

影像處理作業報告

HW3

Color image enhancement in
the RGB, HSI, Lab color
spaces

授課教授：柳金章教授

學 生：沈冠恩

學 號：612410125

Due date：2023/12/20

Handed in date：2023/12/18

目錄

Technical description	3
Experimental results	8
Discussions	12
References and Appendix	18

Technical description

A. Using Laplacian operator to enhance RGB color image

在 RGB 彩色系統上，對影像使用 Laplacian operator 進行 image sharpening，相當於將影像中每一個 RGB 成分，分別進行 gray level image 的 Laplacian operation。

如下式表示：

$$\nabla^2[C(x, y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 R(x, y) \\ \nabla^2 G(x, y) \\ \nabla^2 B(x, y) \end{bmatrix}$$

B. Color image enhance in HSI color space

1. Transfer image from RGB color space to HSI color space

令 $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ 分別為原 RGB 彩色影像

$f(x, y)$ 上 R, G, B 成分，則原 RGB 彩色影像對應的 HSI 彩色影像可如下計算：

$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)),$$

$$S(x, y) = 1 - \frac{3}{(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)) \cdot [\min(R(x, y), G(x, y), B(x, y))]},$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}[(R(x, y) - G(x, y)) + (R(x, y) - B(x, y))]}{\sqrt{(R(x, y) - G(x, y))^2 + (R(x, y) - B(x, y))(G(x, y) - B(x, y))}} \right),$$

$$H(x, y) = \begin{cases} \theta, & \text{if } B(x, y) \leq G(x, y), \\ 360 - \theta, & \text{if } B(x, y) > G(x, y), \end{cases}$$

其中， $H(x, y)$, $S(x, y)$, $I(x, y)$ 分別對應到原 RGB 彩色影像的 H, S, I 成分， $\min(\cdot)$ 函數表示取集合中最小值。

2. Transfer image from HSI color space to RGB color space

令 $H(x, y)$, $S(x, y)$, $I(x, y)$ 分別為原 HSI 彩色影像

$f(x, y)$ 上 H, S, I 成分，則原 HSI 彩色影像對應的 RGB 彩色影像可如下計算：

Case 1. $0 \leq H(x, y) < 120$

$$B(x, y) = I(x, y) \cdot (1 - S(x, y)),$$

$$R(x, y) = I(x, y) \cdot \left[1 + \frac{S(x, y) \cdot \cos(H(x, y))}{\cos(60 - H(x, y))} \right],$$

$$G(x, y) = 3I(x, y) - (R(x, y) + B(x, y)),$$

Case 2. $120 \leq H(x, y) < 240$

$$R(x, y) = I(x, y) \cdot (1 - S(x, y)),$$

$$G(x, y) = I(x, y) \cdot \left[1 + \frac{S(x, y) \cdot \cos(H(x, y))}{\cos(60 - H(x, y))} \right],$$

$$B(x, y) = 3I(x, y) - (R(x, y) + G(x, y)),$$

Case 3. $240 \leq H(x, y) < 360$

$$G(x, y) = I(x, y) \cdot (1 - S(x, y)),$$

$$B(x, y) = I(x, y) \cdot \left[1 + \frac{S(x, y) \cdot \cos(H(x, y))}{\cos(60 - H(x, y))} \right],$$

$$R(x, y) = 3I(x, y) - (G(x, y) + B(x, y)),$$

其中， $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ 分別對應到原 RGB 彩色影像的 R, G, B 成分， $\cos(\cdot)$ 表示餘弦函數。

3. Using Laplacian operator to enhance HSI color image

在 HSI 彩色系統上，對影像 $C(x, y)$ 使用 Laplacian operator 進行 image sharpening，相當於將影像中 I 成分，獨立進行 gray level image 的 Laplacian operation，再將結果和原影像中 H 和 S 通道組合即為所求。

如下式表示：

$$\nabla^2[C(x, y)] = \begin{bmatrix} H(x, y) \\ S(x, y) \\ \nabla^2 I(x, y) \end{bmatrix}$$

C. Color image enhance in CIELAB color space

1. Transfer image from RGB color space to XYZ color space

令 $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ 分別為原 RGB 彩色影像

$f(x, y)$ 上 R, G, B 成分，則原 RGB 彩色影像對應的 XYZ 彩

色影像可如下計算：

$$\begin{bmatrix} X(x, y) \\ Y(x, y) \\ Z(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.357 & 0.180 \\ 0.212 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$$

其中， $X(x, y), Y(x, y), Z(x, y)$ 分別對應到 XYZ 彩色影像的

X, Y, Z 成分。

2. Transfer image from XYZ color space to CIELAB color space

令 $X(x, y), Y(x, y), Z(x, y)$ 分別為原 XYZ 彩色影像

$f(x, y)$ 上 X, Y, Z 成分，則原 XYZ 彩色影像對應的 CIELAB

彩色影像可如下計算：

$$L(x, y) = 116 \cdot h\left(\frac{Y(x, y)}{1.0}\right) - 16,$$

$$a(x, y) = 500 \cdot h\left(\frac{X(x, y)}{0.950456}\right) - h\left(\frac{Y(x, y)}{1.0}\right),$$

$$b(x, y) = 200 \cdot h\left(\frac{Y(x, y)}{1.0}\right) - h\left(\frac{Z(x, y)}{1.088754}\right),$$

其中， $L(x, y), a(x, y), b(x, y)$ 分別對應到原 CIELAB 彩色

影像的 L, a, b 成分。 $h(\cdot)$ 定義如下：

$$h(x) = \begin{cases} x^{\frac{1}{3}}, & \text{if } x > 0.008856, \\ 7.787x + \frac{16}{116}, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

3. Transfer image from CIELAB color space to XYZ color space

令 $L(x, y), a(x, y), b(x, y)$ 分別為原 CIELAB 彩色影像

$f(x, y)$ 上 L, a, b 成分，則原 CIELAB 彩色影像對應的 XYZ

彩色影像可如下計算：

$$Y(x, y) = T\left(\frac{L(x, y) + 16}{116}\right) \cdot 1.0,$$

$$X(x, y) = T\left(\frac{Y(x, y) + a(x, y)}{500}\right) \cdot 500,$$

$$Z(x, y) = T\left(\frac{Y(x, y) - b(x, y)}{200}\right) \cdot 1.088754,$$

其中， $X(x, y)$, $Y(x, y)$, $Z(x, y)$ 分別對應到 XYZ 彩色影像的

X, Y, Z 成分。 $T(\cdot)$ 定義如下：

$$T(x) = \begin{cases} x^{\frac{1}{3}}, & \text{if } x > \frac{6}{29}, \\ \frac{x - 16}{116} \cdot 3 \cdot \left(\frac{6}{29}\right)^2, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

4. Transfer image from XYZ color space to RGB color space

令 $X(x, y), Y(x, y), Z(x, y)$ 分別為原 XYZ 彩色影像

$f(x, y)$ 上 X, Y, Z 成分，則原 XYZ 彩色影像對應的 RGB 彩

色影像可如下計算：

$$\begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240 & -1.537 & -0.498 \\ -0.969 & 1.876 & 0.041 \\ 0.055 & -0.020 & 1.057 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(x, y) \\ Y(x, y) \\ Z(x, y) \end{bmatrix}$$

其中， $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ 分別對應到 RGB 彩色影像的

R, G, B 成分。

5. Using Laplacian operator to enhance CIELAB color image

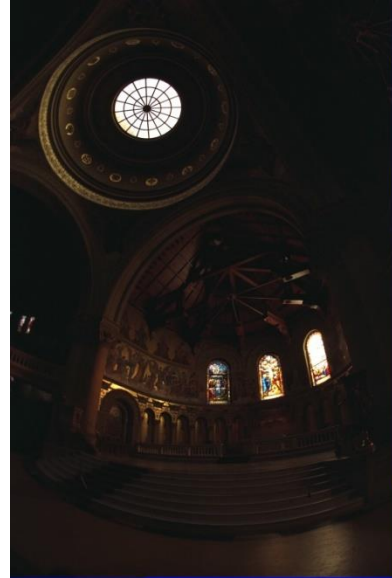
在 CIELAB 彩色系統上，對影像 $C(x,y)$ 使用 Laplacian operator 進行 image sharpening，相當於將影像中 L 成分，獨立進行 gray level image 的 Laplacian operation，再將結果和原影像中 a 和 b 通道組合即為所求。

如下式表示：

$$\nabla^2[C(x,y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 L(x,y) \\ a(x,y) \\ b(x,y) \end{bmatrix}$$

Experimental results

本次實驗欲測試如下四張彩色影像檔案：



圖(1) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg。

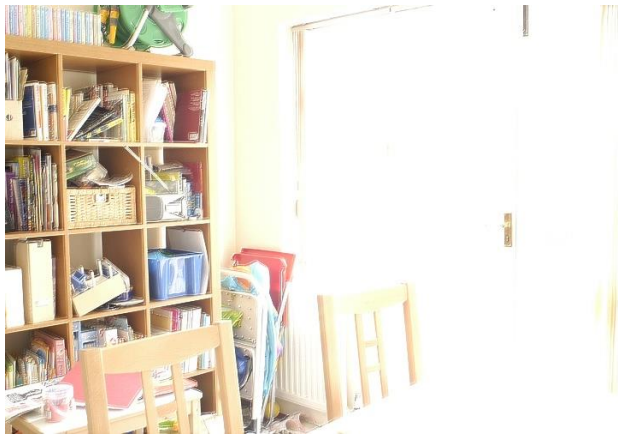
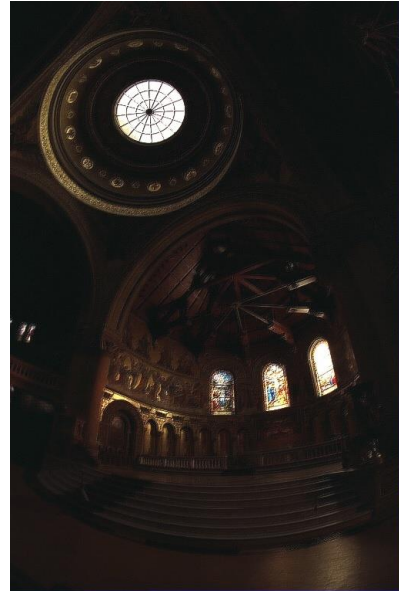
本次實驗使用此 mask：

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

圖(2) 本次實驗使用的 mask。

A. Using Laplacian operator to enhance RGB color image

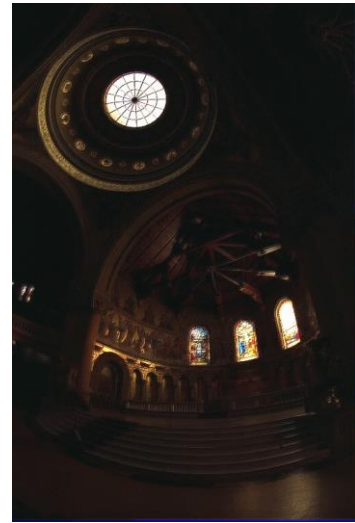
將 RGB 彩色影像經 Laplacian operator 處理過後結果如下：



圖(3) 由左上至右下為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 RGB 彩色空間經 Laplacian operator 處理後影像。

B. Using Laplacian operator to enhance HSI color image

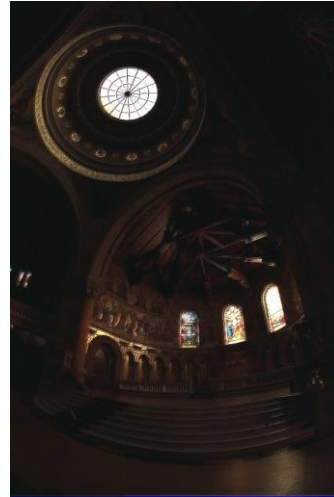
將 HSI 彩色影像經 Laplacian operator 處理過後結果如下：



圖(4) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 HSI 彩色空間經 Laplacian operator 處理後影像。

C. Using Laplacian operator to enhance CIELAB color image

將 CIELAB 彩色影像經 Laplacian operator 處理過後結果如下：



圖(5) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 CIELAB 彩色空間經 Laplacian operator 處理後影像。

Discussions

由於原彩色影像部分為整體亮度偏低或整體亮度偏高，因此欲藉由 gamma transformation 將影像的整體亮度調整後，在進行 image sharpening，來使輸出影像可觀性更高。

表(1) 在 RGB 彩色空間上進行 gamma transformation 策略

Threshold	亮度調整策略
影像中 intensity 平均值 < 50	原 gray level 開根
影像中 intensity 平均值 > 200	原 gray level 取平方

表(2) 在 HSI 彩色空間上進行 gamma transformation 策略

Threshold	亮度調整策略
影像中 intensity 平均值 < 50	原 gray level 開根
影像中 intensity 平均值 > 200	原 gray level 取平方

表(3) 在 CIELAB 彩色空間上進行 gamma transformation 策略

Threshold	亮度調整策略
影像中 intensity 平均值 < 20	原 gray level 開根
影像中 intensity 平均值 > 90	原 gray level 取平方

- A. Using Laplacian operator to sharpening image with gamma transformation in RGB color space

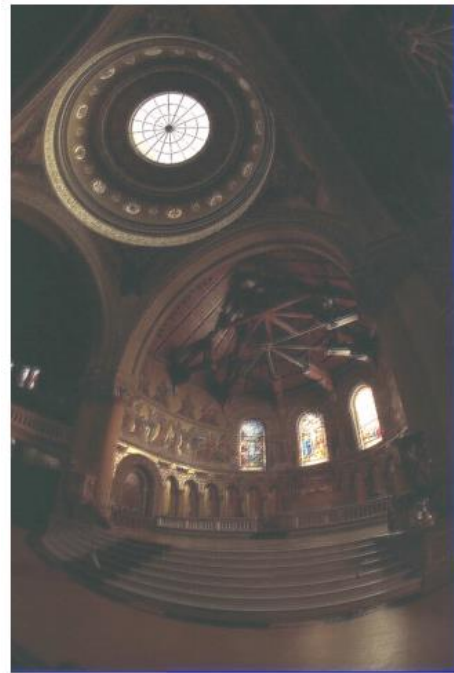
實際結果影像如下：



圖(6) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 RGB 彩色空間先經 gamma transformation 後再經 Laplacian operator 處理後影像。

- B. Using Laplacian operator to sharpening image with gamma transformation in HSI color space

實際結果影像如下：



圖(7) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 HSI 彩色空間先經 gamma transformation 後再經 Laplacian operator 處理後影像。

- C. Using Laplacian operator to sharpening image with gamma transformation in CIELAB color space

實際結果影像如下：



圖(8) 由左上至右下分別為 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 分別在 CIELAB 彩色空間先經 gamma transformation 後再經 Laplacian operator 處理後影像。

由上述 A, B, C 三個小節可知，在 RGB 彩色空間上，四張對應的結果影像可觀性佳。在 HSI 彩色空間上，church.jpg 和 house.jpg 對應的結果可觀性佳，但是 aloe.jpg 的輸出結果不如預期。在 CIELAB 彩色空間上，無論是 aloe.jpg、church.jpg、house.jpg 以及 kitchen.jpg 四張影像對應的結果，皆不如預期。

此外，假設影像維度為 $(n*n)$ ，則在 RGB 彩色空間上需要花費 $O(3n^2)$ 的時間來處理，但使用 HSI 色彩空間，只需一個 $(n*n)$ 的陣列運算，再合併其他兩個陣列即可完成。故若影像整體亮度較高，在 HSI 色彩空間進行處理是最好的選擇。但若影像整體亮度較低，則花費一點時間在 RGB 彩色空間運算才能換取最好的結果。

References and Appendix

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, “Color Image Processing,”
in Digital Image Processing, 4th ed. London, United Kingdom: Pearson, 2018,
pp.399-457.
- [2] RGB 和其他彩色空間轉換
(http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html)