

Hw3 Color Image Enhancement

資工四 陳昱瑋 409410118

Date due: 2024/6/6

Date handed in: 2024/5/24

Technical description

- **Enhancement in RGB color space**

顏色可以透過 tristimulus values 表示

$$x = \frac{X}{X + Y + Z},$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z},$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z},$$

where $x + y + z = 1$.

一般來說 RGB 的顯示範圍為 24 bits，每個原色分別佔 8 bits，假設 $(R, G, B) = (X, Y, Z)$ ，因此

$$x = \frac{X}{255},$$

$$y = \frac{Y}{255},$$

$$z = \frac{Z}{255}.$$

之後使用 Histogram Equalization 對 R, G, B 分別進行 image enhancement。

- **Enhancement in HSI color space**

- **Converting colors from RGB to HSI**

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta, & \text{if } B > G, \end{cases}$$
$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\},$$
$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)],$$
$$I = \frac{1}{3}(R + G + B),$$

where RGB values have been normalized to the range [0,1].

- **Enhancement in I, intensity space**

之後對 I 進行 Histogram Equalization。由於 Intensity 並不牽涉到色偏，而是顯現各個顏色的「強度」，故做完 Histogram Equalization 的 Intensity 可以將過暗或是過亮的圖進行優化調整而不影響整個圖片的顏色。

- **Converting colors from HSI to RGB**

給定 HSI 值在 interval $[0, 1]$ ，我們把 H 乘以 360 度讓 hue value 在 interval $[0, 2\pi]$

If $0 \leq H < 2\pi/3$:

$$\begin{aligned} B &= I(1 - S), \\ R &= I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(\pi/3 - H)} \right], \\ G &= 3I - (R + B). \end{aligned}$$

If $2\pi/3 \leq H < 4\pi/3$:

$$\begin{aligned} H &= H - 2\pi/3, \\ R &= I(1 - S), \\ G &= I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(\pi/3 - H)} \right], \\ B &= 3I - (R + G). \end{aligned}$$

If $4\pi/3 \leq H < 2\pi$:

$$\begin{aligned} H &= H - 4\pi/3, \\ G &= I(1 - S), \\ B &= I \left(1 + \frac{S \cos H}{\cos(\pi/3 - H)} \right), \\ R &= 3I - (G + B). \end{aligned}$$

- **Enhancement in L*a*b***

RGB 轉到 L*a*b* 之前需先轉換到 XYZ color space，再將 XYZ 轉到 L*a*b*。
這邊使用 D65 標準進行轉換。

- **Converting colors from RGB to XYZ**

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- **Converting colors from XYZ to L*a*b***

$$X_n = 0.950471, Y_n = 1.0000001, Z_n = 1.08883$$

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

其中，

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & \text{if } t > \frac{6^3}{29} \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 + 4/29, & \text{o.w.} \end{cases}$$

- **Enhancement in L***

對 L* 進行 Histogram Equalization，同 HSI 的 Intensity 代表顏色強度與明兩度，也就是 L*=0 時整張圖是全黑的，L*=100 時整張圖是全白的。同時 a* 代表品紅至綠色，b* 代表黃色到藍色。

對 L* 做 Histogram Equalization 因此不會影響到整張圖的色偏，而是針對明亮度、對比進行調整。

- **Converting colors from L*a*b to XYZ**

$$f_y = (L^* + 16)/116,$$

$$f_x = f_y + a^*/500,$$

$$f_z = f_y - b^*/200,$$

$$X = X_n f^{-1}(f_x),$$

$$Y = Y_n f^{-1}(f_y),$$

$$Z = Z_n f^{-1}(f_z),$$

其中，

$$f^{-1}(t) = \begin{cases} t^3, & \text{if } t > \frac{6}{29} \\ 3\left(\frac{6}{29}\right)^2 \left(t - \frac{4}{29}\right), & \text{o.w.} \end{cases}$$

- **Converting colors from XYZ to RGB**

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Execution process

- **Functions**

- 1) `histogram_equal(n_k, n, rows, cols, img, cls)`
 - ⇒ 進行 histogram equalization 的主要工作
 - ⇒ `n_k`: each gray level's number
 - ⇒ `n`: image dimension
- 2) `plot(list:[], len: len(list[]), list:[titles])`
 - ⇒ 呈現 list 中的 images 與其對應的 titles
- 3) RGB2HSI & HSI2RGB
- 4) RGB2XYZ & XYZ2RGB
- 5) XYZ2Lab & Lab2XYZ

- **RGB enhancement process**

Loading images => Do histogram equalization for R, G, B spaces => Show enhanced images.

- **HSI enhancement process**

Loading images => Convert RGB to HSI => Do histogram equalization in Intensity space => Convert enhanced HSI images to RGB => Show enhanced images.

- **L*a*b* enhancement process**

Loading images => Convert RGB to XYZ => Convert XYZ to L*a*b* => Do histogram equalization in L* space => Convert enhanced L*a*b* images to XYZ => Convert XYZ to RGB => Show enhanced images.

- **Execution**

- RGB
`python RGB_enhancement.py`
- HSI
`python HSI_enhancement.py`
- L*a*b*
`python Lab_enhancement.py`

Experimental result

1. RGB

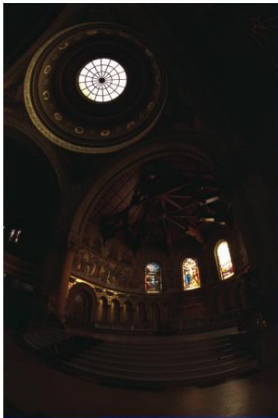
before enhancement



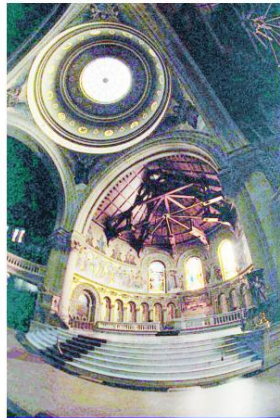
after enhancement



before enhancement



after enhancement



before enhancement



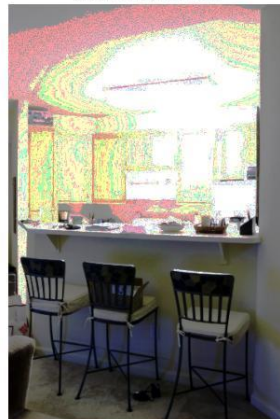
after enhancement



before enhancement



after enhancement



2. HIS

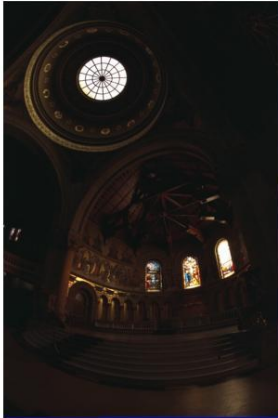
before enhancement



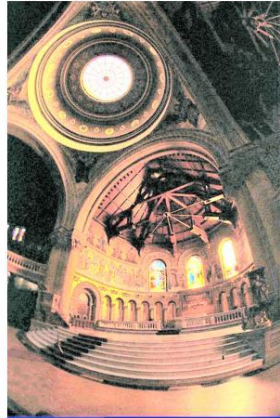
after enhancement



before enhancement



after enhancement



before enhancement



after enhancement



before enhancement



after enhancement



3. L*a*b

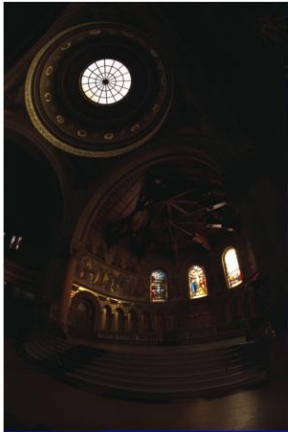
before enhancement



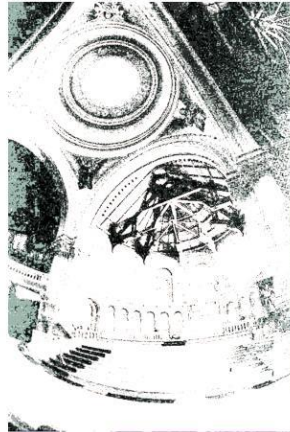
after enhancement



before enhancement



after enhancement



before enhancement



after enhancement



before enhancement



after enhancement



Discussions

- RGB, HSI, L*a*b*'s results comparison and discusion

拿過暗與過曝的圖片來做比較



- RGB



可以發現在分別對 RGB 做 enhancement 在過暗的情況下色調還可以，但在過曝的情況下會出現某些圖片會出現紅色、綠色、藍色的噪點。

可以推測由於在過曝的情況下，白色為由(255, 255, 255)所組成的，因此在 Histogram Equalization 的作用下會使這些值分散於整張圖，而導致峰值 255 分散於整張圖，導致有噪點的產生。

- HSI



有別於 RGB，HIS 是針對 Intensity 做 enhancement，可以想成把原圖轉為灰階進行優化，針對每個 pixel 的「強度」進行 histogram equalization，因此可以發現過曝的圖片在經過 enhancement 後並沒有產生 RGB 峰值的躁點。

同時可以發現到在過暗的圖片與過曝的圖片在做完 enhancement 後，過暗的圖會有較鮮艷的顯色。特過 RGB to HIS 中 Saturation 的公式：

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

在過曝的圖中會使 $\frac{\min(R,G,B)}{(R+G+B)}$ 的值趨於 1/3，造成 $1 -$

$\frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)]$ 趨於 0，在轉回 RGB 中的公式中：

$$B = I^*(1 - S),$$

$$R = I^* \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(\pi/3 - H)} \right],$$

$$G = 3I^* - (R + B).$$

由於 S 趨於 0，此時這邊的 I^* 為經過 histogram equalization 後的 intensity，此時 R、G、B 會趨向於 I^* 之值，也就是 $R \cong G \cong B \cong I^*$ ，因此整張圖的飽和度下降，近似於灰階。

○ L*a*b*



類似於 HSI 的做法，針對 L^* (Intensity) 做 histogram equalization，可以發現不管事過曝或是過暗或是過曝的圖片優化後的圖片都呈現高對比、低飽和的呈現。觀察 $L^*a^*b^*$ to XYZ 的公式：

$$f_y = (L^* + 16)/116,$$

$$f_x = f_y + a^*/500,$$

$$f_z = f_y - b^*/200,$$

$$X = X_n f^{-1}(f_x),$$

$$Y = Y_n f^{-1}(f_y),$$

$$Z = Z_n f^{-1}(f_z),$$

其中，

$$f^{-1}(t) = \begin{cases} t^3, & \text{if } t > \frac{6}{29} \\ 3\left(\frac{6}{29}\right)^2 \left(t - \frac{4}{29}\right), & \text{o.w.} \end{cases}$$

可以推測由於經過優化後的 L^* 對於 XYZ 都有很大的相依性，因此色相，也就是 a^* 與 b^* 對於優化後的圖僅透過「 $+a^*/500$ 」、「 $-b^*/200$ 」去影響 Y、Z，色相的特性對於優化後的圖並沒有太大的影響，反而是 L^* 對於整張圖的成像會有較大的影響力，因此不管過曝或是過暗的圖在經過優化後都呈現高對比、低飽和的結果。

References and Appendix

https://blog.csdn.net/weixin_42194879/article/details/128238104

<https://blog.csdn.net/lz0499/article/details/77345166>

https://zh.wikipedia.org/wiki/CIE_1931%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4%E5%AE%9E%E9%AA%8C%E7%BB%93%E6%9E%9C%E2%80%94CIE_RGB%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4