

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：電腦科學

作品名稱：影像的色偏校正

得獎獎項：第二名
英特爾電腦科學獎：第一名

學校 / 作者：國立新竹女子高級中學
國立新竹女子高級中學

雲如臨
陳雨柔

作者簡介



我是國立新竹女子高級中學三年級的學生雲如臨，平時即對科學有濃厚的興趣，一二年級時會不定期去聆聽各種科學講座，也曾有過參加區域科展的經驗，這次有機會能踏入國際科展的領域，實在倍感榮幸。此次參展，集結了各項資訊及老師的鼎力相助，加上屢次的實驗探討，我們的專題研究過程其實是既充實又富有挑戰性的！我們志在參加，不在得獎，希望能從這次一系列的國際科展活動中多有所獲。

英文摘要(Abstract) :

Color Cast Removal for Digital Images

The human eyes can adjust automatically the color of object under different illuminants. But digital camera does not have such mechanism, must join the white balance to simulate the color constancy of human eyes. There are many existing white balance methods. They can be categorized into two types. The first type utilizes the widespread assumption on the dealing natural scenery, which has the advantage of simplicity. Another type explores knowledge of the semantic content, which has the advantage of accuracy. In this study we modify and enhance the widespread assumption methods that can adopt the advantage of the simplicity and accuracy.

Our proposed method is structured in two main parts: a color cast detector and a color cast remover. The detector first analyzes the color distribution of the image with simple statistical tools to determine whether or not the image has color cast. The remover, a modified and enhanced version of the widespread assumption methods (gray world and max RGB), is then applied on the color cast image. From the experiment results, it demonstrates the efficacy and performance of the proposed method.

中文摘要：

影像的色偏校正

人類的視覺能夠自動修正因光線變化而改變的物體顏色，但是數位取像設備的感光元件卻不具有這樣的功能，必須加入白平衡的功能，才可模擬人眼維持色彩恆常的特性。現有的白平衡演算法可分為兩大類型，第一類型為廣泛假設型，具有運算速度快、與取像設備無關的特性，但是平均誤差會較大；另一類型為預知特性型，其特徵為準確性較高，但是運算較速度較慢、建立色彩特性資訊時所需的成本較高，本篇研究針對廣泛假設型的演算法做些修正與增強，使其具有較小的平均誤差以獲得較佳色彩品質的影像。我們將影像的色偏校正分為色偏偵測與色偏移除等兩個階段來進行，由於僅有被偵測出有色偏的影像才需要進行色偏的移除，所以可以避開將無色偏或固有色偏的影像做錯誤的修正，由實驗的結果看來，我們的方法確實有效，除了具有運算速度快、與取像設備無關的優點外，其色偏校正能力也較現有的方法好，使得影像色彩更能與人眼所見相近。

一、研究動機與目的：

隨著數位影像工業的快速成長與蓬勃發展，數位相機、數位攝影機、網路攝影機等擷取影像的產品也漸漸地普及與廣泛地使用，除了能夠紀錄下珍貴的影像外，更希望能忠實的呈現原有的色彩，只是受限於設備本身的特性以及外界環境光源的影響，記錄下來的影像色彩與人眼看到的有所差異，其最主要的原因，是由於人類的眼睛會因外界光源的改變而做色彩的調適，使得所見物體的色彩外貌保持近似不變，數位取像設備爲了達成此效果，必須加入模擬人眼維持色彩恆常特性的白平衡功能，才能得到與人眼所見相近的影像。

目前市面上所販售的數位取像設備幾乎都具有白平衡的功能，可分爲手動式與自動式兩種，相較於手動式需要專業的背景知識，自動式白平衡才是一般消費者所樂於使用的模式，從實際的使用經驗中發現，目前似乎沒有任何一家廠商的產品可以在面對各種環境光源時均可獲得理想的結果，或多或少都有色彩偏差的存在，雖然事後我們還可以利用影像處理軟體所提供的自動調整來移除色偏，但其結果也不見得令人滿意。本研究希望透過針對數位影像產品的白平衡測試，依據觀察到的缺失進而提出我們的改善策略，可以偵測出影像中的色偏，並將之移除以獲得色彩品質較佳的影像。

二、器材及軟體：

- (一) 個人電腦
- (二) 標準多光源對色燈箱
- (三) 色溫計：Minolta Color Meter III F
- (四) 色彩校正板：GretagMachbeth ColorChecker 24
- (五) 數位相機：Nikon CoolPix 4500、
- (六) 程式軟體：Visual Basic.Net、Matlab 6.5、PhotoImpact 11

三、研究過程：

(一) 相關色彩理論的認識

• 光源色溫[1][2]

光線是造成可見顏色的主要來源，牛頓發現日光可被區分爲紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫七色光，亦即日光是由光譜約在 380nm 至 780nm 範圍中的各色光混合而成的光。物體受到光線的穿透或反射產生可被人眼觀察到的顏色，物體吸收部分的色光後反射出人眼可以看見的色光。色溫爲「以數值表現光源性質的一種名稱」，色溫的單位以絕對溫度 (Kelvin) 表示，其數值來源爲加熱一種可以完全吸收各種色光的黑體至發光時所測得的溫度。色溫低時發紅光 (約 2000K~3000K)，色溫高時發藍光 (6500K~9000K)，正午日光約在 5500K 至 6500K，圖 1-1 爲一般常見的光源與其相對應的色溫。

國際照明委員會 (CIE) 依據 1931 年一項人類視覺的實驗，以 X (表示紅色色光)、Y (表示綠色色光)、Z (表示藍色色光) 三刺激值來精確描述人眼視覺所見色彩的

系統，若是直接使用 X、Y、Z 三刺激值來表示色彩會造成很大的不方便，因此，多使用圖 1-2 所示的二維色度座標來表示，在該圖中我們也可看到具有色溫標示的黑體軌跡（或稱普朗克軌跡），代表在不同溫度時黑體所發出光的色度。

1000K	燭光
2000K	鎢絲燈泡
2500K	家用60W燈泡
3200K	泛光燈
3300K	石英燈
3400K	百貨公司造型燈
3500K	暖色調螢光燈
4000K	白色冷光燈
4500K	下午時分陽光
5000K	閃光燈
5600K	日光
6000K	晴朗天空的陽光
7000K	少雲陰天
8000K	朦朧的天色
9000K	遮蔭下
10000K	晴朗藍天

圖 1-1 常見的光源與其對應的色溫

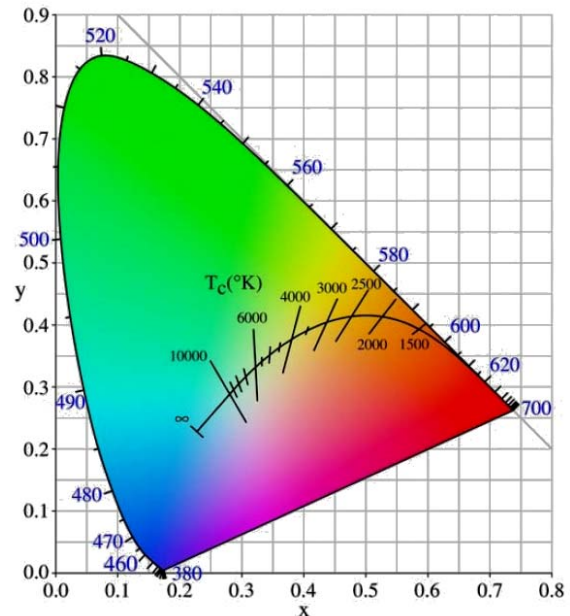


圖 1-2 CIE (x, y) 色度圖

• YCrCb 色彩空間

YcrCb 為國際無線電諮詢委員會（CCIR）所發展出來數位視訊標準中的色彩座標系統，Y 代表亮度，而 Cr 與 Cb 代表彩度，因為其對於亮度和彩度有很高的分離性，所以目前廣泛被應用在影像處理中，YCrCb 與 RGB 間的關係可用下式來轉換：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \text{式(1)}$$

• 色彩恆常性[1]

一隻白鴿於傍晚偏紅的夕陽光線下與正午偏藍的日光下，在不同色溫的情況下，白鴿理論上應該是會呈現出不同的顏色，可是白鴿看起來始終是白色的，這是因為人類的記憶和知識影響了視覺系統對於色彩的判斷，此種現象稱為「色彩恆常性」。國際照明委員會（CIE）於 1987 年對於色彩恆常性作了以下的定義：「當照明光源的強度與色彩改變時，視覺適應的結果將使物體之外貌保持近似的常數。」人類視覺機制會自動調整在不同觀測條件下對輻射能量的感應，使得所見物體的顏色維持近似不變。而人類視覺機制為維持色彩恆常而自動調整的過程稱為「色彩適應」，國際照明委員會（CIE）對於色彩適應也做了以下的定義：「當色彩刺激改變，特別是當光源改變時，視覺保持物體色彩近似的補償程序。」

• Von Kries（沃恩·克里斯）的視覺色彩適應模式[1]

色彩適應模式發展至今已逾一百年，而現今所有的色彩適應模式，主要是以 Von Kries 於 1902 年最早提出的概念假設為基礎，他認為人類的視覺神經細胞運作時，三種錐狀細胞會有各自的適應模式在運作，互相並不影響，後來的研究者根據他的

理論加以運用於色彩適應之轉換機制中，下列的轉換矩陣可說明不同光源下色彩恆常性之間的轉換關係：

$$\begin{bmatrix} R_a \\ G_a \\ B_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{dw}/R_{sw} & 0 & 0 \\ 0 & G_{dw}/G_{sw} & 0 \\ 0 & 0 & B_{dw}/B_{sw} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

其中 (R, G, B) 為適應前的色度值、 (R_a, G_a, B_a) 為適應後的色度值、 (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw}) 為適應前光源白點的色度值、 (R_{dw}, G_{dw}, B_{dw}) 為適應後光源白點的色度值，而 $(R_{dw}/R_{sw}, G_{dw}/G_{sw}, B_{dw}/B_{sw})$ 為各色頻的調整參數。

(二) 自動白平衡

人類的眼睛具有色彩恆常性，所以能夠自動修正因光線變化而改變的物體顏色，但是數位取像設備的感光元件卻不具有這樣的功能，如圖 2 所示，當色溫偏高時，拍攝到的影像會偏藍，色溫偏低時，拍攝到的影像會偏紅，為了修正這些對於人眼來說似乎不太自然的影像，數位取像設備必須加入模擬人眼維持色彩恆常特性的白平衡功能，才能移除色偏而得到與人眼所見相近的影像。



圖 2-1 色溫 7000K



圖 2-2 色溫 5600K



圖 2-3 色溫 3800K

所謂的自動白平衡功能，就是將偏色照明下的顏色，自動還原成在標準照明（國際照明委員會 CIE 訂定為色溫 6500K 的 D65 光源）下的顏色，可分成下列兩個步驟來說明：

- 從影像中估測適應前光源白點的色度值 (R_{ew}, G_{ew}, B_{ew}) 當作該光源的真實白點色度值 (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw}) ，適應後的光源白點可採用國際照明委員會 CIE 定義的 D65 光源白點的色度值 (R_{dw}, G_{dw}, B_{dw}) 。
- 使用式(2)的轉換矩陣將適應前影像的色度值 (R, G, B) 轉換為適應後的色度值 (R_a, G_a, B_a) 。

Barnard et al. 在參考文獻[4][5]中，針對現有的白平衡演算法（灰界理論法、最大 RGB 值法、色域對應法、顏色透視法、由關係決定顏色法、類神經網路法）做了詳盡的比較與測試，他們使用角度誤差 θ （定義如下）來評估各種演算法的校正能力：

$$\theta = \cos^{-1} \frac{S \cdot E}{|S||E|} \quad \text{式(3)}$$

其中 $S = (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw})$ 代表光源真實的白點色度值， $E = (R_{ew}, G_{ew}, B_{ew})$ 代表從影像中估測光源白點的色度值，平均角度誤差越小代表該演算法的色偏校正能力越佳，經過實驗測試，每個白平衡演算法的平均角度誤差如表格 1 所示。

白平衡演算法	平均角度誤差 (度)
不做任何處理	17.9
灰界理論法 Gray World	15.0
最大 RGB 值法 Maximal RGB Value	9.0
色域對應法 Gamut Mapping	7.4
顏色透視法 Color in Perspective	10.6
由關係決定顏色法 Color by Correlation	10.4
類神經網路法 Neural Network	9.9

表格 1 各種白平衡演算法的平均角度誤差[4][5]

• 灰界理論法[4][5]

灰界理論法是假設一張影像裡面如果有足夠多種類的顏色的話，那麼把這些顏色平均起來應該是灰色的，實際上的做法就是，先將影像中各像素紅色、綠色、藍色各色頻的平均值計算出來 $(R_{avg}, G_{avg}, B_{avg})$ ，當作適應前光源白點的色度值 (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw}) ，然後選定一個適當的灰色 $(R_{gray}, G_{gray}, B_{gray})$ 當作適應後的光源白點 (R_{dw}, G_{dw}, B_{dw}) ，通常 $R_{gray} = G_{gray} = B_{gray} = (R_{avg} + G_{avg} + B_{avg})/3$ ，再以 Von Kries 色適應模式的轉換矩陣做影像色彩調整。

• 最大 RGB 法[4][5]

此方法就是取影像所有像素中紅色、綠色、藍色各色頻的最大值 $(R_{max}, G_{max}, B_{max})$ 當作適應前光源白點的色度值 (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw}) ，以標準光源 D65 的白點 (255,255,255) 當作適應後的光源白點 (R_{dw}, G_{dw}, B_{dw}) ，然後再以 Von Kries 色適應模式的轉換矩陣做影像色彩調整。

(三) 我們的色偏校正式構想

現有的白平衡演算法可分為兩大類型，一類為廣泛假設型，另一類為預知特性型。屬於廣泛假設型的有灰界理論法、最大 RGB 法，先針對自然界的影像給予一個廣泛性的假設，然後基於此假設而完成影像色偏的校正，它們共同的特徵就是運算速度快、與取像設備的特性無關，但是平均誤差會較大。屬於預知特性型的有色域對應法、顏色透視法、由關係決定顏色法、類神經網路法，這類型的演算法均需透過精密昂貴的儀器與設備，預先了解與分析取像設備的色彩特性，然後利用此資訊來調整影像以達成白平衡，它們共同的特徵為準確性較高，但是運算較速度較慢、建立色彩特性資訊時所需的成本較高。

目前似乎沒有一種白平衡演算法可適用於各種影像，每一個演算法只要有不符合當初設定的條件時，就會有失敗的情形產生。由參考文獻[4][5]的測試結果看來，需要較高成本的預知特性型演算法僅比廣泛假設型的好一些，若是能將廣泛假設型的演算法做些修正與增強，使其色偏校正能力接近或是等於預知特性型的演算法，那就可得到處理速度快、與取像設備的特性無關、平均誤差會較小的白平衡演算法。



圖 3-1 原始影像

圖 3-2 灰界理論法

圖 3-3 最大 RGB 法

我們以 VB.Net 實作灰界理論、最大 RGB 這兩種廣泛假設型的自動白平衡演算法，並蒐集了些實際的影像來作測試以了解各種演算法的特性，圖 3 為經過處理而效果不佳的例子，由左至右依次為原始影像、灰界理論處理後的影像、最大 RGB 法處理後的影像，測試完成後，我們發現到下列一些可以改進的地方：

- 無論影像是否具有色偏，自動白平衡程式均會去做色偏處理，有時後反而效果更差，例如灰界理論法對於大塊區域都是同色調時就容易處理失敗、最大 RGB 法在影像中沒有白色點時會出現明顯錯誤。
- 人類眼睛在判別是否有色偏時，影像中的低彩度部分是很重要的判斷依據。
- 有些影像本身沒有色偏但看起來像是有色偏（我們稱之為固有色偏），如綠色調的大片草原或森林、藍色調的海洋或天空、黃昏或清晨下的光線，處理後反而破壞了原來的色彩。

經由測試與觀察，我們打算將影像的色偏校正分為色偏偵測與色偏移除等兩個階段來進行，第四小節敘述了色偏偵測階段的作法，其主要的功能是将影像分為有色偏、固有色偏、沒有色偏等三類，為了避免有反效果的產生，色偏移除階段僅將被歸類為有色偏的影像做色偏校正，將詳述於第五小節中。

（四）色彩偏差的偵測

關於色偏偵測，我們的基本構想是希望藉由簡單的數學統計工具來了解影像的色彩分佈，並進而分析出影像的色偏種類，並提供足夠的資訊方便下階段色偏移除的進行。首先，將影像由 RGB 轉換至亮度與彩度分離的 YCrCb 色彩空間，然後，計算出影像在彩度平面的平均值 μ_{Cr} 、 μ_{Cb} 與標準差 σ_{Cr} 、 σ_{Cb} ，並在 CrCb 彩度平面上以 (μ_{Cr}, μ_{Cb}) 為圓心，平均標準差 $\sigma = \sqrt{\sigma_{Cr}^2 + \sigma_{Cb}^2}$ 為半徑，繪製一個彩度分佈等價圓（如圖 4 所示），我們就可利用 $D_{\sigma} = D/\sigma$ 來評估整張影像的色彩分佈情形（其中 $D = \sqrt{\mu_{Cr}^2 + \mu_{Cb}^2}$ 代表圓心與原點間的距離），若是 D_{σ} 越大（色彩越集中、離中心點越遠）通常表示該影像的色偏越嚴重或是具有固有色偏（如圖 5 所示）。

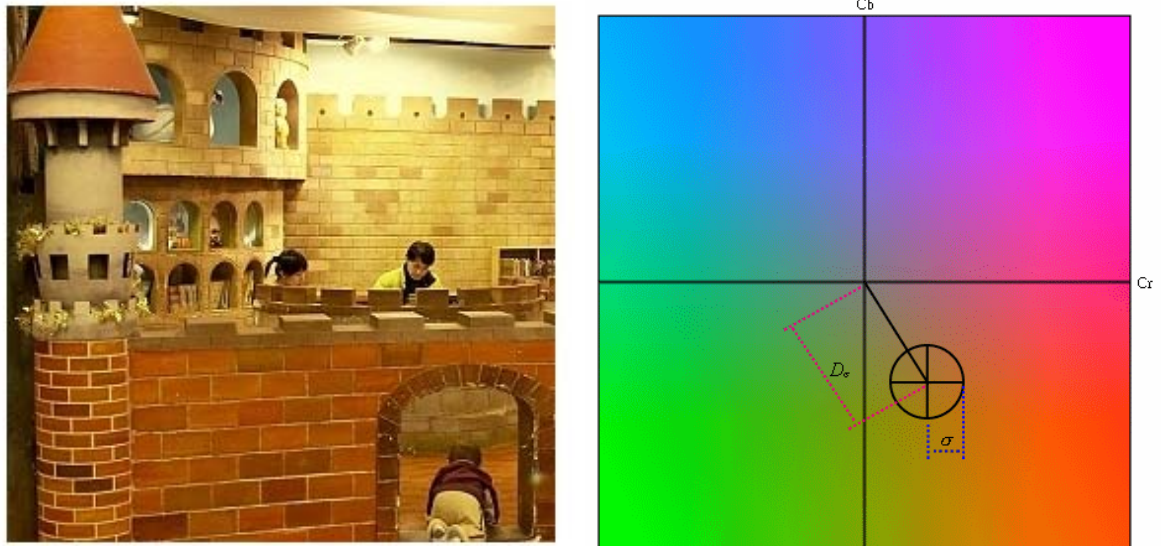


圖 4 影像與其利用簡單統計工具所繪製的彩度分佈等價圓

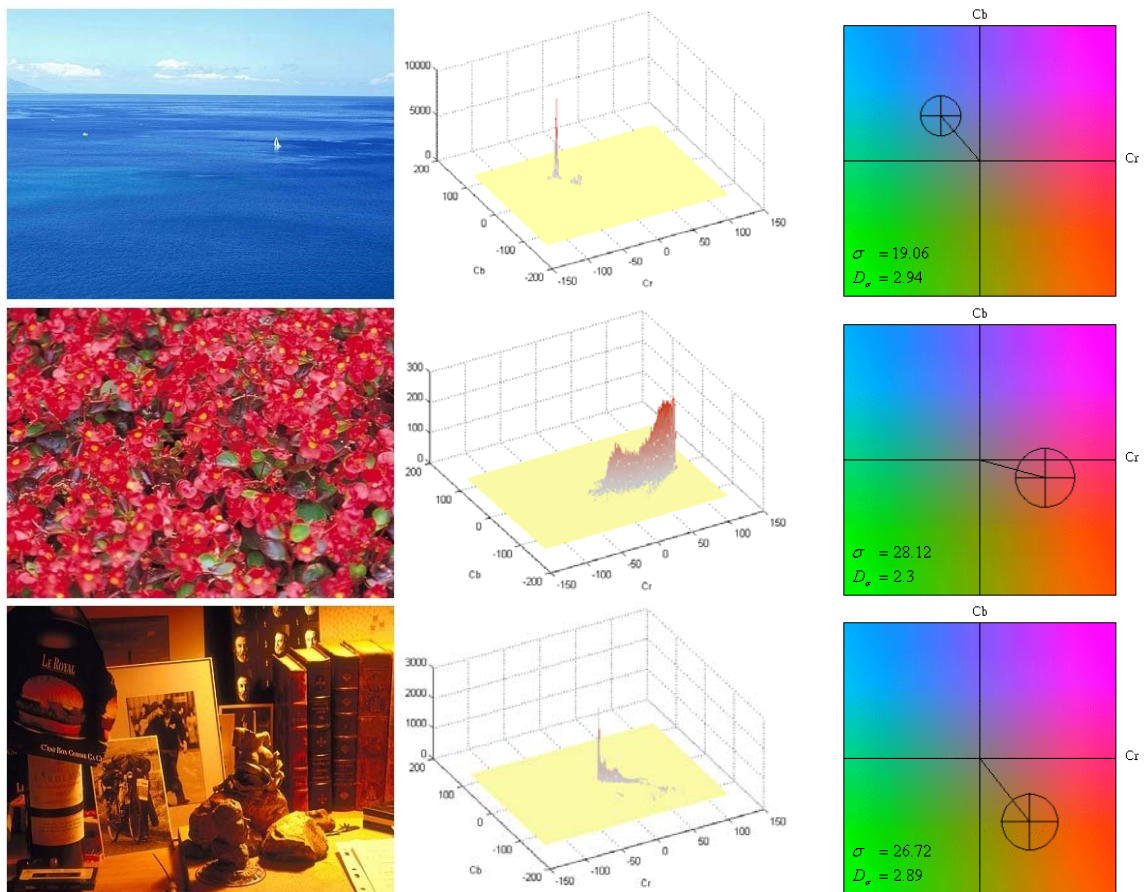


圖 5 D_0 越大代表影像具有嚴重色偏或固有色偏

爲了區別具有高 D_0 值的影像到底是嚴重色偏還是固有色偏，我們可在該影像 CrCb 彩度平面上的平均值 (μ_{Cr}, μ_{Cb}) 爲圓心，以 r_0 爲半徑作圓，將在此圓內的色彩刪除（這些色彩都是出現頻率最高的色彩），影像中剩餘的部分再重新計算並繪製彩度分佈等價圓，若是 D'_0 還是很大，那麼這影像應該是具有固有色偏，不必進行色偏移除的程序（如圖 6 所示）。

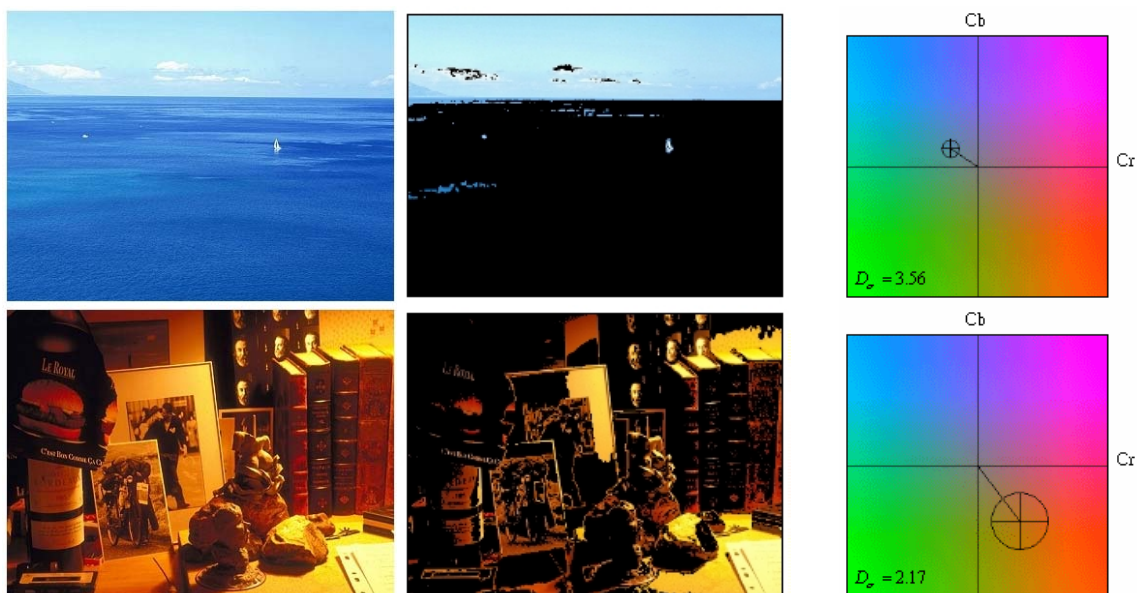


圖 6 固有色偏的影像(上圖)經過扣除出現頻率最高之色彩後 D_{σ} 仍很大

雖然從 D_{σ} 可以大致了解整張影像的色彩分佈情形，但僅靠其來判定影像是否有色偏似乎不太足夠，由於人類眼睛在判別影像是否有色偏時，可能是白點的低彩度部分是很重要的判斷依據，我們可將影像中可能是白點的低彩度部分（Low Chroma Region）萃取出來，然後使用上述的數學統計工具來計算，可以得到 D_{σ}^{LCR} （LCR 區域之彩度分佈等價圓的圓心至原點有多少平均標準差），並藉此來了解影像中低彩度部分之色偏情形，圖 7 所顯示的是一幅具有些微色偏的影像其低彩度部分之分析情形。



圖 7-1 些微色偏的原始影像



圖 7-2 影像中的低彩度部分

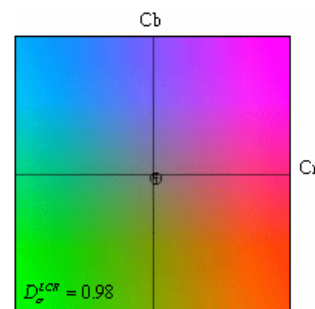


圖 7-3 $D_{\sigma}^{LCR} = 0.98$

我們蒐集了 100 多幅的影像，並撰寫程式來測試，經由實驗結果來決定各項參數的最佳門檻，整個影像的色偏偵測與色偏分類方式如下，其流程圖如圖 8 所示。

- 由於設計上的考量，數位取像設備通常會讓影像中白色的部分更白，黑色的部分更黑，所以我們設定亮度介於 $60 \leq Y \leq 248$ 的像素才算影像中有效的部分，若是整幅影像中的有效部分 $< 30\%$ ，前述相關的數學統計工具就變得不太可靠，那麼這幅影像就無法判定是否有色偏，也用不著做色偏移除的處理。
- 計算影像有效部分的相關色彩資訊，若是其 $D_{\sigma} > 1.6$ ，則代表影像具有嚴重色偏或是固有色偏，將影像中出現頻率較高的色彩以半徑 $r_c = 0.7\sigma$ 刪除後，若是影像中剩餘部分的 $D_{\sigma} > 3.5$ 則判定該影像具有固有色偏，不必進行後續的色偏移除的程序；若是影像中剩餘部分 $< 17\%$ ，在資訊不足的情形下，無法判定該影像是否有色偏，是不用做色偏移除的處理的。
- 若是影像的 $D_{\sigma} \leq 1.6$ ，或是 $D_{\sigma} > 1.6$ 且 $D_{\sigma} \leq 3.5$ ，則必須將影像中可能是白點的低彩

度部分萃取出來，彩度的門檻定為整個影像中最大彩度的1/4，若是低彩度部分未達全影像的5%，則可逐步提高彩度門檻，直到低彩度部分佔全影像的5%為止，假如影像中的低彩度部分之 $D_{\sigma}^{LCR} < 0.5$ ，則判定影像沒有色偏，不必進行色偏移除的處理；若是 $D_{\sigma}^{LCR} \geq 0.5$ ，則代表影像具有色偏，必須進行色偏移除的處理。

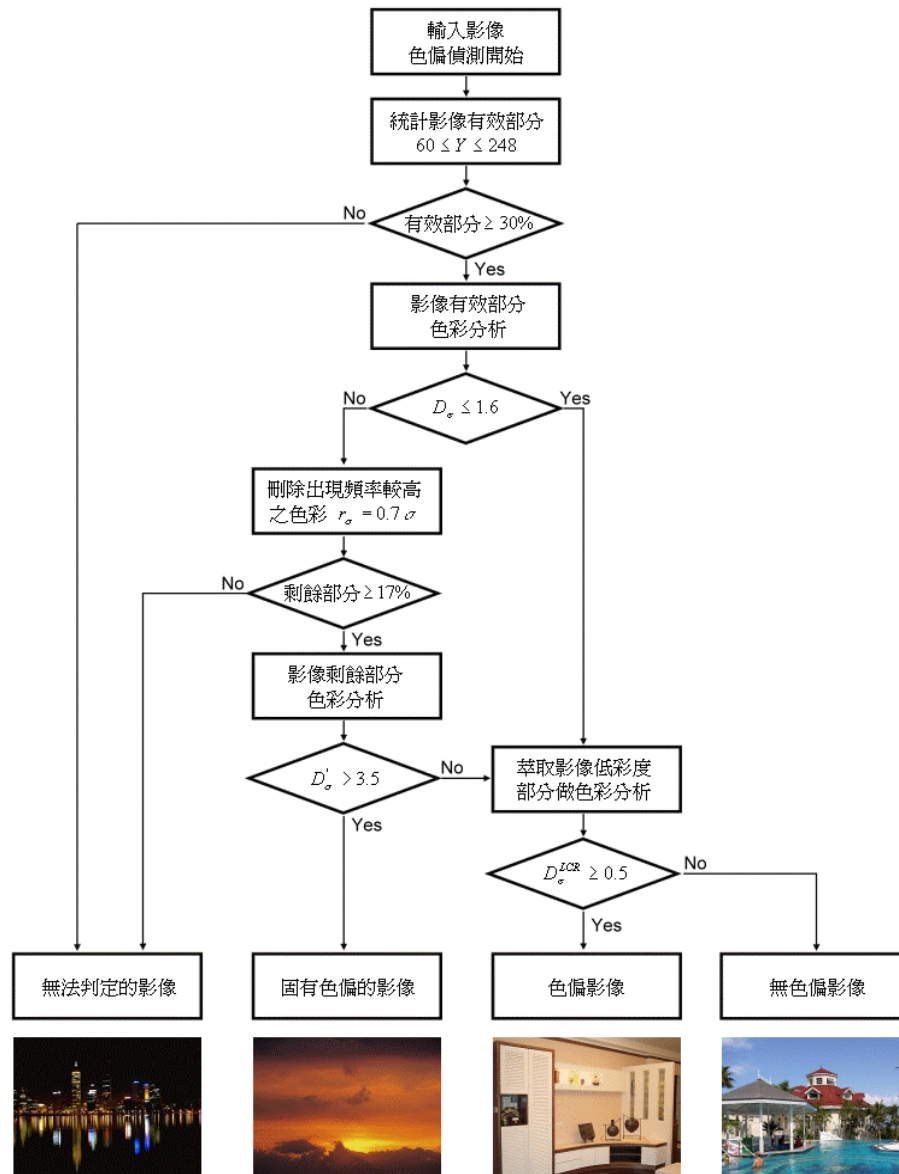


圖 8 影像色彩偏差偵測的流程圖

(五) 色彩偏差的移除

色偏移除程式僅針對被前述色偏偵測程式分類為具有色偏的影像做色偏移除的處理，我們以 Von Kries（沃恩·克里斯）的視覺色彩適應模式為基礎，並修改與結合灰界理論法與最大 RGB 法而發展出來的，其流程圖與方法如下。本色偏移除程式並非單獨運作，可與色偏偵測程式結合，以節省運算時所耗費的時間。

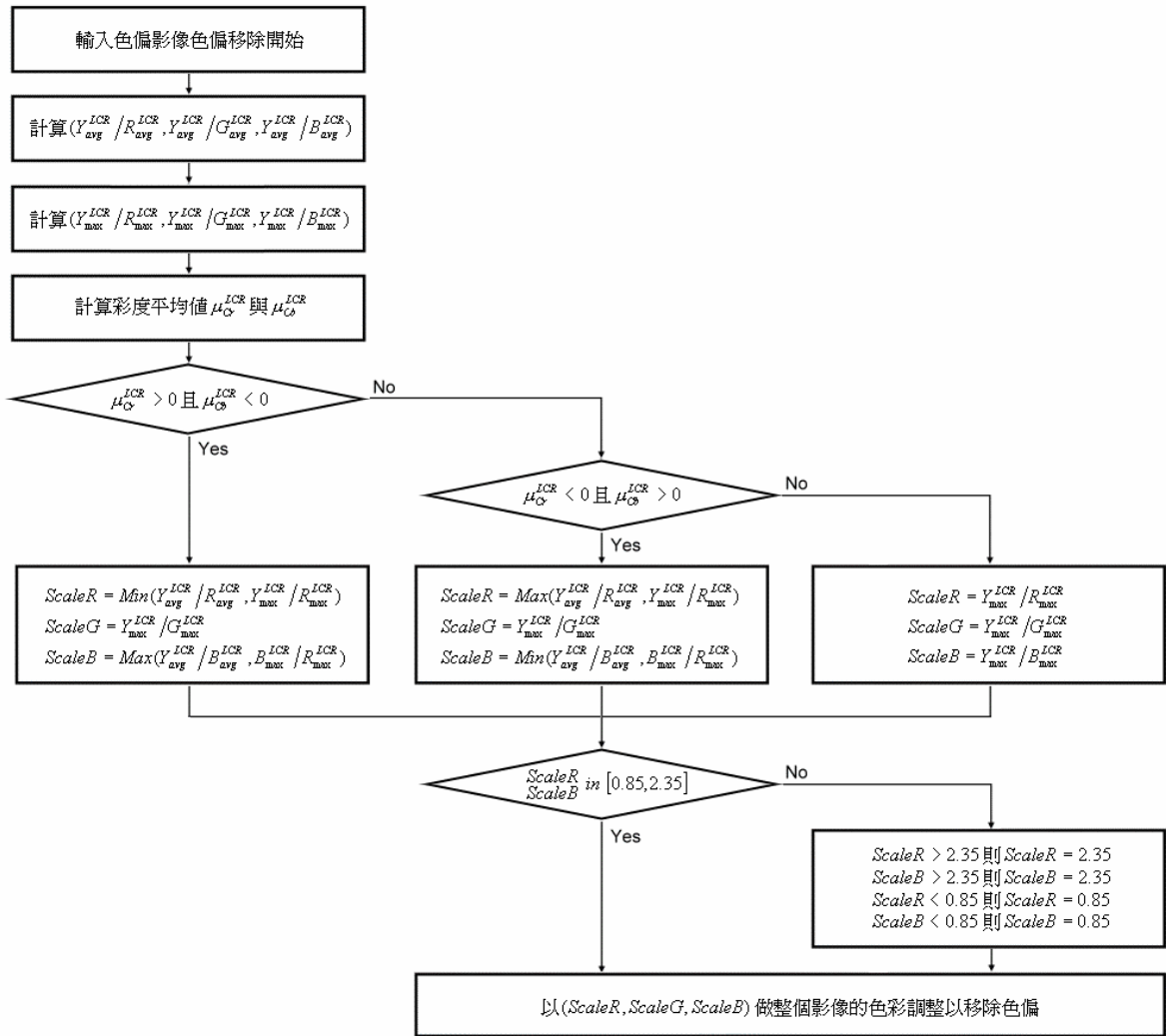


圖 9 影像色彩偏差移除的流程圖

- 計算出影像中低彩度部分各色頻的平均值 ($R_{avg}^{LCR}, G_{avg}^{LCR}, B_{avg}^{LCR}$)，及此平均值在 YCrCb 空間的亮度 $Y_{avg}^{LCR} = 0.299R_{avg}^{LCR} + 0.587G_{avg}^{LCR} + 0.114B_{avg}^{LCR}$ ，而得到一組調整參數 ($Y_{avg}^{LCR} / R_{avg}^{LCR}, Y_{avg}^{LCR} / G_{avg}^{LCR}, Y_{avg}^{LCR} / B_{avg}^{LCR}$)。
- 計算出影像中低彩度部分各色頻色彩值較大的前 20% 之平均值 ($R_{max}^{LCR}, G_{max}^{LCR}, B_{max}^{LCR}$)，及此平均值在 YCrCb 空間的亮度 $Y_{max}^{LCR} = 0.299R_{max}^{LCR} + 0.587G_{max}^{LCR} + 0.114B_{max}^{LCR}$ ，而得到另一組調整參數 ($Y_{max}^{LCR} / R_{max}^{LCR}, Y_{max}^{LCR} / G_{max}^{LCR}, Y_{max}^{LCR} / B_{max}^{LCR}$)。
- 由影像的色彩分布情形來決定 Von Kries (沃恩·克里斯) 色彩適應模式的各色頻調整參數 ($ScaleR, ScaleG, ScaleB$)，其中 $ScaleG = Y_{max}^{LCR} / G_{max}^{LCR}$ ；若是影像中低彩度部分的彩度平均值 $\mu_{Cr}^{LCR} > 0$ 且 $\mu_{Cb}^{LCR} < 0$ 則代表影像偏紅， $ScaleR$ 為 $Y_{avg}^{LCR} / R_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / R_{max}^{LCR}$ 中較小者， $ScaleB$ 為 $Y_{avg}^{LCR} / B_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / B_{max}^{LCR}$ 中較大者；若是影像中低彩度部分的彩度平均值 $\mu_{Cr}^{LCR} < 0$ 且 $\mu_{Cb}^{LCR} > 0$ 則代表影像偏藍， $ScaleR$ 為 $Y_{avg}^{LCR} / R_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / R_{max}^{LCR}$ 中較大者， $ScaleB$ 為 $Y_{avg}^{LCR} / B_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / B_{max}^{LCR}$ 中較小者；若是彩度平均值 μ_{Cr}^{LCR} 與 μ_{Cb}^{LCR} 非上述這兩種情況，則 $ScaleR = Y_{max}^{LCR} / R_{max}^{LCR}$ ， $ScaleB = Y_{max}^{LCR} / B_{max}^{LCR}$ 。
- 檢驗 $ScaleR$ 與 $ScaleB$ 是否均介於 $[0.85, 2.35]$ 區間，若是 < 0.85 則 $= 0.85$ ，若是 > 2.35 則 $= 2.35$ 。

- 決定好各色頻調整參數 ($ScaleR, ScaleG, ScaleB$) 後，將其作用到整張影像每一個像素，而完成色偏移除的程序。

由於人類的視覺對於亮度的敏感程度高於彩度，為了使得影像在校正前後的亮度保持一致，所以我們在尋找調整參數的時候是採用亮度資訊 Y_{avg}^{LCR} 與 Y_{max}^{LCR} ，而非使用一般常見的三個色頻的平均值。影像的色彩校正就是要將偏色照明下的顏色，還原成在標準照明 D65 下的顏色，由參考文獻[6]知道，色彩校正板的白色色塊在 D65 光源下的色度值為 (243,244,243)，藉由觀察該色塊在各種色溫照明下的色度值變化情形（圖 10），我們限定了 $ScaleR$ 與 $ScaleB$ 的範圍介於 [0.85,2.35] 區間，避免色彩有過度增益或衰減的情形。

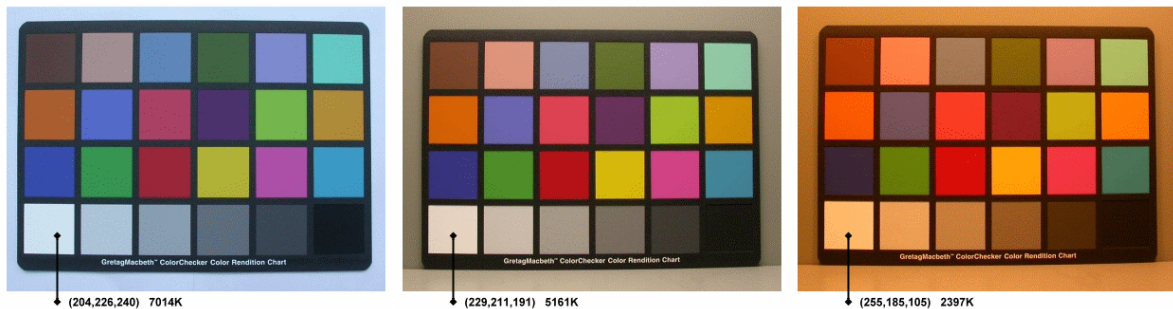


圖 10 各種色溫照明下的色彩校正板（拍攝時相機需關閉自動白平衡功能）

（六）色偏校正能力評估

我們的色偏校正能力評估方法是參考 Barnard et al. [4][5]的模式而設計出來的，拍攝測試影像的時候，每一畫面同時拍攝兩張，一張是附帶色彩校正板，另一張則無，利用沒有色彩校正板的影像給白平衡程式去計算而得到各色頻的調整參數，再使用此色頻調整參數來調整附帶色彩校正板的影像，然後量測出調整後影像中色彩校正板的色度值 $E = (R_{ew}, G_{ew}, B_{ew})$ ，利用其與色彩校正板在標準光源 D65 下的色度值 $S = (R_{sw}, G_{sw}, B_{sw})$ 間的角度誤差 θ （定義見式 3）來評估白平衡程式的色偏校正能力，何者的平均角度誤差越小代表該方法的色偏校正能力越佳。

四、研究結果：

（一）我們的白平衡程式實作

我們以 Visual Basic.Net 來實作色偏校正式，為了比較其校正效果的好壞，程式中除了顯示校正結果及相關資訊外，也列出了灰界理論法與最大 RGB 法的校正結果，由網路蒐集到的 100 幅影像（附錄一）之測試結果（表格 2）看來，我們的白平衡程式校正效果還不錯，圖 11 為程式執行時的畫面，與其他方法的比較請見圖 12。

白平衡演算法	色偏校正效果良好	色偏校正效果尚可	色偏校正效果很差
我們的方法 Our Method	93/100	7/100	0/100
灰界理論法 Gray World	32/100	39/100	29/100
最大 RGB 法 Maximal RGB Value	78/100	11/100	11/100

表格 2 網路蒐集的 100 幅影像色偏校正結果

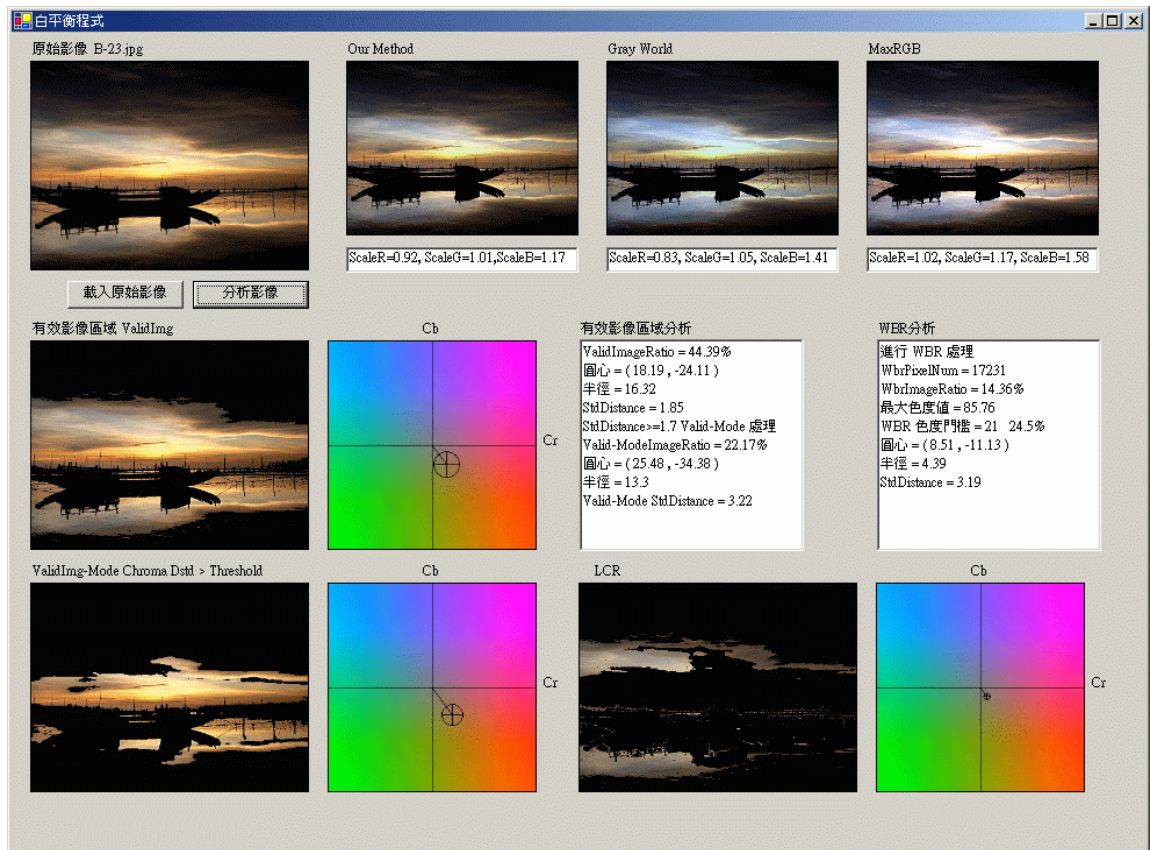


圖 11 我們的色偏校正式

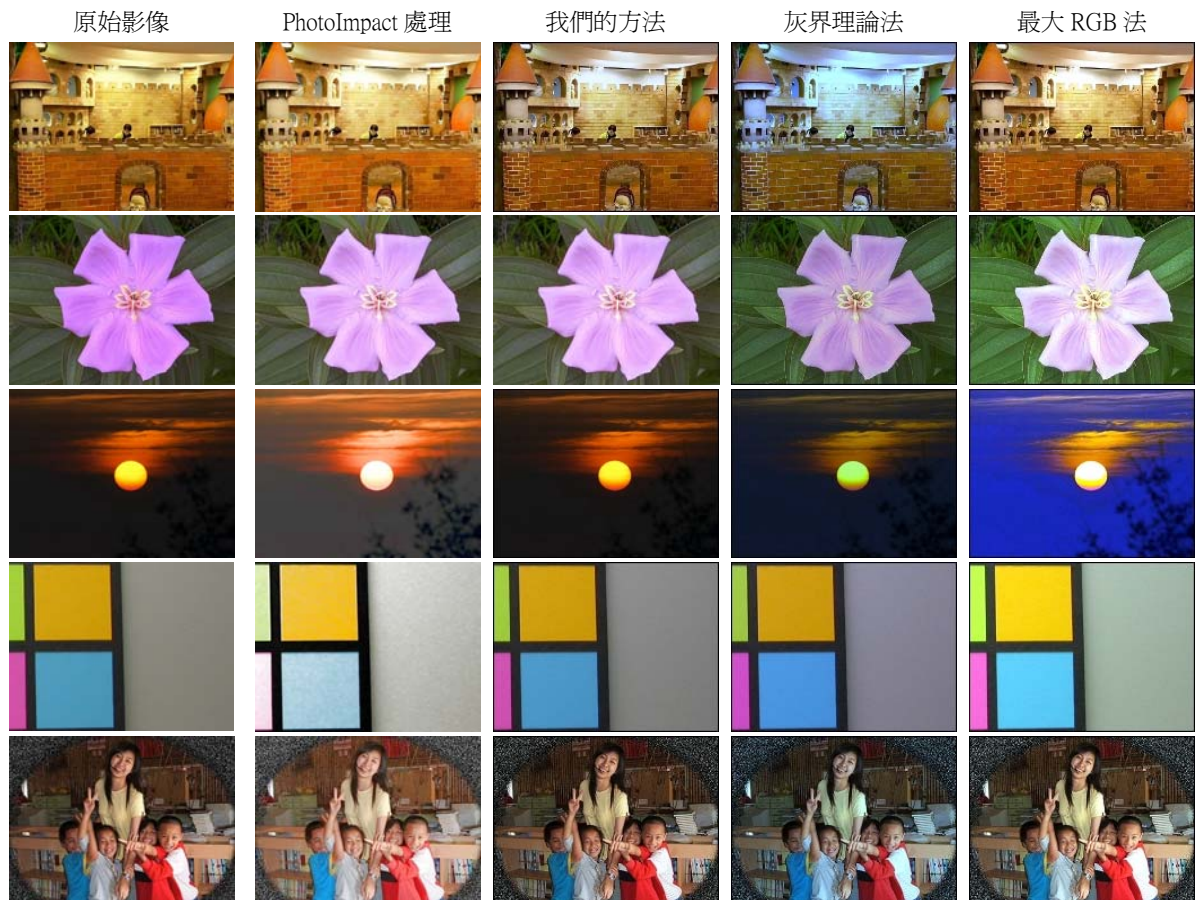


圖 12 各種方法的比較

(二) 色偏校正能力評估

瑞士 GretagMacbeth 公司的 ColorChecker 24 是公認最佳的色彩校正板，取下板上的紅、綠、藍三個色塊來進行色偏校正能力評估實驗，我們準備了 5 個畫面，每個畫面有 5 種光源（附錄二），每個畫面每種光源拍攝 2 張影像，一張是附帶有三個灰色色塊，另一張則無，為了呈現出多種光源下的拍攝效果，拍攝時，相機的白平衡功能必須關閉。先利用沒有灰色色塊的影像給白平衡程式去計算而得到各色頻的調整參數，再使用此色頻調整參數來調整附帶有灰色色塊的影像，量測出調整後影像中的灰色色塊色度值，並計算出該值與標準光源 D65 下正確值（Neutral8 為(202,202,202)、Neutral6.5 為(162,162,162)、Neutral5 為(123,123,123)[6]）間的角度誤差，利用平均角度誤差的大小來評估白平衡程式的色偏校正能力，由表格 3 的實驗結果看來，我們的方法的確較佳，圖 13 為程式的執行畫面。

白平衡演算法	平均角度誤差（度）			
	Neutral8 色塊	Neutral6.5 色塊	Neutral5 色塊	三色塊平均
不做任何處理	6.22	7.37	9.20	7.60
我們的方法	3.67	4.09	4.56	4.11
灰界理論法	8.34	9.25	7.95	8.54
最大 RGB 法	4.08	5.25	7.04	5.45

表格 3 各種白平衡演算法的平均角度誤差

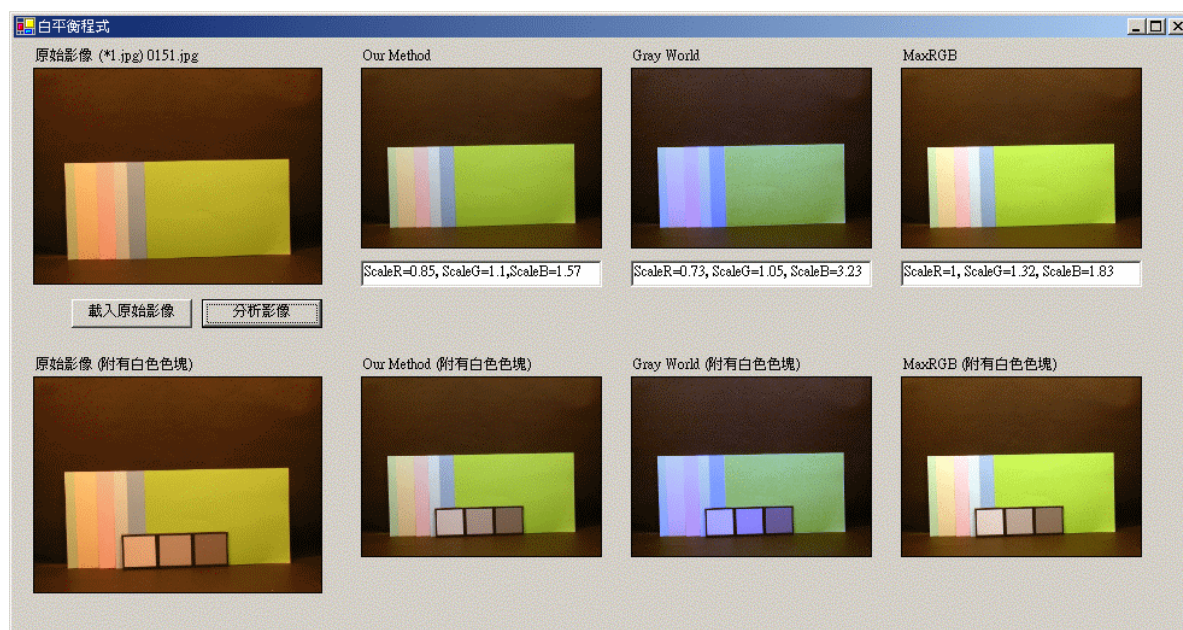


圖 13 色偏校正能力評估程式

五、討論：

現今的數位取像設備都有自動白平衡的功能，但是並非在所有的情形下都適用，所以幾乎都搭配了日光、陰天、燭光、螢光燈等多種白平衡模式，由此可知，在未知環境光源的情況下，單從影像來判斷是否有色偏，甚至要找到色偏校正的資訊，實在是一件不簡單

的挑戰。雖然我們的色偏校正方法可以獲得不錯的成果，但是仍有下列值得努力與加強的地方：

- 色偏校正式中，有許多需要判別分類的地方，主要是採用經驗法則來決定最佳門檻，這種一分為二的方法似乎太過於武斷，是否可以找到比較和緩的方法，依距離門檻的遠近而有程度上的不同，例如影像被判定偏紅者，*ScaleR* 就一律採用 $Y_{avg}^{LCR} / R_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / R_{max}^{LCR}$ 中較小者，*ScaleB* 採用 $Y_{avg}^{LCR} / B_{avg}^{LCR}$ 與 $Y_{max}^{LCR} / B_{max}^{LCR}$ 中較大者，不論其偏紅的情形是否嚴重，都使用同樣的色頻調整參數，可能會影響色偏校正的成效。
- 色偏校正能力評估的實驗中，我們所使用的光源色溫都偏低，所以評估用的測試影像大都偏紅，爲了使得評估能夠更具代表性，我們應該去尋找一些高色溫的光源，以及混合多種光源的多重光源。

六、結論：

隨著數位影像工業的快速成長與蓬勃發展，相關的擷取影像的產品也漸漸地普及與廣泛地使用，因爲結構上的差異，數位取像設備必須加入白平衡功能方可模擬人眼的色彩特性。本篇研究使用簡單的數學統計工具來發展出一套影像色偏校正系統，主要分爲色偏偵測與色偏移除等兩個階段來進行，僅有被偵測出有色偏的影像才需要進行色偏的移除，可以避開將無色偏或固有色偏的影像做錯誤的修正，從實驗測試看來，我們的方法確實有效，能獲得色彩品質較佳的影像。

七、參考資料：

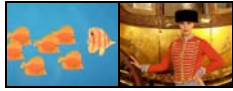
- (一) 陳鴻興，陳君彥譯，“基礎色彩再現工程”，全華科技圖書股份有限公司，2004。
- (二) 鄭柏左著，“色彩理論與數位影像”，新文京開發出版股份有限公司，2004。
- (三) 洪維恩著，“Matlab7 程式設計”，旗標出版股份有限公司，2005。
- (四) A. Barnard, V. Cardei, and B. Funt, “A Comparison of Computational Color Constancy Algorithms - Part I : Methodology and Experiments with Synthesized Data,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 11, No. 9, pp. 972-983, 2002.。
- (五) A. Barnard, V. Cardei, and B. Funt, “A Comparison of Computational Color Constancy Algorithms - Part II : Experiments with Image Data,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 11, No. 9, pp. 985-995, 2002.。
- (六) D. Pascale, “RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker,” <http://www.babelcolor.com>, 2003.。

八、附錄：

(一) 我們的白平衡程式實作測試影像



A-01 A-02 A-03 A-04 A-05 A-06 A-07 A-08 A-09 A-10



A-11 A-12



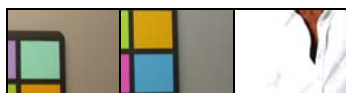
B-01 B-02 B-03 B-04 B-05 B-06 B-07 B-08 B-09 B-10



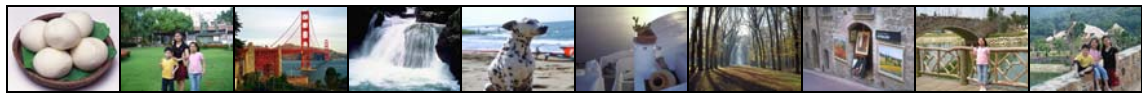
B-11 B-12 B-13 B-14 B-15 B-16 B-17 B-18 B-19 B-20



B-21 B-22 B-23 B-24 B-25 B-26 B-27



C-01 C-02 C-03



D-01 D-02 D-03 D-04 D-05 D-06 D-07 D-08 D-09 D-10



D-11 D-12 D-13 D-14 D-15 D-16 D-17 D-18 D-19 D-20



D-21 D-22 D-23 D-24 D-25 C-26 D-27 D-28 D-29 D-30



D-31 D-32 D-33 D-34 D-35 D-36 D-37 D-38 D-39 D-40



D-41 D-42 D-43 D-44 D-45 D-46 D-47 D-48 D-49 D-50



D-51 D-52 D-53 D-54 D-55 D-56 D-57 D-58

(二) 色偏校正能力評估用影像



011

012

013

014

015



021

022

023

024

025



031

032

033

034

035



041

042

043

044

045



051

052

053

054

055

評語

此主題並不是很新，作者的貢獻為提出一具「Adaptive 的演算法」來動態決定該用那一個既有的演算法來解決色偏校正的問題。

研究流程完整，並以實作出來。

建議應做完整的 Survey；是否已有相類似的演算法。

建議應做更多的 test 來 Justify 所提 Adaptive 演算法的效能。

可以將影像先做切割成更小的影片、然後分別跑 Adaptive 演算法，然後再組回原來的影像，這樣效果或許更好？