

基於多元迴歸分析之眼底影像品質提昇

趙雅嵐

劉正忠教授

喻石生教授

國立中興大學資工系

國立勤益科技大學電子系

國立中興大學資工系

Sunrain5421@gmail.com

ccl@nctu.edu.tw

pyu@nchu.edu.tw

摘要

本文提出一個基於多元迴歸分析的色彩轉換方法應用於眼底影像(Retinal Image)品質改善工程。此方法是採取以選用一個合適的來源影像對欲改善的目標眼底影像進行色彩轉換；首先將目標影像以 YIQ 色彩空間之 Y(亮度)自訂門檻值做為遮照偵測出欲改善的眼底物件；其次將切割後的眼底物件以及來源影像各別做 RGB 色彩空間轉換至 CIELAB 色彩空間，以 L^* 、 a^* 、 b^* 三平面之平均值及標準差各別正規化，再者分別選取來源影像及目標影像之等量特徵值進行多元迴歸分析產生最適轉換函數，再利用最適轉換函數將目標眼底物件影像之 L^* 、 a^* 、 b^* 各平面像素取得新像素值；最後將目標影像之各平面做進行逆正規化產生新的目標影像。本文所提出的方法是以開放式資料庫(Structured Analysis of the Retina, STARE)做實驗，實驗結果發現，以本文所提出的方法並選用與眼底影像相似的圖像對眼底影像進行色彩轉換可有效的突顯眼底影像之視神經、脈絡膜及新生血管、黃斑部以及滲漏出血。

關鍵字：眼底視網膜影像、色彩轉換、YIQ、CIELAB、多元迴歸分析。

1.前言

視網膜眼底影像是眼科醫師診斷眼睛疾病的重要依據，世界眼科醫學的研究報告指出視網膜血管病變可以反應出病患有心血管相關疾病的高危險因子，如高血壓、中風、糖尿病等等 [1]。然而拍攝清晰的眼底影像可能受限

於高價昂貴的攝影器材，一般眼科診所可能無力負擔該昂貴的器材成本，也可能因為病患年齡大而視網膜老化影響成像的品質，導致影像辨識不易，眼科醫師必須花更多的時間成本採取人工診斷。世界衛生組織估計目前全世界約有 1.35 億的糖尿病患者，並且預測糖尿病患者人口在 2030 年將成長至 4.38 億[2-4]。眼底滲漏是糖尿病病變的一項症狀，眼底滲漏會導致黃斑部中央窩的視力退化，嚴重時會導致失明 [5]。眼睛疾病通常是真的出問題了才會被發現，因此，定期接受眼睛健檢才能達到有效的預防。

歷年來有不少學者提出視網膜影像的偵測研究，例如血管的偵測、黃斑部滲漏的偵測、光盤定位等等，已提出的技術有：Peng 等人[6]提出 Contourlet 轉換方法可在任意尺度上對任意方向分解，用來描述影像中的輪廓和方向性的紋理，以強化邊緣的方式改善低對比度的影像品質。Osareh 等人[7]以 fuzzy c-means 分群方法對色彩正規化及對比度做切割以改善影像品質。Joshi 等人 [8]運用影像幾何學的知識來強化對比度，在 RGB 各平面上以不均勻的取樣推導出 correct factor 再著色到 RGB 平面改善影像品質。Mir 等人[9]使用影像形態學的方法及支援向量機的技術於 RGB 色彩空間的 G 平面偵測眼底滲漏。Kavith 等人[10]將眼底影像由 RGB 色彩空間轉至 CIELAB 後以二值化影像及形態學方法來偵測眼底區域，再以 Non-Linear Diffusion 分段偵測滲漏區。但是這些影像的處理方式皆是基於既有影像之色彩紋理來處理，若是要在應用上立即突顯及強化某一部份物件之紋理色彩時，既有色彩紋理處

理並無法有效呈現與改善某特定物件之色彩紋理。

本文提出的方法是以可以自行隨意選定適當的參考影像對眼底影像進行色彩轉換，透過參考影像的色彩紋理來改善眼底影像的品質。歷年來有不少關於利用色彩紋理做研究的論文發表，色彩是彩色影像中重要的特徵，色彩的應用範圍很廣，例如黑白影像的著色、色彩的校正、物件的切割、色彩的轉換等等。關於色彩轉換的研究最早是由Reinhard 等人[11]所提出利用統計學方法在 LSM 色彩空間將參考影像的色彩特徵轉換到原始影像上。Chang 等人[12]採用 11 種人類感知的色彩分類法，各別將參考畫作及來源影像轉換至 CIELAB 色彩空間確定分類範圍後，再將來源影像每個像素對應至相對的參考畫作位置取得新的顏色，產生畫作風格的目標影像。Xiao 等人[13]提出可以在任意色彩空間中基於統計分析出的來源影像與參考影像的平均值及共變異數矩陣，透過一系列的轉換步驟-轉變、縮放及共變異數矩陣的旋轉進行色彩轉換產生新的目標影像。另外還有一些局部物件色彩轉換陸續被發表，像是 Maslennikova 等人[14]提出以選定感興趣的長方形區塊進行統計分析，並將選定的相關色彩範圍依參考影像進行局部轉換，其色彩轉換方法改良自 Reinhard 等人[11]可有效減少處理的複雜度。Wen 等人[15]所提出各別將原始影像及參考影像採用畫線註記的方式，選

擇不同的區塊做多區塊的色彩轉換來改善原始影像品質。

色彩轉換的並不是一種新概念，色彩轉換的方法很多，應用領域也遍及商業平面廣告、多媒體應用以及醫學影像等等。但是目前沒有學者發表將色彩轉換用在強化眼底影像之對比度，本文提出的基於多元迴歸分析的色彩轉換用於醫學之眼底影像對比度之改善有顯著的效果。然而，由於眼底影像可能因為拍攝的外在條件以及患者眼球的的健康程度而導致拍攝的眼底影像色彩偏暗紅或黃白。本文提出的方法是以自由選擇參考影像進行色彩轉換的方式，讓眼科醫生可以根據患者眼底影像成像品質選擇最適合的參考圖像判別病徵，此方法操作簡單、在使用上富有彈性，而且對於提昇影像清晰度有顯著的成效。改善眼底影像品質有助於提供眼科醫生較準確的診斷參考，幫助病患可儘快採取進一步的預防及疾病治療。本文後續將在第二部份描述本文的方法、第三部份說明實驗結果，最後會做個總結。

2.本文方法

本論文所提出對對眼底影像品質的改善，主要分為二個主要步驟：(1)偵測眼底物件影像範圍、(2)彩色影像之色彩空間轉換及利用多元迴歸分析做色彩轉換。詳細的流程圖如圖 1 所示：

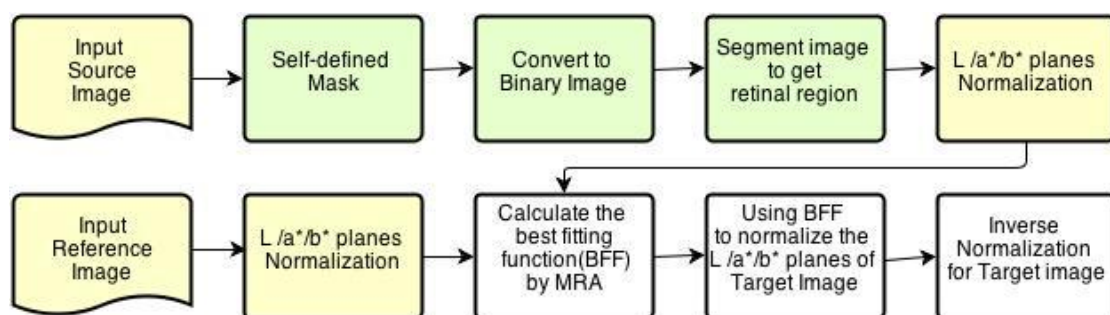


圖 1. 提昇眼底影像品質流程圖

2.1. 眼底物件影像偵測

由於眼底影像範圍涵蓋眼球區塊以及背景部份，若以眼底影像整個範圍直接進行色彩轉換時，會出現眼球以外的區塊，呈現與眼底物件近似的色彩，會弱化著色後的對比度，如

圖 2 所示。為了避免背景影響到眼底物件色彩轉換的結果，必須將背景部份排除，因此本論文在眼底影像的 YIQ 色彩空間擷取眼底物件。

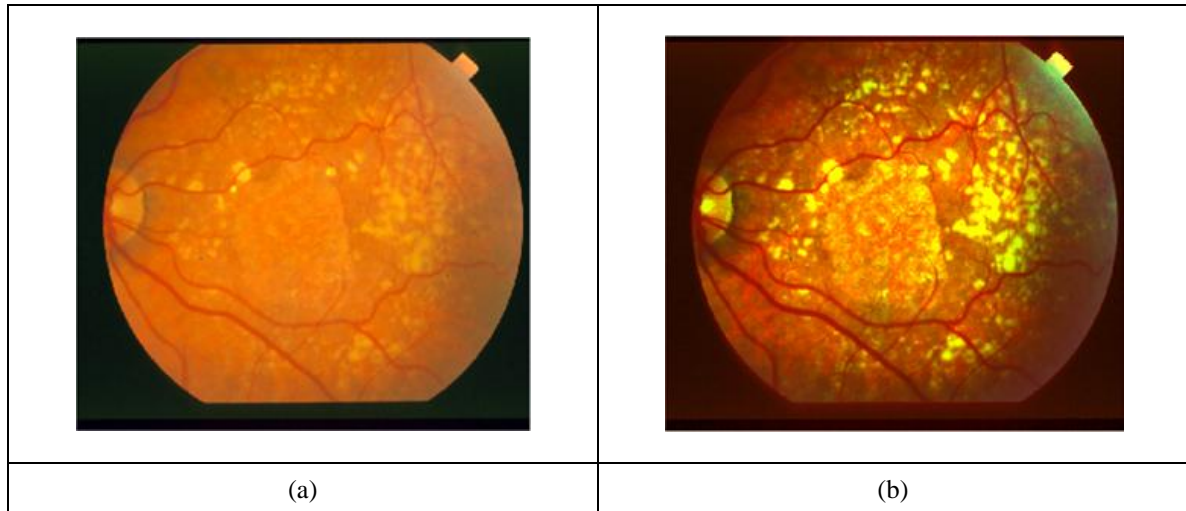


圖 2.全域色彩轉換 (a)眼底影像原圖，(b)色彩轉換後影像

2.1.1. 遮罩偵測

RGB 色彩空間是由紅色、綠色、藍色的三原色為基礎，依不同強度比例混合成其他顏色，RGB 色彩模型通常應用在彩色攝影機和顯示器上，彩色影像又稱為全彩影像，由 R、G、B 三個平面組成，因此彩色影像處理均可由 RGB 色彩空間轉置到其他色彩空間。

YIQ 色彩空間中，Y 代表亮度 (Luminance) 即為灰階度、I (Inphase) 代表橙色到青色的色彩變化、Q (Quadrature) 代表紫色到黃綠色的色彩變化，主要用在彩色有線電視上，YIQ 色彩空間具有將亮度分離出來的優點。因此，本論文採用 YIQ 模型的 Y(Luminance)作為影像遮罩之門檻值，切割出欲著色的眼底物件影像，排除眼底物件影像以外的背景部份，RGB 轉換

至 YIQ 色彩空間的公式(1,2,3)如下所示：

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$I = 0.596R - 0.275G - 0.321B \quad (2)$$

$$Q = 0.212R - 0.523G + 0.311B \quad (3)$$

本文利用運算式(1)求出 RGB 眼底影像的 Y 分量，並依實驗經驗訂出 Y 的門檻值為 40 以求出眼底/物件的遮罩，遮罩偵測之數學式如下所示：

$$\text{mask} = \begin{cases} \text{black;} & \text{if } Y < 40 \\ \text{white;} & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

本文提出的遮罩應用於所有實驗的圖片上，均可以得到很好的效果；眼底物件即為遮罩影像的白色部份，如圖 3 所示。

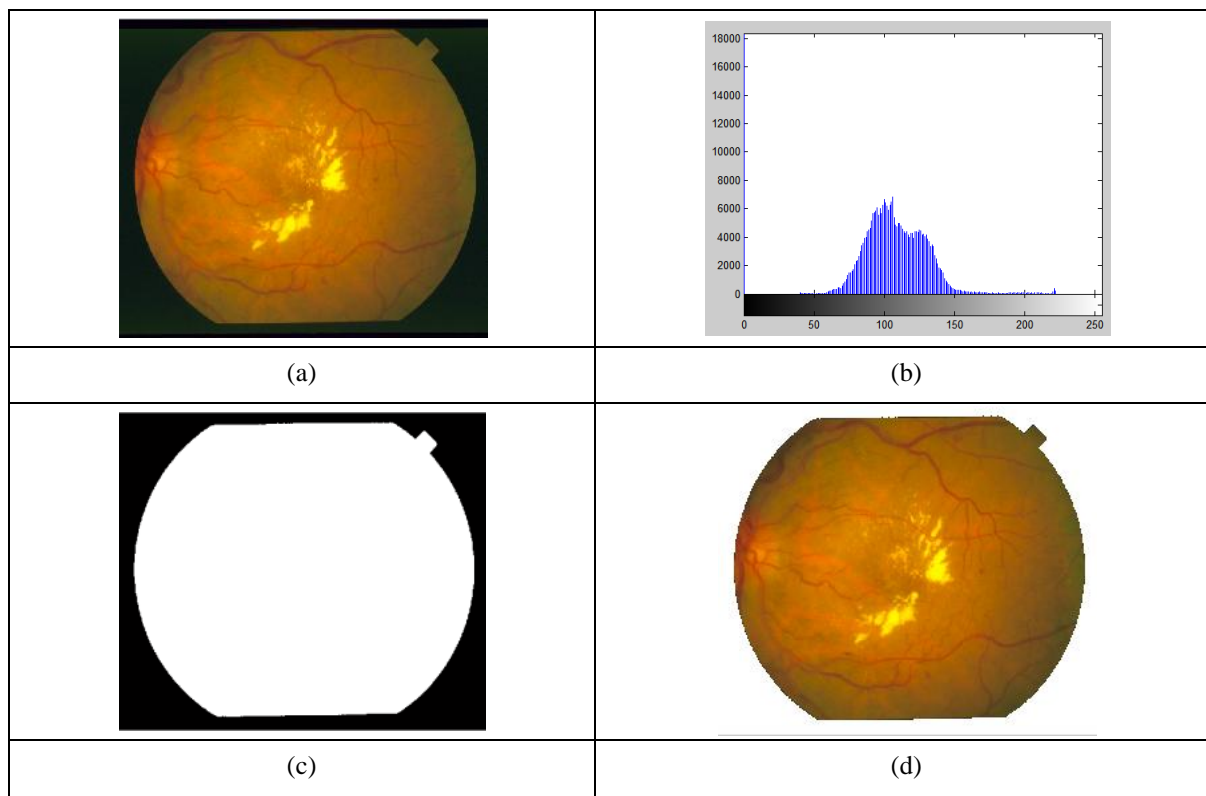


圖 3. 眼底物件擷取 (a)眼底影像原圖，(b)Y 分量直方圖，(c)遮罩，(d)眼底物件

2.2 色彩轉換

Liu [16]提到 CIELAB 色彩空間的可以有效區分出影像色彩的亮度及色度，在調整亮度時並不會影響到色度，具有亮度和色度分離的優點；因此，很適合用來做影像處理。由於 CIELAB 色彩模型設計比 RGB 色彩模型更適合人類視覺的感知，因此本文採用 CIELAB 做眼底影像色彩空間的轉換再進行著色。

2.2.1 CIELAB 色彩空間

CIELAB 色彩空間是由國際照明委員會 (International Commission on Illumination

Commission International de l'Eclairage, CIE) 於 1976 所提出的，在 CIELAB 色彩空間中，顏色的組成為 L^* 、 a^* 、 b^* 三個要素， L^* 代表亮度、亮度值 0 到 100 代表由暗到亮， a^* 代表顏色紅色到綠色， b^* 代表顏色藍色到黃色，如圖 4。基於 CIELAB 色彩空間更接近人類視覺所見，為本論文所採用，而本文將 RGB 色彩空間轉換到 CIELAB 色彩空間分為三大步驟：(1)由 RGB 色彩空間標準化後，轉換至 CIEXYZ 三色刺激值；(2)將 CIEXYZ 採用(D65)對白點正規化、(3)由 CIEXYZ 轉換至 CIELAB 色彩空間，色彩轉換方程式(5~9)。

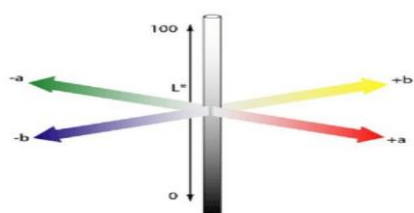


圖 4. CIELAB 三維空間

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

X_n, Y_n, Z_n 為依據(D65)白色的三色刺激值:

$$\begin{aligned} X_n &= X/0.950456 \\ Y_n &= Y/1 \\ Z_n &= Z/1.089058 \end{aligned} \quad (6)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 * (Y/Y_n)^{1/3} - 16, & Y/Y_n > 0.008856 \\ L^* = 903.3 * Y/Y_n, & otherwise \end{cases}$$

$$a^* = 500 * \left(f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right) \quad (7)$$

$$b^* = 200 * (f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n))$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & t > 0.008856 \\ 7.787 * t + 16/116, & otherwise \end{cases}$$

在色彩空間轉換完成後，再利用 L^* 、 a^* 、 b^* 三個平面計算的平均值與標準差進行正規化，公式如(8,9,10)所示。

$$\mu_X = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X(i,j)/(M \square N), \quad X \in \{L, a^*, b^*\} \quad (8)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i,j) - \mu_X)^2 / (M \square N)}, \quad X \in \{L, a^*, b^*\} \quad (9)$$

$$X_N(i,j) = (X(i,j) - \mu_X) / \sigma_X, \quad X \in \{L, a^*, b^*\}, 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N \quad (10)$$

2.2.2 多元迴歸分析

迴歸分析是一種定量的預測方法。Liu 等人[16-18]提到多元迴歸分析是統計分析中最常用的技術，也是用於建構多變模型的基礎。多元迴歸分析是一個應變數與多個自變數之間形成的因果關係，且每一個自變數之間的相關性愈低愈好，若標準迴歸係數愈大則該預測變數就愈重要。本文以多元迴歸分析來產生來源影像與目標影像二者之間的最適轉換函數。

多元迴歸分析係以預測方程式(prediction equation) $y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k$ 及自變數 x, x^2, \dots, x^k 來預測應變數 y ，求得最適當的 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ ，使得誤差平方的總和(SSE)， $SSE(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^n [(\beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_k x_i^k) - y_i]^2$ ，為最小，其求法如下列公式：

$$\text{SSE}(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^n [(\beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_k x_i^k) - y_i]^2 \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta_j} \text{SSE}(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = 0 \quad , j=0,1,\dots,k$$

$$n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + \beta_k \sum_{i=1}^n x_i^k = \sum_{i=1}^n y_i \quad (12)$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n x_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots + \beta_k \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (13)$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n x_i^k + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} + \dots + \beta_k \sum_{i=1}^n x_i^{2k} = \sum_{i=1}^n x_i^k y_i \quad (14)$$

解出正規化方程式後：

$$\begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} = B = [X^T X]^{-1} [X^T Y] \quad (15)$$

得到

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^k \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^k \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^k \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

2.2.3 最適轉換函數

經過多元迴歸分析後產生 L^* , a^* , b^* 三平面的最適轉換函數，再各別將眼底物件之 L^* , a^* , b^* 三平面的像素代入最適轉換函數，求出轉換後的 L^* , a^* , b^* 三平面的像素結果值，並將其逆正規化，再各別轉換回 R、G、B 三平面，重新合併 R、G、B 三平面則產生色彩轉換後的目標影像。

3. 實驗結果

本實驗的眼底影像所採用的是 STARE(Structured Analysis of the Retina)的公

開資料庫，資料庫內有 81 張的 700 x 605 像素的影像，此影像皆以 TRV-50 眼底照像機以 35 度視角所拍攝[19]。本文的方法係選定一張夕陽日落照做為參考影像，如圖 5(d)，分別與資料庫中所有的眼底影像做色彩轉換。圖 5 係以 Image03 為例所產生的各次方程式的目標影像。表 1,2,3 係以 Image03 為例的 L^* , a^* , b^* 各平面的最適轉換函數之係數。表 4 為原始影像與結果影像對比度之比較表，實驗係以迴歸方法做色彩轉換，並不影響 YIQ 的 Y 分量的值，意即影像的灰階明暗度不受影響，僅是色彩的亮度有變化。

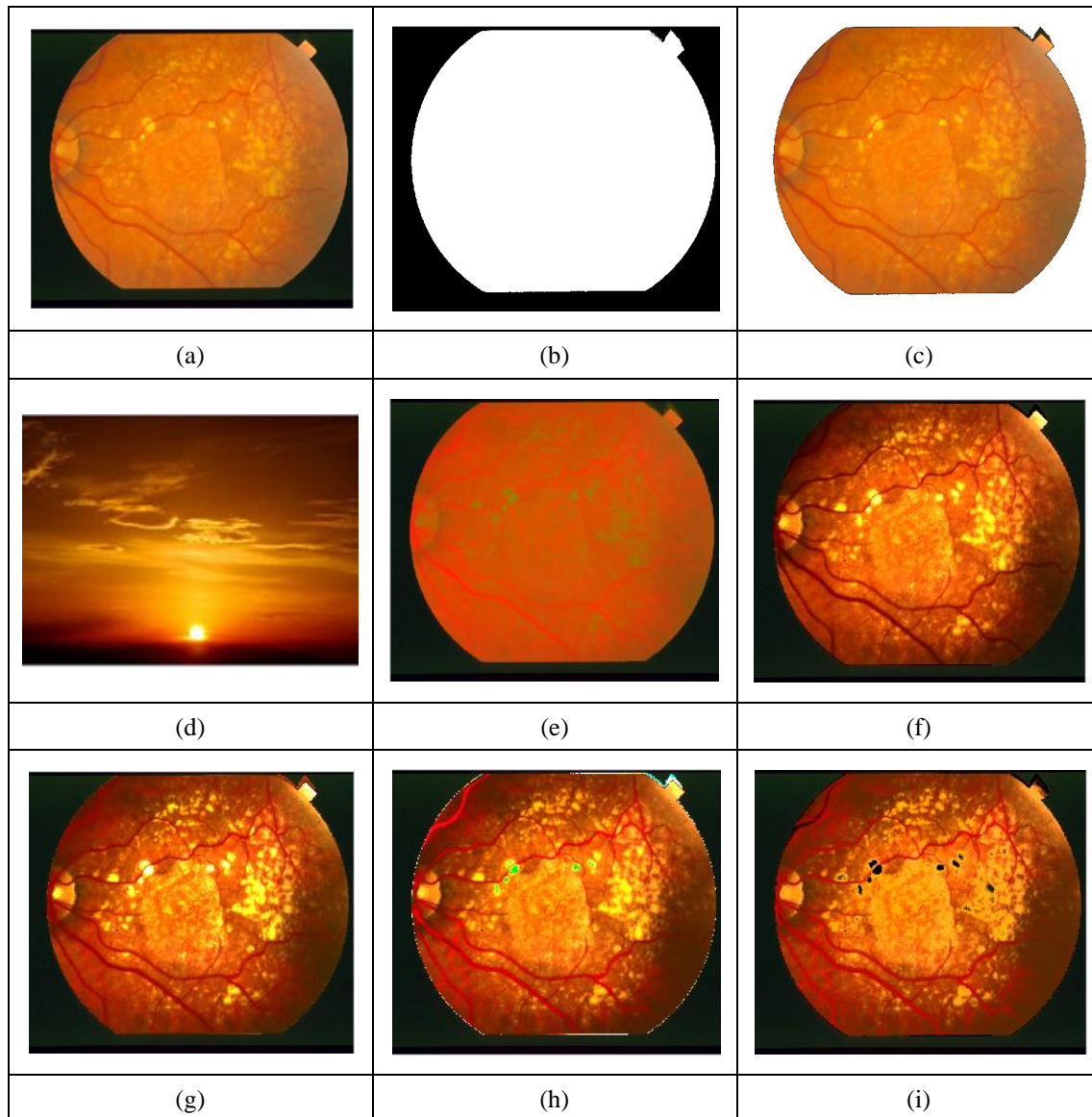


圖 5. (a)眼底影像原圖，(b)遮罩，(c)擷取的眼底物件，
 (d)參考影像，(e)一次方之影像，(f)二次方之影像，
 (g)三次方之影像，(h)四次方之影像，(i)五次方之影像

表 1. L^* 平面之最適轉換函數的各次方係數 $L_t = \beta_0 + \beta_1 L_0 + \beta_2 L_0^2 + \dots + \beta_k L_0^k$

	β_5	β_4	β_3	β_2	β_1	β_0
1 次轉換函數	0	0	0	0	0.8021	6.2450e-17
2 次轉換函數	0	0	0	2.4142	3.0573	-2.3765
3 次轉換函數	0	0	3.4933	3.7596	-2.3252	-0.4886
4 次轉換函數	0	-11.6457	4.9835	24.2635	-17.5833	2.48545
5 次轉換函數	-105.2242	58.9881	185.8163	-213.1432	79.74427	-10.5546

表 2. a*平面之最適轉換函數的各次方係數 $a_t = \beta_0 + \beta_1 a_0 + \beta_2 a_0^2 + \dots + \beta_k a_0^k$

	β_5	β_4	β_3	β_2	β_1	β_0
1 次轉換函數	0	0	0	0	0.9079	-4.510e-16
2 次轉換函數	0	0	0	0.0847	0.8930	-0.0834
3 次轉換函數	0	0	-0.1363	0.3811	1.2662	-0.3515
4 次轉換函數	0	-0.2010	0.4770	0.78571	0.34611	-0.2387
5 次轉換函數	0.0851	-0.5059	0.3962	1.3681	0.2205	-0.3056

表 3. b*平面之最適轉換函數的各次方係數 $b_t = \beta_0 + \beta_1 b_0 + \beta_2 b_0^2 + \dots + \beta_k b_0^k$

	β_5	β_4	β_3	β_2	β_1	β_0
1 次轉換函數	0	0	0	0	0.9134	1.3877e-17
2 次轉換函數	0	0	0	0.2607	1.0240	-0.2566
3 次轉換函數	0	0	0.4250	0.3937	0.4150	-0.2102
4 次轉換函數	0	0.4522	0.4808	-0.4122	0.53523	-0.0949
5 次轉換函數	0.6468	0.2673	-0.8170	0.1942	0.8001	-0.1757

表 4. 原始影像及結果影像之對比度

$$\text{Contrast} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^8 |r_n(i,j) - r(i,j)|}{8 * M * N}, r(i, j) \in \text{眼底影像}, M * N \in \text{眼底影像像素總數}$$

影像編號		R	G	B	Y
Image03	原始影像	0.59715	0.64557	1.20069	0.00012
	結果影像(RGB 迴歸)	1.02486	1.53566	0.66953	0.00012
	結果影像(La*b*迴歸)	1.42705	1.44527	0.88026	0.00012
Image05	原始影像	0.58685	0.74706	0.79597	0.00008
	結果影像(RGB 迴歸)	0.83589	1.35014	0.47503	0.00008
	結果影像(La*b*迴歸)	1.21046	1.24839	0.60197	0.00008

此外，本實驗的其他眼底影像之色彩轉換結果，如圖 6 所示，圖 6(a2)比(a1)的滲漏區更為清晰、圖 6(b2)比(b1)的血管更為顯著，可看出眼底影像獲得明顯的改善。

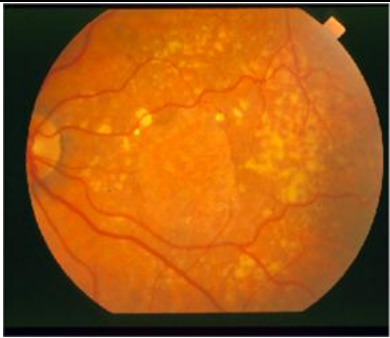



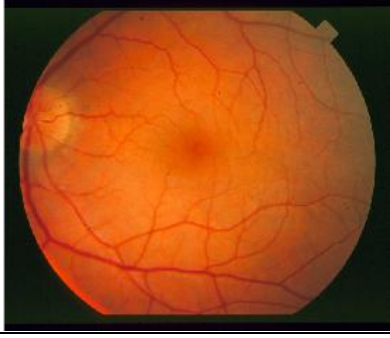

影像編號	原始影像	結果影像
Image03		
	(a1)	(a2)
Image05		
	(b1)	(b2)
Image08		
	(b1)	(b2)

圖 6.色彩轉換結果 (a1) Image03 之原始影像，(a2)為(a1)之目標影像，(b1)Image05 之原始影像，(b2)為(b1)之目標影像

結論

本文提出的方法在於使用上具有極佳的彈性且系統操作簡單，用於眼底影像的改善有顯著的效果。本方法在各種色彩空間皆可進行；然而，在改善影底影像品質的過程中，採用基於 RGB 色彩空間的迴歸方法做色彩轉換，發現 RGB 色彩空間無法反應出影像中的亮度。最後採用基於 CIELAB 色彩空間的迴歸方式做

色彩轉換，眼底影像可以得到極佳的效果。實驗結果顯示以本文所提出的方法並選用與眼底影像色彩相似的影像，如夕陽日落照，採用迴歸方法進行色彩轉換可有效的突顯眼底影像之視神經光盤、脈絡膜及新生血管、黃斑部以及滲漏出血，有助於眼科醫師判別視網膜異常徵兆，提供病患有效的預防及治療參考。

致謝

感謝國科會(計畫編號 NSC 101-2221-E-005-089 與 NSC 101-2221-E-167-038)之贊助，使實驗得以順利進行。

參考文獻

- [1] G. Michelson, et al. "Eye imaging identifies cardiovascular risk factors", *World ophthalmology Congress. 2012 ; IS-TEL-FR65*
- [2] A. F. Amos, D. J. McCarty and P. Zimmet," The Rising Global Burden of Diabetes and its Complications: Estimates and projects to the year 2010", *Diabetic Med.*, Vol.14, pp.57-85, 1997
- [3] A. F. Fleming, K. A. Goatman, and S. Philip, J. A. Olson, P. F. Sharp," Automatic Detection of Retinal Anatomy to Assist Diabetic Retinopathy Screening", *Phys Med Biol.*, Vol.52, No.2, pp.331-345, Jan 2007
- [4] C. Sinthanayothin, J. F. Boyce, T. H. Williamson, H. L. Cook, E. Mensah, S. Lal and D. Usher," Automated Detection of Diabetic Retinopathy on Digital Fundus Images", *Diabetic Medicine.*, Vol.19, pp.105-112, 2002
- [5] C. Jayakumari and T. Santhanam, "Detection of Hard Exudates For Diabetic Retinopathy Using Contextual Clustering And Fuzzy Art Neural Network", *Asian Journal of Information Technology*, Vol. 6, No.8, pp. 842-846, 2007
- [6] Peng Feng, Yingjun Pan, Biao Wei, Wei Jin and Deling Mi," Enhancing retinal image by the Contourlet transform", *Pattern Recognition Letters* 28, pp.516-552, 2007
- [7] A. Osareh, B. Shadgar, R. Markham, "A Computational-Intelligence-Based Approach for Detection of Exudates in Diabetic Retinopathy Images", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol.13, pp.535-545, 2009
- [8] G.D. Joshi and J. Sivaswamy, "Colour Retinal Image Enhancement based on Domain Knowledge", *Proc. of the IEEE Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp.591-598, 2008
- [9] H. S. Mir, H. Al-Nashash, U. R. Acharya, "Assessment of Retinopathy Severity Using Digital Fundus Images", *The First Middle East Conference on Biomedical Engineering*, Sharjah, UAE, 2011
- [10] S. Kavitha, K. Duraiswamy, " Automatic Detection of Hard and Soft Exudates in Fundus Images Using Color Histogram Thresholding", *European journal of scientific research*, Vol.48, No.3, pp.493-504, 2011
- [11] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley, "Color transfer between images", *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 34-41, 2001
- [12] Y. Chang, S. Saito, and M. Nakajima, "A framework for transfer colors based on the basic color categories", *Computer Graphics International*, pp.176-183, 2003
- [13] X. Xiao and L. Ma, "Color transfer in correlated color space" , *VRCIA '06: Proceedings of the 2006 ACM international conference on virtual reality continuum and its applications*, New York, NY, USA: ACM; pp. 305-309, 2006

- [14] A. Maslennikova and V. Vezhnevets, "Interactive local color transfer between images", *GraphiCon.2007*, 2007
- [15] C. L. WEN, C. H. HSIEH, B. Y. CHEN, AND O. MING, "Example-based multiple local color transfer by strokes", *Pacific Graphics*, Vol.27, No.7, pp.1765–1762, 2008.
- [16] C.C Liu, "A global color transfer scheme between images based on multiple regression analysis", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Volume 8, Number 1, January 2012.
- [17] C.C Liu and P.C Chung, "Objects extraction algorithm of color image using adaptive forecasting filters created automatically", *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, Vol. 7, No. 10, 2011.
- [18] C. C. Liu and W. Y. Chen, "Screw pitch precision measurement using simple linear image analysis", *Applied Mathematics and Computation*, vol.178, pp.390-404, 2006.
- [19] Adam Hoover, STARE: Locating the optic nerve using the fuzzy convergence of the vessels, Retrieved Sept. 15 2012, <http://www.parl.clemson.edu/stare/nerve>