

### 第三章 影像相關色溫估計

色溫調整影像合成技術包含二大部分(見圖 3-1)，第一部分為影像相關色溫估計，第二部分為等色溫影像合成，本章介紹影像相關色溫估計方法，其中包含影像亮部光源偵測方法、色域重疊度光源偵測方法、色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法及無色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法等四種色溫偵測方法。

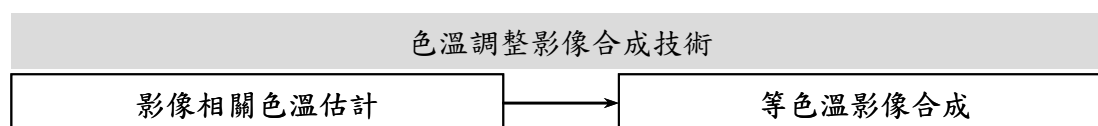


圖 3-1 本研究系統架構

由於影像類型涵蓋非常廣泛，其色彩呈現方式各有不同，因此本研究設計出四種光源偵測方法進行影像中光源色溫之偵測，進行光源偵測的影像類型包含複雜場景及物體局部特寫之影像，雖然物體局部特寫影像的色彩資訊會較少導致色溫估計不準，但在影像合成的應用中，前景往往是單一物體或物體近照，因此本研究仍對物體局部特寫之影像進行影像色溫估計，方法一為影像亮部光源偵測方法，針對具有亮部之影像進行偵測，方法二為色域重疊度光源偵測方法，針對如沒有高明度區域的影像、色彩極度飽和之影像及具有反光之影像等進行影像光源偵測，方法三為色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法，進行光源色溫偵測時須對影像進行色相分割，方法四為無色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法，進行光源色溫偵測時不對影像進行色相分割，上述四種方法皆建立於 CIE 日光光源的能量分佈前提下進行運算，以下分就上述四種方法詳細細節加以說明：

#### 第一節 影像亮部光源偵測方法

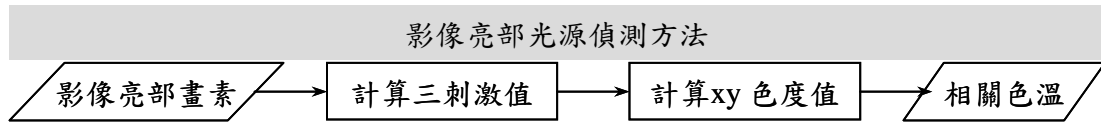


圖 3-2 光源偵測流程 (方法一)

影像亮部光源偵測方法可分四個步驟進行，其流程圖如圖 3-2，首先抽取影像中亮部畫素的  $R, G, B$  值經  $\gamma$  校正後獲得  $R_i, G_i, B_i$  值，接著將  $R_i, G_i, B_i$  值換算為三刺激值  $X_i, Y_i, Z_i$  (見公式(3-1)，本研究採用 sRGB 標準)，其後將  $X_i, Y_i, Z_i$  值轉換為  $x_i, y_i$  色度值 (見公式(3-2)、公式(3-3))，最後將該色度值換算為色溫，換算方式可採用 CIE 提出之計算方式，計算細節如下述。

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix}, \quad (3-1)$$

$$x_i = \frac{X_i}{X_i + Y_i + Z_i}, \quad (3-2)$$

$$y_i = \frac{Y_i}{X_i + Y_i + Z_i}, \quad (3-3)$$

其中  $i = 1 \dots n$ ， $n$  為影像中亮部畫素個數。

$$x_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3-4)$$

$$y_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (3-5)$$

其中  $i = 1 \dots n$ ， $n$  為影像中亮部畫素個數， $x_{avg}$  及  $y_{avg}$  為影像中亮部畫素的平均  $x, y$  色度值。

影像色溫及該光源頻譜的分布狀況，可利用  $x_{avg}$  及  $y_{avg}$  色度值計算出色溫值  $T$ ，可由公式(3-7)、公式(3-8)求得。

$$T = -437m^3 + 3601m^2 - 6861m + 5514.31 \quad , \quad (3-7)$$

其中

$$m = \frac{x_{avg} - 0.332}{y_{avg} - 0.1858} \quad 。 \quad (3-8)$$

由公式(3-7)計算出色溫值  $T$  代入公式(2-18)或公式(2-20)，可由色溫值獲得 CIE 日光下其能量分佈狀況（見公式(2-17)~公式(2-23)），其後，將係數  $M_1$  與  $M_2$  計算完成後帶入公式(2-17)即可獲得光源能量分佈  $S$ ，於此，若估計出之影像光源色溫不在 CIE 訂定的 4000 K ~ 25000 K 之間，本研究仍採用 CIE 建立的日光能量分佈計算方法計算光源能量分佈，以利後續影像色彩進行光源置換。

## 第二節 色域重疊度光源偵測方法

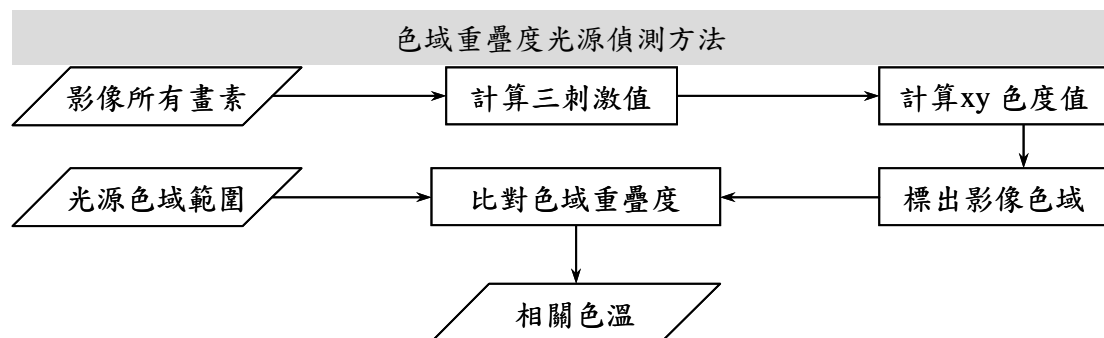


圖 3-3 光源偵測流程（方法二）

色域重疊度光源偵測方法針對影像如沒有高明度區域的影像、色彩極度飽和之影像及具有反光之影像等，利用影像中所有畫素點之色彩判斷其所屬光源，其

影像光源類型估測流程如圖 3-3，在影像資料建置方面，首先取出影像中所有畫素的  $R, G, B$  值經  $\gamma$  校正後獲得  $R_j, G_j, B_j$  值，接著將  $R_j, G_j, B_j$  值換算為三刺激值  $X_j, Y_j, Z_j$ （見公式(3-9)，其中採用 sRGB 標準），其後將  $X_j, Y_j, Z_j$  值轉換為  $x_j, y_j$  色度值（見公式(3-10)、公式(3-11)）。

在光源資料建置方面，首先建構光源色域範圍（2800 K~6775 K 適用於人造光源影像，見圖 3-4 右圖，小三角型為 2800 K 光源色域，大三角型為 6775 K 光源色域，4000 K~10000 K 適用於一般日光下拍攝之影像）。



[39]

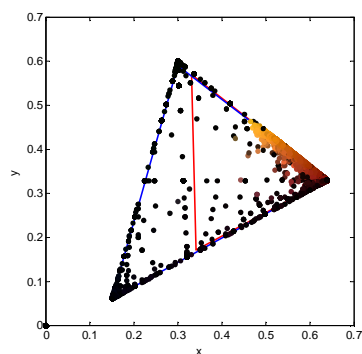


圖 3-4 影像與光源色域重疊圖

最後比對影像  $x_j, y_j$  色度值與光源色域的重疊度，給予光源色域各自的權重值（見公式(3-12)~公式(3-13)），並換算為色溫及進行可信度評估（見圖 3-5），由公式(3-14)計算出色溫值  $T$  代入公式(2-18)或公式(2-20)，可由色溫值獲得 CIE 日光下其能量分佈狀況（見公式(2-17)~公式(2-23)），其後，將係數  $M_1$  與  $M_2$  計算完成後帶入公式(2-17)即可獲得光源能量分佈  $S$ ，於此，若估計出之影像光源色溫不在 CIE 訂定的 4000 K ~ 25000 K 之間，本研究仍採用 CIE 建立的日光能量分佈計算方法計算光源能量分佈，以利後續影像色彩進行光源置換。

$$\begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_j \\ G_j \\ B_j \end{bmatrix}, \quad (3-9)$$

$$x_j = \frac{X_j}{X_j + Y_j + Z_j}, \quad (3-10)$$

$$y_j = \frac{Y_j}{X_j + Y_j + Z_j}, \quad (3-11)$$

其中  $j = 1 \dots n$ ， $n$  為影像中所有畫素個數。

$$W_{Light^{T_1}} = \frac{N_{Light^{T_1}}}{N_{Light^{T_1}} + N_{Light^{T_2}}}, \quad (3-12)$$

$$W_{Light^{T_2}} = \frac{N_{Light^{T_2}}}{N_{Light^{T_1}} + N_{Light^{T_2}}}, \quad (3-13)$$

其中  $N_{Light^{T_1}}$  為落於  $T_1$  光源色域範圍中的  $(x_j, y_j)$  數量， $N_{Light^{T_2}}$  為落於  $T_2$  光源色域範圍中的  $(x_j, y_j)$  數量， $W_{Light^{T_1}}$  為  $T_1$  光源色溫的權重值， $W_{Light^{T_2}}$  為  $T_2$  光源色溫的權重值，由公式(3-14)可計算出估計的影像色溫值  $T$ 。

$$T = W_{Light^{T_1}} T_1 + W_{Light^{T_2}} T_2 \quad (3-14)$$

以人造光源拍攝的影像為例，圖 3-4 中藍線區域為 6775 K 光源之色域範圍（大三角形），紅線區域為 2800 K 光源之色域範圍（小三角形），色點為影像畫素在  $xy$  色度圖上分佈的情形，若影像畫素色度點與該光源色域重疊度愈高，影像色溫偏向該光源色溫的機率愈高。

色域重疊度光源偵測方法的可信度評估示意圖如下：

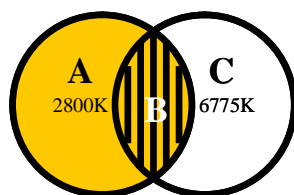


圖 3-5 光源偵測的可信度評估方法

圖 3-5 中 A 區塊為 2800 K 光源之色域範圍，C 區塊為 6775 K 光源之色域範圍，B 區塊為兩種光源重疊之色域範圍，當影像色點落於 B 區塊愈多時，表示影像光源偵測的可信度愈低，於人造光源拍攝的影像案例中，可信度 (Believable) 為 1 減去 A 區塊中畫素與 A、C 區塊總體畫素的比值 (見公式 3-15)。

$$Believable = 1 - \frac{N_{Light^A}}{N_{Light^A} + N_{Light^C}}, \quad (3-15)$$

其中  $N_{Light^A}$  為落於 A 光源色域範圍中的  $(x_j, y_j)$  數量， $N_{Light^C}$  為落於 C 光源色域範圍中的  $(x_j, y_j)$  數量。

### 第三節 色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法

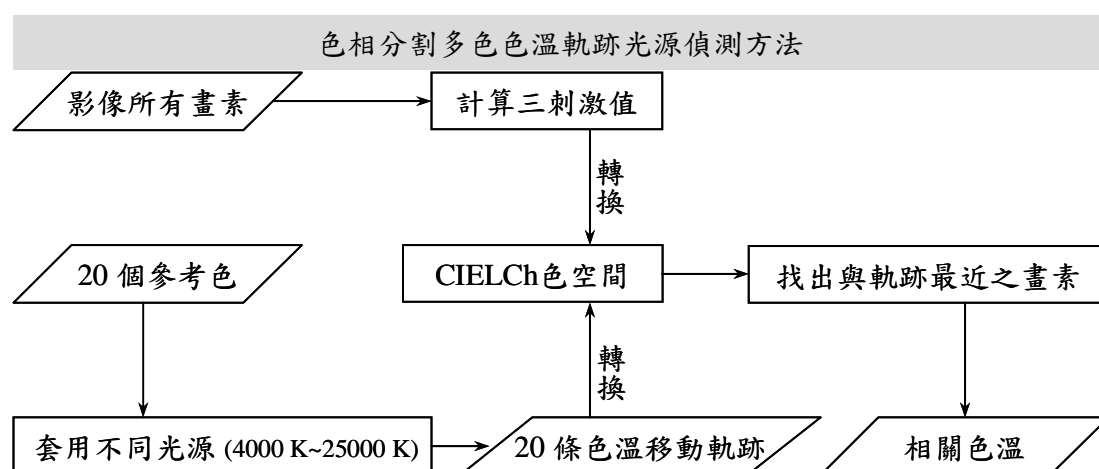


圖 3-6 光源偵測流程 (方法三)

圖 3-6 為色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法之流程圖，在影像資料建置方面，首先取出影像中所有畫素的  $R, G, B$  值經  $\gamma$  校正後獲得  $R_j, G_j, B_j$  值，接著將  $R_j, G_j, B_j$  值換算為三刺激值  $X_j, Y_j, Z_j$  值（見公式(3-9)），其後將  $X_j, Y_j, Z_j$  值轉換為  $L_j^*, C_j^*, h_j$  色度值（見公式(3-16)~公式(3-18)），在光源資料建置方面，首先建構參考色點（sRGB 標準下的紅色、黃色、綠色、青色、藍色、洋紅色及 14 個喜好色（Munsell 實驗室提出之人眼喜好色[28]）在不同光源下所呈現的  $L^*, C^*, h$  色度值，利用多個參考色點在不同光源色溫下移動軌跡作為評估色溫的依據（取代傳統單一黑體軌跡），以利後續光源色溫偵測的實行。

$$\begin{aligned}
 L_j^* &= 116 \left[ \left( \frac{Y_j}{Y_w} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{16}{116} \right], \\
 a_j^* &= 500 \left[ \left( \frac{X_j}{X_w} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y_j}{Y_w} \right)^{\frac{1}{3}} \right], \\
 b_j^* &= 200 \left[ \left( \frac{Y_j}{Y_w} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z_j}{Z_w} \right)^{\frac{1}{3}} \right],
 \end{aligned} \tag{3-16}$$

其中  $j = 1 \dots n$ ， $n$  為影像中所有畫素個數， $X_j, Y_j, Z_j$  為影像畫素的三刺激值， $X_w, Y_w, Z_w$  為參考白的三刺激值，將計算得到的  $L_j^*, a_j^*, b_j^*$  值代入公式(3-17)及公式(3-18)，可獲得  $h_j, C_j^*, L_j^*$  值，即色彩的三屬性“色相”（ $h_j$ ，色彩的名稱）、“彩度”（ $C_j^*$ ，色彩的鮮豔度）、“明度”（ $L_j^*$ ，色彩感知的明暗程度）。

$$C_j^* = \sqrt{(a_j^*)^2 + (b_j^*)^2}, \tag{3-17}$$

$$h_j = \tan^{-1} \left( \frac{b_j^*}{a_j^*} \right), \tag{3-18}$$

光源偵測細節如下：參考色點選定的部分考慮到一般 6 色相（sRGB 標準下的 R, Y, G, C, B, M 以符合高彩度影像）及無彩度點（黑）並加入 RIT Munsell Lab 14 喜好色（其中黑色與前述無彩度點重複），共有 20 色作為參考色，由公式(3-9) 可由 R, G, B 值獲得 20 個參考色的三刺激值  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$ ，依據三次刺激值的定義，20 個參考色的三刺激值可寫為下式：

$$\begin{aligned} X_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} R_{c,i} \cdot P_{c,i} \cdot \overline{x_{c,i}} \quad , \\ Y_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} R_{c,i} \cdot P_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}} \quad , \\ Z_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} R_{c,i} \cdot P_{c,i} \cdot \overline{z_{c,i}} \quad , \end{aligned} \quad (3-19)$$

其中  $k_c$  作為正規化， $R_{c,i}$  為物體的頻譜反射率或頻譜透射率， $P_{c,i}$  為照明光的頻譜分佈（照明光能量）， $\overline{x_{c,i}}$ 、 $\overline{y_{c,i}}$ 、 $\overline{z_{c,i}}$  為配色函數， $c = 1 \dots 20$ ，代表不同的參考色， $i = 0 \dots 80$ ，代表 CIE 提供之配色函數 81 個離散點資料方式計算，

$$k_c = \frac{100}{\sum_{i=0}^{80} P_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}}} \quad . \quad (3-20)$$

本研究基於條件等色之原理，由 Bernstein 四次多項式計算出一個可能的物體頻譜反射率  $B_i$ ，該反射率值可能出現負值，主要是使計算中產生正確的三刺激值數值，物體的頻譜反射率或頻譜透射率可由下式求得，

$$B_i = C_{c,0}t_i^4 + C_{c,1}(1-t_i)t_i^3 + C_{c,2}(1-t_i)^2t_i^2 + C_{c,3}(1-t_i)^3t_i + C_{c,4}(1-t_i)^4 \quad , \quad (3-21)$$



其中  $t_i = \frac{0}{80} \dots 1$ ， $i = 0..80$ ，係數  $C_{c,0} \sim C_{c,4}$  為曲線的控制點，將公式(3-21)代入公

式(3-19)，可得：

$$\begin{aligned} X_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot P_{c,i} \cdot \overline{x_{c,i}} \quad , \\ Y_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot P_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}} \quad , \\ Z_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot P_{c,i} \cdot \overline{z_{c,i}} \quad , \end{aligned} \quad (3-22)$$

本研究假設物體頻譜反射率  $B_l$  的控制點  $C_{c,0}$  及  $C_{c,4}$  為 0，公式(3-22)可改寫為：

$$\begin{aligned} X_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} \left( C_{c,1} (1-t_i) t_i^3 + C_{c,2} (1-t_i)^2 t_i^2 + C_{c,3} (1-t_i)^3 t_i \right) \cdot P_{c,i} \cdot \overline{x_{c,i}} \quad , \\ Y_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} \left( C_{c,1} (1-t_i) t_i^3 + C_{c,2} (1-t_i)^2 t_i^2 + C_{c,3} (1-t_i)^3 t_i \right) \cdot P_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}} \quad , \\ Z_c &= k_c \sum_{i=0}^{80} \left( C_{c,1} (1-t_i) t_i^3 + C_{c,2} (1-t_i)^2 t_i^2 + C_{c,3} (1-t_i)^3 t_i \right) \cdot P_{c,i} \cdot \overline{z_{c,i}} \quad , \end{aligned} \quad (3-23)$$

公式(3-23)可改寫為公式(3-24)：

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = M_{light} \begin{bmatrix} C_{c,1} \\ C_{c,2} \\ C_{c,3} \end{bmatrix} \quad , \quad (3-24)$$

其中  $c = 1 \dots 20$ ，為參考色個數， $C_{c,0}$  及  $C_{c,4}$  設定為 0， $M_{light}$  本研究採用 D65 光源，公式(3-25)中  $M_{D65}$  矩陣之數值是由 D65 光源及 CIE 配色函數求得，從公式

(3-24)求得控制點  $C_{c,1}$ 、 $C_{c,2}$ 、 $C_{c,3}$  數值再代入公式(3-21)獲得頻譜反射率。

$$M_{D65} = \begin{bmatrix} 465.7061 & 620.2930 & 496.8568 \\ 417.6671 & 710.4383 & 629.5997 \\ 61.2737 & 327.0732 & 883.5642 \end{bmatrix} \quad (3-25)$$

圖 3-7 以  $M_{D65}$  為光源資訊所求得之  $C_{c,1}$ 、 $C_{c,2}$ 、 $C_{c,3}$ ，代入公式(3-21)獲得頻譜反射率。

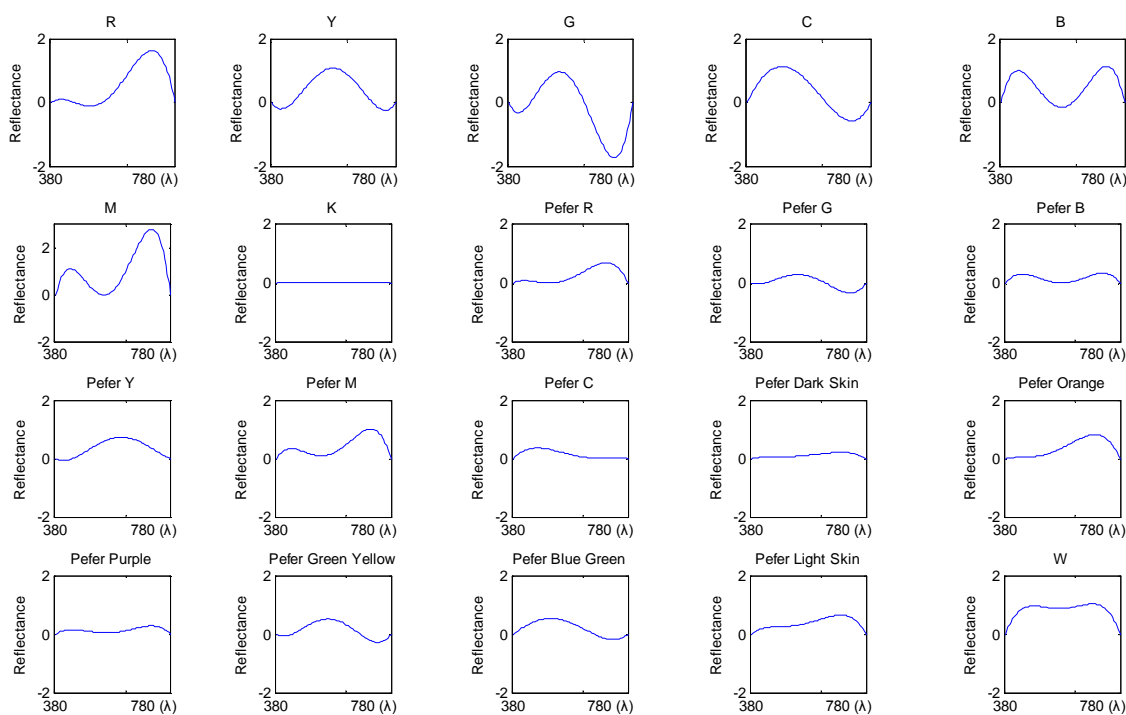


圖 3-7 參考色點之頻譜反射率

當參考色的頻譜反射率已知，便能對參考色進行置換光源的計算，其計算方式如下：

$$X_c = k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot Pnew_{c,i} \cdot \overline{x_{c,i}} \quad , \quad (3-26)$$

$$Y_c = k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot Pnew_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}} ,$$

$$Z_c = k_c \sum_{i=0}^{80} B_i \cdot Pnew_{c,i} \cdot \overline{z_{c,i}} ,$$

其中  $B_i$  為物體的頻譜反射率或頻譜透射率， $Pnew_{c,i}$  為置換的照明光的頻譜分佈（照明光能量）， $\overline{x_{c,i}}$ 、 $\overline{y_{c,i}}$ 、 $\overline{z_{c,i}}$  為配色函數， $X_c$ 、 $Y_c$ 、 $Z_c$  為三刺激值，可由公式(3-26)求得， $c = 1 \dots 20$ ，代表不同的參考色， $i = 0 \dots 80$ ，代表 CIE 提供之配色函數 81 個離散點資料方式計算， $k_c$  作為正規化（見公式(3-27)）。

$$k_c = \frac{100}{\sum_{i=0}^{80} Pnew_{c,i} \cdot \overline{y_{c,i}}} , \quad (3-27)$$

接著將公式(3-26)求得的三刺激值  $X_c$ 、 $Y_c$ 、 $Z_c$  值換算為  $x, y$  值，求出新的色彩標示如圖 3-8、圖 3-9。

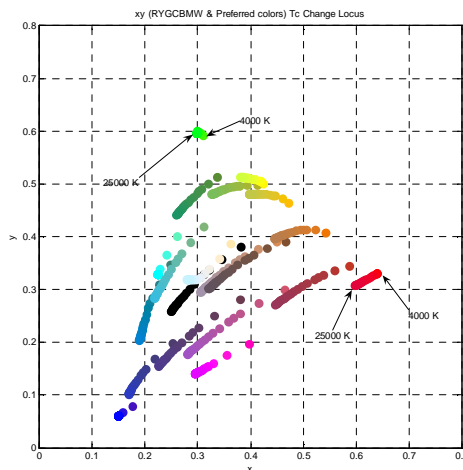


圖 3-8 參考色點在不同光源下所呈現的 xy 色度

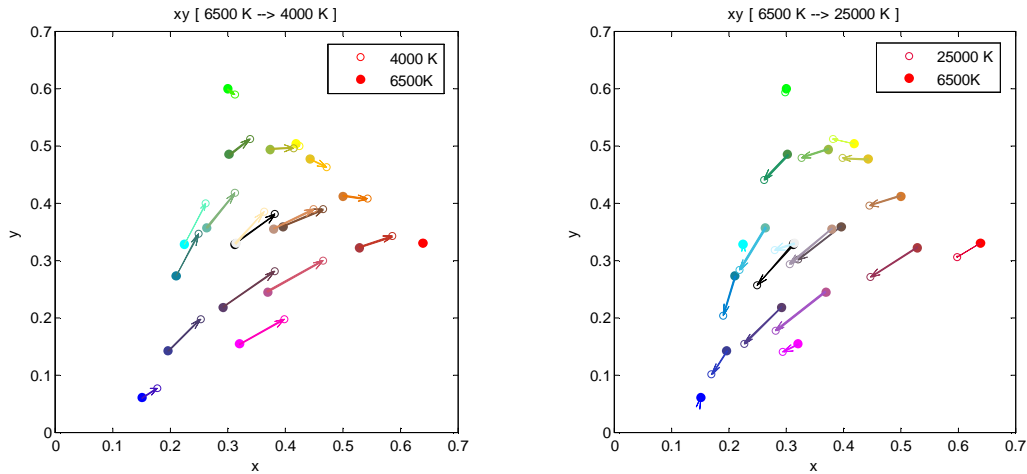


圖 3-9 以 D65 光源為基準，左為參考點在 4000K 光源下 xy 色度偏移情形，右為參考點在 25000K 光源下色度偏移情形

其後，在 CIELCh 色彩空間(見圖 3-10)與欲進行色溫偵測之影像其畫素  $C_j^*$ ,  $h_j$  值進行運算，完成影像色溫偵測。

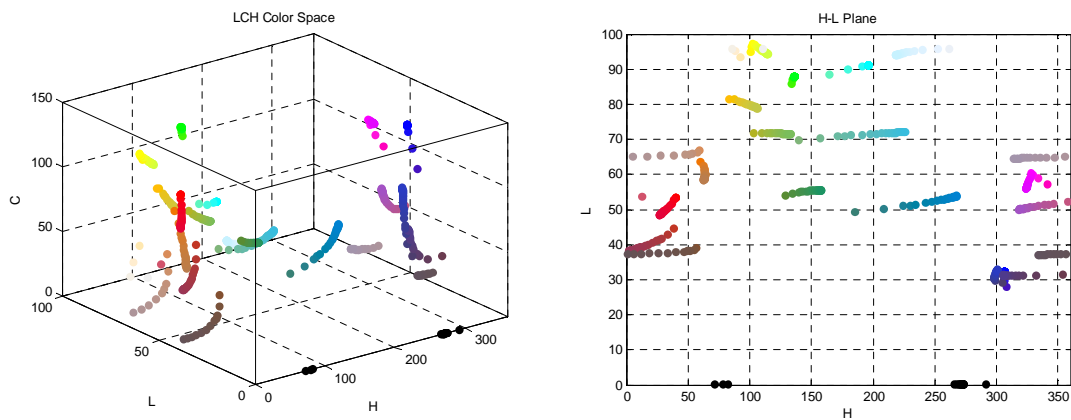


圖 3-10 CIELCh 色彩空間中色溫軌跡資訊

其中色溫偵測的步驟如下，將 CIELCh 色彩空間以色相進行分割，CIELCh 色彩空間依照色相被分割為四區塊，分別為 R5 區域、G8 區域、B5 區域及 W&K 區域(見圖 3-11)，因此 20 條色溫移動軌跡可被分為四類，分別為偏紅色色相的軌跡 5 條、偏綠色色相軌跡 8 條，及偏藍紫色色相軌跡 5 條，另外 2 條軌跡屬無色相無彩度軌跡(近白色區及近黑色區)，此兩軌跡有別於其他 18 軌跡採明度軸切割。

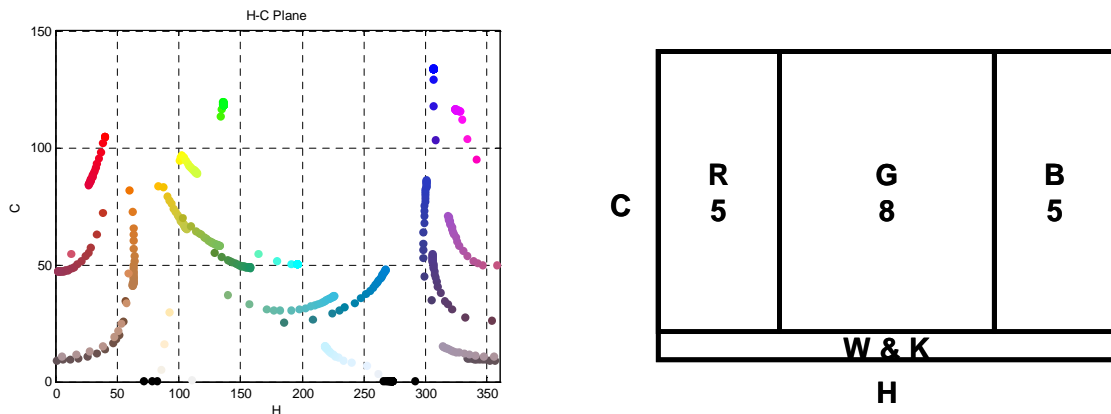


圖 3-11 分割 CIELCh 色彩空間

將欲進行色溫偵測之影像所有畫素點換算為  $L_j^*$ ,  $C_j^*$ ,  $h_j$  值，落於 R5 區域之影像畫素 ( $I_R$ ) 只與 R5 區域之色溫移動軌跡 ( $\text{LOCUS}_{R1\sim R5}$ ) 進行最短距離運算及比對，落於 G8 區域之影像畫素 ( $I_G$ ) 只與 G8 區域之色溫移動軌跡 ( $\text{LOCUS}_{G1\sim G8}$ ) 進行最短距離運算及比對，落於 B5 區域之影像畫素 ( $I_B$ ) 只與 B5 區域之色溫移動軌跡 ( $\text{LOCUS}_{B1\sim B5}$ ) 進行最短距離運算及比對，落於 W&K 區域之影像畫素 ( $I_{WK}$ ) 只與 W&K 區域之色溫移動軌跡 ( $\text{LOCUS}_W$ 、 $\text{LOCUS}_K$ ) 進行最短距離運算及比對。

其中最短距離運算及比對步驟如下，每條軌跡與其所屬區域的影像畫素進行最短距離之比對，找出與該軌跡最接近之影像畫素點，同時可得知該軌跡的某色溫點 ( $\text{TC}_{\text{LOCUS}}$ ) 與該影像畫素點為最接近，將每個軌跡的  $\text{TC}_{\text{LOCUS}}$  求出，共計 20 個  $\text{TC}_{\text{LOCUS}}$ ，將每區域的  $\text{TC}_{\text{LOCUS}}$  進行平均，可獲得 R5 區的平均影像畫素色溫  $\text{TC}_R$ 、G8 區的平均影像畫素色溫  $\text{TC}_G$ 、B5 區的平均影像畫素色溫  $\text{TC}_B$  及 W&K 區的平均影像畫素色溫  $\text{TC}_{WK}$ ，將  $\text{TC}_R$ 、 $\text{TC}_G$ 、 $\text{TC}_B$  及  $\text{TC}_{WK}$  帶入公式(3-28)，可獲得該影像之估計色溫  $T$ 。

$$T = \frac{0.7 \times RA_R \times TC_R + 1.3 \times RA_G \times TC_G + 1.3 \times RA_B \times TC_B + 1.3 \times RA_{WK} \times TC_{WK}}{1.3}, \quad (3-28)$$

公式(3-28)中 RA 為該區影像畫素點佔所有影像畫素點之比例。

#### 第四節 無色相分割多色色溫移動軌跡光源偵測方法

延續色相相關多色色溫移動軌跡光源偵測方法的參考點設定，於此，將該參考點轉換至 CIELAB 色彩空間中進行運算，可獲得 20 個色點色溫移動軌跡（見圖 3-12），其後，在 CIELAB 色彩空間與欲進行色溫偵測之影像其畫素  $a^*$ 、 $b^*$  值進行運算，完成色溫偵測。

色溫偵測的步驟如下，在 CIELAB 色彩空間中獲得色溫移動軌跡上的資訊，同時將影像所有畫素點轉換成  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值，影像  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值與色溫移動軌跡上的資訊進行最短距離運算，每條軌跡（共  $i$  條軌跡， $i=1\dots 20$ ）與影像畫素進行最短距離之比對，找出與該軌跡最接近之影像畫素點，同時可得知該軌跡的某色溫點（ $c_{i,k}$ ， $i=1\dots 20$ ， $k=1\dots 23$ ）與該影像畫素點為最接近，及兩點間的距離（ $D_{i,k}$ ， $i=1\dots 20$ ， $k=1\dots 23$ ），將每個軌跡的  $c_{i,k}$  求出，其後，依據距離（ $D_{i,k}$ ）遠近給予每個色溫（ $c_{i,k}$ ）權重值（ $W_j$ ， $j=1\dots 20$ ），距離愈近權重值愈大，可獲得該影像之估計色溫  $T$ （見公式(3-29)~公式(3-30)）。

$$T = \frac{\sum_{l=1}^{20} W_l}{\sum_{j=1}^{20} W_j} c_{i,k}, \quad (3-29)$$

其中  $k$  代表該色溫移動軌跡上參考點 1~23 個中的其中一個，

$$W_j = \prod_{i \neq j} D_{i,k} \quad \circ \quad (3-30)$$

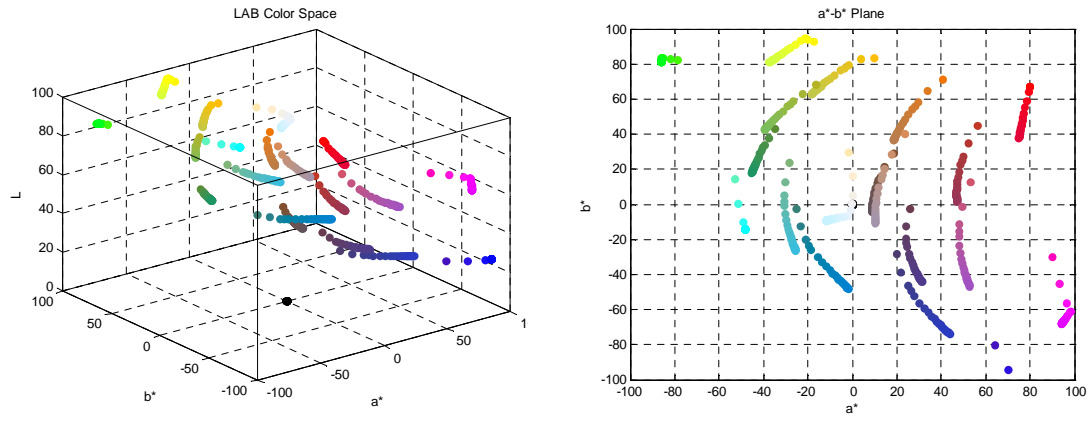


圖 3-12 參考色點於 CIELAB 色彩空間中色溫移動軌跡