

# 虛擬空間模型表面色彩誤差研究

顏光良

東方技術學院美術工藝系  
e-mail:glyan@mail.tf.edu.tw

(收件日期:92年02月17日；接受日期:92年10月08日)

## 摘要

因目前 3D 繪圖軟體的成圖方法，都源自 1986 年 Kajiya 提出的成圖方程式，對「不符合人類真實環境光照原理」因素的問題都沒解決，根本無法準確的運用在色彩配色工作上。而諸如室內空間配色、產品造型配色、色彩研究配色、甚至包裝設計配色，都需藉助 3D 電腦成圖模型達到配色目的。所以本研究目的，是試圖找出 3D 電腦成圖與真實環境間的色彩誤差關係，然後提出簡易的修正模式。未來只須將該色彩修正模式，導入各領域相關的配色研究中，就能簡易的藉助 3D 電腦繪圖模型，模仿真實環境，進行正確的配色工作。研究方法分三階段進行，第一階段，建立符合研究目的的 3D 虛擬實驗模型；第二階段，檢測 3D 電腦成圖色彩與真實環境色彩是否發生誤差，經檢測結果，發現 3D 電腦成圖色彩與真實環境色彩間，明度有著明顯的誤差；於是進行第三階段研究，試圖找出 3D 電腦成圖色彩的明度誤差修正方法。經研究後，計有下列發現：

- 明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的 3D 成圖色彩，會呈現錯誤的色相 H 數位值或錯誤的彩度 S 數位值。
- 除了明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的色彩，其餘 3D 成圖色彩與真實環境色彩的色相、彩度都幾乎相同。
- 3D 電腦成圖色彩與真實環境色彩間的明度關係，發生等差比例的誤差。
- 結論建議再根據明度誤差的研究結果，提出 3D 電腦成圖色彩的明度修正模式：

$$y = x (1 + \tan \varphi) - d$$

關鍵詞：色彩誤差、色彩修正、3D 成圖。

## 一、研究動機

最初的電腦繪圖，都根據人類生活經驗中物理現象的數學模式，所描繪出來的影像。這種繪圖模式，最多僅能利用簡單的燈光和簡單的模型，製作簡單的場景而已[7]。直到 1986 年 Kajiya 提出「成圖方程式 (Rendering equation)」[18]，才開啓現代電腦繪圖的新領域。這是一種「全域照度演算法 (Global Illumination Algorithms)」[16,21]，利用複雜的積分方程式，不僅計算物體在燈光直接照射下的照度影響，同時也考慮物體受燈光照射後，將光線反射到其他物體和周遭環境的間接照度影響。這種成圖模式，主要目的是模仿人類逼真的視覺經驗，讓觀

測者置身「虛擬環境」，卻彷彿回到真實世界的感覺。但是這種成圖方式，並不符合人類真實環境的光照物理現象[8]。後來隨著電腦運算能力的快速增強，成圖影像愈來愈要求逼真，場景燈光數目愈來愈多，場景道具也愈趨複雜，使得原先的成圖方程式不堪負荷。於是更多的成圖方法陸續被開發出來，如光線追蹤法(Ray tracing)[11,17]、雙向路徑追蹤法(Bi-directional path tracing)[19]、介質環境雙向路徑追蹤法 (Bi-directional path tracing with participating media)[20]、蒙特卡羅路徑追蹤法 (Monte Carlo Path Tracing, MCPT)[13,15]……等。其中，蒙特卡羅直接照明法 (Monte Carlo Direct Lighting, MCDL)[22,23]和蒙特卡羅路徑追蹤法，最重要也最逼近真實。目前世上功能強大的3D繪圖軟體，都使用以上的全域照度成圖演算法。

只是這些新開發的成圖方法，全部源自 Kajiya 的成圖方程式，根本沒解決「不符合人類真實環境光照物理現象」因素的問題。簡言之，就如陳利琮[8]研究所提，目前3D電腦繪圖技術已十分成熟，被廣泛的應用在許多重要領域。諸如航空方面的飛行模擬駕駛訓練與流體力學風洞模擬、醫學方面的立體醫學影像處理與分析、天氣科學方面的氣候模擬、電影與電玩娛樂方面的動畫製作、虛擬實境等，都以產生虛擬逼真的三度空間立體影像為首要目標。但這些立體影像雖然炫目逼真，卻無法表現出「符合真實物理光照原理」的特性。

由此可知，目前市面上繪圖軟體的3D成圖，無法準確的運用在色彩配色工作上，因為正確的配色工作，需要正確無誤的色彩樣本。舉凡室內空間配色、產品造型配色、色彩研究配色、甚至包裝設計配色，都有藉助3D繪圖，達到配色目的的需要。早期因缺乏電腦繪圖輔助，色彩研究和包裝設計，大都利用平面色彩進行配色，但2D色彩究竟不像3D色彩般的接近真實。根據柯淑芬[4]研究，利用電腦模擬對受測者作色彩意象調查，發現將同一色彩塗在平面色塊和塗在立體造型色塊，會讓受測者產生不同的意象認知；若同一色彩的2D色塊和3D色塊，都會讓人產生不同意象認知，那在模仿真實環境的空間中，2D色彩根本很難取代3D色彩，擔任正確的配色工作。可是3D電腦成圖色彩，又與自然環境光照原理不同，貿然使用3D電腦成圖模型進行配色，難免發生配色結果的錯誤。所以本研究目的，首先試圖找出目前3D電腦成圖與真實環境間的色彩誤差關係，若真發現誤差，再試圖根據誤差關係，找到簡易的修正模式。若真能找到簡易的修正模式，那未來只須將該色彩修正模式，導入各領域相關的配色研究中，就能準確的利用3D電腦繪圖模型，模仿真實環境，進行空間色彩配色工作，這對準確的空間色彩配色而言，將是一個美好的開始。

首先讓我們仔細比較，目前電腦成圖原理與最早期的簡單模型成圖原理，將發現兩者間有個很大的不同，是目前電腦成圖方法，在虛擬光源照射物體後，物體會將光線反射到周遭環境和其他物體上，而周遭環境和其他物體受到光線反射後，又再將光線反射到其他相關的環境和物體上，如此互相遞迴，而產生類似人類真實視覺的效果。所以假設我們把物體以外的所有周圍環境和物體全部刪除，僅留物體本身，當物體受虛擬光源照射後，就無法將光源反射到其他物體，同時也沒有其他物體將光線再反射回物體的話，這種電腦成圖結果，就會很接近早期的簡單模型成圖原理。也就是說，第一階段，我們模仿攝影棚的攝影情景，將攝影背景全部鋪上白色布幕，然後物體擺放在白色背景中，打上光源（假設白色背景距離物體很遠，背景反射到物體上的光源非常小，可被忽略），作商業攝影。在3D軟體使用這種攝影手法，會讓電腦成圖結果，接近早期的簡單模型成圖。然後第二階段，對電腦成圖結果的3D模型作色彩檢測，

檢查虛擬光源光照後，3D 虛擬模型表面色彩之變化，與真實環境光照後的色彩變化，是否產生誤差。若有誤差，再進行第三階段研究，將誤差結果，試圖整理成一套簡易且容易使用的誤差修正模式。

但這種簡單的誤差修正模式，本乃是藉助 2D 影像軟體在虛擬模型表面作色彩量測，統計出來的結果，並非試圖修改目前的成圖方程式。經過研究提出的誤差修正模式，雖然沒有能力改變目前的成圖方程式，但未來若能藉此誤差修正模式的延伸研究，讓色彩研究、包裝設計、產品設計或空間設計，輕易的運用 3D 繪圖軟體，模仿真實環境，製作空間配色模型，相信對色彩配色研究必定有某些程度的貢獻。

## 二、文獻探討

### 1. 真實環境物理光照原理和早期電腦繪圖的光源投射反射原理[1,12]：

因本研究之虛擬光源設定為太陽光源，所以文獻探討，僅摘錄簡單模型的太陽光源投射和反射原理。如圖 1 所示，圖中  $L$  是光源投射線， $N$  是物體表面的正法線（ $N$  與物體表面垂直）， $R$  是物體表面完全光滑鏡面時的反射光線，但這種情況在真實環境並不存在，因為任何物體表面都有某些程度的粗糙效果，所以  $V$  才是我們眼睛實際看到的反射光線。圖中  $\theta$  是反射角， $\psi$  是實際觀察光線與反射光線間的夾角，我們可以在  $\psi$  角的範圍內看到反射光線， $\psi$  角大小和物體表面平滑度有關。Bui-Tuong (1975) 使用  $\cos^n \phi$  來建立這個行為的模型。對於完美的反射體而言， $n$  值是無限大的，此時極度光滑表面，會產生很窄的高亮光區域，當物體表面的粗糙度增加時，高亮光區域會往外擴散，亮度也會漸漸減少。其亮度公式為：

$$I = I_a k_a + I_i [k_a (L \cdot N) + k_s \cos^n \phi] / (r + k)$$

$$= I_a k_a + I_i [k_a (L \cdot N) + k_s (R \cdot V)^n] / (r + k)$$

（其中  $I_a$ 、 $I_i$  是光源的特性。 $k_s$ 、 $k_a$  是投射反射係數，過常是與物體相關的常數。所謂物體相關，是指受光物體表面的材質特性，如表面粗糙度、表面反光度…等之物體相關因素）。

從上述的投射反射原理和亮度公式，清楚的告訴我們，真實光照環境的太陽光源投射、反射，僅與光源特性（如光源種類、光源強弱、光源反射角度）和物體相關因素（如表面粗糙度、表面反光度）有關，且該些有關因素的改變，只能對物體產生表面「亮度」的變化（所謂「亮度」就是色彩學中的「明度」），意即只能改變物體表面的陰影程度，而與同一物體的同一点的表面的同一点位置，塗上任何色彩（假設塗色的顏料特性相同）無關。

意思是說，在真實環境中，同一 3D 模型表面的同一点位置，無論塗上任何色彩（假設塗色的顏料特性相同），經過太陽光源照射後，僅有模型表面的色彩明度，會隨著太陽光源強弱、光線投射角度之不同而改變。但這種模型表面的色彩明度變化，是因為 3D 模型本身，受到太陽光源不同角度的投射，所產生的陰影程度所導致，而與模型表面所塗的任何色彩之色相、彩度、明度都無關，

### 2. 目前 3D 成圖原理中，最重要的蒙特卡羅路徑追蹤法[13,15]：

蒙特卡羅路徑追蹤法（Monte Carlo Path Tracing, MCPT）是全域照度成圖演算法的一種，

由光線追蹤成圖演算法 (ray-tracing) 改進而來, 採用蒙特卡羅法來解成圖方程式的複雜積分。成像方法如圖 2 所示, 首先由視點發射一條視線穿過影像平面上的像素, 進入 3D 模型場景, 這條視線稱作 view ray, 如果經由交點測試後, 發現該視線和物體表面相交一點  $x_1$ , 則由  $x_1$  點延伸一條稱為 shadow ray 的陰影線到  $x_2$ , 並判斷  $x_2$  與  $x_1$  點之間是否有其他物體, 如果兩者之間有著其他物體, 表示  $x_1$  點是處於陰影處, 光源無法直接照射物體表面, 光源對此點沒有照度貢獻, 而是透過其他物體間接照射到  $x_1$  點。如果兩者之間不有著其他物體, 表示光源會直接照射此  $x_1$  點, 由  $x_1$  點可計算光源對本身的照度值。其 shadow ray 是用來計算光源對物體表面的直接照度 (direct lighting), 算完 shadow ray 的直接照度值後, 還必須由  $x_1$  點上以 BRDF (Bi-directional Reflection Distribution Function) 來決定發射 secondary ray 的方向及數量, Secondary ray 是用來計算其他物體表面對  $x_1$  點間接照度 (indirect lighting)。假設 secondary ray 與其他物體表面相交於  $x_2$  點, 則  $x_2$  點也必須利用上述步驟, 計算 shadow ray 與 secondary ray 對其他物體表面的照度貢獻, 如此反覆計算, 直到 secondary ray 傳回的照度值太小, 才終止視點發射視線, 最後將所求得的照度值回傳給視點。

3. 顏光良[10]的研究中曾提到, HSB 色彩模式是色彩研究人員比較關切的三軸:

HSB 色彩模式在 Photoshop 影像軟體上, 是指色相 (Hue)、飽和度 (Saturation)、亮度 (Brightness), 此與色彩學的色相 (Hue)、彩度 (Chroma)、明度 (Value) 三個色彩要素相同。使用色相、彩度、明度來陳述色彩, 比較符合人類眼睛實際的視覺模式, 較易被人理解、接受。且傳統色彩學 (非數值色彩) 如 Munsell 色系、Ostwald 色系、PCCS 色系、NCS 色系, 都以色相、彩度、明度作為色彩陳述的要素。所以使用 HSB 色彩模式作色彩研究, 既符合實際也容易與傳統色彩學接軌。

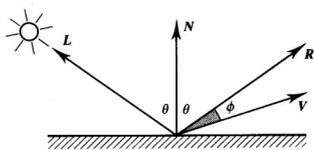


圖 1 真實環境光源投射反射原理  
(摘自石南譯, 三度空間電腦繪圖基礎)

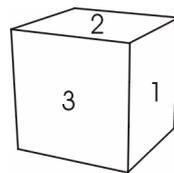


圖 3 虛擬空間實驗模型

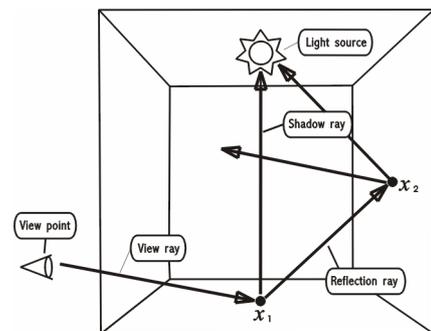


圖 2 蒙特卡羅路徑追蹤法  
(摘自陳利球, 有效的全域照度成圖演算法之研究)

## 三、研究方法

### 3-1 研究方法的前述部分

本文研究方法, 是藉用目前市面上最廣被流通的 3D 繪圖軟體 (Autodesk 公司的 3D Studio

Max 軟體)，設定一個周圍完全沒有物件的虛擬空間和虛擬光源，在這個虛擬空間下，建構一個符合研究目的的 3D 虛擬空間模型，然後在虛擬模型表面塗上各種色彩，射入虛擬光源，檢查模型表面色彩的變化，是否與真實環境發生誤差，若真發生誤差，則再深入探討，仍藉著模型表面的色彩量測，試圖整理出色彩誤差的簡單修正模式，然後提出結論建議。

但在研究工作進行之前，有幾個觀念應事先釐清。首先確定，符合研究目的的 3D 虛擬空間模型造形。根據柯淑芬[4]研究中的推演，認為立方體、球體、圓錐體三種形態的造形，是代表人類環境的最基本空間造形，適合當作色彩研究實驗模型。因本研究目的，主要修正 3D 電腦成圖的色彩誤差，環境變數宜愈少，模型造形宜愈簡單愈佳，而該三種基本空間造形，僅立方體，在光源照射下不會產生複雜的折射角度，有助於研究的單純化，所以本文採用立方體塊當作研究的 3D 虛擬空間實驗模型。

接著設定虛擬光源。因本研究主要目的，是比較 3D 電腦成圖與真實光照環境間的色彩誤差，所以將 3D 成圖的虛擬光源設定為太陽光源 (SunLight System) [2]。此外，也因太陽光源來自遙遠的天際；在真實環境中，當太陽自無窮遠處將光源平行照射在立方體上，此時立方體的每個受光平面，雖然都會產生程度不一的陰影效果，但在立方體同一受光平面上的任意點，因都接受了相同的太陽受光角度，結果會導致該受光平面上任意點所承受的陰影效果極為接近（因為立方體的尺寸，相對於太陽的無窮遠處，顯得十分渺小，所以太陽光源在同一受光角度的同一受光平面上，不會產生太大的明度變化）。意即在立方體同一受光平面的任意點，在接受太陽光源照射後，因陰影關係所產生的色彩明度變化值，會極為接近。而在虛擬空間中，經研究過程的反複測試，發現將虛擬太陽光源照射在 3D 虛擬模型上，對同一色彩而言，其立方體同一受光平面上的任意點位置的色彩明度變化，經測量後也會幾乎相同（因同一受光平面上任意點的色彩明度變化差距本來就極小，且 Photoshop 軟體調色盤僅將明度數位值區分成 100 個單位，經四捨五入的結果，同一受光面任意點，量測的色彩明度會幾乎相同）。這個反複測試的結果，與其他光源（非太陽光源）投射虛擬模型表面的結果，顯然不同。所以將虛擬太陽光源運用在色彩研究，除了合理外，同時也造就了整個研究過程的單純性。

於是討論太陽光源的設定。因每日清晨較早時刻的太陽光會稍偏藍光，午後較晚時刻的太陽光會稍偏橙黃光。根據色彩研究的實務經驗，在真實環境太陽光源下進行色彩測色，最佳的測色時間是早上 10 時至下午 2 時之間。但虛擬空間中的「中午 12 時太陽光」會垂直照射立方體塊的頂部平面，造成頂部平面的強烈反光，且立方體塊的兩側平面也會出現太大的陰影程度，所以本研究將虛擬光源設定為「臺灣臺北地區早上 10 時之太陽光」；早上 10 時的太陽光，除了符合合理的太陽白光特性外，此時的太陽光由物體的頂上方向成某個角度斜射到 3D 模型表面，使得立方體塊的表面色彩能產生較溫和、親切的光學效果，是個理想的測色時間。

接著討論模型表面的色彩量測。當我們利用 3D 繪圖軟體，在虛擬空間建構虛擬模型，並在模型表面塗上色彩，把模型放在虛擬太陽光源照射下，模型表面色彩會隨著太陽光源變化而發生改變，這種現象雖和人類真實環境相似，但經過虛擬太陽光源照射後，模型表面色彩究，竟與真實環境相同或作了多大的變化，並無法直接測得，而 3D 繪圖軟體也沒提供這項功能。欲達到這個效果，必須先將 3D 空間圖形檔轉換成 2D 平面圖檔，然後利用 2D 影像軟體所提供的色彩檢色功能，對轉換後的 2D 平面圖檔進行色彩檢測，才能達到目的。意思是說，我們無

法利用 3D 軟體，直接判斷模型表面色彩在光照前和光照後的色彩差異，而是間接利用 2D 影像軟體的色彩檢色器，來檢測 3D 模型光照前與光照後的色彩變化。2D 圖檔的色彩檢測，本又是藉用目前世上最被普遍流通的影像處理軟體，Adobe 公司的 Photoshop Bible 軟體。

接著討論色彩樣本的選擇。因 3D 模型光照後的色彩，須藉助 2D 影像軟體來檢測，為了達到虛擬光源光照前與光照後的色彩變化比較目的，光照前的色彩樣本選擇，也應該在 2D 軟體中決定，而非 3D 軟體；因為唯有光照前與光照後的色彩，都在同一軟體的同一調色盤中進行，才能作有效的色彩變化比較。研究中所謂「色彩樣本」，表示預期在 3D 實驗模型上塗色的色彩。整個模型塗色和色彩檢測過程，是在 Photoshop 軟體調色盤，選擇未來要在 3D 模型表面塗色的色彩樣本，等色彩樣本決定後，記錄所有色彩樣本在 Photoshop 軟體的色彩數位值，接著關閉 Photoshop 軟體，開啓 3D 虛擬模型，然後依剛才記錄的 Photoshop 軟體調色盤的色彩數位值，逐個在 3D Studio Max 軟體，找到相同數位值對應的相同色彩（這將涉及不同色彩模式的不同數位值範圍問題，將留在下面另作討論），將色彩塗在 3D 實驗模型上，每塗上一個色彩，應立即將 3D 圖檔轉換成 2D 平面圖形檔儲存，等所有色彩樣本都塗完並且儲存，然後關閉 3D Studio Max 軟體，開啓 Photoshop 軟體，將剛才儲存的平面圖形檔，在 Photoshop 軟體所提供的色彩檢色器下作色彩量測，一經量測，就可得知，色彩在虛擬太陽光源光照前與光照後，色彩作了多大的改變。

既然涉及了 3D 軟體和 2D 軟體間的圖檔轉換，於是接著討論，不同軟體的不同色彩模式間的不同數位值範圍的關係。在前面文獻探討部分，顏光良[10]研究中曾提出，H S B 色彩模式是色彩研究比較關切的三軸，使用 H S B 色彩模式作色彩研究，比較符合實際，也容易與傳統色彩學接軌，所以本研究的色彩樣本，就在 Photoshop 軟體的 H S B 色彩模式中作選擇。H S B 是 Photoshop 軟體的色彩模式表示法，H S B 指色相 Hue、飽和度 Saturation、亮度 Brightness。Deke McClelland [14]在著作書籍中，對 Photoshop 軟體的 H S B 色彩模式，作了下列說明：色相是一種純色，由 360 度如彩虹般所構成的圓形色板組成，紅色位在 0 度，黃色位在 60 度，綠色在 240 度，紫紅色在 300 度；而飽和度代表色彩的純潔度，飽和度為零，表現出來的色彩是灰色；亮度則代表色彩的明亮和灰暗，亮度為零，就是黑色世界，完全的亮度在大部分生動活潑的色調上，會結合完全的飽和度。以上三者的意義，與色彩學的色相 Hue、彩度 Chroma、明度 Value 意義相同。3D Studio Max 軟體則利用 H S V 色彩模式表達，H S V 是指色相 Hue、飽和度 Saturation、明度 Value。H S B、H S V 這兩種色彩模式，都是表示色彩學的色相、彩度、明度的色彩模式。為了容易說明，本文以下將以 H S B 代表 Photoshop 的 H S B 和 3D Studio Max 的 H S V。

但 Photoshop 的 H S B 數位值表示方法，和 3D Studio Max 的 H S V 數位值表示方法不同。Photoshop 的 H S B 數位值表示方法，色相 H 是由 H0 度至 H360 度，表示色相環的 360 度角關係；飽和度 S 是由 S 0% 至 S 100%，表示彩度的飽和百分比程度；亮度 B 也是由 B 0% 至 B 100%，表示亮度的明暗百分比程度。但 3D Studio Max 是直接以數位值大小表示 H S V 數位值範圍，色相 H 由 H0 至 H255、飽和度 S 由 S0 至 S255、明度 V 由 V0 至 V255。就因為該兩種軟體的色相、彩度、明度之數位值表示方法不同，讓我們先前在 Photoshop 軟體 H S B 色彩模式選擇的色彩樣本，無法直接在 3D Studio Max 軟體的 H S V 色彩模式上運用。

幸好 R G B 的色彩數位值，因受國際色彩協會 ICC (The International Color Consortium) 色彩轉換公式的規範侷限[5]，使得 Photoshop 的 R G B 色彩模式和 3D Studio Max 的 R G B 色彩模式表示方法相同(註：3D Studio Max 軟體僅揭示 H S V 數位值和 R G B 數位值)。R G B 色彩模式就是電腦螢幕顯示的色彩，R G B 是由紅色(R)、綠色(G)和藍色(B)三種色光所構成，這是色彩學の色光三原色，又稱加法三原色[3][9]。Photoshop 軟體的 R G B 色彩模式數位值，R 由 R0 至 R255、G 由 G0 至 G255、B 由 B0 至 B255；3D Studio Max 的 R G B 色彩模式數位值，R 由 R0 至 R255、G 由 G0 至 G255、B 由 B0 至 B255。

意思是說，我們雖在前面利用 Photoshop 的 H S B 色彩模式選擇色彩樣本，但我們若直接依據 Photoshop 的 H S B 數位值至 3D Studio Max 的 H S V 色彩模式，是無法找到同一對應的相同色彩，必須先藉助同一色彩在兩個軟體都有相同 R G B 數位值的因素，在模型塗色前，先進行不同色彩模式間的數位值轉換。因同一個 R G B 數位值所對應的 Photoshop 色彩和 3D Studio Max 色彩，屬同一色彩；所以轉換步驟，是在 Photoshop H S B 色彩模式決定色彩樣本後，先在 Photoshop 軟體的色彩檢色器內，找出每個色彩樣本的 R G B 數位值，記錄該些 R G B 數位值，然後在 3D Studio Max 軟體，將該些 R G B 數位值對應的色彩塗在 3D 模型上。塗完色後，再將 3D Studio Max 的 3D 圖檔轉換成 2D 圖檔儲存，接著利用 Photoshop 的 H S B 色彩模式，作模型表面的色彩量測。

換句話說，我們先利用 Photoshop 軟體的 H S B 色彩模式，根據色相、彩度、明度數位值作色彩樣本選擇，經過 R G B 色彩模式的轉換和 3D、2D 圖檔的轉換後，最後再利用 Photoshop 軟體的 H S B 色彩模式，對色彩進行色相、彩度、明度的檢測。如此就可容易的比較，色彩在光照前與光照後的色相、彩度、明度變化。為了容易說明，本文後面將以光照前的色彩，代表原來的樣本色彩；光照後的色彩，代表色彩樣本塗色在 3D 模型，再經虛擬光源照射後的色彩；而光照後的色彩變化值，則代表光照後的色彩數位值，扣減光照前的色彩數位值之結果。

複雜的色彩模式轉換討論完，就可開始進行研究工作。第一階段，首先建構 3D 虛擬實驗模型。第二階段，判斷色彩樣本在虛擬太陽光源光照後的色彩變化，與真實太陽光照環境的色彩變化，是否發生誤差；步驟分成：色彩樣本選擇、3D 模型著色、色彩量測、量測結果分析。若第二階段發現誤差，則進行第三階段研究，試圖將誤差結果整理出一套簡單修正模式。但該簡單修正模式仍藉助色彩量測結果得來，並非試圖修正目前的成圖方程式。

### 3-2 第一階段研究：建構 3D 虛擬實驗模型

建構空間虛擬模型，首要步驟，必須先設定虛擬空間環境條件，這些條件的設定，3D Studio Max 提供了非常詳細的項目供使用者選擇。為了減少研究變數，除了模型造形力求簡單外，虛擬環境設定也應儘量單純化。所以本文虛擬環境設定，除了虛擬光源設定為太陽光源 (SunLight System) [2]外，其餘全部依循 3D Studio Max 軟體的原先預定值[6]，不予加改變。

光源種類：臺灣臺北地區太陽光源。

光源位置：早上 10 時(正南方)。

物體表面：明亮光滑。軟體預設值。

透視模式：FOV=45.0。軟體預設值。

相機模式：軟體預設值。

建模過程依下列步驟完成：開啓 3D Studio Max 軟體，設定虛擬環境條件。先設定白色背景[6]：點選「Customize」、「Preference」、「Rendering」，在「Default Ambient Light Color 預設環境光色彩」下方會出現一個黑色色塊，點選黑色色塊，出現「Color Selector: Modify Color」調色盤，在調色盤中選擇 Red255、Green255、Blue255 數位值的 RGB 色彩，按「OK」，此時「Default Ambient Light Color」下方的黑色色塊，會轉換成白色色塊，表示 3D Studio Max 軟體的「預設環境光色彩」已更改為白色背景。接著設定「臺灣臺北地區早上 10 時太陽光」[2]：點選「Create Command Panel 指令面板」、「Create」、「Systems」、「Standard」、「Sunling」，將太陽光源時間設定為「10 Hours」、「0 Mins」、「0 Secs」，再點選「Get Location」，將「Map」設定為「Asia」、「City」設定為「Taipei Taiwan」。除外，其餘的設定項目都依循 3D Studio Max 軟體原預設值。接著開始建立實驗模型，選擇建模圖面，選擇「Box (方箱)」模式，在正視圖、左視圖、右視圖，各描繪 50 單位×50 單位方塊。3D Studio Max 的預設單位是 Generic Unit (通用單位)[6]。軟體會根據各視圖投影，自動在透視圖上顯示立體模型。點選「Min / Max Toggle」，讓螢幕僅顯示透視圖，透視圖面會出現 X、Y、Z 三個軸方向，旋轉三個軸，試圖尋找一視覺較佳的立方體旋轉角度，經旋轉試驗後，如圖 3 的虛擬空間模型，看起來既符合人類眼睛清楚觀察立方體的透視角度，立方體的任一表面也不致於出現太大的陰影程度。

### 3-3 第二階段研究：判斷色彩樣本在虛擬太陽光源光照後的色彩變化，與真實太陽光照環境的色彩變化，是否發生誤差。

因本研究僅借助 Photoshop 軟體的「色彩檢色器」，執行色彩樣本數位值選擇和實驗模型的色彩數位值檢測，與 Photoshop 軟體的任何環境指令設定並無直接關係。所以有關 Photoshop 軟體的工作環境設定，本研究全部依循 Photoshop 軟體的原預設值，不加任何改變。

#### 3-3-1 色彩樣本選擇

在 Photoshop 軟體的 H S B 色彩模式選擇色彩樣本時，最好能將色彩樣本在 H、S、B 的數位值範圍內作平均分配。因 H S B 色彩模式數位值，H 由 H0 至 H360、S 由 S0 至 S100、B 由 B0 至 B100，經考量研究目的後，H 每隔 30 取一個，S 每隔 15 取一個，B 每隔 15 取一個，結果計有 12 個 H，即 H30、H60、H90、H120、H150、H180、H210、H240、H270、H300、H330、H360 被選取，計有 6 個 S，即 S15、S30、S45、S60、S75、S90 被選取，計有 6 個 B，即 B15、B30、B45、B60、B75、B90 被選取。因為每個色彩都有 H、S、B 三個數位值，經過 H、S、B 數位值排列組合，第二階段研究，計有  $12 \times 6 \times 6 = 432$  個色彩被選定為色彩樣本。色彩樣本選定後，接著利用 Photoshop 軟體的色彩檢色器，將同一色彩的 H S B 數位值對照成 R G B 數位值，然後記錄 R G B 色彩數位值，供下面研究使用。因礙於篇幅，無法列出 H S B 數位值對照 R G B 數位值的該項記錄。

### 3-3-2 3D 模型著色

開啓 3D Studio Max 軟體，開啓前面建構的 3D 實驗模型檔案，點選實驗模型，模型會出現反白的外框線條，點選工具面板的「Create Command Panel(箭頭符號)」，點選「Name and Color」的面色塊，出現「Object Color」色盤，點選「Add Custom Color」按鈕，出現「Color Selector: Modify Color」調色盤，調色盤出現 RGB (Red、Green、Blue) 和 HSV (Hue、Saturation、Value) 兩種色彩模式。在 RGB 色彩模式最右側，出現 RGB 三個數位值方格，依序將前面已記錄的色彩樣本 RGB 數位值填入方格，按「OK」，電腦會根據所填入的 RGB 數位值，將數位值相對應的色彩塗在實驗模型上，關閉調色盤，然後進行最終著色，軟體會自動將著色後的 3D 圖檔轉換成 2D 圖檔，儲存檔案，即完成一個色彩樣本的 2D 圖形檔。將所有色彩樣本按如此步驟，逐個塗上色彩，即完成了模型著色程序。

### 3-3-3 色彩量測

在當初建構 3D 模型時，曾各對 X、Y、Z 軸作過旋轉，旋轉結果，模型會形成一個三視面的透視角度，經過虛擬太陽光源照射後，由於陰影影響，模型三個視面的色彩會各自發生改變。爾後將 3D 圖檔轉換成 2D 平面圖檔，會出現如圖 3 的三片斜四邊形色塊，色彩檢測時，即對該三片色塊進行檢色。為了容易說明，本文將根據圖 3 的數字編號，稱呼該三片色塊為第一受光面、第二受光面、第三受光面。前面曾論述過，在虛擬太陽光源照射下，同一受光平面上任意點的色彩明度變化差距極小，但本文在量測色彩時，為求謹慎，仍對準每片受光面色塊中心點。檢色步驟：打開 Photoshop 軟體，點選色彩工具列的「試管」功能，打開 2D 圖形檔案，開啓「色彩檢色器」，對準每片受光面色塊中心點，按一下滑鼠鍵，會在色彩工具列的前景色方塊，出現該色塊的色彩，同時在色彩檢色器上也會出現該色彩的對應數位值。記錄該色彩的 HSB 數位值，接著陸續檢測其他兩片色塊，就完成了三個 2D 圖檔的檢色工作。循序將 432 張平面圖檔各自檢色和記錄。如附註 A 所示，是光照前（即原色彩樣本）的色相 H、彩度 S、明度 B 數位值，和虛擬太陽光源光照後的第三受光面、第二受光面、第一受光面之色相 H、彩度 S、明度 B 之變化值（即光照後的色相 H、彩度 S、明度 B 之數位值，扣減光照前的色相 H、彩度 S、明度 B 之數位值）。

### 3-3-4 量測結果分析

1. 仔細對照附註 A 的色彩量測記錄，可發現，色相 H 與彩度 S 的光照後之色彩變化情形非常接近，卻與明度 B 的光照後色彩變化，有非常明顯的不同。所以宜將色相 H 與彩度 S 一起討論，明度 B 則個別討論。
2. 觀察光照後的色相 H 變化值（即光照後的色相數位值，扣減光照前的色相數位值）和光照後的彩度 S 變化值（即光照後的彩度數位值，扣減光照前的彩度數位值），發現除了明度 B15 的所有色彩樣本外，其餘色彩的色相 H 變化值和彩度 S 變化值，都在  $\pm 3$  的微小差距內（除了極少數數差距為 +4），若假設  $\pm 3$  的差距值，是我們可以接受的誤差範圍。就表示，同一物體的同受光平面，塗上不同色彩樣本，除了明度 B15 的色彩樣本外，在經過同一虛擬太陽光源光照後，原色彩的色相和彩度幾乎沒有發生改變。該項結果與真實光照環境相同（見

貢獻探討推論)。

3. 再觀察光照後的色彩明度 B 變化值 (即光照後的明度數位值, 扣減光照前的明度數位值), 將發現, 無論色相 H 值和彩度 S 值是多少, 只要光照前, 明度為 15、30、45、60、75、90 的色彩, 經虛擬光照後, 第一受光面光照後的色彩明度都各減少了 7、13、20、26、33、39, 第二受光面光照後的色彩明度都各減少了 8、15、22、30、37、45, 第三受光面光照後的色彩明度都各減少了 10、20、30、40、50、60。若計算各受光面明度變化值相鄰間的間距, 則第一受光面明度變化值間距為 6、7、6、7、6, 第二受光面明度變化值間距為 7、7、8、7、8、7, 第三受光面明度變化值間距為 10、10、10、10、10。看起來似乎第一受光面和第二受光面的明度變化值, 不若第三受光面般成等間距排列。但若進一步深入觀察, 將發現, 第一受光面和第二受光面的明度變化值未形成等間距排列, 是導因 Photoshop 軟體僅將明度數位值區分成 100 個百分比單位, 色彩量測後的明度數位值之尾數部分, 如有未足 1 百分比單位者, 會被自動四捨五入, 所造成的結果。若假設將 Photoshop 明度數位值區分成 200 個單位, 再進行四捨五入, 就能將第一受光面明度變化值間距還原成 6.5、6.5、6.5、6.5、6.5; 第二受光面明度變化值間距還原成 7.5、7.5、7.5、7.5、7.5。由此證明, 事實上每個受光面明度變化值, 都成等間距排列。所以可結論, 光照後的色彩明度變化值, 會隨著原色彩樣本的明度值之不同, 而呈等差比例的變化。
4. 表示將任一色彩樣本, 塗色在 3D 模型表面, 經虛擬太陽光源照射後, 原樣本色彩的明度, 會因不同受光面與光源間的不同關係角度所產生的陰影, 而造成不同程度的明度減少, 這種現象與真實環境的光照原理相同。但是真實環境物體, 在相同環境條件, 受相同太陽光源照射, 無論塗上任何色彩, 物體的同受光面的同一點位置, 因接受陰影的條件相同, 經光照後, 各色彩的明度變化, 都應相同且正確 (見貢獻探討推論)。但由附註 A 的量測記錄, 發現 3D 虛擬模型受虛擬太陽光源照射後, 模型表面的同一點位置, 會因原樣本色彩的不同, 而出現不同明度的等差比例變化, 此項結果與真實環境不同。
5. 所以擬對光照後的色彩明度變化, 另作更進一步的探討。
6. 因曾在附註 A 的資料中, 發現明度 B15 的色彩樣本之 H 變化值和 S 變化值太大, 所以可進一步探討前, 擬針對明度小於 B15 的 B10 和 B5 之色彩樣本, 另作檢測工作。檢測結果, 如附註 B 所示。由附註 B 資料顯示, B10 和 B5 的色彩樣本, 的確也和 B15 相似, 有較大的色相 H 變化值, 或較大的彩度 S 變化值。於是可結論出, 明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的色彩, 經虛擬太陽光照後會呈現錯誤的色相 H 數位值或錯誤的彩度 S 數位值, 且明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的色彩, 在配色過程也很難達到預期的效果。所以下列的進一步探討中, 將摒棄明度小於 15 的色彩不用, 僅針對 B20 至 B100 的色彩樣本, 進行研究。

### 3-4 第三階段研究：試圖找出虛擬太陽光源照射後，3D 模型表面色彩的明度誤差修正模式。

#### 3-4-1 色彩樣本選擇

由第二階段研究得知, 3D 虛擬模型受光照後, 模型表面色彩變化與色相、彩度無關, 僅與明度有關。所以本階段色彩樣本, 僅選擇一個 H 數位值搭配一個 S 數位值, 再搭配不同 B 數

位值，組成色彩樣本。因H值由H0至H360，所以色相取H180；因S值由S0至S100，所以彩度取S50；搭配明度值5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100（因明度B值由B0至B100），但刪除明度值5、10、15的三個色彩樣本，共組成17個色彩樣本。

### 3-4-2 3D模型著色和色彩量測

方法與第二階段研究相同，故不再重複敘述。量測結果記錄在附註C。

### 3-4-3 量測結果分析

1. 為了容易判讀附註C的量測結果，就將色彩樣本光照前的原明度數位值，當作X軸座標，再將光照後的色彩明度變化值（即光照後的明度數位值，扣減光照前的明度數位值）當作Y軸座標，然後將量測結果，在二維平面座標上描點，描點後的座標圖，如圖4所示。仔細觀察該二維座標散佈圖，可隱約看出，三個受光面的散佈點，各自形成一條直線，於是各對三個受光面的散佈點，分別作迴歸分析，能得到下列三條直線迴歸方程式：

第一受光面迴歸線  $L_1$ ：  $Y = -0.431373X - 0.235294$

第二受光面迴歸線  $L_2$ ：  $Y = -0.495588X - 0.029412$

第三受光面迴歸線  $L_3$ ：  $Y = -0.659804X + 0.58824$

統計後的三條迴歸直線，都以小於1的微小截距接近原點。

2. 為了方便計算迴歸線與水平軸夾角，先將三條迴歸各作微小截距的平行移動（為向可平移，將右圖形說明中提及），讓各迴歸線都準確的通過原點。平移後的迴歸線方程式如下：

第一受光面迴歸線  $L_1$ ：  $Y = -0.431373X$

第二受光面迴歸線  $L_2$ ：  $Y = -0.495588X$

第三受光面迴歸線  $L_3$ ：  $Y = -0.659804X$

3.  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 三條迴歸線各與水平軸形成 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 角度：

第一受光面迴歸線與水平軸夾角： $\tan \theta_1 = Y/X = -0.431373$

第二受光面迴歸線與水平軸夾角： $\tan \theta_2 = Y/X = -0.495588$

第三受光面迴歸線與水平軸夾角： $\tan \theta_3 = Y/X = -0.659804$

4. 量測結果雖已圖示化，但仍須另闡述說明，才會清楚。

### 3-4-4 圖形說明

為避免複雜，圖形說明僅舉第一受光面之光照情形與真實環境作比較。

1. 首先探討光照後的明度變化值與光照前的明度值之關係。圖5是圖4中的 $L_1$ 線部分。若在 $L_1$ 線上任取一點A( $x_a$ 、 $y_a$ )，則 $y_a = x_a \times \tan \theta_1$ ，其中 $x_a$ 是色彩樣本光照前的原色彩明度值， $y_a$ 是色彩樣本光照後的色彩明度變化值，上節曾求出 $\tan \theta_1 = -0.431373$ 。計算結果 $y_a$ 是負值，表示光照後的色彩明度值，比光照前的色彩明度值減少。意思是說，當我們在虛擬光照前選擇一個明度值為 $x_a$ 的色彩，將色彩樣本研究的3D實驗模型上，受本研究設定的虛擬太陽光源照射，在該第一受光面上會減少 $\tan \theta_1$ 比例的明度減少值 $y_a$ 。∵因 $L_1$ 線不與X軸平行，

而與  $X$  軸夾  $\theta_1$  角度成斜線，所以光照前明度愈低的色彩，光照後色彩明度減少值會愈小；光照前明度愈高的色彩，光照後色彩明度減少值會愈大。

- 但真實環境光照後的色彩明度變化，卻如圖 6 所示。從前面貢獻探討推理得知，在真實環境將同一模型塗上任何色彩，經光照後，模型同一面色彩的明度變化量都應該相同。圖 6 之中的  $T_1$  線，表示真實環境太陽光照後，無論塗上任何色彩，模型第一受光面都減少了  $d_1$  的明度值。但  $d_1$  會隨著光源強弱、光源種類、模型表面粗糙度和受光面角度之不同而不同（看似複雜，其實不會。因無論色彩研究成色彩配色，必定會先控制光源強弱、光源種類和模型表面粗糙度）；在本來研究將藉助真實環境太陽光照下的實體色彩量測而求得  $d_1$ ，但本因目前尚未涉及如此變數，故暫時以  $d_1$  表示。
- 作圖 5、圖 6 比較後，顯然 3D 虛擬模型光照後之模型表面色彩明度變化，與真實環境光照後的明度變化不同。於是進行模型色彩明度修正，修正方法是先將圖 5 與圖 6 重疊合成圖 7，然後在圖 7 中，將  $L_1$  迴歸線逆時針旋轉  $\theta_1$  角度，與  $X$  軸重疊，再向下平移  $d_1$  距離到  $T_1$  處，就符合了真實環境的光照原理，目前  $d_1$  是未知，這就是第二階段研究中，迴歸線為何可先作微小截距平移的原因。
- 只是上述的修正方法較不符合實用，因為色彩配色需要的，是希望模型尚未塗色前就先作色彩修正，而非模型塗完色，繪圖工作都完成，再作色彩修正。所以圖 8 才是我們真正需要的色彩明度誤差修正模式。圖 8 是由圖 7 逆推演而來，圖 8 中， $X$  軸表示光照前真實環境的原色彩樣本明度值， $Y$  軸表示虛擬光源光照後的明度變化值。整個推演過程，應分成兩個步驟說明。因 3D 成圖光照後之色彩明度會比光照前之色彩明度減少  $y_a = x_a \times \tan \theta_1$  值，所以第一步驟，讓光照前的色彩樣本，先加上光照後會減少的明度變化值，此時色彩明度值會位在圖 8 的  $L_p$  軸上（亦即讓光照前的樣本色彩明度值在  $L_p$  軸上作選擇），圖 7 的 A 點經逆推演後，會轉換成圖 8  $L_p$  線上的 B ( $x_a, y_b$ ) 點，接著塗色在虛擬模型上，接受虛擬光照，因虛擬光照產生的明度誤差，會讓樣本色彩光照後的明度值，修正到圖 8 的  $X$  軸上。然後第二步驟，再減去真實環境光照後的明度變化值  $d_1$ ，修正後的色彩明度值將位在圖 8 的  $T_1$  線上，其結果就符合了真實光照原理。但圖 8 中的  $\phi$  角度與圖 7 的  $\theta_1$  角度，雖極接近卻不相等，仍待未來研究作進一步整合。

## 四、結論建議

- 從研究結果，本結論可推演出下列的 3D 成圖色彩明度修正模式：

$$y = x - d = x(1 + \tan \phi) - d$$

$y$  表示明度最後修正結果，符合真實環境光照後的色彩明度值。 $y$  值將位在圖 8 的  $T_1$  線上。

$x$  表示原色彩明度值。 $x$  值位在圖 8 的  $X$  軸上。

$\phi$  表示明度變化的迴歸線斜角。如圖 8 中的  $\phi$  角。

$d$  表示真實環境光照的明度變化值。如圖 8 中的  $d_1$  距離。

$x$  表示第一步驟修正結果。 $x$  值將位在圖 8 的  $X$  軸上。

模式的修正結果，是將虛擬光源光照後的色彩明度，修正成真實環境光照後的色彩明度。意思是說，修正後的色彩，會呈現出真實太陽光照陰影效果後的色彩，當我們利用 3D 成圖模型配色時，是觀看真實太陽光照後的色彩來進行配色。

2. 但模式中的  $\phi$  角度會隨著受光面與光源間的關係角度不同而不同；式中的  $d$  距離也會隨著光源強弱、光源種類、模型表面粗糙度、受光面方向和受光距離之不同而發生改變；這些變數，本文並未涉及，目前尚是未知，所以本文其實僅是整個研究過程的前期部分。作者接著將繼續深入研究，試圖找出不同受光面方向與  $\phi$  角度的關係模式，接著再試圖藉由真實環境色彩量測，找出合理的  $d$  關係模式，若找出了  $\phi$  角度和  $d$  的關係模式，未來只要固定虛擬太陽光源和模型表面粗糙度兩個變數，就能簡易的藉助 3D 成圖模型，作正確的色彩配色研究。

3. 雖然結論建議的修正模式，尚有  $\phi$  和  $d$  兩個變數未知。但本研究也發現了：

- 明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的 3D 成圖色彩，會呈現錯誤的色相 H 數位值或錯誤的彩度 S 數位值。
- 除了明度太暗 ( $B \leq 15$ ) 的色彩，其餘 3D 成圖色彩與真實環境色彩間的色相、彩度都幾乎相同。
- 3D 成圖色彩與真實環境色彩間的明度關係，發生等差比例的誤差。

且結論建議也整理出明確的修正模式，相信整個研究對色彩配色研究必有某個程度的貢獻。

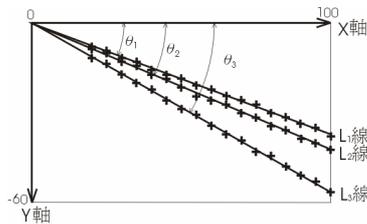


圖 4 光照後的色彩明度變化描點圖  
(X軸：原樣本色彩明度值)  
(Y軸：光照後的明度變化值)

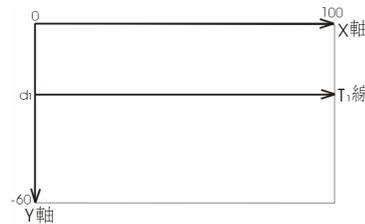


圖 6 真實環境的色彩明度變化圖  
(X軸：原樣本色彩明度值)  
(Y軸：光照後的明度變化值)

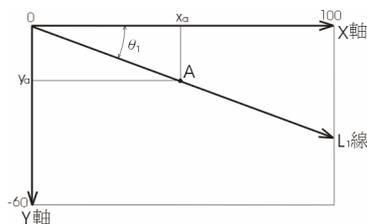


圖 5 光照後的第一受光面明度變化圖  
(X軸：原樣本色彩明度值)  
(Y軸：光照後的明度變化值)

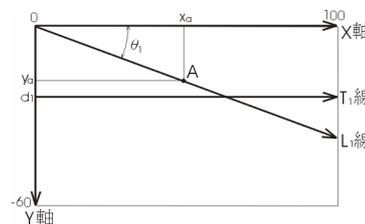


圖 7 圖五與圖六之合併圖  
(X軸：原樣本色彩明度值)  
(Y軸：光照後的明度變化值)

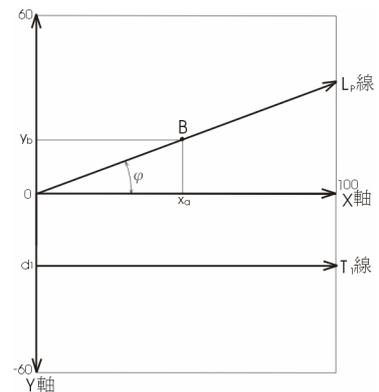


圖 8 3D 成圖的色彩明度修正示意圖 (結論建議)

# 附註 A

第二階段色彩量測記錄：光照前（即原色彩樣本）的色相H、彩度S、明度B數位值，和  
 虛擬光源光照後的第 一 受光面、第 二 受光面、第 三 受光面之色相H、彩度S、明度B變化值（即  
 光照後的色相H、彩度S、明度B之數位值，扣減光照前的色相H、彩度S、明度B之數位值）。

光照前 虛擬光源光照後之色彩變化值  
 原樣本色彩 第一受光面 第二受光面 第三受光面

H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
30	15	15	-9	-1	-7	-9	1	-8	10	8	-10
15	30	4	-1	-13	0	1	-15	0	0	-20	-10
30	15	45	3	2	-20	-3	1	-22	0	0	-30
30	15	60	2	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
30	15	75	0	0	-33	0	0	-37	-3	-1	-50
30	15	90	0	0	-39	0	1	-45	3	0	-60
30	30	15	4	3	-7	0	2	-8	6	8	-10
30	30	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
30	30	45	-3	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
30	30	60	0	0	-26	-1	0	-30	0	1	-40
30	30	75	1	1	-33	1	0	-37	2	-1	-50
30	30	90	-1	0	-39	-1	0	-45	-3	0	-60
30	45	15	0	3	-7	-3	2	-8	-9	1	-10
30	45	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
30	45	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
30	45	60	0	0	-26	0	1	-30	0	1	-40
30	45	75	-1	0	-33	-1	0	-37	-1	0	-50
30	45	90	-1	0	-39	-1	1	-45	0	1	-60
30	60	15	-2	2	-7	0	3	-8	-8	2	-10
30	60	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
30	60	45	-1	0	-20	-1	0	-22	0	2	-30
30	60	60	0	0	-26	0	1	-30	-1	0	-40
30	60	75	0	0	-33	0	0	-37	1	0	-50
30	60	90	0	0	-39	0	0	-45	0	1	-60
30	75	15	0	1	-20	-2	4	-8	-6	2	-10
30	75	30	1	1	-13	1	1	-15	0	2	-20
30	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30
30	75	60	0	1	-26	0	0	-30	-1	0	-40
30	75	75	0	0	-33	0	0	-37	-1	0	-50
30	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
30	90	15	0	3	-7	0	5	-8	-8	0	-10
30	90	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
30	90	45	-1	1	-20	-1	1	-22	0	2	-30
30	90	60	0	1	-26	0	1	-30	-1	0	-40
30	90	75	0	1	-33	0	1	-37	1	1	-50
30	90	90	0	1	-39	0	1	-45	0	1	-60
60	15	15	0	-1	-7	0	1	-8	0	8	-10
60	15	30	0	1	-13	0	1	-15	0	2	-20
60	15	45	0	2	-20	0	1	-22	0	0	-30
60	15	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
60	15	75	0	0	-33	0	0	-37	0	-1	-50
60	15	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
60	30	15	0	3	-7	0	2	-8	8	10	-10
60	30	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
60	30	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
60	30	60	0	0	-26	0	0	-30	0	1	-40
60	30	75	0	1	-33	0	0	-37	0	-1	-50
60	30	90	0	0	-39	0	0	-45	0	0	-60
60	45	15	0	3	-7	0	2	-8	8	10	-10
60	45	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
60	45	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
60	45	60	0	0	-26	0	0	-30	0	1	-40
60	45	75	0	0	-33	0	0	-37	0	0	-50
60	45	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
60	60	15	0	2	-7	0	3	-8	-9	1	-10
60	60	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
60	60	45	0	1	-20	0	1	-22	0	2	-30
60	60	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40
60	60	75	0	0	-33	0	0	-37	0	0	-50
60	60	90	0	0	-39	0	0	-45	0	1	-60
60	75	15	0	2	-7	0	4	-8	-8	2	-10
60	75	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
60	75	45	0	1	-20	0	1	-22	0	2	-30
60	75	60	0	1	-26	0	0	-30	0	0	-40
60	75	75	0	0	-33	0	0	-37	0	0	-50
60	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
60	90	15	0	3	-7	0	5	-8	-8	0	-10
60	90	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
60	90	45	0	1	-20	0	1	-22	0	2	-30
60	90	60	0	1	-26	0	1	-30	0	0	-40
60	90	75	0	1	-33	0	1	-37	1	1	-50
60	90	90	0	1	-39	0	1	-45	0	1	-60
90	15	15	10	-1	-7	10	1	-8	-9	8	-10
90	15	30	-4	1	-13	0	1	-15	0	0	-20
90	15	45	-3	2	-20	3	1	-22	0	0	-30
90	15	60	-2	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
90	15	75	0	0	-33	0	0	-37	3	-1	-50
90	15	90	0	0	-39	0	1	-45	-2	1	-60
90	30	15	-4	3	-7	0	2	-8	6	8	-10
90	30	30	2	0	-13	0	2	-15	0	2	-20
90	30	45	3	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
90	30	60	0	0	-26	1	0	-30	0	1	-40
90	30	75	-1	1	-33	-1	0	-37	-2	-1	-50
90	30	90	1	0	-39	1	0	-45	0	0	-60
90	45	15	0	3	-7	0	2	-8	10	1	-10
90	45	30	0	2	-13	0	2	-15	0	1	-20
90	45	45	0	1	-20	-1	2	-22	0	1	-30
90	45	60	-1	0	-26	-1	0	-30	0	1	-40
90	45	75	1	0	-33	1	0	-37	1	0	-50
90	45	90	1	0	-39	-1	1	-45	0	1	-60
90	60	15	0	2	-7	0	3	-8	7	2	-10
90	60	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
90	60	45	0	1	-20	0	1	-22	0	2	-30
90	60	60	0	0	-26	-1	1	-30	0	2	-40
90	60	75	0	0	-33	0	0	-37	-1	0	-50
90	60	90	0	0	-39	0	0	-45	0	1	-60
90	75	15	0	2	-7	0	4	-8	-6	2	-10
90	75	30	-3	2	-13	-1	2	-15	0	2	-20
90	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30
90	75	60	0	1	-26	0	0	-30	1	0	-40
90	75	75	0	0	-33	0	0	-37	-1	0	-50
90	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
90	90	15	0	3	-7	0	5	-8	-8	0	-10
90	90	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
90	90	45	1	1	-20	1	1	-22	0	2	-30
90	90	60	0	1	-26	0	1	-30	-1	0	-40
90	90	75	0	1	-33	0	1	-37	1	1	-50
90	90	90	0	1	-39	0	1	-45	0	1	-60

光照前 虛擬光源光照後之色彩變化值  
 原樣本色彩 第一受光面 第二受光面 第三受光面

H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
150	15	15	-9	-1	-7	-9	1	-8	10	8	-10
150	15	30	4	1	-13	0	1	-15	0	0	-20
150	15	45	3	2	-20	-3	1	-22	0	0	-30
150	15	60	2	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
150	15	75	0	0	-33	0	0	-37	-3	-1	-50
150	15	90	0	0	-39	0	1	-45	2	0	-60
150	30	15	4	3	-7	0	2	-8	6	8	-10
150	30	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
150	30	45	-3	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
150	30	60	0	0	-26	-1	0	-30	0	1	-40
150	30	75	1	1	-33	1	0	-37	2	-1	-50
150	30	90	-1	0	-39	-1	0	-45	-3	0	-60
150	45	15	0	3	-7	-3	2	-8	-9	1	-10
150	45	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
150	45	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
150	45	60	0	0	-26	1	0	-30	0	1	-40
150	45	75	-1	0	-33	-1	0	-37	-1	0	-50
150	45	90	-1	0	-39	-1	1	-45	0	1	-60
150	60	15	-2	2	-7	0	3	-8	-8	2	-10
150	60	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
150	60	45	-1	0	-20	-1	0	-22	0	2	-30
150	60	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40
150	60	75	0	0	-33	0	0	-37	1	0	-50
150	60	90	0	0	-39	0	0	-45	0	1	-60
150	75	15	0	1	-20	-2	4	-8	-6	2	-10
150	75	30	1	1	-13	1	1	-15	0	2	-20
150	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30
150	75	60	0	1	-26	0	0	-30	-1	0	-40
150	75	75	0	0	-33	0	0	-37	-1	0	-50
150	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
150	90	15	0	3	-7	0	5	-8	-8	0	-10
150	90	30	0	2	-13	0	2	-15	0	2	-20
150	90	45	-1	1	-20	-1	1	-22	0	2	-30
150	90	60									

光照前												虛擬光源光照後之色彩變化值																							
原樣本色彩			第一受光面			第二受光面			第三受光面			原樣本色彩			第一受光面			第二受光面			第三受光面														
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B						
90	90	75	0	1	-33	0	1	-37	-1	1	-50	210	90	75	0	1	-33	0	1	-37	-1	1	-50	330	90	75	0	1	-33	0	1	-37	-1	1	-50
90	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	210	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	330	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	15	15	0	-1	-7	0	1	-8	0	8	-10	240	15	15	0	-1	-7	0	1	-8	0	8	-10	360	15	15	0	-1	-7	0	1	-8	0	8	-10
120	15	30	0	1	-13	0	1	-15	0	0	-20	240	15	30	0	1	-13	0	1	-15	0	0	-20	360	15	30	0	1	-13	0	1	-15	0	0	-20
120	15	45	0	2	-20	0	1	-22	0	0	-30	240	15	45	0	2	-20	0	1	-22	0	0	-30	360	15	45	0	2	-20	0	1	-22	0	0	-30
120	15	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40	240	15	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40	360	15	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
120	15	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	240	15	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	360	15	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50
120	15	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	15	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	15	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	30	15	0	3	-7	0	2	-8	0	8	-10	240	30	15	0	3	-7	0	2	-8	0	8	-10	360	30	15	0	3	-7	0	2	-8	0	8	-10
120	30	30	0	0	-13	0	2	-15	0	1	-20	240	30	30	0	0	-13	0	2	-15	0	1	-20	360	30	30	0	0	-13	0	2	-15	0	1	-20
120	30	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30	240	30	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30	360	30	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
120	30	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40	240	30	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40	360	30	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
120	30	75	0	1	-33	0	1	-37	0	0	-50	240	30	75	0	1	-33	0	1	-37	0	0	-50	360	30	75	0	1	-33	0	1	-37	0	0	-50
120	30	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	30	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	30	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	45	15	0	3	-7	0	2	-8	0	1	-10	240	45	15	0	3	-7	0	2	-8	0	1	-10	360	45	15	0	3	-7	0	2	-8	0	1	-10
120	45	30	0	2	-13	0	1	-15	0	1	-20	240	45	30	0	2	-13	0	1	-15	0	1	-20	360	45	30	0	2	-13	0	1	-15	0	1	-20
120	45	45	0	1	-20	0	2	-22	0	1	-30	240	45	45	0	1	-20	0	2	-22	0	1	-30	360	45	45	0	1	-20	0	2	-22	0	1	-30
120	45	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40	240	45	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40	360	45	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40
120	45	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	240	45	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	360	45	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50
120	45	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	45	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	45	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	60	15	0	2	-7	0	3	-8	0	2	-10	240	60	15	0	2	-7	0	3	-8	0	2	-10	360	60	15	0	2	-7	0	3	-8	0	2	-10
120	60	30	0	0	-13	0	1	-15	0	2	-20	240	60	30	0	0	-13	0	1	-15	0	2	-20	360	60	30	0	0	-13	0	1	-15	0	2	-20
120	60	45	0	0	-20	0	1	-22	0	2	-30	240	60	45	0	0	-20	0	1	-22	0	2	-30	360	60	45	0	0	-20	0	1	-22	0	2	-30
120	60	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40	240	60	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40	360	60	60	0	0	-26	0	1	-30	0	2	-40
120	60	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	240	60	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	360	60	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50
120	60	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	60	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	60	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	75	15	0	1	-7	0	4	-8	0	2	-10	240	75	15	0	1	-7	0	4	-8	0	2	-10	360	75	15	0	1	-7	0	4	-8	0	2	-10
120	75	30	0	2	-13	0	1	-15	0	2	-20	240	75	30	0	2	-13	0	1	-15	0	2	-20	360	75	30	0	2	-13	0	1	-15	0	2	-20
120	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30	240	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30	360	75	45	0	2	-20	0	1	-22	0	2	-30
120	75	60	0	1	-26	0	1	-30	0	2	-40	240	75	60	0	1	-26	0	1	-30	0	2	-40	360	75	60	0	1	-26	0	1	-30	0	2	-40
120	75	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	240	75	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50	360	75	75	0	0	-33	0	1	-37	0	0	-50
120	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	75	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60
120	90	15	0	5	-7	0	5	-8	0	2	-10	240	90	15	0	5	-7	0	5	-8	0	2	-10	360	90	15	0	5	-7	0	5	-8	0	2	-10
120	90	30	0	3	-13	0	2	-15	0	2	-20	240	90	30	0	3	-13	0	2	-15	0	2	-20	360	90	30	0	3	-13	0	2	-15	0	2	-20
120	90	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30	240	90	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30	360	90	45	0	1	-20	0	1	-22	0	1	-30
120	90	60	0	1	-26	0	1	-30	0	1	-40	240	90	60	0	1	-26	0	1	-30	0	1	-40	360	90	60	0	1	-26	0	1	-30	0	1	-40
120	90	75	0	1	-33	0	1	-37	0	1	-50	240	90	75	0	1	-33	0	1	-37	0	1	-50	360	90	75	0	1	-33	0	1	-37	0	1	-50
120	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	240	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60	360	90	90	0	0	-39	0	1	-45	0	1	-60

### 附註 B

第二階段色彩量測記錄 (B5 與 B10 色彩樣本部分)：光照前 (即原色彩樣本) 的色相 H、彩度 S、明度 B 數位值，和虛擬光源光照後的第一受光面、第二受光面、第三受光面之色相 H、彩度 S、明度 B 變化值 (即光照後的色相 H、彩度 S、明度 B 之數位值，扣減光照前的色相 H、彩度 S、明度 B 之數位值)。

光照前												虛擬光源光照後之色彩變化值																												
原樣本色彩			第一受光面			第二受光面			第三受光面			原樣本色彩			第一受光面			第二受光面			第三受光面																			
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B											
30	15	5	30	2	-3	-30	2	-3	10	10	-3	210	15	5	-30	2	-3	30	2	-3	30	10	-3	330	15	5	-30	2	-3	30	10	-3								
30	15	10	30	0	0	0	0	0	30	20	-3	210	15	10	-10	6	-6	30	0	0	30	20	-3	330	15	10	-10	6	-6	30	20	-3								
30	15	30	30	0	-6	6	-5	0	3	-5	-10	8	-7	210	30	10	6	6	-5	0	3	-5	-10	8	-7	330	30	10	6	6	-5	0	3	-5						
30	15	45	30	0	10	5	-3	-10	5	-3	0	5	-3	210	45	5	-10	5	-3	-10	5	-3	0	5	-3	330	45	5	-10	5	-3	0	5	-3						
30	15	60	30	0	-4	5	-5	-6	-3	-3	-5	0	5	-7	210	45	10	4	5	-5	-6	-3	-5	0	5	-7	330	45	10	4	5	-5	-6	-3	-5	0	5	-7		
30	15	75	30	0	7	7	-3	0	7	7	-10	15	-3	210	60	5	0	7	7	-3	0	7	7	-10	15	-3	330	60	5	0	7	7	-3	0	7	7	-10	15	-3	
30	15	90	30	0	-3	4	-4	-4	6	8	-3	-10	0	-3	210	60	10	-3	4	-4	-4	6	8	-3	-10	0	-3	330	60	10	-3	4	-4	-4	6	8	-3	-10	0	-3
30	30	5	30	5	0	8	-5	0	8	-5	0	0	-3	210	75	5	-6	8	-5	0	8	-5	0	0	-3	330	75	5	-6	8	-5	0	8	-5	0	0	-3			
30	30	10	30	5	3	4	-5	3	0	-5	-10	0	-7	210	75	10	-3	4	-5	-3	0	-5	-10	0	-7	330	75	10	-3	4	-5	-3	0	-5	-10	0	-7			
30	30	15	30	5	0																																			

150	90	10	-2	3	-5	3	2	-5	0	10	-7	330	90	10	2	3	-5	-3	2	-5	0	10	-7
180	15	5	0	2	-3	0	2	-3	0	10	-3	360	15	5	0	2	-3	0	2	-3	0	10	-3
180	15	10	0	6	-5	0	2	-5	0	-2	-7	360	15	10	0	6	-5	0	2	-5	0	-2	-7
180	30	5	0	3	-3	0	3	-3	0	20	-3	360	30	5	0	3	-3	0	3	-3	0	20	-3
180	30	10	0	6	-5	0	3	-5	0	8	-7	360	30	10	0	6	-5	0	3	-5	0	8	-7
180	45	5	0	5	-3	0	5	-3	0	5	-3	360	45	5	0	5	-3	0	5	-3	0	5	-3
180	45	10	0	5	-3	0	5	-3	0	5	-7	360	45	10	0	5	-3	0	5	-3	0	5	-7
180	60	5	0	7	-3	0	7	-3	0	15	-3	360	60	5	0	7	-3	0	7	-3	0	15	-3
180	60	10	0	4	-5	0	2	-5	0	3	-7	360	60	10	0	4	-5	0	2	-5	0	3	-7
180	75	5	0	8	-3	0	8	-3	0	0	-3	360	75	5	0	8	-3	0	8	-3	0	0	-3
180	75	10	0	4	-5	0	0	-5	0	0	-7	360	75	10	0	4	-5	0	0	-5	0	0	-7
180	90	5	0	10	-3	0	10	-3	0	10	-3	360	90	5	0	10	-3	0	10	-3	0	10	-3
180	90	10	0	3	-5	0	2	-5	0	10	-7	360	90	10	0	3	-5	0	2	-5	0	10	-7

### 附註 C

第三階段色彩量測記錄：光照前（即原色彩樣本）的色相H、彩度S、明度B數位值，和虛擬光源光照後的第一受光面、第二受光面、第三受光面之色相H、彩度S、明度B變化值（即光照後的色相H、彩度S、明度B之數位值，扣減光照前的色相H、彩度S、明度B之數位值）。

光照前			虛擬光源光照後之色彩變化值								
原樣本色彩			第一受光面			第二受光面			第三受光面		
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
180	50	20	0	0	-9	0	2	-10	0	3	-13
180	50	25	0	0	-11	0	0	-12	0	3	-16
180	50	30	0	1	-13	0	0	-15	0	0	-20
180	50	35	0	2	-15	0	1	-17	0	0	-23
180	50	40	0	1	-18	0	1	-20	0	1	-26
180	50	45	0	1	-20	0	2	-22	0	1	-30
180	50	50	0	0	-22	0	0	-25	0	0	-33
180	50	55	0	1	-24	0	0	-28	0	0	-36
180	50	60	0	0	-26	0	1	-30	0	0	-40
180	50	65	0	0	-28	0	0	-32	0	1	-43
180	50	70	0	0	-30	0	0	-35	0	1	-46
180	50	75	0	1	-32	0	0	-37	0	1	-50
180	50	80	0	0	-35	0	0	-40	0	0	-53
180	50	85	0	0	-37	0	0	-42	0	0	-56
180	50	90	0	0	-39	0	0	-45	0	1	-59
180	50	95	0	0	-41	0	0	-47	0	1	-62
180	50	100	0	1	-44	0	0	-49	0	1	-66

## 參考文獻

1. 日本照明學會編，1983，訥招墉譯，1999，照明設計，全華科技圖書股份有限公司。
2. 林龍震，2001，3D Studio Max 與 Photoshop 視覺傳播技能實務，松崗電腦圖書資料股份有限公司。
3. 林文昌，1990，色彩計劃，藝術圖書公司。
4. 柯淑芬，1995，平面與立體造形之意象研究－探討造形、色彩、光源角度、視線角度之影響，成功大學工業設計研究所碩士論文。
5. 徐法坤，1999，數位影像色彩管理，龍溪圖書。
6. 訥子凡，1999，3D Studio Max 3，文魁資訊股份有限公司。
7. 陳建豪，2001，擬真的攝影成像模型在全域照度之研究，中興大學資訊科學研究所碩士論文。
8. 陳利琮，2001，有效的全域照度成圖演算法之研究，中興大學資訊科學研究所碩士論文。
9. 鄭國裕，林盤聳，1991，色彩計劃，藝風堂。
10. 顏光良，2002，HSB 色彩可與 CMYK 系統作正確色彩對應的區域範圍研究。
11. Andrew Glassner S., 1989, An Introduction to Ray Tracing, Academic Press, San Diego.
12. Alan Watt 著，石南譯，1990，三度空間電腦繪圖基礎，格致出版社。
13. Dutre P., Eric Lafortune P., Yves Willems D., 1993, Monte Carlo Light Tracing with Direct Computation of Pixel Intensities, Proceedings of Computer Graphics '93, Alvor, Portugal, pp.128-137.
14. Deke McClelland 著，訥慧刊、張慧如譯，1999，Photoshop Bible 5，博碩文化。
15. Eric Lafortune P., 1996, Mathematical Models and Monte Carlo Algorithms for Physically Based Rendering, Ph. D dissertation, Katholieke University Leuven.
16. Heckbert P. S., 1992, Introduction to Global Illumination, ACM SIGGRAPH '92, Global Illumination Course.
17. James Arvo, 1986, Backward Ray Tracing, Developments in Ray Tracing, ACM SIGGRAPH '86 Course Notes, Vol.12.
18. Kajiya J. T., 1986, The Rendering Equation, Computer Graphics, ACM SIGGRAPH '86 Conference Proceeding, Vol.20, pp.143-150.
19. Lafortune E. P. and Willems Y. D., 1993, Bi-directional path tracing, Proceedings of Computer Graphics '93, Alvor, Portugal, pp.6-10.
20. Lafortune E. P. and Willems Y. D., 1993, Rendering participating media with bi-directional path tracing, X. Pueyo and Schroder P., editors, Rendering Techniques '96(EG Workshop on Rendering 1996), Porto Portugal, pp.91-100.
21. Shirley P., 1998, Monte Carlo Methods in Rendering, ACM SIGGRAPH '98 Conference Proceeding, Course Notes 5, No.9, pp.1-6.
22. Shirley P., Wang C., and Zimmerman K., 1996, Monte Carlo Technique for Direct Lighting Calculations, ACM Transactions on Graphics, Vol.15 No.1, pp.1-36.
23. Wang C., 1994, The Direct Lighting Computation in Global Illumination Methods, Ph. D Dissertation, Department of Computer Science, University of Indiana, Indiana.

# The Study of Color Difference In Virtual Space Model

Guang-Liang Yen

Department of Arts and Crafts, Tung-Fang Institute of Technology  
e-mail:glyan@mail.tf.edu.tw

(Date Received : February 17,2003 ; Date Accepted : October 08,2003)

## Abstract

The rendering method of 3D painting software in these days primarily origins from rendering equation proposed by Kajiya in 1986. The 3D rendering model is required for matching color in the following design, i.e., interior space, products, package, and matching color studies etc.

The color brightness from the rendering method is unable to match with original lights in real circumstances, nor can it be used in matching color accurately. In this respect, this study tries to locate the color difference as occurred between 3D rendering method and real circumstances. The study proposes a model to eliminate the difference. It argues that in the future we can get the exactly color by 3D painting model with applying correct model to all kinds of matching color work.

The process of this study involves three stages. In the first stage we establish 3D virtual models for experiment. The second stage we discover the color difference between 3D rendering method and real circumstances, and then propose the correct model. The third stage we try to find out how to eliminate the difference of 3D render color brightness. About all, it concludes with the following findings :

- When brightness is too weak ( $B \leq 15$ ) 3D rendering method will occur color difference.
- 3D render color hue and saturation are the same as real circumstances except the brightness is too weak ( $B \leq 15$ ).
- There is a symmetrical difference in color brightness between 3D render color and real circumstances.
- This study proposes the correct model as following :

$$y = x (1 + \tan \varphi) - d$$

Keywords: Color difference, Color correction, 3D rendering.