos filtros passa baixa butterworth com $n = 2$ e D_0 igual a 50, 25, 15, 10 e 5

7 Filtros Passa Alta

Os filtros passa alta têm a propriedade de barrar as frequências baixas, e assim enaltecer as altas frequências, que consistem em bordas e transições bruscas da imagem. Porém, isso também implica em enfatizar os ruídos presentes na imagem.

Aplicamos 3 tipos de filtro passa baixa: Ideal, Butterworth e Gaussiano.

Para aplicar filtros com núcleos diferentes escolhemos 4 valores diferentes para a frequência de corte D_0 , para cada um dos 3 tipos. A frequência de corte determina se uma componente será barrada ou não, de acordo com sua distância até a origem.

Podemos observar que esse filtro funciona de maneira inversa ao filtro passa

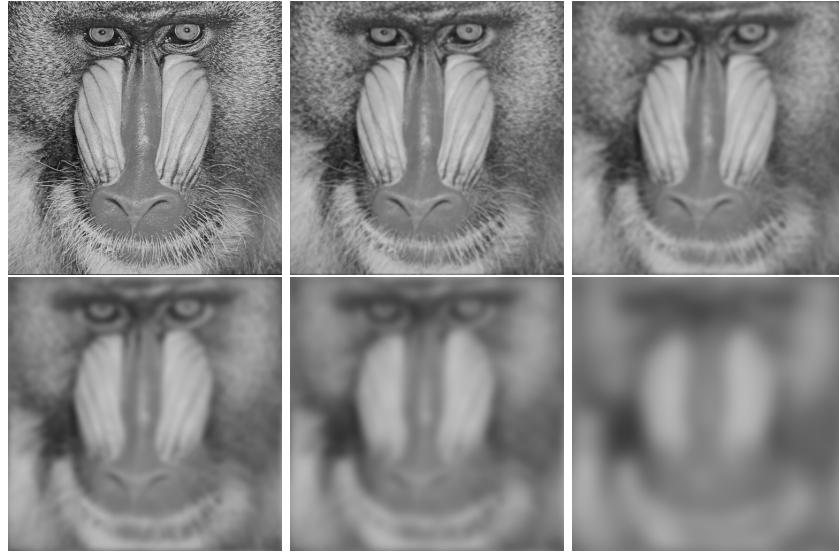


Figure 6: Imagem Original X Imagens com filtro passa baixa gaussiano aplicado. Com D_0 variando entre 50, 25, 15, 10 e 5.

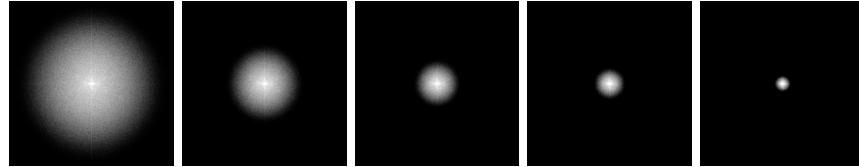


Figure 7: Espectros dos filtros passa baixa gaussiano com D_0 igual a 50, 25, 15, 10 e 5

baixa. Quanto maior for D_0 , maior é a quantidade de informações que retiramos da imagem. Assim, quando diminuímos D_0 , observamos mais detalhes da imagem.

Como atenuamos as componentes de baixa frequência da imagem, esta operação retorna uma imagem escura, enaltecendo os detalhes de alta frequência.

7.1 Filtros Passa Alta Ideal

Neste tipo de filtro, apenas as frequências contidas dentro do círculo de raio D_0 sofrerão alterações, enquanto que todas frequências fora desse círculo serão mantidas.

Podemos observar que quando a frequência de corte é alta, a imagem obtida possui poucos detalhes, resultando numa imagem mais escura.

À medida que diminuímos a frequência de corte, ou seja, aumentamos a quan-

tidade de coeficientes de baixa frequências da imagem, podemos perceber um aumento na exibição de detalhes.

A figura 8 compara as imagens obtidas da filtragem com $D_0 = 100, 50, 25$ e 10 . Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 9.

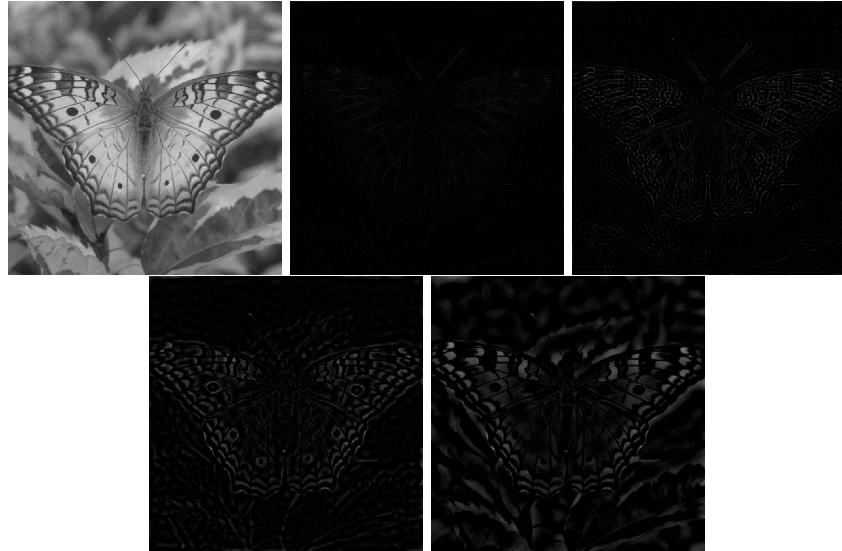


Figure 8: Imagem Original X Imagens com filtro passa baixa ideal aplicado. D_0 variando entre 100, 50, 25 e 10.

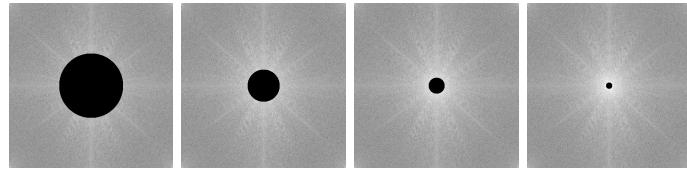


Figure 9: Espectros dos filtros passa baixa ideal com D_0 igual a 100, 50, 25 e 10

7.2 Filtros Passa Alta Butterworth

Diferente do filtro passa alta ideal, o Butterworth não apresenta uma transição na frequência de corte abrupta, seguindo a equação $H(u, v) = 1/(1+[D(u, v)/D_0]^{2n})$.

A figura 10 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com o valor da varável n fixado em $n = 2$ e $D_0 = 100, 50, 25$ e 10 . Os espectros

correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 11.



Figure 10: Imagem Original X Imagens com filtro passa alta butterworth aplicado. Com $n = 2$ e D_0 variando entre 100, 50, 25 e 10..

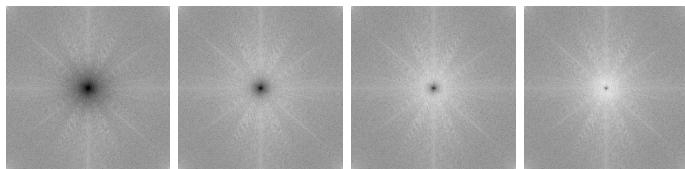


Figure 11: Espectros dos filtros passa alta butterworth com $n = 2$ e D_0 igual a 100, 50, 25 e 10.

7.3 Filtros Passa Alta Gaussiano

Assim como o filtro de Butterwort, o filtro Gaussiano possibilita uma transição suave entre as frequências escolhidas e as barradas, seguindo a equação $H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$.

A figura 12 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com $D_0 = 100, 50, 25$ e 10 . Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 13.



Figure 12: Imagem Original X Imagens com filtro passa alta gaussiano aplicado. Com D_0 variando entre 100, 50, 25 e 10.

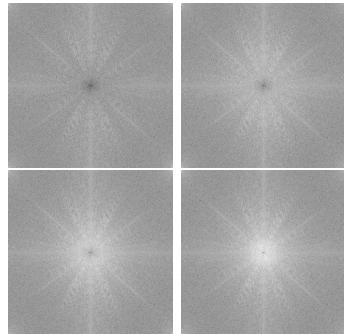


Figure 13: Espectros dos filtros passa alta gaussiano com D_0 igual a 100, 50, 25 e 10

8 Filtros Passa Faixa

Os filtros passa faixa permitem a passagem de frequências localizadas em uma faixa ou banda específica, e barra as frequências que não estão dentro dessa banda.

Diferente dos dois filtros anteriores, temos mais uma constante para filtrar as frequências da imagem, que é a largura de banda W . W determinará a largura da faixa de frequências dentro da frequência de corte que deixaremos passar. Assim, podemos encontrar resultados diferentes para diferentes combinações de D_0 e W .

A figura 14 compara a imagem original com as imagens obtidas da filtragem com $D_0, W = 100,160; 50,50; 25,26$ e $10,10$. Os espectros correspondentes às diferentes frequências de corte estão exibidos na figura 15.

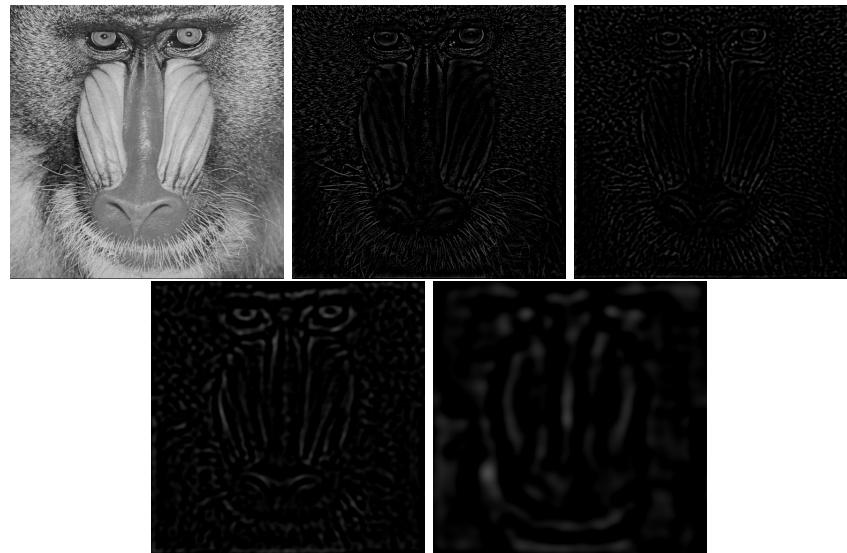


Figure 14: Imagem Original X Imagens com filtro passa faixa aplicado. Com D_0, W variando entre $100,160; 50,50; 25,26$ e $10,10$.

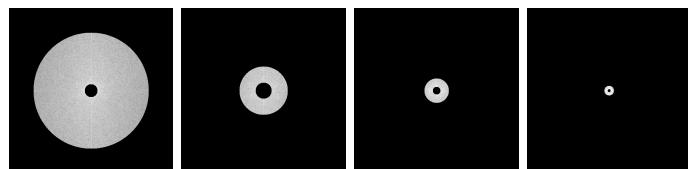


Figure 15: Espectros dos filtros passa faixa com D_0, W igual a $100,160; 50,50; 25,26$ e $10,10$