

第四章 色調重現演算法



4.1 演算法架構

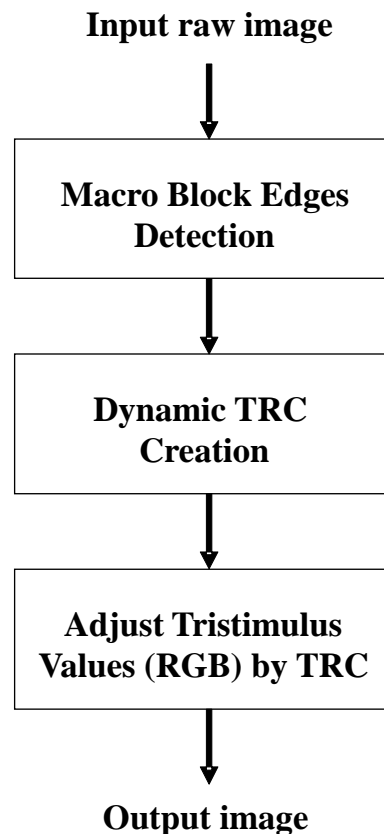


圖 4-1 演算法基本架構流程圖

我們所提出的色調重現演算法概念是根據影像巨集邊界的直方圖做等化。首先第一步是以巨集區塊(16×16 像素)在 CIELAB 色彩空間下的平均亮度值 L^* ，做為巨集邊緣偵測的判斷。接著下一步，將巨集邊緣亮度的直方圖做等化，動態的建立 TRC。最後一步，根據 TRC 來調整 RGB 三元素值。基本的架構流程圖如圖 4-1 所示。詳細的步驟及相對應的設計考量將接著後面章節來說明。

4.2 巨集邊緣偵測

我們所設計方法的概念是根據邊緣資訊重新分配密度高的區域亮度值，來擴展影像的對比及細節。巨集邊緣偵測能夠抓取出物件的邊緣資訊，並且能夠避免雜訊和防止均勻顏色的大色塊主導亮度統計圖。邊緣偵測是將輸入的影像劃分成區塊(16×16 像素)而不是以每一點像素來做邊緣的判斷。因為區塊的所偵測到的邊界亮度值受雜訊影響較直接以每一點像素做邊緣偵測低。

巨集邊緣偵測的演算法如下：

1. 將原始影像分割成二維的十六乘十六區塊， $M_{i,j}(1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ ，圖 4-2 所示。

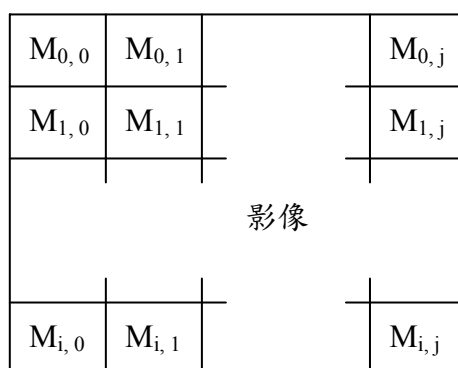


圖 4-2 切割成十六乘十六的區塊

2. 對每個區塊 $M_{i,j}$ 計算其平均亮度值 L^* 。
3. 對每個區塊 $M_{i,j}$ 計算其平均亮度值 L^* 的差異性 $D_{i,j}$ ，式(1)。

$$D_{i,j} = \frac{(L_{i,j} - L_{i,j+1})^2}{(L_{i,j} + L_{i,j+1})^2} \quad (1)$$

4. 對每個區塊 $M_{i,j}$ 設立一邊界旗標 $F_{i,j}$ ，式(2)， θ 為一事先定義之臨界值，為 0.001。

$$F_{i,j} = \begin{cases} 1, & F_{i,j-1} = 1 \quad D_{i,j} \geq \theta \\ 0 & D_{i,j} < \theta \end{cases} \quad (2)$$

圖 4-3 便是數學式的示意圖，其中，L、R 便是表示左右相鄰的區塊，而其式(2)，計算所產生的可能性則會有下列四種情況，而各符號所代表的意涵如下說明。

- (1) R 代表的是 $D_{i,j}$ ，L 代表的是 $D_{i,j-1}$ 。
- (2) 白色方塊便是代表 $D_{i,j} \leq \theta$ ，意即非巨集邊緣；反之亦然，條紋方塊便是代表 $D_{i,j} \geq \theta$ ，意即巨集邊緣。
- (3) 0 代表的是 $F_{i,j} = 0$ ，亦即該區塊並不會列入平均權重的考慮內；反之亦然，1 代表的是 $F_{i,j} = 1$ ，亦即該區塊會列入平均權重的計算內。

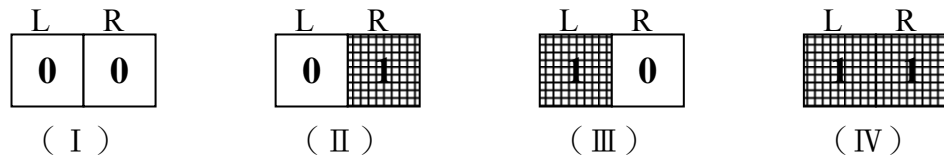


圖 4-3 邊界區塊示意圖

其中比較值得一提的是圖 4-3(II)的情形，由於當右邊的區塊被計算出 $D_{i,j} \geq \theta$ 時，意即該區塊為邊緣區塊時，也就是該區塊會列入邊緣統計的計算內，根據式(2)，此時，其左邊的區塊也要被列入邊界統計的計算內。

4.3 動態建立 TRC

經由巨集邊緣偵測之後，我們必需將這些邊界的數量和邊緣平均亮度 L^* 值做

直方統計圖。假設 CIELAB 色彩空間中 L^* 值的整個動態範圍正規化為 0 到 100，所有巨集邊緣會先根據區塊內的平均 L^* 值，放到 0 到 100 的 $HB_k, 1 \leq k \leq 100$ 統計累計器中。若某一區塊的平均 L^* 值為 L_x ， L_x 值落在區間 $k \leq L_x \leq k+1$ ，這時我們選擇將 L_x 填入到 HB_k 。接著整張影像的大區塊邊界統計圖 $h(k), 1 \leq k \leq 100$ 就可以得到。根據統計學中累積分佈函數 $t(j), 1 \leq j \leq 100$ 式(3)所定義的觀念。

$$t(j) = \sum_{i < j} h(i) / \sum_{1 \leq i \leq 100} h(i) \quad , \quad 1 \leq j \leq 100 \quad (3)$$

可以知道 $t(j)$ ，其值的範圍是從 0 到 1，但有一種情況會出現，那就是 $t(j)$ 的值和他鄰近的 $t(j-1)$ 或 $t(j+1)$ 一樣，那是因為 $h(j)$ 或 $h(j+1)$ 等於 0，一個簡單的解決方法就是與鄰近區域點的值做線性差補。接著我們利用等化的概念，將巨集邊緣直方圖等化。因此可以得到等化前後 L^* 的比值關係，以及去建立動態的 TRC。動態建立 TRC 演算法如下：

1. 對每個巨集邊緣 M_{ij} 計算其平均亮度值 L^* 。根據 CLELAB 轉換公式，先將 sRGB 色彩空間轉換到 CIEXYZ，式(4)。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

再由 CIEXYZ 轉換到 CIELAB，式(5)~(7)，算出巨集區塊邊緣亮度 L^* 值。

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (5)$$

$$a^* = 500 \left(f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right) \quad (6)$$

$$b^* = 200 \times \left(f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right) \quad (7)$$

統計巨集邊緣平均亮度 L^* 值，統計直方圖如圖 4-3 所示。

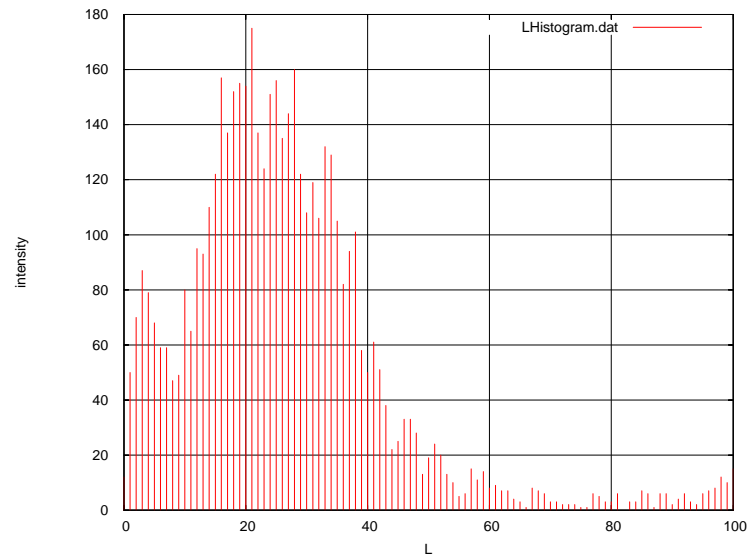


圖 4-4 巨集邊緣亮度 L^* 直方圖

2. 根據(3)式，將統計直方圖等化，也就是 $j \leq L_{initial} < j+1$ ， $L_{target} = L_{initial} \times t(j)/j$ ，

等化結果如圖 4-4 所示。

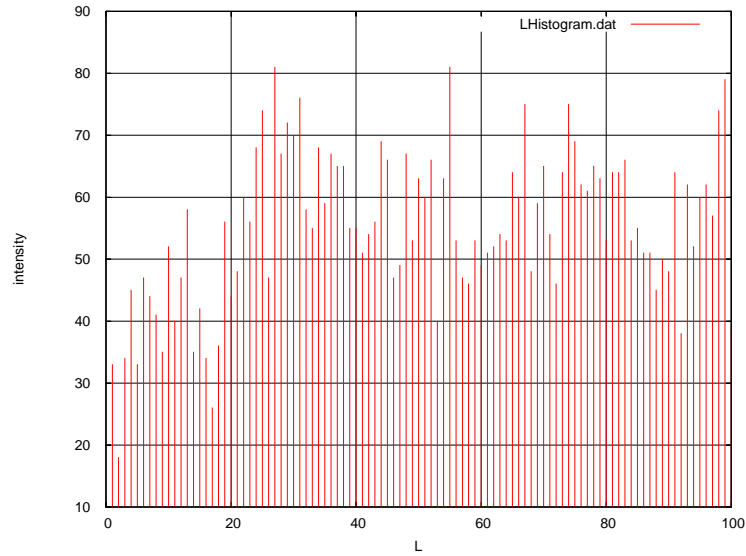


圖 4-5 巨集邊緣亮度 L^* 直方圖等化

假設 $\omega(j) = L_{target} / L_{initial} = t(j) / j$ ，這就是輸出亮度和輸入亮度的關係，也就是 TRC，因此我們根據每張圖的特性，得到了動態 TRC。

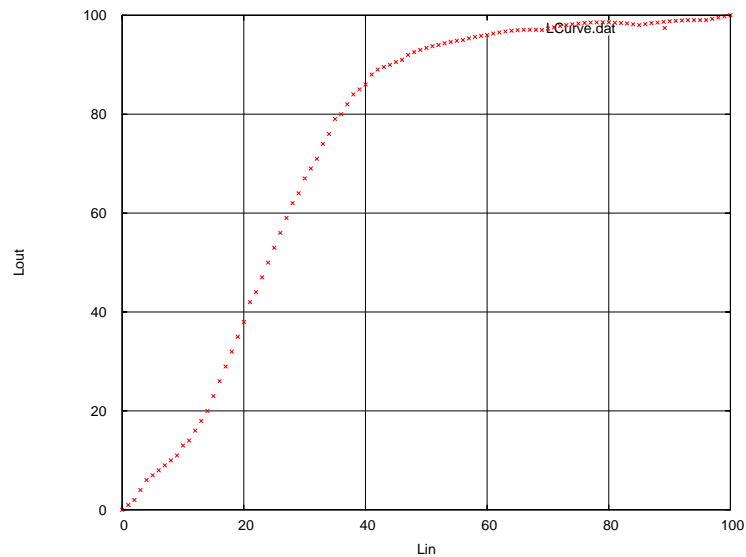


圖 4-6 動態 TRC

3. 如果直接拿巨集邊緣亮度統計直方圖等化所得到的 TRC 結果來做，影像對比會看起來過於強烈，若是對於一般醫學檢驗或是工程檢測應用是可以的，但人眼對於影像對比比較喜歡適中的感覺，所以我們會對 $\omega(j), 1 \leq j \leq 100$ 做適度

調整。首先會限制 $\omega(j), 1 \leq j \leq 100$ 的最大值為 β ，如式(8)所示：

$$\omega(j) = \begin{cases} \beta & , \omega(j) > \beta \\ \omega(j) & , \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

或是將 ω 乘上一個參數值 $\lambda, 0 < \lambda \leq 1$ 來調整所有的 ω 值，即 $\omega' = \lambda\omega$ 。

4. 由於我們在做直方圖等化時，會有一種情況發生，當在計算 $\omega(j) = t/j$ 時，因為 $t(j) = \sum_{i < j} h(i) / \sum_{1 \leq i \leq 100} h(i), 1 \leq j \leq 100$ 並不一定剛好滿足累增 1%。因此我們利用線性差補的觀念，找到他相鄰左右兩邊最近有值點做線性差補，首先找到要差補的 $\omega(j)$ ，左右相鄰有值最近點 $v1 = \omega(j-x)$ 和 $v2 = \omega(j+y)$ ， x, y 代最近相鄰有值點的間隔。差補後的 $\omega'(j)$ 如式(9)所示

$$\omega'(j) = v1 + (v2 - v1)/(x + y) \quad (9)$$

4.4 根據 TRC 調整像素的 RGB 值

得到了色調重現曲線後，於是我們可以調整像素的亮度值。假設像素 P_i 的亮度為 L_i ，根據 TRC， P_i 最後目標亮度值 $L_t = \omega(j) \times L_i, j \leq L_i < j+1$ 。但在做色調重現之前，白平衡及色彩都在前面的影像流程中校正完成，處理色彩的調整時應格外小心。所以新的亮度值 L_t 的調整不在 CLELAB 色彩空間下做，儘管 CLELAB 色彩是亮度和彩度分離，但其實是不完全，由實驗結果可以看出，圖 4-6 左邊是調整 RGB 的，右圖為調整亮度 L^* 。很明顯的調整 RGB，顏色更為自然柔和，與原來色彩較接近。



圖 4-7 比較分別調整 RGB 和 L^*

因此我們要在 sRGB 色彩空間下來調整 RGB 三元素來得到相同的亮度改變 L_i ，sRGB 指的是還未經過伽瑪校正的值。假設知道某一像素 P_i 的三元素值 R_i, B_i, G_i ，而 CIE LAB 色彩空間下的亮度值 L_i ，如何找到比例參數 α 使得三元素值 R_i, B_i, G_i 乘上 α 後為 $\alpha R_i, \alpha B_i, \alpha G_i$ ，可以得到相對應 L_i 。

為了推導出 ω 和 α 之間的轉換關係式，我們先來看如何從 sRGB 色彩空間轉換到 CIE LAB 色彩空間的轉換關係。從 sRGB 轉換到 CIE LAB 色彩空間時，中間會先經過 CIE XYZ 色彩空間，才會轉換到分別代表亮度 L^* 和彩度 a^*, b^* 的 CIE LAB 色彩空間。從 sRGB 到 CIE LAB 的轉換公式如式(4)~(7)，其中 X_n, Y_n, Z_n 為參考白點的三刺激輸入值， R_s, G_s 以及 B_s 分別為 sRGB。

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787t + \frac{16}{116} & t \leq 0.008856 \end{cases} \quad (10)$$

根據(4)，將比例因子 α 帶入線性 sRGB 空間可得到在 CIE XYZ 空間 Y 元素有相同的比例因子。因此可得關係式 $Y_i = \alpha Y_i$ ，其中 Y_i 和 Y_i 分別代表原來的和調整後的 CIE XYZ 中 Y 元素。已知 $\omega = L_i/L_i$ ，從 CIE LAB 到線性 sRGB 的亮度比

