Arquitectura de Sistemas e Computadores I
Licenciatura em Engenharia Informática

Miguel Barão

Ano Lectivo 2013-2014

1 Objectivo

Pretende-se com este trabalho desenvolver um conjunto de funções em assembly MIPS para fazer detecção de contornos em imagens a cores. Dada uma imagem RGB, o resultado final deverá ser uma imagem em tons de cinzento, com fundo branco e com traços escuros nos locais onde existem contornos na imagem original.

2 Teoria

Para efectuar a detecção de contornos é necessário efectuar um conjunto de passos intermédios:

1. Leitura do ficheiro com a imagem em formato RGB;
2. Conversão da imagem de RGB para escala de cinzentos (*gray scale*);
3. Aplicação de um operador Sobel vertical para a detecção de variações verticais na intensidade da cor;
4. Aplicação de um operador Sobel horizontal para a detecção de variações horizontais na intensidade da cor;
5. Combinação das variações de cor nas direcções horizontal e vertical para a obtenção do resultado final;
6. Escrita da imagem final num ficheiro em formato GRAY.

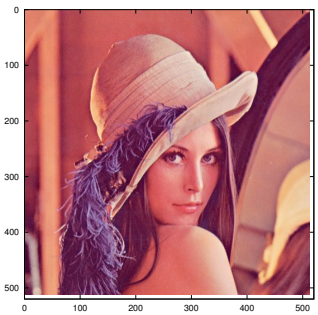
As figuras da imagem 1 ilustram alguns destes passos. As secções seguintes explicam detalhadamente como é efectuado cada um destes passos.

2.1 Formato RGB

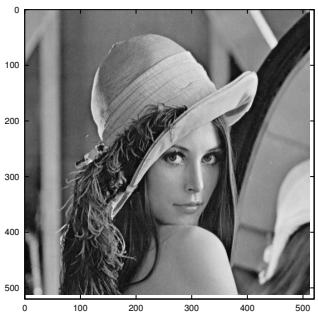
A imagem original é uma imagem a cores RGB, onde a intensidade de cada cor é codificada por um byte com valores de 0 a 255. Assim, cada pixel é codificado por três bytes, um byte para cada uma das cores primárias vermelho (R), verde (G) e azul (B).

Uma imagem consiste numa matriz em que cada elemento contém uma cor RGB. Uma imagem de dimensão $m \times n$ corresponde à matriz

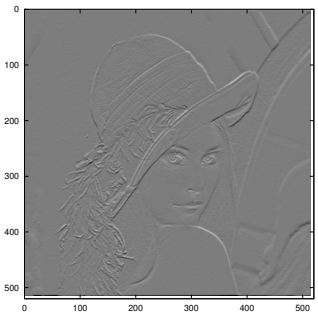
$$\begin{bmatrix} (R_{11}G_{11}B_{11}) & (R_{12}G_{12}B_{12}) & \cdots & (R_{1n}G_{1n}B_{1n}) \\ (R_{21}G_{21}B_{21}) & (R_{22}G_{22}B_{22}) & \cdots & (R_{2n}G_{2n}B_{2n}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (R_{m1}G_{m1}B_{m1}) & (R_{m2}G_{m2}B_{m2}) & \cdots & (R_{mn}G_{mn}B_{mn}) \end{bmatrix}.$$



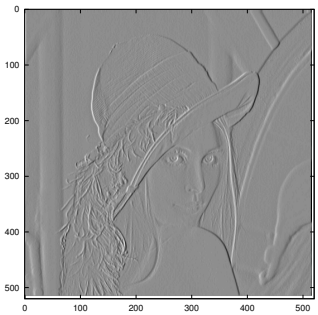
(a) Imagem "Lena" original, tamanho 512×512.



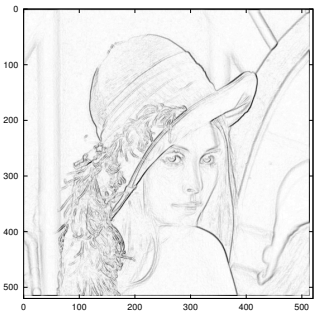
(b) Imagem "Lena" convertida para escala de cinzentos.



(c) Imagem filtrada pelo operador Sobel vertical.



(d) Imagem filtrada pelo operador Sobel horizontal.



(e) Contornos obtidos a partir da aplicação dos operadores Sobel horizontal e vertical.

Figura 1: Imagem de teste "Lena" e passos intermédios para a detecção de contornos.

Os pixeis da imagem anterior são guardados sequencialmente num ficheiro pela seguinte ordem:

$$[\underbrace{R_{11}G_{11}B_{11}\cdots R_{1n}G_{1n}B_{1n}}_{1^{\text{a}}\text{ linha}}\underbrace{R_{21}G_{21}B_{21}\cdots R_{2n}G_{2n}B_{2n}}_{2^{\text{a}}\text{ linha}}\cdots\underbrace{R_{m1}G_{m1}B_{m1}\cdots R_{mn}G_{mn}B_{mn}}_{m\text{-ésima linha}}]$$

O ficheiro RGB não contém informação acerca do tamanho da imagem, nem o número de bits usado para codificar cada cor. Essa informação é perdida na conversão. Para descodificar uma imagem neste formato é necessário conhecer de antemão as características da imagem original.

Para converter uma imagem para este formato, pode ser usado o programa `convert` disponibilizado pelo `ImageMagick` em Linux. Ilustra-se em seguida a utilização deste programa na conversão entre os formatos JPEG, RGB e GRAY (escala de cinzentos).

```
$ convert imagem.jpg imagem.rgb                              # JPG  -> RGB
$ convert -size 512x512 -depth 8 imagem.rgb imagem.jpg       # RGB  -> JPG
$ convert -size 512x512 -depth 8 imagem.gray imagem.jpg      # GRAY -> JPG
```

No segundo caso, correspondente à conversão de RGB para JPEG, e como o formato RGB não guarda a dimensão da imagem, é necessário passar como opções a dimensão `-size 512x512` e o número de bits de cada cor `-depth 8`. O terceiro exemplo ilustra a conversão de uma imagem monocromática (em escala de cinzentos) para JPEG. Neste último caso cada pixel é codificado por um byte com valores de 0 a 255 (preto até branco).

2.2 Conversão RGB para tons de cinzento

A conversão RGB para tons de cinzento consiste em converter as três componentes RGB para apenas uma componente que codifica a intensidade luminosa de um pixel.

Sabe-se que a retina humana tem sensibilidades diferentes para cores diferentes, sendo mais sensível ao verde e menos ao azul. Assim, se se pretender que a imagem em tons de cinzento reflicta estas diferenças de sensibilidade, as cores têm pesos diferentes na intensidade luminosa de um pixel. A fórmula seguinte é um *standard* neste tipo de conversão:

$$I = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

Cada pixel da imagem em tons de cinzento é obtido pela aplicação da fórmula anterior ao pixel correspondente da imagem RGB.

2.3 Operadores Sobel

Os operadores Sobel são usados para detectar variações de cor em imagens em tons de cinzento.

Um operador Sobel consiste numa matriz de dimensão 3×3 que é convolvida com a imagem original. São usadas duas matrizes:

$$S_h = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \qquad S_v = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Cada um destes operadores vai detectar variações na intensidade de cor numa das direcções horizontal ou vertical.

A aplicação destes operadores é efectuada por uma operação chamada convolução 2D, e que se exemplifica em seguida. Suponha-se que a imagem original (em escala de cinzentos) está representada numa matriz A. A Imagem B, obtida pela convolução de A com o operador S_h,

$$B = S_h * A,$$

onde o símbolo $*$ denota a operação de convolução, é obtida da seguinte maneira: percorre-se cada posição (i, j) da imagem B, e calcula-se

$$B(i,j) = \sum_{p\in\{-1,0,1\}} \sum_{q\in\{-1,0,1\}} A(i+p, j+q)\ S_h(2-p, 2-q).$$

Esta operação consiste essencialmente em sobrepôr a matriz S_h centrada na componente (i, j) da matriz A, fazer todos os produtos de elementos de S_h com os respectivos de A, e somar tudo obtendo-se no final $B(i, j)$. Este procedimento é repetido para calcular todos os elementos de B.

A convolução não está bem definida junto às margens da imagem A. Nessas regiões a solução fica ao critério do aluno.

2.4 Detecção de contornos

A detecção dos contornos é efectuada combinando os resultados obtidos com a aplicação dos operadores Sobel S_h e S_v à imagem A. Suponha-se que se obteve as matrizes

$$B_h = \tfrac{1}{4}|S_h * A|$$
$$B_v = \tfrac{1}{4}|S_v * A|$$

onde as barras $|\cdot|$ denotam o valor absoluto.

A matriz C com os contornos pode ser obtida somando as matrizes B_h e B_v anteriores:

$$C = \tfrac{1}{2}(B_h + B_v).$$

Para obter um resultado como o da figura 1(e) é necessário determinar a imagem complementar:

$$D(i,j) = 255 - C(i,j)$$

para todos os pixeis (i, j).

3 Implementação

A implementação da detecção de contornos em assembly MIPS deve ser estruturada em várias funções independentes. As funções a desenvolver são as seguintes:

read_rgb_image função que lê uma imagem no formato RGB para um array em memória. A função recebe como argumentos uma string com o nome do ficheiro a ler, e devolve um buffer com a imagem RGB lida. Assume-se dimensão 512×512.

write_gray_image função que escreve uma imagem em formato GRAY num ficheiro. A função recebe como argumentos o nome de um ficheiro, um buffer com a imagem e o comprimento do buffer (por esta ordem).

rgb_to_gray função que converte uma imagem a cores RGB para uma imagem em tons de cinzento GRAY. A função recebe como argumentos um buffer com a imagem RGB e um buffer onde deve ser colocada a imagem em formato GRAY. A função assume internamente que a imagem tem dimensão 512×512.

convolution função que calcula a convolução de uma imagem A com um operador Sobel (matriz 3×3) e coloca o resultado numa matriz B. Os valores da matriz B devem estar em valor absoluto. A função recebe como argumentos um buffer com a matriz A, um buffer com um dos operadores Sobel e um buffer que vai conter a imagem filtrada B. A função assume internamente que a imagem tem dimensão 512×512.

contour função que calcula a imagem final combinando duas imagens filtradas. A função recebe como argumentos dois buffers com as imagens a combinar, e um buffer que vai conter o resultado. A função assume internamente que a imagem tem dimensão 512×512.

3.1 I/O para Ficheiros

A leitura e escrita de ficheiros é efectuada da mesma maneira que em sistemas UNIX/LINUX com as funções `open`, `read`, `write` e `close`.

Para abrir um ficheiro para leitura pode usar-se o código seguinte:

```
la $a0, FILE         # string containing filename to open
li $a1, 0
li $a2, 0            # read only
li $v0, 13           # open
syscall              # v0 = file descriptor
```

No final, o registo `$v0` contém o descritor do ficheiro que será usado para as operações de leitura seguintes. A leitura do ficheiro é efectuada com um `read` da seguinte maneira:

```
# a0 = file descriptor
# a1 = buffer address
# a2 = length (number of bytes to read)
li $v0, 14           # read
syscall
```

Para abrir um ficheiro para escrita pode usar-se o código seguinte:

```
la $a0, FILE         # string containing filename to open
li $a1, 577          # flags O_CREAT|O_TRUNC|O_WRONLY
li $a2, 0x1ff        # write permissions 777
li $v0, 13           # open
syscall              # v0 = file descriptor (-1 on failure)
```

A escrita neste ficheiro é efectuada com um `write` da seguinte maneira:

```
# a0 = file descriptor
# a1 = buffer address
# a2 = length (number of bytes to write)
li $v0, 15           # write
syscall
```

No final todos os ficheiros abertos devem ser fechados com a função `close`:

```
# a0 = file descriptor
li $v0, 16           # close
syscall
```

Atenção: O manual do SPIM que vem com o livro tem informação errada no que respeita a estes syscalls.

4 Notas finais

- Começe com imagens de muito baixa dimensão para testar o código. Por exemplo uma imagem 4×4 com um total de 16 pixeis. Quando tudo funcionar correctamente numa imgem pequena, experimente a imagem lena com dimensão 64×64.
- Poderá ser útil usar as instruções `madd`, `maddu`, `sra` e `lbu`, e a pseudo-instrução `abs`.