

第四章 等色溫影像合成

本研究發展之等色溫影像合成技術，首先須對合成前之影像進行置換色溫的運算，將欲合成之兩張影像的色溫調為一致時再進行影像合成，等色溫影像合成流程見圖 4-1，以下分就影像中光源色溫置換及影像合成兩部分的細節作說明。

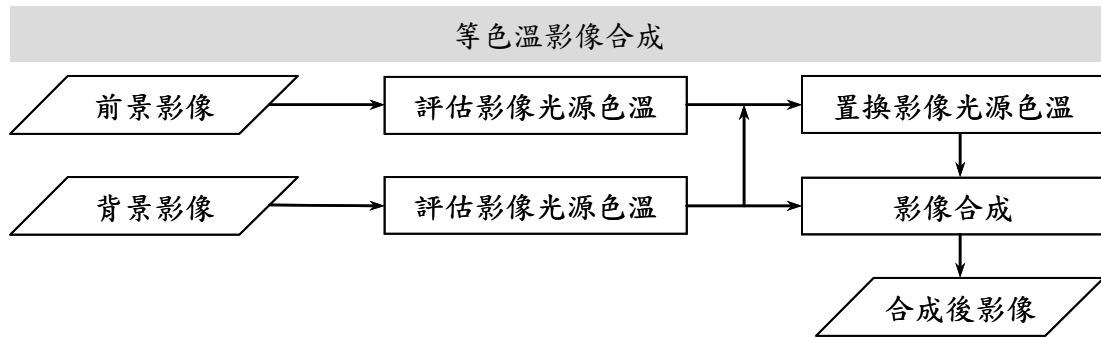


圖 4-1 影像合成流程

第一節 影像中光源色溫置換

首先採用本研究發展之影像相關色溫估計技術，估計出影像拍攝時之光源色溫，當光源類型已知，則可對該影像進行光源置換的動作，置換光源意指置換拍攝影像時該實際場景的光源資訊，步驟如下：

依據三次刺激值的定義，影像中畫素的三刺激值可寫為下式：

$$\begin{aligned}
 X_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} R_{i,n} \cdot P_{i,n} \cdot \overline{x_{i,n}} \quad , \\
 Y_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} R_{i,n} \cdot P_{i,n} \cdot \overline{y_{i,n}} \quad , \\
 Z_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} R_{i,n} \cdot P_{i,n} \cdot \overline{z_{i,n}} \quad ,
 \end{aligned} \tag{4-1}$$

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

$$k_i = \frac{100}{\sum_{n=0}^{80} P_{i,n} \cdot \overline{y_{i,n}}} \quad (4-2)$$

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_n ，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，

$$B_n = C_{i,0}t_n^4 + C_{i,1}(1-t_n)t_n^3 + C_{i,2}(1-t_n)^2t_n^2 + C_{i,3}(1-t_n)^3t_n + C_{i,4}(1-t_n)^4, \quad (4-3)$$

其中 $t_n = \frac{0}{80} \dots 1$ ， $n = 0\dots 80$ ，係數 $C_{i,0} \sim C_{i,4}$ 為曲線的控制點，將公式(4-3)代入公式(4-1)，可得：

$$\begin{aligned} X_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{i,n} \cdot \overline{x_{i,n}}, \\ Y_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{i,n} \cdot \overline{y_{i,n}}, \\ Z_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{i,n} \cdot \overline{z_{i,n}}, \end{aligned} \quad (4-4)$$

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

$$\begin{aligned}
X_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} \left(C_{i,1} (1-t_n) t_n^3 + C_{i,2} (1-t_n)^2 t_n^2 + C_{i,3} (1-t_n)^3 t_n \right) \cdot P_{i,n} \cdot \overline{x_{i,n}} , \\
Y_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} \left(C_{i,1} (1-t_n) t_n^3 + C_{i,2} (1-t_n)^2 t_n^2 + C_{i,3} (1-t_n)^3 t_n \right) \cdot P_{i,n} \cdot \overline{y_{i,n}} , \\
Z_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} \left(C_{i,1} (1-t_n) t_n^3 + C_{i,2} (1-t_n)^2 t_n^2 + C_{i,3} (1-t_n)^3 t_n \right) \cdot P_{i,n} \cdot \overline{z_{i,n}} ,
\end{aligned} \tag{4-5}$$

公式(4-5)可改寫為公式(4-6)：

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = M_{light} \begin{bmatrix} C_{i,1} \\ C_{i,2} \\ C_{i,3} \end{bmatrix} , \tag{4-6}$$

其中 i 為影像中所有畫素個數， $C_{i,0}$ 及 $C_{i,4}$ 設定為 0，矩陣 M_{light} 為光源資訊及配色函數與物體頻譜反射率或透射率計算後提出 $[C_{c,1} \ C_{c,2} \ C_{c,3}]^T$ 的結果，從公式(4-6)求得控制點 $C_{i,1}$ 、 $C_{i,2}$ 、 $C_{i,3}$ 數值再代入公式(4-3)獲得頻譜反射率。

當影像畫素的頻譜反射率已知，便能對參考色進行置換光源的計算，其計算方式如下：

$$\begin{aligned}
X_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{new_{i,n}} \cdot \overline{x_{i,n}} , \\
Y_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{new_{i,n}} \cdot \overline{y_{i,n}} , \\
Z_i &= k_i \sum_{n=0}^{80} B_n \cdot P_{new_{i,n}} \cdot \overline{z_{i,n}} ,
\end{aligned} \tag{4-7}$$

其中 B_n 為物體的頻譜反射率或頻譜透射率， $Pnew_{i,n}$ 為置換的照明光的頻譜分佈（照明光能量）， $\overline{x_{i,n}}$ 、 $\overline{y_{i,n}}$ 、 $\overline{z_{i,n}}$ 為配色函數， X_i 、 Y_i 、 Z_i 為三刺激值，可由公式(4-7)求得， i 為影像中所有畫素個數，由於 CIE 提供之配色函數為離散數值 81 個，因此本研究採離散方式計算 $n = 0 \dots 80$ ， k_i 作為正規化（見公式(4-8)）。

$$k_i = \frac{100}{\sum_{n=0}^{80} Pnew_{i,n} \cdot \overline{y_{i,n}}} \quad , \quad (4-8)$$

接著將公式(4-7)求得的三刺激值 X_i 、 Y_i 、 Z_i 值換算回影像的數位訊號 R_i 、 G_i 、 B_i （見公式(4-7)，本研究採用 sRGB 標準）， R_i 、 G_i 、 B_i 值經 γ 校正後獲得新的影像色彩 R 、 G 、 B （對該影像進行不同光源的套用，獲得不同光源下該影像所應呈現的色彩），完成影像色彩平衡或置換影像光源的目的。

$$\begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad , \quad (4-7)$$

其中 i 為影像畫素個數，圖 4-2 為影像光源置換的範例。

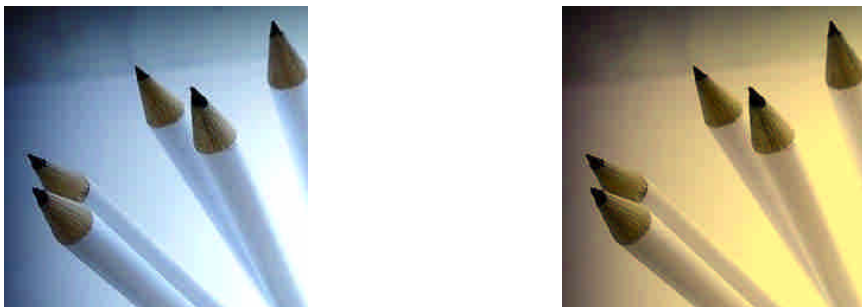


圖 4-2 左為原始影像(估計色溫為 11429 K)，右為置換 4000 K 光源後重新獲得之影像

第二節 影像合成

兩個不同場景不同光源的影像進行合成，關鍵在於光影的控制，若將兩影像光源狀況調整為相同，影像合成後會非常自然，本研究採上述的影像光源色溫置換的方式，先將兩張影像光源狀況調整為相同，再進行影像接合動作，在影像接合時邊界的處理採用線性漸變的方式，如圖 4-3 所示。

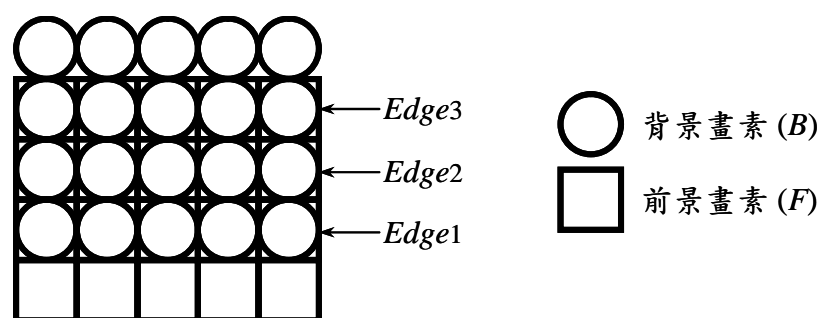


圖 4-3 影像接合之邊界處理

影像合成之詳細步驟如下，首先將前景影像去背並置於預備好的藍幕影像中，以利後續影像合成時邊界計算，接著取出前景影像靠近邊緣的三排畫素 F_{near} （最接近邊緣的畫素群）、 F_{mid} （中間畫素群）、 F_{far} （最遠離邊緣的畫素群），及背景影像靠近邊緣（靠近前景影像邊緣）的三排畫素 B_{near} （最接近邊緣的畫素群）、 B_{mid} （中間畫素群）、 B_{far} （最遠離邊緣的畫素群），影像 R, G, B 三頻道須分開計算（以 R, G, B 值進行運算），以下以其中一頻道為例，其它頻道同理可求得合成後邊緣的數值，合成時最接近前景 F 的邊界畫素群數值（ $Edge_{1_i}$ ），可由公式(4-8)計算而得，次接近前景 F 的邊界畫素群數值（ $Edge_{2_i}$ ），可由公式(4-9)計算而得，最遠離前景 F 的邊界畫素群數值（ $Edge_{3_i}$ ），可由公式(4-10)計算而得。

$$Edge_{1_i} = 0.75F_{far_i} + 0.25B_{near_i} \quad , \quad (4-8)$$

$$Edge_{2_i} = 0.5F_{mid_i} + 0.5B_{mid_i} \quad , \quad (4-9)$$

$$Edge_{3_i} = 0.25F_{near_i} + 0.75B_{far_i} \quad , \quad (4-10)$$

其中 $i = 1 \dots n$ ， n 為邊界畫素個數，前景與背景邊界合成時的權重值採用線性漸變方式，權重值設定為 0.75、0.5 及 0.25。

以下為等色溫影像合成的實施範例，首先準備兩張影像（見圖 4-4、圖 4-5），前景影像已完成影像去背的動作，並且將去背後的影像至於藍幕下備用，其後，將前景影像的光源色溫置換為背景影像的光源色溫（見圖 4-6），利用藍幕下的前景影像框出影像邊緣（見圖 4-7，於此為 3 個畫素寬），落於邊緣區域的前景影像畫素及背景影像畫素，以上述線性漸變方式重新計算出影像畫素值，最後完成等色溫影像合成（見圖 4-8、圖 4-9，圖 4-8 中紅線為前景影像邊界）。



圖 4-4 背景影像



圖 4-5 以去背且至於藍幕之前景影像



圖 4-6 影像光源色溫換為背景影像光源色溫

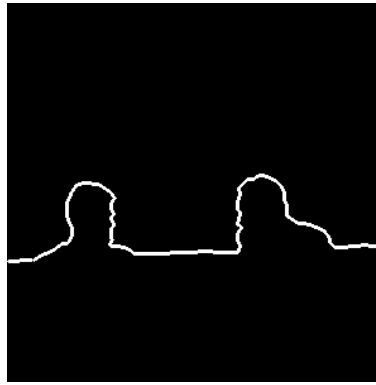


圖 4-7 前景影像的邊緣



圖 4-8 合成邊緣示意圖



圖 4-9 等色溫影像合成