

第二章 文獻探討

本研究從色彩學的角度探討影像拍攝時之環境光狀況，以此為依據進一步調整影像色彩，最後改善他人影像合成技術中的缺失，發展出新的影像合成技術，以下將針對進行本研究所需之相關知識進行文獻探討，第一部分提出色彩調整技術所涵蓋之範圍及本研究發展之影像合成方法所涉及之色彩調整領域，第二部分對實驗中涉及之色彩理論及基本知識進行詳述，在第三部分闡述其他研究者發展的影像合成技術方案及影像色彩調整方法，針對其他研究者的研究成果提出缺失及有待改進之處，以利本研究發展更優良的影像合成技術。

第一節 色彩調整技術涵蓋之範圍

色彩調整技術的研究可以分為影像相關 (Image-related)、設備相關 (Device-related)、知覺相關 (Perception-related) 三種類型來加以探討 (見表 2-1)，過去有關色彩調整技術的研究多針對設備相關進行探討[22]，因此，本研究以影像相關技術對影像進行色彩調整，引入虛擬攝影棚概念進而應用至影像合成，以下分別對影像相關、設備相關與知覺相關三類色彩調整技術進行概述：

一、影像相關

從影像相關的立場來看，影像的色彩調整是基於影像處理的原理進行處理，大致可從三方面進行處理：階調曲線 (Tone Curve)、影像色彩直方圖 (Image Color Histogram)、影像鮮銳化 (Image Sharpness)，階調曲線 — 可以找出輸入之數位訊號 RGB 值與輸出值間最佳之配對關係，進而完成灰色平衡，直方圖 — 將影像中所有畫素色彩值以直方圖表示，藉著調整直方圖的分佈，可以達到提高反差或增加影像階調表現的效果，影像鮮銳化 — 設計各式演算法，使影像中彩度最高的部分到達所採用之色彩空間之最飽和色彩，使影像更鮮豔、飽和度更高。

二、設備相關

以設備相關的立場來看，影像的色彩調整是基於色彩管理的原理進行處理，其概念可分類為以下三個部分：設備校正（Device Calibration）、色彩特性描述（Color Characterization）、色彩轉換（Color Conversion），設備校正 — 主要是使所有跨媒體設備得以精準確實地展現色彩的過程，校正每一個跨媒體設備僅是將色彩複製過程中，獲得正確色彩所必須的首要條件，色彩特性描述 — 用於界定輸入設備可辨識的色彩範圍與輸出設備可複製的色彩範圍，經由設備色彩特性描述的程序後，將結果儲存在「色彩特性描述檔」（Profile）中，即可利用 ICM 或 ColorSync 等色彩管理軟體，達成色彩重現的目的，色彩空間轉換 — 根據各種設備的「色彩特性描述檔」的數值數據，將各媒體設備從屬色彩空間與設備獨立色彩空間的坐標系統以數學模式的方式，建立兩者之間的轉換關係式。

三、知覺相關

從知覺相關的觀點來看，當照明光強度及光譜能量分布發生變化時，人眼視覺系統並不會受到很大的影響。這是由於人眼具有適應性，由於色適應（Color Adaptation）的緣故，即使照明光發生改變，人眼對於灰色、膚色等物體色，並感覺不到色彩的刻意變化，這種色外貌現象稱為色彩恆常性（Color Constancy）[21]。

表2-1 影像色彩調整

色彩調整技術	常用之處理方法	色空間	對象
影像相關	基於影像處理： 階調曲線 / 直方圖 / 鮮銳化	RGB / YCrCb / HSV / HLS / CIE-xy / CIELAB / CIELUV	數位影像
設備相關	基於色彩管理： 校正 / 色彩特性描述檔 / 色彩轉換	設備從屬色： RGB / CMYK / Density	設備： 螢幕 / 印表機 / 相機
知覺相關	基於色適應	LCh	數位影像

本研究應用影像相關之色彩調整技術，將色彩調整與影像光影調整結合，並引入虛擬攝影棚之概念，將虛擬攝影棚的優勢應用於數位內容中期望造福數位內容的使用者，由於虛擬攝影棚擁有傳統影片或電視製作所無法做到的即時互動性與三度空間的延伸性，使受眾感覺影片中人物真實置身於動態的奇幻場景中因而備受矚目，以下針對虛擬攝影棚與傳統製作進行比較[23]：

表 2-2 虛擬攝影棚與傳統製作

	時間及成本	工作效率	升級能力	成像設備	打光
虛擬攝影棚	低	高	高	不限	均勻
傳統製作	高	低	低	有限	3D

從表 2-2 中可看出虛擬攝影棚能夠為影視製作帶來許多利益，因此本研究發展的影像色溫調整技術可對虛擬攝影棚的光源呈現進行調整，使前景自然融入虛擬攝影棚中，達到光影一致如同前景實際置身於虛擬攝影棚中的感覺。

第二節 色彩調整技術之相關原理

以下對本研究發展之色溫調整影像合成技術相關原理進行詳述，其中三刺激值、xyY 色彩空間、CIELAB 色彩空間與 CIELCh 色彩空間為色彩度量方式，色溫及相關色溫為光源色的表色方式，最後，本研究以條件等色原理作為光源置換依據，因此對條件等色原理進行探討，並由上述原理設計出影像色溫調整技術。

一、色光混色原理

從生理學的角度來看色彩的度量，由於人眼具有三種感色錐狀細胞且符合加法混色法進行混色[24]，色光加法混色主要依據格拉斯曼法則（Grassman Law）進行運作，其原理描述如下，假設色光 $[F_1]$ 與 $[F_2]$ 等色，且色光 $[F_3]$ 與 $[F_4]$ 等色，則這些色光在進行混色時，遵循以下之比例法則與加法法則（參照公式(2-1)、(2-2)）。

$$\alpha[F_1]=\alpha[F_2] , \alpha[F_3]=\alpha[F_4] \quad (2-1)$$

$$[F_1]+[F_3]=[F_2]+[F_4] , [F_1]+[F_4]=[F_2]+[F_3] \quad (2-2)$$

從上述兩公式可進一步推演出公式(2-3)，即當[R], [G], [B]是所有任意有色光的單位三原色量，則依照各別三原色之混合比值 r, g, b 將可以混色獲得任意混合色光[F]，此配色方程式表示如公式(2-3)。

$$[F]=r[R]+g[G]+b[B] \quad (2-3)$$

公式(2-3)中 r, g, b 代表三原色之個別混合量。當 $(r+g+b)=1$ 時， r, g, b 稱作三原色之單位三原色係數，當 $r=g=b$ 時，則[F]成為白光。

基於加法混色原理，國際照明委員會 CIE 進行配色實驗(見圖 2-1)並在 1931 年決定了標準配色函數(Color Matching Functions, CMFs) [21]。

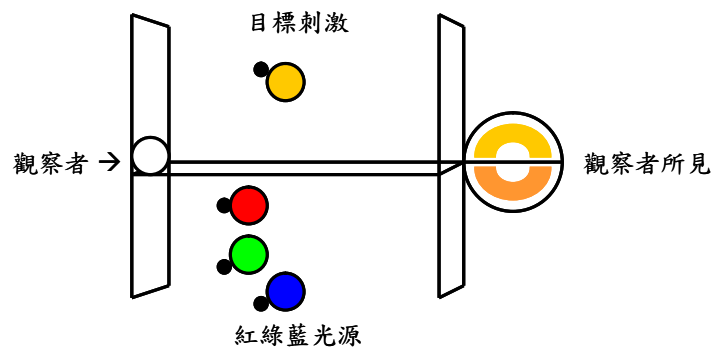


圖 2-1 配色實驗

CIE 進行的配色實驗內容描述如下，觀測者調整 R, G, B 三個光源強度 (調整 R, G, B 三個色刺激)，直到與目標色刺激相同為止，藉由此實驗可獲得 RGB 表色系統的人眼配色函數，CIE 在公佈 RGB 表色系統時也公佈了 XYZ 表色系統

(也稱 CIE1931 表色系統)，利用線性轉換將 RGB 配色函數轉換為全為正值的 XYZ 配色函數 (見圖 2-2)。

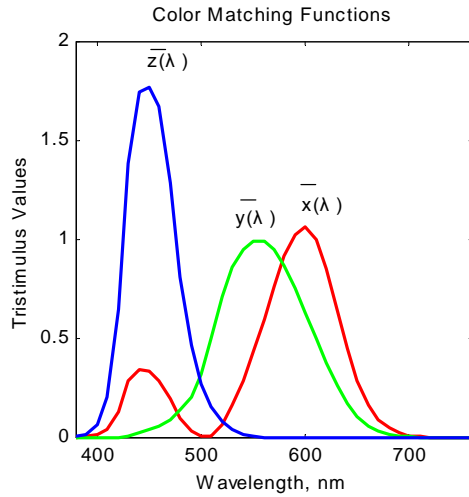


圖 2-2 CIE1931 表色系統配色函數

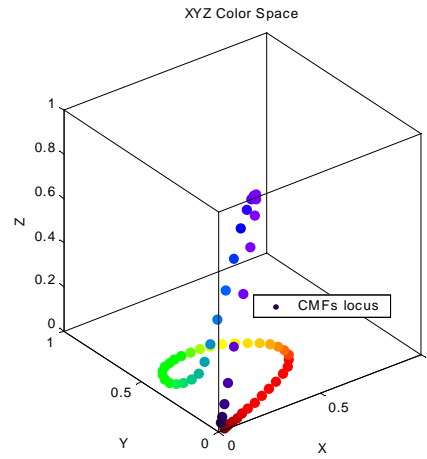


圖 2-3 XYZ 三刺激值色度點

將 CIE 人眼配色函數 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 標示於 XYZ 三維色度空間中可獲得 XYZ 三刺激值色度點 (見圖 2-3)，若配色函數色點位置與原點連線並穿越 $X + Y + Z = 1$ 的平面即可獲得 xy 色度圖 (見圖 2-4、2-5)，從幾何學的角度說明 (x, y) 色度座標的計算方式如下：

假設 $\bar{x}(\lambda)=a$ ， $\bar{y}(\lambda)=b$ ， $\bar{z}(\lambda)=c$ ，並設定 P_i 代表配色函數上的每一組離散三刺激點，

$$P_i = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}, \quad (2-4)$$

P_i 與原點的連線定義為 L 。

$$L = \begin{cases} X = at \\ Y = bt, \\ Z = ct \end{cases}, \quad \text{for } t \in R \quad (2-5)$$

則可計算獲得直線 L 與色度平面 $X + Y + Z = 1$ 之交點 P_I 。

$$P_I = \begin{bmatrix} \frac{a}{a+b+c} \\ \frac{b}{a+b+c} \\ \frac{c}{a+b+c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\bar{x}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \\ \frac{\bar{y}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \\ \frac{\bar{z}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

取公式(2-6)中三維座標 $P_I(x, y, z)$ 的其中兩點 (x, y) ，稱之為 CIE x, y 色度值。

由於三維色彩空間的表示有其不便之處，依據上述公式獲得 (x, y) 座標可以採用二維平面來表示顏色色度值，即從 Z 軸上方觀察 $X + Y + Z = 1$ 平面上 xy 色度軌跡點的結果可描述成圖 2-5。

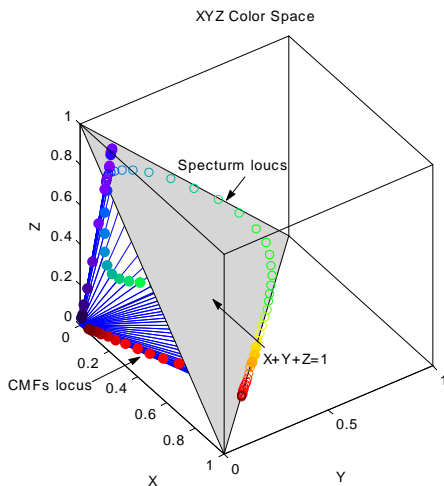


圖 2-4 xy 色度圖的形成

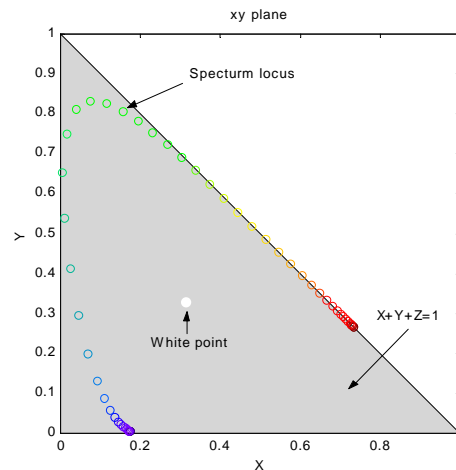


圖 2-5 xy 色度圖

人眼之所以能感知色彩，是由於光源、物體反射或透射及眼睛三者配合而達

成的，經由三者作用產生三刺激值，三刺激值經由矩陣轉換即可獲得一般人熟知的 RGB 值（色度值轉換到 RGB 色彩空間中），此外，三刺激值也可將色度值轉換到其他色彩空間中，本研究將三刺激值轉換至 xyY 色彩空間、L*a*b*及 L*C*h 色彩空間進行一連串的實驗，以下為其運算過程。

三刺激值 (X, Y, Z) 的獲得方式公式如下 (R(λ)：物體的頻譜反射率或頻譜透射率，P(λ)：照明光的頻譜分佈 (照明光能量)， \bar{x} 、 \bar{y} 、 \bar{z} ：配色函數 (見圖 2-2)) [21]：

$$\begin{aligned}
 X &= k \int_{380}^{780} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad , \\
 Y &= k \int_{380}^{780} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad , \\
 Z &= k \int_{380}^{780} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad ,
 \end{aligned}
 \tag{2-7}$$

其中

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad ,
 \tag{2-8}$$

k 作為正規化。

當數位訊號 R, G, B 值已知時，也可以透過一些既定標準以轉換矩陣求得三次刺激值，本文採用 sRGB 標準[25](見表 2-3)計算三刺激值，計算方式如公式(2-9)，

$$\begin{bmatrix} X_F \\ Y_F \\ Z_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (2-9)$$

其中 $[X_F Y_F Z_F]^T$ 代表色彩 $[F]$ 的三刺激值， $[R G B]^T$ 為經 γ 校正後 R, G, B 值。

表 2-3 sRGB 標準觀察環境[25]

背景	顯示器輝度程度的 20%， D_{65} ($x=0.3127, y=0.3290$), 16 cd/m^2
環境	周圍輝度的 20%， D_{50} ($x=0.3457, y=0.3585$), 4.1 cd/m^2
近側範圍 (Proximal Field)	顯示器輝度程度的 20%， D_{65} ($x=0.3127, y=0.3290$), 16 cd/m^2
周圍照度程度	64 lux
周圍白色點	D_{50} ($x=0.3457, y=0.3585$)
迷光 (Veiling Glare)	0.2 cd/m^2

二、CIELAB 與 CIELCh 色彩空間

CIE 提出的 CIELAB 均等色彩空間 (見圖 2-6) 將明度的均等性也一併考慮，其中對應的明度座標稱“明度指數”， L^*, a^*, b^* 計算方式如下 (X, Y, Z : 對象物體的三刺激值， X_n, Y_n, Z_n : 參考白的三刺激值， $Y = 100$ 做正規化) [21]:

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{16}{116} \right], \\ a^* &= 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right], \\ b^* &= 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right], \end{aligned} \quad (2-10)$$

此時明度 L^* 稱為 CIE 1976 明度指數。

$$f\left(\frac{I}{I_n}\right) = \left(\frac{I}{I_n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \frac{I}{I_n} > 0.008856 \quad , \quad (2-11)$$

$$f\left(\frac{I}{I_n}\right) = 7.787\left(\frac{I}{I_n}\right) + \frac{16}{116} \quad \frac{I}{I_n} \leq 0.008856 \quad , \quad (2-12)$$

此處 $f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ 即 $f\left(\frac{X}{X_n}\right)$, $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)$, $f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)$, 公式(2-12)為暗色修正公式。

利用 CIELAB 均等色彩空間中的 L^* , a^* , b^* 值 , 又可以推得 CIELCh 色彩空間 (見圖 2-7 , 採 sRGB 標準 D65 光源下人眼可見之色域範圍) 的 h , C^* , L^* 值 , 即色彩的三屬性 “色相” (h , 色彩的名稱) 、 “彩度” (C^* , 色彩的鮮豔度) 、 “明度” (L^* , 色彩感知的明暗程度) , 計算方法如下 :

$$C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2-13)$$

$$h_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2-14)$$

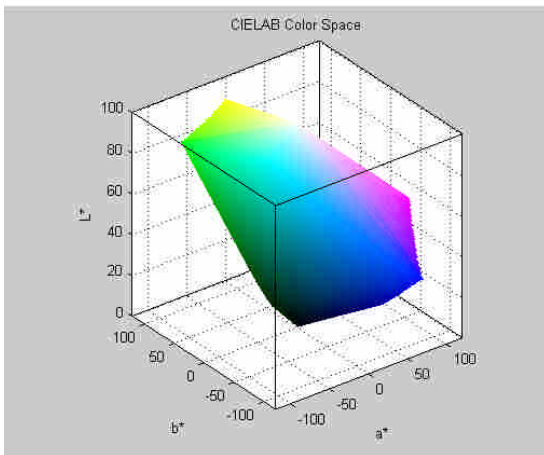


圖 2-6 CIELAB 色彩空間 (D65 光源下)

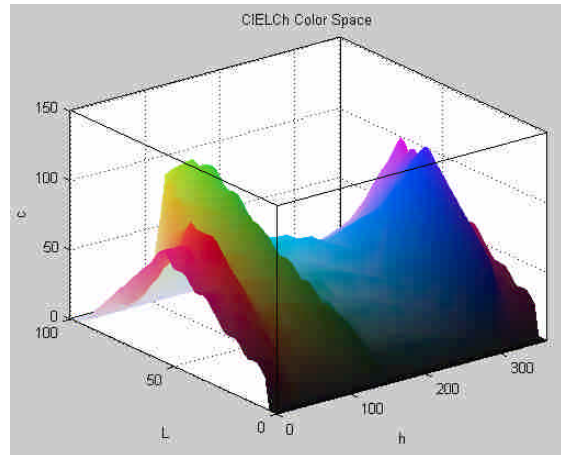


圖 2-7 CIELCh 色彩空間 (D65 光源下)

三、色溫與相關色溫 [21]

色彩可以用三刺激值 (X, Y, Z) 在二次元平面以色座標 (x, y) 表示，但是對於像鎢絲燈泡之類的光源色，則有更單純的方法表示，鎢絲燈泡的燈絲，當逐漸升高其不可燃物體的溫度時，顏色將由紅 \rightarrow 橙 \rightarrow 黃 \rightarrow 白色的方向變化。這種加熱物質所發出的光，稱為黑體輻射 (Black Body Radiation)，發射黑體輻射的物體稱為黑體 (Black Body) 或完全輻射體 (Full Radiator)。

黑體輻射的頻譜分佈僅由黑體的絕對溫度 (Absolute Temperature) 決定，與物質、材料等無關，絕對溫度 (K, Kelvin) 攝氏加上273而得，如 27°C 等於300 K，如果發光體是黑體，其放射時的絕對色溫和頻譜分佈屬於一對一的對應關係，並可由頻譜分佈的情形確定該顏色是唯一的，所以絕對色溫和色彩之間是一對一的對應關係 (見圖2-8)。因此，這種顏色能夠用一個變數決定，此變稱為色溫或相關色溫。

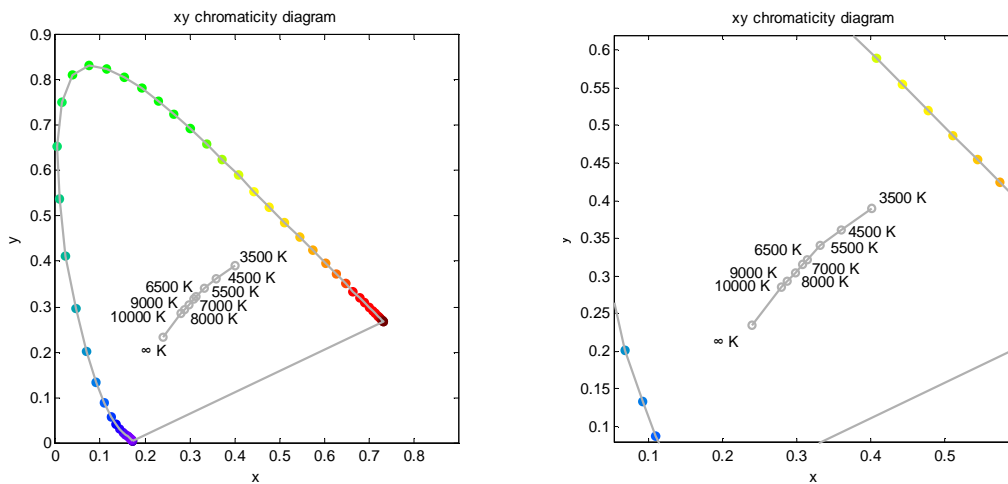


圖2-8 xy色度與色溫關係圖 (黑體軌跡)

色溫是指當某一物體所放射的色度值和黑體輻射的色度值一致時，用黑體的溫度表示其輻射色度。相關色溫則是當某一物體所放射的色度值和黑體輻射的色度值不一致時，以最接近色度的放射黑體溫度值表示其輻射色度。在單位上，兩

者皆使用前述的絕對溫度 K 。例如，當螢光燈的實際發光無法達到非常高時，其相關色溫為 $6000 K$ ，則表示其發射的顏色最接近於絕對溫度 $6000 K$ 的黑體所發射的光束。

色溫及該光源頻譜的分布狀況，可利用 x, y 色度值計算出色溫值 T ，可由公式(2-15)、公式(2-16)求得。

$$T = -437n^3 + 3601n^2 - 6861n + 5514.31 \quad , \quad (2-15)$$

其中

$$n = \frac{x - 0.332}{y - 0.1858} \quad 。 \quad (2-16)$$

由色溫值可進一步獲得一般日光下其能量分佈狀況 S ，見公式(2-17)~公式(2-23)，當色溫值 $4000 K \leq T \leq 7000 K$ 採取公式(2-18)~公式(2-21)，若色溫值 $7000 K \leq T \leq 25000 K$ 採取公式(2-18)、公式(2-19)、公式(2-22)與公式(2-23)。

$$S = S_0 + M_1 S_1 + M_2 S_2 \quad , \quad (2-17)$$

式中 S_0 、 S_1 與 S_2 為光源能量分佈的基本成分[26]（見表 2-4），公式(2-17)中 M_1 與 M_2 見公式(2-18)及公式(2-19)，

$$M_1 = \frac{-1.3515 - 1.7703i + 5.9114j}{0.0241 + 0.2562i - 0.7341j} \quad , \quad (2-18)$$

$$M_2 = \frac{0.03 - 31.442i + 30.0717j}{0.0241 + 0.2562i - 0.7341j} \quad , \quad (2-19)$$

其中

$$i = -4.67 \left(\frac{10^9}{T^3} \right) + 2.9678 \left(\frac{10^6}{T^2} \right) + 0.09911 \left(\frac{10^3}{T} \right) + 0.244063 \quad , \quad (2-20)$$

$$j = -3i^2 + 2.87i - 0.275 \quad \circ \quad (2-21)$$

當色溫值為 $7000 \text{ K} \leq T \leq 25000 \text{ K}$ 時，計算方式如下：

$$i = -2.0064 \left(\frac{10^9}{T^3} \right) + 1.9081 \left(\frac{10^6}{T^2} \right) + 0.24748 \left(\frac{10^3}{T} \right) + 0.23704 \quad , \quad (2-22)$$

$$j = -3i^2 + 2.87i - 0.275 \quad \circ \quad (2-23)$$

表 2-4 光源能量分佈的基本成分

<i>nm</i>	<i>S</i> ₀	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂
380	63.4	38.5	3
385	64.6	36.75	2.1
390	65.8	35	1.2
395	80.3	39.2	0.05
400	94.8	43.4	-1.1
405	99.8	44.85	-0.8
410	104.8	46.3	-0.5
415	105.35	45.1	-0.6
420	105.9	43.9	-0.7
425	101.35	40.5	-0.95
430	96.8	37.1	-1.2
435	105.35	36.9	-1.9
440	113.9	36.7	-2.6
445	119.75	36.3	-2.75
450	125.6	35.9	-2.9
455	125.55	34.25	-2.85
460	125.5	32.6	-2.8
465	123.4	30.25	-2.7
470	121.3	27.9	-2.6
475	121.3	26.1	-2.6
480	121.3	24.3	-2.6
485	117.4	22.2	-2.2
490	113.5	20.1	-1.8
495	113.3	18.15	-1.65

500	113.1	16.2	-1.5
505	111.95	14.7	-1.4
510	110.8	13.2	-1.3
515	108.65	10.9	-1.25
520	106.5	8.6	-1.2
525	107.65	7.35	-1.1
530	108.8	6.1	-1
535	107.05	5.15	-0.75
540	105.3	4.2	-0.5
545	104.85	3.05	-0.4
550	104.4	1.9	-0.3
555	102.2	0.95	-0.15
560	100	0	0
565	98	-0.8	0.1
570	96	-1.6	0.2
575	95.55	-2.55	0.35
580	95.1	-3.5	0.5
585	92.1	-3.5	1.3
590	89.1	-3.5	2.1
595	89.8	-4.65	2.65
600	90.5	-5.8	3.2
605	90.4	-6.5	3.65
610	90.3	-7.2	4.1
615	89.35	-7.9	4.4
620	88.4	-8.6	4.7
625	86.2	-9.05	4.9
630	84	-9.5	5.1
635	84.55	-10.2	5.9
640	85.1	-10.9	6.7
645	83.5	-10.8	7
650	81.9	-10.7	7.3
655	82.25	-11.35	7.95
660	82.6	-12	8.6
665	83.75	-13	9.2
670	84.9	-14	9.8
675	83.1	-13.8	10
680	81.3	-13.6	10.2
685	76.6	-12.8	9.25
690	71.9	-12	8.3
695	73.1	-12.65	8.95
700	74.3	-13.3	9.6
705	75.35	-13.1	9.05
710	76.4	-12.9	8.5
715	69.85	-11.75	7.75
720	63.3	-10.6	7
725	67.5	-11.1	7.3
730	71.7	-11.6	7.6
735	74.35	-11.9	7.8
740	77	-12.2	8
745	71.1	-11.2	7.35
750	65.2	-10.2	6.7
755	56.45	-9	5.95
760	47.7	-7.8	5.2
765	58.15	-9.5	6.3
770	68.6	-11.2	7.4
775	66.8	-10.8	7.1
780	65	-10.4	6.8

五、條件等色基本原理[19]

以下將對條件等色的基本原理進行說明，條件等色又稱同色異譜 (Metamerism)，意指當兩色彩具有不同的頻譜反射率，卻同時具有相等的三刺激值時，此兩色可稱為條件等色(見公式(2-24))。

$$\begin{aligned} \sum_{\lambda} \rho_1(\lambda) S_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda &= \sum_{\lambda} \rho_2(\lambda) S_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \quad , \\ \sum_{\lambda} \rho_1(\lambda) S_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda &= \sum_{\lambda} \rho_2(\lambda) S_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \quad , \\ \sum_{\lambda} \rho_1(\lambda) S_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda &= \sum_{\lambda} \rho_2(\lambda) S_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \quad , \end{aligned} \quad (2-24)$$

其中 $\rho_1(\lambda)$ 、 $\rho_2(\lambda)$ 表示兩個不同的頻譜反射率， $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ 為照明光頻譜分佈， $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 為觀測者的配色函數。

從公式(2-24)中可知兩相異的物體頻譜反射率在特定觀測條件下，能夠產生相同色彩的現象，特定的觀測條件包含特定的光源或特定的觀測者，使觀測者將兩者之色彩視為相等，被視為等色的兩色彩可稱為條件等色對 (Metamer)，以圖 2-9 說明一簡易範例，圖中兩相異頻譜在 C 光源的照射下能獲得相同的色彩，當置換為其他光源時，兩相異頻譜產生不同的色彩。

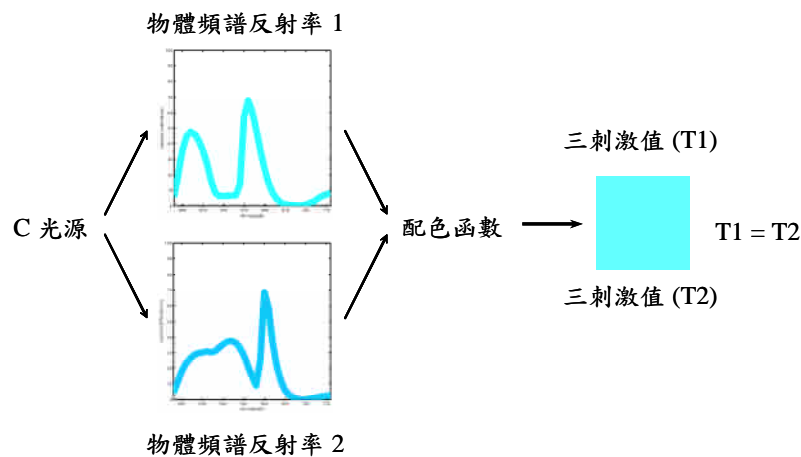


圖 2-9 條件等色說明

六、喜好色[21]、[27]

色彩感覺是一連串複雜的知覺物理反應過程，單純以物理的觀點來看，色彩是由光源（Source）、照射物體（Attenuator）、觀測者（Detector）三要素合併所造成的。但人眼對於色彩感覺常會因外在因素而發生改變，如環境光源改變，觀測背景等外在因素，為對色彩再現作適當的定義，本研究引入 Hunt 在1970 年提出複製品之色彩再現目標中的喜好的色彩再現（Preferred Color Reproduction），進行以喜好色調估計影像光源色溫之演算法設計。

以下詳列RIT/Munsell實驗室於1994年提出的14個人眼喜好色（Preferred Color）及其在D65光源下的CIELAB值[28]，圖2-10為14個人眼喜好色及sRGB之R, G, B, C, M, Y, W, K值於RGB色彩空間及CIELAB色彩空間的分佈情形，在後續實驗中，本研究以此為基準進行影像光源色溫的估計。

表 2-5 Munsell 實驗室 1994 年提出的 14 個人眼喜好色（Preferred Color）及其 CIELAB 值[28]

Reference color	L^*	a^*	b^*
Red	41.34	49.31	24.65
Green	55.03	-40.14	32.29
Blue	30.35	26.44	-49.67
Yellow	80.7	-3.66	77.55
Magenta	51.14	48.16	-15.29
Cyan	51.15	-19.72	-23.38
Dark skin	38.02	11.8	13.66
Orange	61.13	28.11	56.13
Purple	31.1	24.36	-22.11
Greenish yellow	71.9	-28.11	56.96
Bluish green	71	-30.63	1.53
Light skin	65.67	13.68	16.89
Black	0	0	0
White	95.82	-0.17	0.47

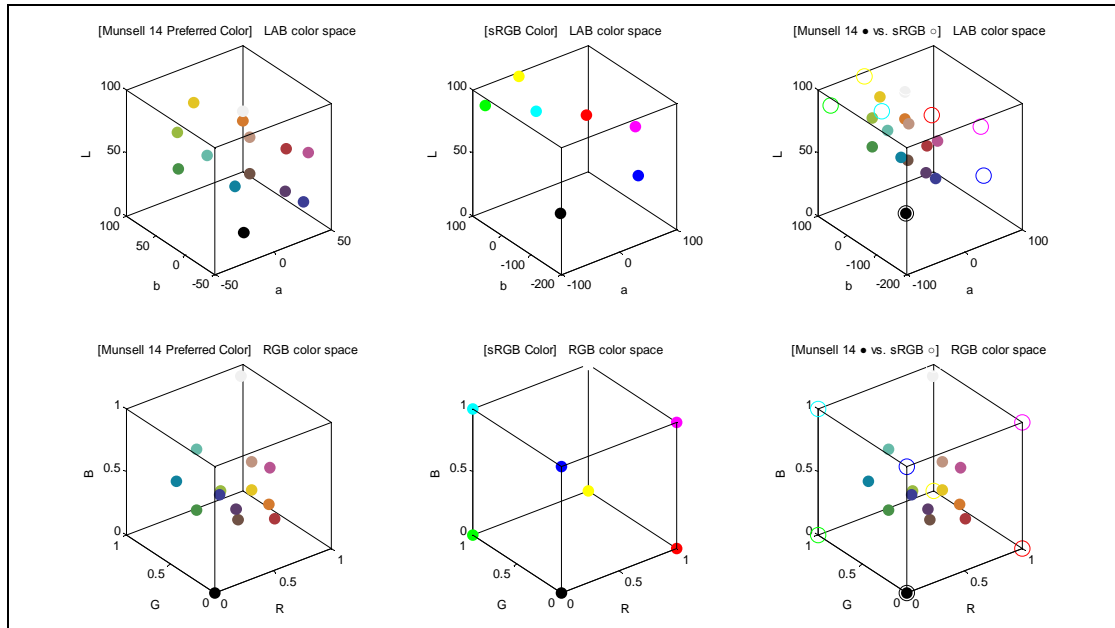


圖2-10 RIT/ Munsell 14個人眼喜好色及sRGB之RGBCMYWK值分佈於CIELAB色彩空間

第三節 過去研究中發展的影像光影調整技術與影像合成技術

由於本研究期望以色溫調整技術改善過去影像合成的缺失，因此針對一般光影處理影像合成技術進行探討。

一、一般光影處理的缺點

從物理學的角度來看，一般光影的色彩處理技術可分為兩大部分 [12]、[29]、[30]，分別是從光源與物體本身兩者進行討論，這類型的方法需要測量光源類型及光線方向，有時甚至需要建立微調打光裝置，以模擬所有可能的光源情況，因此，需花費相當高的成本及時間，另一方面，需要建立拍攝物體的反射率或透射率資料，進而發展適合該物體的光影處理演算法，然而卻也導致該演算法的應用範圍受限，此外也有部份研究者利用物理幾何的方式計算出光源性質 [31]，稱為全域性光影控制，其計算方式較為繁複，且有時需配合一些簡易的測量才可完成[32]。

全域性光影控制[12]、[13]、[14]、[15]，不同於傳統 scanline 的算圖方式，光線照到的地方被照亮，而沒被照射到的地方（例如桌底、房間角落）則是完全

的黑暗，動畫師需要細心的觀察及推測，用補光等方式來求得均勻的照明，GI 是新的演算法，運用 GI 的影像畫面可以得到柔和的漸層，即使沒被直接光照的地方，也會因為週遭的光反射而呈現較多的細節，光影的表現更真實、更柔和。

一般全域性光影控制通常以兩種方式進行分別為 Radiosity 及 Ray-Tracing (Light-Tracing) 兩種方式，Radiosity 計算方式源自於熱幅射而衍變至光學幅射的方式，由於必須提供物件表面資訊，進行表面分割達到光影控制的目的，比較適用於室內的光線計算（見圖 2-11）。

光跡追蹤方式 (Ray-Tracing) 應用較廣受限條件也較小，一般使用光跡追蹤配合 MC(Monte Carlo)機率學達到合理的光跡追蹤分配，但缺點是易產生雜塊斑點，為了去除這些雜點提高光線的取樣值，造成付出較長的處理時間，然而 Ray Tracing 較適合於室外光的控制（見圖 2-12），利用觀察位置（攝影機）逆向追蹤畫素至光源所發出的光線求解。

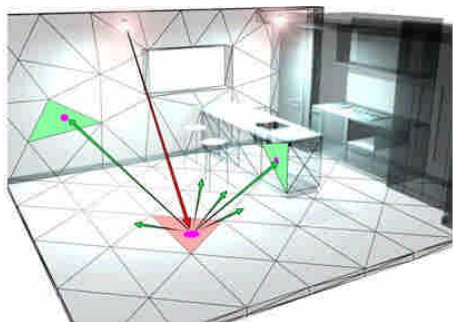


圖 2-11 Radiosity 計算方式[13]

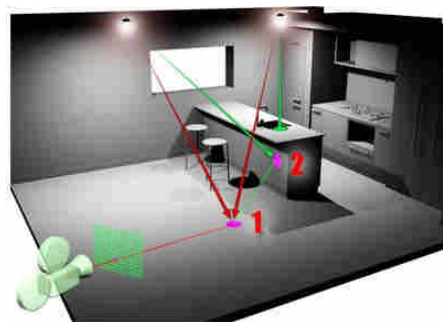


圖 2-12 光跡追蹤方式[13]

由 Stanford 大學 Henrik Wann Jensen 所整理的 Photon Map (光子貼圖) 的方式，綜合上述兩種主流光學理論，第一步驟使用燈光發出的光子，在光子碰撞物件表面後，利用 Radiosity 理論基礎及俄羅斯輪盤機率佈下合理的光子貼圖，再利用光跡追蹤方式逆向計算光子貼圖，使用 MC 機率求解影像，計算真實且更省時。

但是全域性光影控制均需長時間計算才能求解出整張影像，通常單格影像就需跑數小時，進行動畫處理更費時，實際生產時的成本效益絕非一般人所能消化，整個 GI 的理念仍屬萌芽期。

從影像處理的角度來看，S. Tominaga 等人的研究利用影像色域與光源色域重疊度(R-B 平面)評估光源種類[5]，其中須建構各種光源所涵蓋之色域，因此資料量較龐大，在此研究中也只將光源類型設定在 2500 K~8500 K 之間，無法包含所有可能的日常光源類型(4000 K~25000 K)，M. Storring 等人的研究以各種光源下膚色的狀況評估影像光源類型[6]，若是影像中沒有人像或膚色區塊就無法估計該影像光源，H. W. Haussecker 等人的研究以灰階影像探討反差亮度及光源衰減漸變、散射的情況[7]、[8]，研究中只針對光源對物體作用強弱的問題進行討論，並無法獲知光源類型，M. Varma 等人的研究以灰階方式處理影像，探討具有紋理的影像圖形其光源方向[9]，該研究無法對不具紋理的光滑表面進行光源方向的探討，Y. Zhang 等人以灰階方式處理影像，探討球體影像之光源方向，並進行影像合成[10]、[11]，此研究無法處理非球體的影像，因此該演算法的應用面受局限。

以過去白平衡處理光線對影像的影響來看，其中包含灰界理論演算法(Gray World Theory, GWT) [33]、最大 RGB 值演算法(Maximal RGB Value, MaxRGB) [34]、Retinex 演算法[35]、[36]、色域對應演算法(Gamut Mapping Algorithm, GAM) [37]、[38]及手動設定白點法(Preset White Balance)，灰界理論假設「人眼所感知之影像刺激量，紅綠藍光總刺激量相等」，只要簡單地將紅綠藍平均刺激量調整至相等即可把影像光源調整到近 D65 光源的狀態，但若影像的紅綠藍光總刺激量不相等時，例如：影像中出現大片偏紅的色彩而缺少綠色或藍色的影像，GWT 完全無法發生作用(見圖 2-13)，最大 RGB 值演算法假設影像中一定會

有白點出現，影像中 RGB 總合值最大之點為白點，但若影像中本來就不應出現白點，MaxRGB 就無法產生作用，Retinex 演算法主要為預測人眼所感知之色彩，演算法假設影像中鄰近點像素差值微小為光源的因素，差距大時則為影像表面特性改變所致，由此推算出影像中的光源因素，但計算較為複雜，色域對應演算法利用色域對應方式估測光源，必需建立多種光源下之色域進行一連串的測量工作，而手動設定白點法必須由人眼判定白點無法自動化。

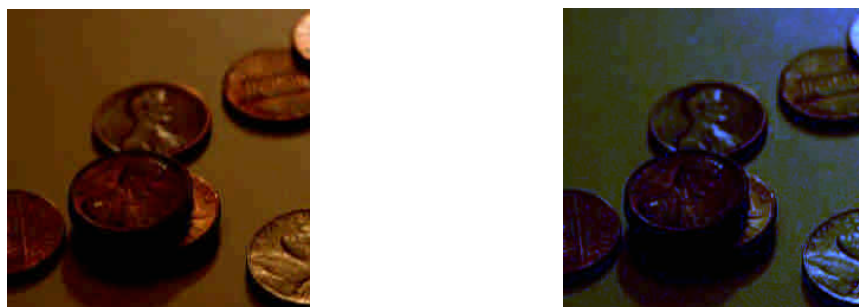


圖 2-13 GWT 無法發生效果的影像案例 (左：原始影像[39]、右：GWT 處理後之影像)

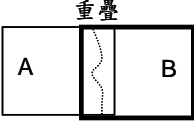
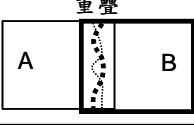
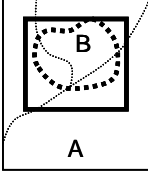
二、一般影像合成技術的缺點

一般的影像合成技術[2]、[3]、[4]通常直接將兩張不同的影像切割後進行影像重疊合成，其合成的方式多探討影像邊界問題，如表 2-6、表 2-7：

表 2-6 影像合成方法

影像合成方法	內容	缺點
Gap-filling	檢查鄰近的畫素以填補裂縫。	由於交界處以平緩的方式漸漸改變，導致銳利的邊緣會變得模糊。
Patch-based	以區塊作為影像合成的基礎。	影像重建後可能產生不連續
Push-pull	利用 multi-resolution 獲得合理的初始數值，可發展出超高解析的結果。	當重複重建的過程時，可能發生誤差，此誤差會影響後續的重建工作。
Inverse matte	當移除不必要區域時保護必要的背景，以相似區塊填補漏洞。	可能會遺失細節特徵。
Regular patterns	以貼磚方式進行合成。	不適用於非結構性影像。
Gaussian mask	以高斯方式平滑交界處。	交界處會變得模糊。

表 2-7 影像合成之接合方法[3]

接合方法	圖示 (----- 舊截線, 新截線)	內容
Old seams	a 	影像分割因素： 只考慮 A 區塊
	b 	影像分割因素： A 區塊與 B 區塊同時考慮
Surrounded regions	c 	影像分割因素： 邊界周圍的畫素一起考慮

利用上述的影像接合方法能夠對影像進行合成，然而這只適用於光源條件類似的影像間合成，多數影像合成方法為了排除不自然問題，通常使用交界處漸變的方式，因此交界處會有模糊的情況，若是光源條件差異太大的影像直接用此接合方法進行合成，仍然會產生不自然影像（見圖 2-14），圖中(a)的光源明顯比(b)的光源強，且(a)的色溫較偏黃(b)的色溫較偏藍，因此合成後影像(c)產生不自然的視覺效果，感覺影像前後光影不協調。



圖 2-14 影像接合範例[3]

第四節 小結

本研究將從影像處理角度切入探討影像相關的光影色彩調整問題，暫不考慮色適應方面的問題，在人眼配色函數保持不變的情況下進行實驗，期待達到自然的影像合成效果，應用基礎色彩理論、色溫、條件等色及喜好色的概念，結合虛擬攝影棚的想法，期望達到排除上述其他研究者在影像合成上的問題。