Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Computação
Algoritmos e Programação de Computadores - MC102QRSTWY

Laboratório Semanal 03

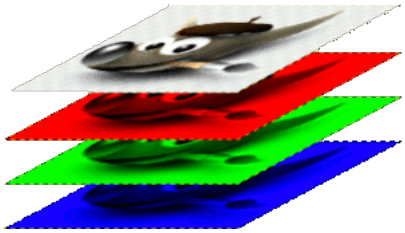
Prof. Arnaldo Moura e Prof. Lehilton Pedrosa

Prazo para entrega: 01/05/2016 às 21:59:59

1 Processamento de Imagens

Como um dedicado aluno de computação, você gostaria de treinar os novos conceitos aprendidos na aula de matrizes e vetores em C. Desta forma, você aplicará estes conceitos na área de processamento de imagens em 3 passos: Descomprimir uma imagem colorida; Transformá-la em uma imagem em escala de cinza; Aplicar filtros sobre a imagem.

As imagens digitais são compostas por uma malha de *pixels*. A cor de cada *pixel* é atribuída de acordo com o sistema RGB que, através da composição aditiva das cores primárias Vermelho (R-*Red*), Verde (G-*Green*) e Azul (B-*Blue*), geram as cores derivadas. Na imagem digital, a composição de cores de cada *pixel* é formada por 3 valores de intensidade de cor variando de [0-255]. Desta forma, uma imagem é resultado da sobreposição de 3 malhas (matrizes) de intensidade de cores, como na figura abaixo.



Para reduzir o espaço de armazenamento de uma imagem, ela pode ser comprimida. Um dos algoritmos mais simples de compressão é o RLE (*Run Length Encoder*). Ele funciona reduzindo o tamanho físico de uma sequência de repetição de caracteres. Na imagem, para cada matriz (ou malha de intensidade de cores), uma sequência repetida da mesma intensidade é substituída pelo par (numero de vezes que se repete, intensidade). O exemplo abaixo ilustra esta codificação para uma matriz X. A codificação Y indica que em X exite 1 valor 15, seguido de 2 valores 12, e assim por diante.

$$X = \begin{matrix} 15 & 12 & 12 & 10 & 12 & 12 & 15 \\ 12 & 12 & 10 & 10 & 10 & 12 & 12 \\ 12 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 12 \\ 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 \end{matrix} \qquad Y = \begin{matrix} 01 & 15 & 02 & 12 & 01 & 10 & 02 & 12 & 01 & 15 \\ 02 & 12 & 03 & 10 & 03 & 12 \\ 05 & 10 & 01 & 12 \\ 07 & 10 \end{matrix}$$

Desta forma, como primeiro passo da sua atividade, você deverá descomprimir as 3 matrizes de intensidade de cor de uma imagem, habilitando o seu uso para processamentos futuros. Isto é, dado Y, você deverar gerar X.

O segundo passo da sua atividade é transformar esta imagem colorida em escala de cinza. Neste processamento, as três matriz devem ser combinadas para gerar uma única matriz de intensidade, que representa os tons cinzentos entre 0 (preto absoluto) e 255 (branco absoluto). A figura abaixo ilustra a intensidade dos *pixels* na pequena região em destaque.

87	65	86	121	174	202	204
90	65	50	72	163	204	204
112	77	56	66	157	204	204
108	74	53	87	177	207	204
72	57	66	126	197	209	206
55	65	113	173	207	211	210
77	107	160	198	208	206	208

Para obter os valores em escala de cinza, você deverá calcular a média da intensidade das componentes RGB de cada *pixel*. Para este processo, considere apenas o valor inteiro da média, desconsidere suas casas decimais. As matrizes abaixo ilustra o processo, onde:

$$Cinza_{x,y} = \frac{R_{x,y} + G_{x,y} + B_{x,y}}{3}$$

$$R = \begin{matrix} 250 & 34 & 234 \\ 250 & 0 & 10 \\ 34 & 0 & 30 \end{matrix} \qquad G = \begin{matrix} 100 & 50 & 95 \\ 100 & 100 & 100 \\ 90 & 50 & 0 \end{matrix} \qquad B = \begin{matrix} 0 & 90 & 120 \\ 250 & 134 & 44 \\ 240 & 100 & 110 \end{matrix}$$

$$Cinza = \begin{matrix} 116 & 58 & 149 \\ 200 & 78 & 51 \\ 364 & 50 & 46 \end{matrix}$$

O terceiro passo desta atividade é a aplicação de filtros sobre a imagem/matriz em escala de cinza. A filtragem, aplicada a uma imagem digital, é uma operação local que modifica os valores de cada *pixel* da imagem considerando o contexto atual do *pixel*, isto é sua vizinhança. Existem diversos filtros para manipular imagens, tais como *Blur*, *Sharpen*, *Edge detection*, *Emboss*, etc. Muitos desses efeitos são realizados através de somente um algoritmo, a **convolução de matrizes**.

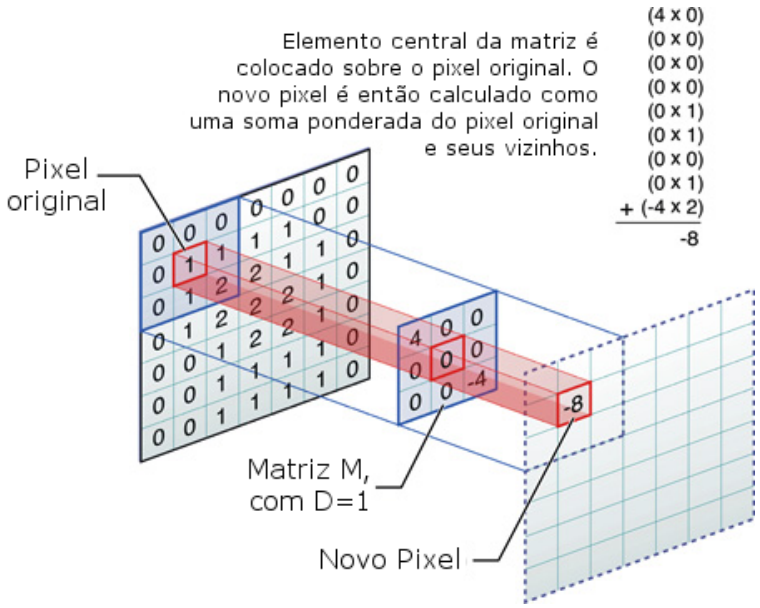
Uma operação de convolução consiste em, para cada *pixel* $p(x, y)$ de uma imagem, aplicar uma função matemática sobre a vizinhança de $p(x, y)$ e guardar o resultado em uma nova imagem p'. O efeito resultante dependerá dessa forma do tipo de função aplicada.

Dada uma matriz $M = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}$ e um divisor D, a função de convolução é aplicada para cada *pixel* $p'_{x,y}$ como segue:

$$p'_{x,y} = \frac{a \cdot p_{x-1,y-1} + b \cdot p_{x,y-1} + c \cdot p_{x+1,y-1} + d \cdot p_{x-1,y} + e \cdot p_{x,y}}{D} +$$

$$\frac{f \cdot p_{x+1,y} + g \cdot p_{x-1,y+1} + h \cdot p_{x,y+1} + i \cdot p_{x+1,y+1}}{D}$$

A imagem abaixo ilustra como a operação é realizada para o *pixel* $p_{1,1}$ usando a matriz M com $a = 4$ e $i = -4$ (0 para os demais valores) e um divisor $D = 1$. Nesta imagem, a parte sombreada indica os vizinhos de $p_{1,1}$.



A matriz M é sempre quadrada e sua ordem tem valor ímpar (3×3, 5×5, 7×7...). Neste caso, para aplicar a função de convolução, a vizinhança do *pixel* central deve ser expandida para que tenha a mesma ordem da matriz M. Para os *pixels* da borda (cuja vizinhança é menor que o tamanho da matriz de convolução M), os valores devem ser copiados para a matriz resultante sem qualquer operação. Note que na imagem acima o valor do *pixel* resultante é -8, mas a imagem só armazena valores de [0-255]. Portanto, os valores menores que 0 e maiores que 255 devem ser trucados para 0 e 255, respectivamente. Use sempre valores inteiros pois, como no segundo passo da atividade, a divisão é truncada, desprezando as casas decimais.

Abaixo veja alguns resultados da aplicação de filtros.

Filtro *sharpen*:$M = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, D = 1$

Filtro *blur*: $M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, D = 9$

Filtro *edge detect*: $M = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, D = 1$

(a) Original

(b) Filtro *sharpen*

(c) Filtro *blur*

(d) Filtro *edge detect*

Entrada:

- Uma linha contendo um inteiro D, representando o divisor da terceira fase (filtragem).
- Uma linha contendo um inteiro X representando a ordem da matriz quadrada M, usada na terceira fase da atividade (filtragem). X é um número impar menor que 10.
- A matriz quadrada M com X^2 números inteiros, dispostas em X linhas e X colunas.
- Uma linha com dois inteiros positivos menores que 600 representando a resolução da imagem em *pixels* (Largura e Altura).
- Uma sequência de pares de números inteiros (frequência, intensidade) representando uma imagem colorida comprimida com o algoritmo RLE. Esta entrada é composta apenas pelos números separados por espaço, sem vírgula ou parênteses. Esta sequência apresenta a compressão da matriz R, seguida da G e seguida da B. Note que, você sabe quantos *pixels* existem em cada matriz (Largura×Altura), desta forma é possível descobrir/calcular onde a sequencia da entrada encerra a codificação da matriz R e inicia a G, bem como encerra a G e inicia a B.

Saída:

A saída deve ser uma imagem em escala de cinza no formato PGM (*Portable Gray Map*). O formato permite que a saída, em forma de texto, da matriz de intensidade de cinza seja visualizada como imagem. Para isto você deverá imprimir:

- Uma linha com os caracteres **P2**.
- Uma linha com dois inteiros separados por espaço, informando o tamanho da imagem em *pixels*, na ordem largura e depois altura.
- Uma linha contendo o número **255** que representa o valor máximo de intensidade de um *pixel*.

- A matriz de intensidade com A linhas e L colunas, onde A é altura e L é a largura da imagem em *pixels*.

Exemplo:

Entrada:
1
3
0 1 0
1 -4 1
0 1 0
12 7
13 0 4 255 2 0 4 100 2 0 1 255 5 0 1 100 5 0 3 255 3 0 3 100 3 0 1 255 5 0 1 100 5 0 1 255 5 0 4 100 13 0 19 0 4 170 8 0 1 170 11 0 3 170 9 0 1 170 11 0 4 170 13 0 13 0 4 255 2 0 4 100 2 0 1 255 5 0 1 100 5 0 3 255 3 0 3 100 3 0 1 255 5 0 1 100 5 0 1 255 5 0 4 100 13 0

Saída:

P2
12 7
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 170 123 0 0 0 0 0
0 0 255 255 170 0 123 0 255 246 123 0
0 0 0 0 170 0 123 0 0 0 123 0
0 0 255 170 0 0 123 0 255 246 123 0
0 0 170 0 0 0 123 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Resultados Parciais do Exemplo:

Etapa 1: Descompactar imagem colorida

$$R=\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 100 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$G=\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 170 & 170 & 170 & 170 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 170 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 170 & 170 & 170 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 170 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 170 & 170 & 170 & 170 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$B = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 100 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Etapa 2: Montar imagem em escala de cinza

$$Cinza = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 170 & 170 & 170 & 170 & 0 & 0 & 123 & 123 & 123 & 123 & 0 \\ 0 & 170 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 123 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 170 & 170 & 170 & 0 & 0 & 0 & 123 & 123 & 123 & 0 & 0 \\ 0 & 170 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 123 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 170 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 123 & 123 & 123 & 123 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Etapa 3: Aplicação de filtro

$$Cinza' = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -340 & -340 & -340 & -510 & 170 & 123 & -246 & -246 & -246 & -369 & 0 \\ 0 & -340 & 340 & 340 & 170 & 0 & 123 & -246 & 369 & 246 & 123 & 0 \\ 0 & -170 & -340 & -510 & 170 & 0 & 123 & -123 & -246 & -369 & 123 & 0 \\ 0 & -340 & 340 & 170 & 0 & 0 & 123 & -246 & 369 & 246 & 123 & 0 \\ 0 & -510 & 170 & 0 & 0 & 0 & 123 & -246 & -246 & -246 & -369 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Após este passo, basta trucar os valores maiores que 255 e menores que 0.

Dicas e lembretes sobre o problema:

- Existem 6 casos de teste no Susy utilizando uma matriz de convolução com ordem 3.
- Todos os valores manipulados nas matrizes são inteiros, então use variáveis inteiras para não haver problema com precisão e/ou arredondamento.
- Perceba que os valores das matrizes variam sempre de [0-255], portanto você pode economizar espaço utilizando variáveis de tamanho menor que as variáveis do tipo *int*. No entanto, nem todas as variáveis devem ser limitadas a 255, o resultado da convolução pode gerar um valor maior que 255 ou menor que 0.
- Lembre que os valores resultantes da convolução de matrizes deve ser atribuído a uma nova matriz. Desta forma, os novos valores são apenas influenciados pela vizinhança da matriz original.
- Caso você queira visualizar a imagem resultante (no formato PGM), você deverá salvar a saída do programa em um arquivo com extensão .pgm e utilizar o programa IrfanView no Windows. Instale o programa e seus *plugins*. No Linux, os visualizadores de imagem tradicionais já oferece esta visão. Você poderá visualizar também a imagem em escala de cinza original, desde que atribua os valores da matriz original a um arquivo no formato PGM.
- Extra: Para manipular e visualizar imagens coloridas, os dados devem estar no arquivo de formato PPM. Este arquivo contém uma única matriz com 3 valores para cada *pixel*, correspondentes ao sistema RGB. Filtros também podem ser aplicados sobre a imagem colorida. No entanto, ele

deve ser aplicado em cada componente/malha separadamente. Mantendo o formato de arquivo PPM, você poderá visualizar os resultados da sua imagem após a aplicação de algum filtro.

- **Observações**
  - *O programa deve ser submetido em C (labSemanal03.c)*
  - *Faça comentários e indentação do seu código*
  - *O aluno pode assumir que todas as linhas da entrada terminam com o fim-de-linha*
  - *Todas as linhas da saída devem terminar com o fim-de-linha*
  - *É obrigatório o uso de matrizes para manipular os dados*
  - *É proibido o uso de manipulação de arquivo para ler as entradas. Isto quer dizer que você não pode usar uma variável do tipo FILE, ou funções como: fseek, fopen, fscanf, etc.*
  - *Apenas por curiosidade, as imagens utilizadas na entrada estão no susy.*
  - *O número máximo de submissões é 15*
  - *O comando de compilação será:*
    gcc -std=c99 -pedantic -Wall -lm labSemanal03.c -o labSemanal03
  - *O comando de execução será:*
    ./labSemanal03 ou ./labSemanal03 <arq00.in >saida.pgm
  - *Você poderá comparar os arquivos de saída com o comando diff*