

行動裝置圖像色彩轉換技術之研究

The Research on Mutual Transformation for Color Images between Mobile Devices

許雁筑、吳偉國、孫江曼、莊家盛、蔡岳霖、白敦文*

國立台灣海洋大學 資訊工程學系

*twp@ntou.edu.tw

Abstract

摘要

在本論文中，我們提出一套對於不同行動裝置的攝錄鏡頭所拍攝的影像進行色彩自動校正的流程，此流程主要是建立不同行動裝置之間的三維色彩對應表與自動轉換影像色彩兩個核心模組所組成。在建立三維色彩對應表部份，主要的工作是透過標準色彩與待校正色彩在 24 色校色卡上的呈現，經由四面體的權重比運算將待校正色彩透過不同的組合，使其色彩表徵與標準色系的色彩呈現相似的分佈情形，減少其間的差異性，以建置顏色位元的三維色彩對應表。而自動轉換影像色彩則是以三維色彩對應表為基底，經過三線性內插法運算後使輸入色彩依照對應顏色，快速且平滑的展現與標準色系相似的色域特性。經由色彩對應表的建立與平滑校正的轉換技術，在本論文測試影像中，明顯的將輸入影像色系轉換到標準參考色系的分佈情形，其轉換前與轉換後在不同顏色的明亮度平均可以達到約 23% 的改善狀態。

關鍵詞：色彩自動校正、三維色彩對應表、影像色系轉換、三線性內插法

In this paper, we bring up a process of automatic color calibration among different images which are captured by variant mobile devices. The proposed system is composed of two kernel models, the first one creates 3D look-up-tables among variant mobile devices, and the second provides an automatic color transformation and interpolation functions. In the part of a 3D look-up-table construction, we employ two sample color sets containing 24 standard calibration colors to create it by tetrahedral weight coefficients computation, then an input 3D color cube will be transferred into a standard color system. In the part of automatic color transformation, it is based on the device dependant 3D look-up-table, and the trilinear interpolation is performed to find the corresponding colors to achieve the transformation. By this method, an input image from any device is transferred to a specified standard color system, and the results of transformation measured by intensity levels of various color bands approach an average of 23% improvement in this study.

Keyword: automatic color calibration, 3D look-up-table, color transformation, trilinear interpolation

一、緒論

在這個資訊科技日益發達的年代，行動裝置結合網際網路所發展的數位生活，已經是大眾日常不可或缺的需求，透過行動裝置的數位相機進行即時辨識及監視系統的應用更成為了未來重要的應用趨勢，然而手機等行動裝置所能夠獲得的影像品質並不一致，即便是標榜著同樣解析度的手機所拍攝的影像，也都會因為品牌和外圍環境的因素而決定了各自照片的成像，也因為如此，如何克服不同行動裝置所造成的影像品質落差，變成了一套優良辨識系統在影像前置分析處理時最迫切解決的問題。

所謂的辨識系統，最常見的作法是基於某一群具代表性的資料進行特徵擷取和特徵向量的統計與訓練，其所建立的模板樣本資料庫作為解釋待辨識物件的依據，然而，色彩資訊已經成為現在辨識系統不可或缺的重要特徵，而各個品牌行動裝置對待測物件所攝錄的影像品質並不盡相同，不同廠牌的設備都會針對某些想要突顯的特色而有所校正與轉換，所以要使用由某特定裝置擷取影像所建立的資料庫來做為辨識系統的核心資料庫，這個影像校正的技術必須先克服，也就是本論文的研發動機，亦即如何改善與校正不同行動裝置之間的影像品質在色彩特徵上的落差。

近年來色彩管理與校正的整合持續的進行當中，「國際彩色聯盟」(ICC)組織的成立，便是為了將目前所使用的數位影像格式進行整合，並在此標準定義下之建立描述檔以支援各項不同平台的色彩描述，此標準將各種輸入輸出設備如：數位相機、掃描機、螢幕及印表機等經標準校正程序後產生色彩特性描述檔(ICC Profile)，使用者可經由這些描述檔達到色彩妥善管理的目標，然而，並非每一種廠牌的影像輸入裝置都有提供 ICC 色彩特性描述檔的相關資訊，所以使用者並無法進行使用任何色彩管理套件，進而達到色彩管理或色彩正確轉換重現的目的。

影像色彩間轉換的方式主要區分為三種：物理模式(Physical model)、數值模式(Numerical model)及對照表(Look-up table)。物理模式與數值模式為數學運算的方法，Erik Reinhard 等 [1] 曾在 2001 年提出了利用一個簡單的統計分析資料，在 $L^*a^*b^*$ 的色彩空間中，使用某一張圖像作為基準，將另一張影像的色彩分佈轉換為基準圖像的色彩分佈情形，使得影像在視覺與色系內容中轉換成類似基準圖像的顏色；然而，數學方法是透過一個像素接一個像素的方式應用在影像轉換之中，所以會因為影像複雜的程度而造成轉換速度過於緩慢。為了改善速度緩慢的問題，對照表方法採用了預先建立的對應顏色空間，接著使用內插的方式來進行色彩間的轉換。2005 年 3 月，Maya R. Gupta 等 [2] 便提到了透過建立 3D LUT 來進行色彩空間轉換，由自然白色光源下所擷取標準顏色的 24 色校色卡照片與黃昏光源下的 24 色校色卡照片來建立一個標準色系轉黃昏色系的色階對應表，使用線性迴歸來決定標準色的影像自動轉換到黃昏光源為主的相對權重比並建立 3D LUT 進行色彩快速轉換。

基於辨識系統在不同輸入裝置對於影像色彩落差的校正需求，我們提出一套彩色影像轉換的技術，透過行動裝置中色彩對應關係，進行彩色影像之間自動轉換的分析，目的希望能夠讓各種不同的攝影設備所擷取的影像品質都能夠經由自動校正的方式來達到使用同一套辨識系統核心資料庫之最佳狀態。

在本論文的研究中，我們假設整個環境的光源是一致的，其主要目的是為了讓不同行動裝置所拍攝的影像明亮度跟品質都不會受外在的環境而有太多不穩定參數的影響；另外，為了避免太多不必要的轉換而造成 3D LUT 建立的緩慢，我們選擇以 RGB 特徵值作為整個色彩轉換的色彩空間。

本論文將在第二部份針對系統運作流程進行整合性的介紹，第三部份則是針對

我們所提出的技術進行詳細解說，最後則是本研究結果的呈現與分析。

二、系統架構與流程

(一) 系統架構

本論文旨在建立一套顏色自動校正系統，提供任何兩個不同裝置色彩自動轉換，以 A 廠牌手機所取得的影像色彩作為標準顏色的參考系統，將 B 廠牌手機所取得的影像自動轉換到 A 廠牌的色彩標準系統，本系統核心架構主要是建立 A 裝置和 B 裝置兩者之間的三維色彩空間對照表 3D Look-Up-Table(3D LUT)。3D LUT 的建置將會在下一章節介紹。不同廠牌手機拍照會因環境光源、解析度的不同、有無閃光燈的使用、CCD 元件或 CMOS 等因素造成攝影圖片色彩偏差，因而在顏色比對時造成嚴重的誤差，所以我們希望藉由色彩校正，將影像顏色統一轉換到參考標準的系統，避免因使用不同廠牌手機在拍照過程中導致的差異，影響後續的特徵擷取與比對。

本論文所提出自動色彩校正系統架構其主要分為以下五個主要模組步驟，如圖(一)所示：

(1) 取得行動裝置影像 (Generate Mobile device image)：

輸入手機所照之影像。使用手機照相功能對欲擷取的圖片照相，手機擷取儲存圖片後，將此圖片透過輸入裝置上傳至本系統進行顏色的轉換及其後續應用。

(2) 色彩轉換(Color Transformation)：

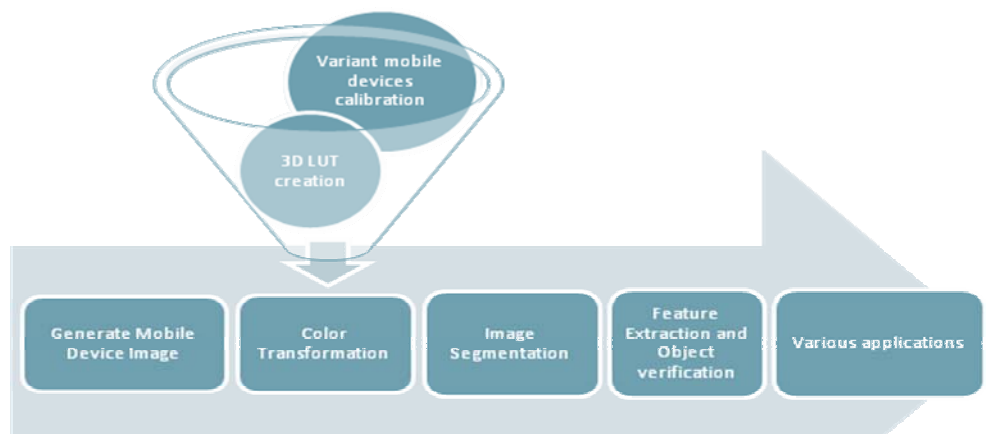
在進行色彩轉換過程中，我們必須使用在先前已建立好三維的色彩對應表(3D LUT)，如圖(一)所示，選用已經事先建好的 3D LUT 進行顏色轉換。採用循序的步驟，找到每一個像素其位於色彩對應表上對應要轉換的 RGB 值，以新的 RGB 值取代輸入影像在相對位置上的 RGB 值完成顏色轉換，得到一張色彩自動校正後的圖片。

(3) 影像切割 (Image segmentation)：

針對轉換後的影像進行切割擷取。針對不同的應用，擷取有興趣的區域資訊 (region of interest)。例如：人臉辨識偵測所需的有用資訊為臉部區域，因此需去除背景以及臉部以外的背景部分，保留臉部區域以進行其他特徵抽取。

(4) 特徵擷取與物件確認 (Feature Extraction and Object verification)

擷取後的物件與資料庫進行比對。在辨識系統中，針對輸入圖片在切割後的影



圖(一) 系統模組架構流程圖

像區域進行特徵擷取，所計算的特徵資訊與資料庫既有訓練的特徵資料進行比對，以正確辨識物件。

(5) 不同應用領域(Various application)

色彩校正應用廣泛，例如人臉特徵抽取、物件辨識、安全偵測及影像檢索等等。若以色彩作為影像特徵時，不同攝影器材所拍攝的圖片顏色皆有差異，可能偏藍、偏亮或偏暗，所以經由本系統所提出的色彩轉換技術，對每一種裝置提供不同色彩轉換表，即可自動進行色彩校正，降低因顏色誤差造成特徵差異性過大而影響後續應用的成果。

在進行上述各模組之間的運作以前，我們所必須先建立的是不同裝置在三維空間色彩對照表(3D Look-Up-Table)。

三維空間色彩對照表的建置目標在於我們能夠以任何 A 廠牌手機作為標準色彩座標系，建置 B 廠牌手機所攝錄之影像色彩與標準色彩座標系間相對應之關係表。而對於 A 手機與 B 手機色彩系統之間 3D Look-Up-Table(3D LUT)的建立，主要分為

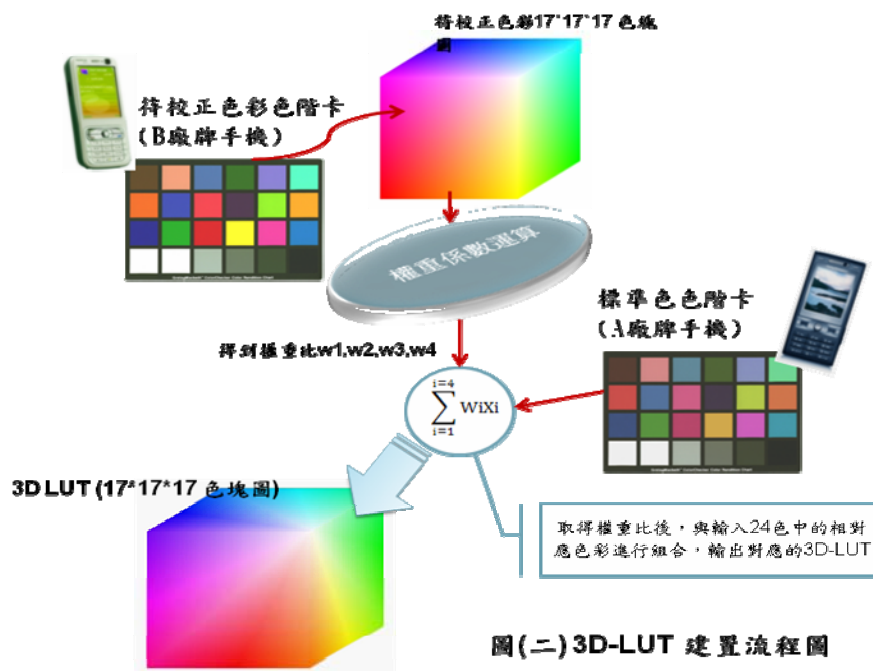
三個部分：(1)取得兩種 24 色校色板樣本 (24 sample pairs) (2)權重係數的運算(3)色彩校正運算。如圖(二)所示：

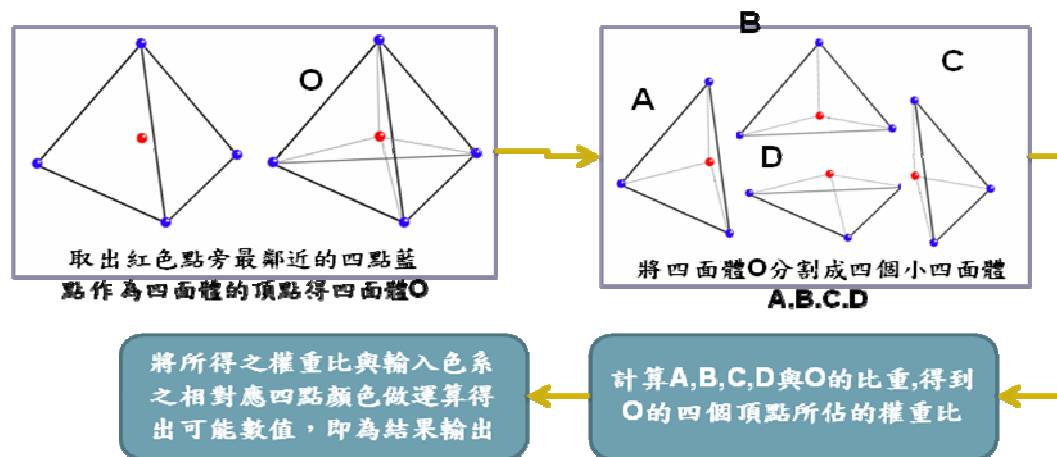
(1) 取得兩種 24 色校色板樣本：

分別以 A、B 兩支不同廠牌的手機對 24 色校色板拍攝。A 廠牌手機拍攝的色板樣本當作標準樣本，B 廠牌手機拍攝的樣本當作輸入樣本，此樣本將會依其 24 色之 R,G,B 值置入 3D 17*17*17 的 RGB 色彩空間座標系統中。

(2) 權重係數的運算：

首先估計一個 3D 17*17*17 色彩空間座標系統，將 B 廠牌手機所得之輸入樣板依其 24 色之 RGB 座標值放置此系統中。我們要計算某一座標的權重係數時，先找出涵蓋此座標點的四個 24 色樣板點，這四個樣板點與此座標圍成的四面體體積為最小，當四面體的四個頂點設定時，即可進行權重係數的運算。詳細公式將在下一章節中詳細描述。





圖(三)：四面體權重比運算示意圖

(3) 色彩校正運算：

將權重係數與標準色板中相對應的四個色板值進行權重運算。計算所得結果在經三線性內插法校正顏色行為模式以後，即可獲得由B裝置自動色彩校正至A裝置的3D LUT。

三、系統內容

在色系間的轉換上，一般人常使用CIE所制定的色彩空間作為轉換過程的色域，然而，在各個色彩空間轉換的運算間，直接對於3D LUT的建置速度產生了絕對的影響，因此，我們為了減少色彩空間轉換所造成的時間上浪費，選擇了RGB色域作為我們系統運算的定義域，雖然三原色的色彩飽和度並非呈線性變化，它取決於我們人眼對於光線的強度觀感，然而，當我們在建立3D LUT時，是將24個代表色建入整個色系方塊中，接著再透過轉換選擇所對應位置的24色色彩，運用權重比進行加總合成，所呈現出來的結果就如我們所預期，更值得振奮的是減少了色域間的轉換時間，透過RGB色度空間加速了本系統3D LUT的建置。

本論文期望透過3D LUT的建置，讓出自於不同行動裝置或是不同鏡頭所攝錄的影像都能經過預設的3D LUT進行色彩的轉換，使其在視覺觀感上與色彩內容間都有出自於同一硬體設施所擷取的影像之

感，在建立3D LUT的過程中，我們假設在光源一致的環境，外在因素並不影響影像攝錄內容的狀態下，其主要需解決的問題包含兩個工作要項，以下的敘述我們將以「標準色彩」作為我們轉換色系的基礎代稱，而「待校正色彩」則為欲轉換至標準色系觀感的內容，其兩大工作項目的內容如下：

(1) 計算24個樣本色間的對應權重比並決定其色彩對應模式：

當我們以已經得知的相對應24色置入在整個色系方塊中的位置，我們便可以就輸入的顏色來預估輸出的顏色內容為何，根據Maya R. Gupta等[2]所提到之四面體內插法，使用選擇最近的4點並設定為其四面體的頂點，將輸入顏色包覆在內，接著決定各頂點對於所包覆之顏色的權重分配值，其作法如圖(三)所示：首先，透過最短距離的四點選取，構成四面體，而這四個頂點就是輸入色系的24色樣本色中的四種顏色，接著利用體積比的概念算出格點空間中再取出的四個四面體，運算四個四面體各佔原本四面體體積的體積比為何，便可得出四面體四個頂點所佔有的權重比。

計算出權重比之後，我們可以依照輸入色系的24色樣本色與標準色系的24色樣本色間相對位置的對應，例如：標準色24色樣本色的第一個顏色與輸入色24色樣本色的第一個位置間的關係，將權重比與標準色系的四個對應樣本色位置相乘便可得到輸入色系轉換至標準色系的內容輸

出。

然而，單純的做這四面體權重比運算來取得各個點所扮演的組成角色重要性，並不能夠全面地完成 3D LUT 的建置，因此我們在選擇個 4 個顏色權重比時，除了計算輸入色與標準色樣板 24 色於 3D LUT 中的位置，並加入原始顏色於邊角 8 個頂點，這是為了使大部分 LUT 中的點都能被包含於某個四面體之中，因此共計 32 個參考點。接著計算此 32 點所有能夠形成四面體之組合，對 3D LUT 的每一點尋找可包含該點且體積為最小(整體對該點之相關性較高)之四面體，若此四面體不存在則保持原色，若存在則由構成此四面體 P0, P1, P2, P3 四點計算比重。計算公式如下：

$$W_i = \frac{\text{以 } P \text{ 點切割之小四面體體積}}{\text{包含 } P \text{ 點之四面體體積}} = \frac{\omega}{\frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_0 & P_1 & P_2 & P_3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}}$$

$$\text{where, } \omega = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_{(i+1) \bmod 3} & P_{(i+2) \bmod 3} & P_{(i+3) \bmod 3} & P \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, i=0,1,2,3$$

Y_{iR}, Y_{iG}, Y_{iB} 為標準色樣板上與輸入色樣板相對之顏色，3D LUT 該點所對應顏色即為：

$$R = \sum_{i=1}^4 W_i Y_{iR}$$

$$G = \sum_{i=1}^4 W_i Y_{iG}$$

$$B = \sum_{i=1}^4 W_i Y_{iB}$$

(2) 在色系轉換過程中所產生的色彩層次差異：

由於 3D-LUT 乃由 17*17*17 的三維矩陣所組成，因此其基本單位橫跨了 15 個灰階值，若是不經由校正而直接輸出，易使整張輸出的影像出現顏色的波紋感，無法很平滑的表現轉換之後的影像，為了避免明顯的層次差異，我們利用三線性內插 (Trilinear interpolation) 來使輸出的影像的成像較為平滑。其公式如下：

$$x_d = x - \lfloor x \rfloor$$

$$y_d = y - \lfloor y \rfloor$$

$$z_d = z - \lfloor z \rfloor$$

$$i_1 = v \lfloor \lfloor x \rfloor \lfloor y \rfloor \lfloor z \rfloor \rfloor \times (1 - z_d) + v \lfloor \lfloor x \rfloor \lfloor y \rfloor \lceil z \rceil \rfloor \times z_d$$

$$i_2 = v \lfloor \lfloor x \rfloor \lceil z \rceil \lfloor z \rfloor \rfloor \times (1 - z_d) + v \lfloor \lfloor x \rfloor \lceil z \rceil \lceil z \rceil \rfloor \times z_d$$

$$j_1 = v \lceil \lfloor x \rfloor \lfloor y \rfloor \lfloor z \rfloor \rceil \times (1 - z_d) + v \lceil \lfloor x \rfloor \lfloor y \rfloor \lceil z \rceil \rceil \times z_d$$

$$j_2 = v \lceil \lfloor x \rfloor \lceil z \rceil \lfloor z \rfloor \rceil \times (1 - z_d) + v \lceil \lfloor x \rfloor \lceil z \rceil \lceil z \rceil \rceil \times z_d$$

$$w_1 = i_1(1 - y_d) + i_2 y_d$$

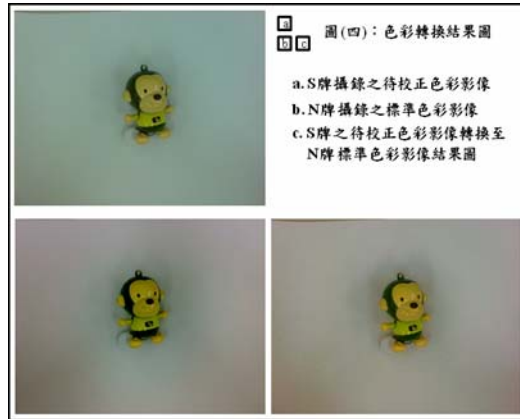
$$w_2 = j_1(1 - y_d) + j_2 y_d$$

$$IV = w_1(1 - x_d) + w_2 x_d$$

其中 x_d, y_d, z_d 為選取點與其下標點的差值，換句話說即為一個單位代表的灰階值的最小值，接著我們先透過 Z 軸進行內插之後，依序在進行 Y 軸和 X 軸的內插運算，最後得到結果輸出值。

四、結果與分析

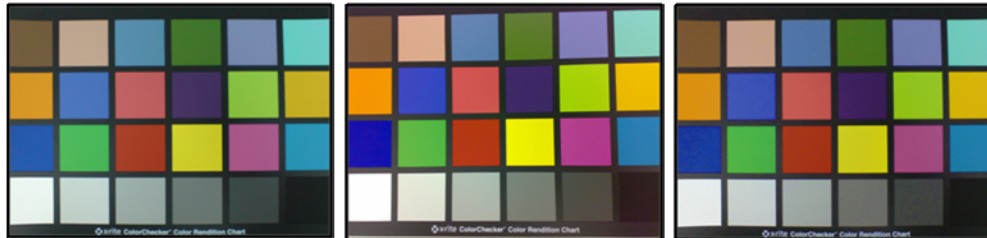
在我們的系統測試中，我們選擇了知名行動裝置廠商 N 牌與 S 牌，其中 S 牌行動裝置所攝錄之影像內容偏冷色調，N 牌所拍攝的影像狀態較為暖色系，在色彩的表現上兩者擁有顯著的差異，我們以 N 牌色彩空間做為標準色彩，而 S 牌所取得知顏色為待校正色彩，經過本系統轉換後，在視覺上我們成功的將偏冷色系的 S 牌攝錄之照片轉換到 N 牌行動裝置的色彩分佈上，如圖(四)所示。



除了視覺效果上有顯著的轉變以外，我們將電腦所讀取實際 RGB 的明亮度進行統計，發現即使在不同光源底下，其色彩差度的增益值都為正數，代表待校正顏色與標準色之間的色差，與待校正顏色經過校正後所得之顏色與標準色的色差相比，校正後的色彩色差，其整體色差值都小於原始顏色的色差值，我們透過簡單的統計公式來計算各個色域及整體色域的



圖(五)：24色校色板拍攝之影像，由左至右依序為S牌、N牌、S牌轉換色彩至N牌表現模式



圖(六)：與圖(五)不同光源下，24色校色板拍攝之影像，由左至右依序為S牌、N牌、S牌轉換色彩至N牌表現模式

表一(%)	紅色	綠色	藍色	表二(%)	紅色	綠色	藍色
增益百分比	47.59	17.96	12.28	增益百分比	14.43	14.69	18.65
整體增益值	30.29			整體增益值	15.64		

差值增益。

圖(五)與圖(六)為使用 S 牌與 N 牌所拍攝之色版照片，其最右方之影像為 S 牌以 N 牌做為基準色所校正後的色板顏色。

我們利用簡單的統計公式，分別針對 RGB 的三個色頻差以及整體色彩的差度總合進行統計，其色彩增益皆為正值，如表(一)、表(二)所示，表(一)為圖(五)三張影像的色差值增益表，表(二)為圖(六)三張影像的色差值增益表，我們在不同光源下所產生的不同的明度，透過行動裝置的自動感光功能，對 24 色校色板進行拍攝的動作，雖然對於整個數值表並非為定量的差值，但以兩個表格的增益百分比來看，經過色彩校正後的影像其標準色與待校正顏色間的色差是有明顯改善的，如果能夠更進一步或更細緻地定義三維對應表，我們相信色彩校正技術一定可以透過這簡單的方式來進行，對於某一些採用色彩資訊為主要辨識特徵的比對系統，此論文所提出

的簡易技術必然可以克服因取像硬體設備所造成的色彩差異性，有效降低所取得的圖像與比對系統的模版圖像品質因不一致而產生的誤差值，將其誤差降低至最小幅度，因而改善辨識系統對於品質不一的輸入影像所產生的拒絕變識率。

五、參考文獻

- [1] Erik Reinhard, Michael Ashikhmin, Bruce Gooch, and Peter Shirley, "Color Transfer between Images", IEEE Computer Graphics and Applications, volume 21(5): 34--41, September 2001.
- [2] Maya R. Gupta, Steve Upton, Jayson Bowen, "Simulating the effect of illumination using color transformations", Computational Imaging III. Edited by Bouman, Charles A.; Miller, Eric L. Proceedings of the SPIE, Volume 5674, pp. 248-258 (2005).