

第三章 彩色影像處理流程學理與相關研究

本章節將闡述彩色影像處理流程的各個影像處理的學理以及相關的過去文獻，至於詳細的彩色影像處理流程演算法部份將會留到下一個章節做細節介紹。

3.1 自動色階

由於感應器的動態範圍遠小於現實世界的影像動態範圍，縱使相機總是在擷取影像前執行曝光程序，可是還是很難去掌握影像中所有的動態範圍。在影像處理的流程中，為了使影像的亮度能夠重現的處理稱為自動色階，該處理的目的在於拉大其動態範圍，讓影像中更多的訊息不致於遺漏掉，這個處理尤其對於低亮度的影像特別有效果。

3.2 自動白平衡

在此，首先探討一下自動白平衡的議題，影像感應器的三個刺激值和以下三點有關。

- (a) 表景物中物體的表面反射係數 $S(\lambda)$ ，其 λ 代表波長。
- (b) 入射光源的光譜能量分佈 $E(\lambda)$ ，其定義了有多少能量是由周遭的光源所傳送出來。
- (c) CCD或是CMOS感應器的相對頻譜響應 $P^{(k)}(\lambda)$ ($k = RGB$)。

假定在景物中的所有物件都是平滑的表面，且接受到一致性的光源，其每個感應器的 k 元素的影像格式 $I^{(k)}$ 可由下式 (3-1) 所表示。自動白平衡的目的在於補償因為入線光源的光譜能量分佈 $E(\lambda)$ 所造成的顏色失真。

$$I^{(k)} = \int P^{(k)}(\lambda)S(\lambda)E(\lambda)d\lambda \quad (3-1)$$

假定感應器的 Photo Response Non-Uniformity (PRNU) 以及鏡頭的暈邊

效應被乎略掉，自動白平衡的第一個步驟就是就是先排除硬體在製造上的不精準所造成的影響，這些缺失包含光學鏡頭及感應器所造成的暗電流以及類比信號處理電路所造成的偏壓現象，藉由使用標準色卡Macbeth[24]，如下圖所示，其最底部的六格灰色區塊就是用來校正RGB三個元素。

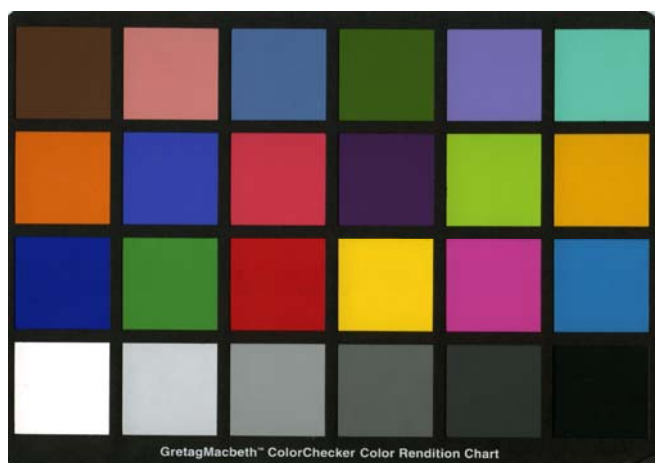


圖 3-1 標準色卡

如下圖便為其標準色卡的RGB三元素的色塊標準值，用較簡單的線性方式去逼近資料點，則對於該三元素的偏移量就可以被確定，並且進而移除掉該偏移量。

R=94	R=241	R=97	R=90	R=164	R=140
G=28	G=149	G=119	G=103	G=131	G=253
B=13	B=108	B=171	B=39	B=196	B=153
R=255	R=7	R=222	R=69	R=187	R=255
G=116	G=47	G=29	G=0	G=255	G=142
B=21	B=122	B=42	B=68	B=19	B=0
R=0	R=64	R=203	R=255	R=207	R=0
G=0	G=173	G=0	G=217	G=3	G=148
B=142	B=38	B=0	B=0	B=124	B=189
R=255	R=249	R=180	R=117	R=53	R=0
G=255	G=249	G=180	G=117	G=53	G=0
B=255	B=249	B=180	B=117	B=53	B=0

圖 3-2 標準色卡色塊標準值

如下圖所示，水平軸表示在標準色卡中其六塊灰色區塊的反射，而符合六塊灰色區塊的輸入值，必須是線性的，因為該灰色區塊的反射原本便是成比例的。原始資料的校正必須要針對RGB三個元素，個別先減掉 S^R 、 S^G 以及 S^B 的

偏移量。綠色元素的感光性通常是高於其他兩個元素，此外，在D65的光源下，對灰色區塊而言，藍色元素的刺激值往往較高於紅色元素。

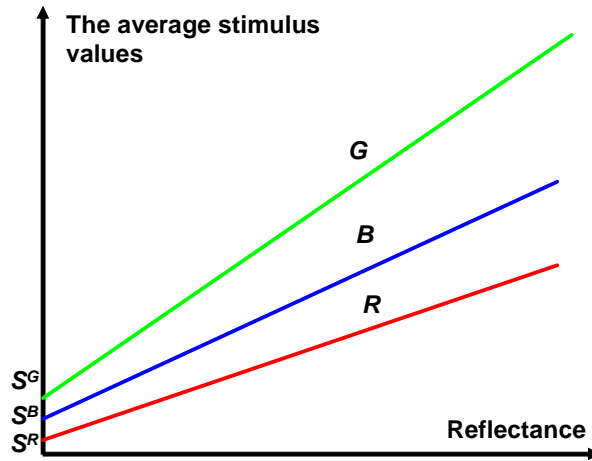


圖 3-3 RGB 三個元素的偏移校正值

在校正元素偏移問題後， G/R 以及 G/B 的比例便可用於計算出感測器的響應特徵，經由擷取標準色卡中，其灰階色塊原始資料的動作，我們便可以得到很多組在很多種不同光源下的 G/R 和 G/B 比例，如此一來，我們將 G/R 以及 G/B 當作水平軸和垂直軸，而且將其取對數，並把不同光源的點標註在該平面上，而且產生的線段並稱為該感應器的色溫曲線（Color Temperature Curve, CTC），其如下圖所示。

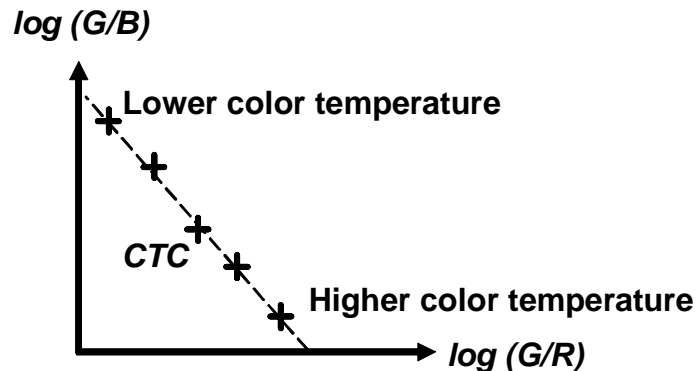


圖 3-4 色溫曲線

其色溫曲線大致上是線性的[25]、[26]，一旦該等待處理資料為兩個數的比例，我們便會將之轉為對數，如此一來，乘法的動作就可以用加法來代替，而除法的動作就可以用減法來代表，如上圖所示，一般而言，當光源的色溫高時，則藍色會呈現較強，紅色則較弱，感應器的紅色輸出則因此較弱，

而藍色較強，所以， G/R 會比較大，而 G/B 會比較小，因此資料點會偏向空間上的右下角，換個角度來說，也就是當低色溫的時候，資料點會偏向空間的左上角處，基於這樣的一個現象，我們可以得知這樣的區線之斜率是負的，此外，採用對數的值域有另一個好處，就是不需要補償因為不同顏色造成像素間不同敏感性所造成的差異性，如果我們想要補償其差異性問題，則在D65光源下，其 RGB 三個元素的輸出等級要一致，我們可以對 R 元素以及 B 元素分別乘以增益 k_R 以及 k_B 。然而， k_R 增益即代表CTC在水平方向的大小，而 k_B 則是代表CTC在垂直方向的大小。因此，對於光源的估測，原始資料所產生得到的統計數據是可以被信任的，另一個好處是原始資料有較低的雜訊，此特點有利於處理。基於合理的限制條件以及統計上的分析，我們可以在 $\log(G/R)$ 以及 $\log(G/B)$ 上取得平均色彩的資料點，一般而言，在CTC上的顏色資料點的投影便假定為光源的色溫值，而此色溫值便做為該影像之自動白平衡處理的依據。

3.3 色彩校正

藉由補償光源下該色溫所造成的影響，自動白平衡演算法糾正後的影像可使原本白色或是灰色的物件變回白色或是灰色。縱使如此，依然有一些情況會造成影像有些不正確的色彩及亮度，比如像是所有顏色都是正常的，唯獨人類的臉或是皮膚的部份出差錯，會造成這樣的情況最有可能的因素是由於相機的頻譜響應函數針對每個人的肉眼構造都是有些許差異的，因為各個物件皆為獨立的，故會造成色彩校正錯誤，所以一廣泛的顏色校正方式需三維空間影像矩陣，但是偏偏這樣的想法很明顯地不適用於大部份消費型產品的應用，畢竟其記憶體的使用太過於龐大。

$$\begin{bmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{sensor} \\ G_{sensor} \\ B_{sensor} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

另一個有可能的解決方法就是針對每一個影像使用一個三乘三的色彩矩陣。其色彩矩陣便為式(3-2)，其 R_s 、 G_s 以及 B_s 便分別代表在 $sRGB$ 的原始輸入值，而 R_{sensor} 、 G_{sensor} 及 B_{sensor} 便分別代表經過感測器量測後的數值。色彩校正就是在於校正每個感測器的頻譜敏感性，並且使用其校正矩陣來將 RGB 三個元素從感測器的頻譜響應轉換到 $sRGB$ 中，而該色彩值域便是一般顯示器呈現影像的預設色彩空間[3]。

3.4 色彩空間轉換

在彩色影像處理流程的飽和度增強處理是在 *CIELAB* 色彩空間完成的，那是因為在 $sRGB$ 、 $YCbCr$ 、 HIS 以及 $CIEXYZ$ 中的輸入值並未定義出明確的色彩差異性，兩個稍有不同的顏色在非均勻的色彩空間上是很難辨識出來的，而在眾多均勻色彩空間中，*CIELAB* 色彩空間是被最為廣為使用的，並且 *CIELAB* 具有色度以及亮度分離的特性，也就是說，在 *CIELAB* 色彩空間中調整色度時並不會影響其亮度的變化，反之，調整亮度時也不會影響其色度的變化。

3.5 色彩飽和度增強

因此，色彩空間*CIELAB*的一致性，便可經由分離亮度和色度的特性來增強，進而針對不同差異的像素點產生不同的權重值。不論如何，由於該色彩空間的計算複雜度太高了，但是其效果確實顯著地有別於一般典型的色彩影像處理空間，諸如 RGB 色彩空間或是 $YCbCr$ 色彩空間。如下圖所示，色彩 a^* 為紅綠色的綜合體， a^* 數值於正值時表示較為紅色而負值則偏綠色。同樣

地， b^* 為黃藍色的綜合體。在 a^*-b^* 平面上其歐幾里德距離 $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$ 及角位置 $\tan^{-1}(a^*/b^*)$ 分別代表濃度和彩度。

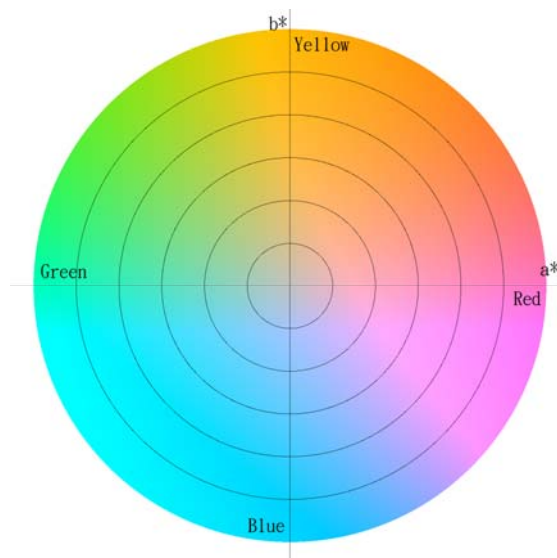


圖 3-5 a^* 及 b^* 色彩空間

3.6 伽瑪校正

如果要作出一台顯示器能夠完整地表現出所有真實世界的畫面，從高亮度天空或暗部的陰影，則顯示器的對比至少要達到 5000:1 以上，基於成本和技術，現實生活之中，根本無法達到這樣的要求，目前市面上的產品只能做出 500~1000:1 的顯示器。基於這樣的考量，所以顯示器的廠商必須要把一部份的亮度捨棄掉。

除此之外，然而由於人眼具有對灰度變化的感覺比對色調變化的感覺來得敏銳，以及在低亮度變化的感覺比對高亮度變化的感覺來得敏銳的特性，基於以上這兩點我們可以得知，人眼其實所能分辨的亮度層次是以對數方式分佈，而非以線性方式分佈。所以顯示器廠商在此做了選擇，也就是在較暗的畫面時我們選擇較低的伽瑪校正值，以犧牲亮部層次來換取更多的暗部層次感，相對地，一些明亮的畫面中我們就改用較高的伽瑪校正值以犧牲部分的暗部層次，來使得亮部層次感更為明顯。