

數位典藏灰階圖照之彩色化技術

Color Transform for Digital Library Grey-value Images

楊豐銘 方鍵 林祺政

cclin@www.tnua.edu.tw

臺北藝術大學 科技藝術研究所

摘要

本文探討數位典藏中灰階圖照轉換到彩色影像間的問題，並提出一個新的方法來加以解決。目前針對灰階影像進行上色的處理上，為求較具客觀的結果，必須先有一張相對應的原始彩色影像，經由演算法的比對和轉換的程序，將彩色影像的色彩資料，移植到灰階影像中，進而得到另一張翻新的彩色影像。但此程序進行的過程中，需要依賴人類視覺的操作，取出適當大小，位置與數量的色塊，達到灰階影像模擬出仿真的彩色影像。在本文中，我們利用四分樹(quadtree)同時自動分析並分割灰階和彩色影像，加上分群(Clustering)演算法的自動轉換，達到自動化上色的目的。

1 簡介

數位典藏的影像，除了求其保存的品質外，若能還原其原先之場景與時空也具有增值應用上的意義，而因為傳統圖照幾乎都為灰階影像，若能讓原來的影像彩色化將增添不少視覺上與虛擬實境上的呈現效果，甚至一些科學運用上的灰階影像若能彩色化，更能提供較佳的辨識性，讓研究者或使用者更為便利和直覺的了解影像中的資訊。

人眼的視覺模式中，對色彩的察覺能力較優於對明暗變化或是灰階的影像。所以在一些科學領域的影像處理中，常見到將灰階影像轉化為彩色影像的應用，如把衛星空照的灰階地形圖轉化成容易辨識的森林分佈、河流、土壤的彩色圖像；這一類的處理過程，經常使用一種查表運算(Look up table)的處理方式，透過使用者自行定義某一灰階值域對映到一指定的彩色值，來將灰階影像中的灰階值轉化成使用者所想要色彩圖像。

上述的查表操作的方式，又可稱做虛擬顏色(Pseudo color)的產生方法。在以照片為主的數位典藏影像中，大多是社會生活的一些記實性影像，並不適合用於從使用者自行定義灰階與色彩對照表中，去謀合一張帶有豐富色彩訊息的影像，要定義出一個具有真實世界代表顏色的對照表，這是相當困難且繁瑣的過程，而且也難以模擬出真實的色彩。

鑑於以上的原因，最近提出另一種方法[4]，是經由一張彩色的比對影像為上色過程中的比對依據，經由使用者以較為直覺的指定方式，在灰階影像和彩色影像中建立起色彩對映的樣本區塊群，再經由區塊的相似性比對使原灰階影像具有較為真實的色彩資訊。

在本文中，以上述的彩色比對影像方法為基礎，提出另一個更為便捷的上色方

法，務求減少使用者介入的指定程序。在一張彩色影像中，先將其原本數位色彩空間(RGB color space)轉換成另一色彩空間(Lab)，可分出彩色影像中的明度和彩度，接著經由影像分群[4]來取得具代表性的紋理，開始進行對灰階影像的區部上色和全域上色[3]，最後可使原灰階影像具有較為真實的色彩資訊。

2 彩色轉換演算法

在本文灰階影像彩色化的研究裡，採用了下述的演算程序來將原來參考比對的彩色影像資訊轉換到灰階影像，以達到將灰階影像彩色化的目的。首先，分別對參考的彩色影像 C 和灰階影像 G 進行和紋理(Texture)分佈有關的分群處理，並取出具有紋理群集的代表性區塊(Cbi, Gbi), $i=1..n$ ，又將這些彩色影像和灰階影像的代表性區塊進行最合適的匹配處理。接著，針對這些已經是最具相似性的每一對區塊進行上色處理，即將彩色區塊裡色彩資訊(色度和飽和度)轉換到灰階區塊，同時保留了灰階區塊的明亮度(luminance)。

完成了前面的區塊上色之後，利用這些在灰階影像中已經順利上色的區塊，以取樣的方式來得到一定數量的紋理特徵和色彩資料；而這些取樣後的樣本資料，便做為灰階影像中未上色區域中的參考樣本，以使用紋理比對的方式將最適當的色彩資料一一轉換到未上色的灰階區域。經由上述各階段的處理程序，即可得到和參考影像有著近似彩色效果的影像。

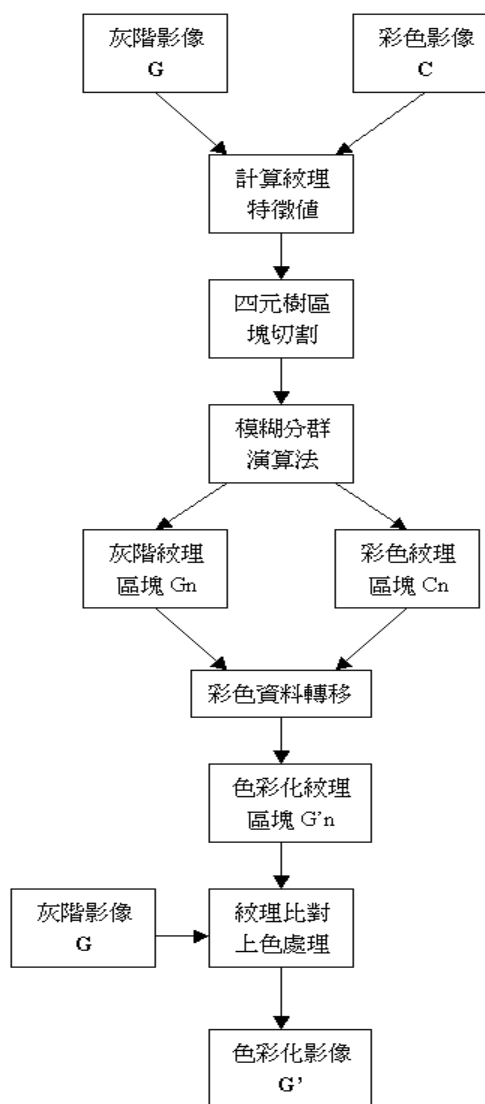


圖. 色彩化演算法

2.1 影像的紋理分群

我們對影像紋理分群的方法是由影像切割(Image segmentation)的技術延伸而來，是藉由影像分割後所得的紋理特性來達到分群的結果。就影像切割的方法來分類，大致可分為三類：一是群聚分類法(Clustering) [7, 8]，二是邊界為主分割法(Boundary-based segmentation) [9]，以及區塊為主分割法(Region-based segmentation) [1]。

我們根據區塊為主的影像分割技術

再結合四元樹結構的切割方法，完成初步對影像紋理的分群。區塊為主的分割方法是利用影像各個區塊中資料的相似性，由較小範圍逐漸成長到進行適當的區塊合併。以下開始介紹影像分群的流程：

(1) 量化色彩空間 (Color space quantization)

對一張影像中的每一區域而言，應包含了具有某種均勻分布特性的紋理圖案。將這些紋理的顏色加以量化後，便可使用色彩的量化資訊來建立較為簡化的像素記號 (pixel label)，也降低在分群時的計算時間。

像素記號是把原本影像中的色彩空間的值域經由量化過程，以取得其分類記號；每一分類記號即代表色彩空間中的某段域。而這些由像素記號所組成的平面結構可稱之為分類映對圖 (class-map)。分類映對圖 (class-map) 可視為一組在二維平面座標所呈現的特別資料[10]。

(2) 影像分割 (Image segmentation)

使用四元樹的切割方式，將一張影像由大至小逐次的遞迴進行對區塊的切割。首先計算是否應進行切割的門檻值，此值是由原始的一整張影像而得；再根據此一區塊的變異數加總和此門檻值進行比較，當此一區塊的變異數總和大於門檻值時則進行四元樹切割以得到四個子區塊。取得四個子區塊後，再對每個區塊遞迴進行是否進行四元樹切割的處理。最後，其經過切割後的每一子區塊皆滿足對門檻值 (此一門檻值在切割過程中保持不變) 的要求，或是達到了最小區塊的要求。

(3) 區塊特徵值 (Block feature value)

在每個區塊的分類映對圖中取其 J 值 (J-value) [1] 和平均值 (mean) 來作為影像在進行分群時的參考依據。J 值在其性質上，可用來評量在一張分類映對圖中的所有分類的像素記號彼此之間的差異性。若 J 值愈高，表示在此一分類映對圖裡的分類具有相當的群聚性，應可加以區分和辨別。區塊中的平均值可用來約略表示此一區塊的整體明度或色彩飽和度。若平均值愈高即表示此區塊的明度值愈高，反之亦然。

(4) 區塊特徵分群

在經由四分樹切割的影像區塊中，將每一區塊取出其特徵值 (J 值和平均值) 來進行區塊分群的歸類處理。

在此處，將每一區塊的 J 值和平均值來做為二維的特徵向量，再透過模糊分群法來取得適當的區塊紋理群類。經由模糊分群處理，可得到合適的特徵值群聚，而每一群聚皆具有其代表性的特徵向量，即之前所描述的 J 值和平均值。

(首先，對彩色影像進行模糊分群的處理後，可得一定數量的具有代表性的區塊，接著以這些區塊數量設為找尋灰階影像中的代表性區塊的數目)

2.2 分群的區塊色彩轉換

在兩張影像 (色彩影像和灰階影像) 進行紋理分群的處理之後，接著就是從這兩張的代表性區塊找出最合適的區塊比對，以進行色彩空間中的彩色資料的轉換。

(1) 分群區塊比對

在從彩色影像所得到的代表性區塊 (Bc1, Bc2, ..., Bcn) 和灰階影像中的代

表性區塊(Bg1, Bg2, ..., Bgn)進行最相似性的比對。採用的方法是，從上述兩類的區塊中以其特徵值(J-value 和 mean)來進行距離的計算，且找出其最小距離的組合。

(2) 色彩空間轉換

對最相似的兩區塊(彩色和灰階)進行色彩資料的轉移，首先須把原本的 RGB 色彩空間轉換成 lab(L α β)的色彩空間[2];把彩色區塊和灰階區塊的色彩資料分成兩部分，分別是表示色彩強度(明度)的 L 值(luminance)，和表示色彩樣式(色相)的 α 值和 β 值。其公式如下[6]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$l = \log L, m = \log M, s = \log S$$

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ m \\ s \end{bmatrix}$$

接著以灰階區塊的明亮度分布為主，去調整彩色區塊的明度值以減少兩區塊的差異度[5]:

$$Y(p) \leftarrow \frac{\sigma B}{\sigma A} (Y(p) - uA) + uB$$

$Y(p)$ 是指彩色區塊中每點像素的明度值， uA 和 σA 表示彩色區塊中明度值的平均值和標準差，而 uB 和 σB 則表示灰階區塊中明度值的平均數和標準差。

(3) 色彩資料轉移

對每個彩色區塊中的像素分別進行緊湊抽樣(jittered sampling)，取出其樣本中的色彩資料(包含明度值和色度)。而

每個分別從彩色區塊所取出的色彩樣本中的明度值，則分別和其配對(最高相似度)的灰階區塊中的每點像素的明度值進行尤拉距離的計算，且找尋其最小距離的彩色樣本像素。

進行比對的灰階區塊的每點像素，在取得與其有最小距離的彩色樣本像素後，即可把此彩色像素的色度(α、β)視為此灰階像素的色度資料。經由新取得的色彩資料，即可再次進行色彩空間的轉換:

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{6}/6 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

$$L = 10^l, M = 10^m, S = 10^s$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.4679 & -3.5873 & 0.1193 \\ -1.2186 & 2.3809 & -0.1624 \\ 0.0497 & -0.2439 & 1.2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}$$

3 灰階影像的全域彩色化

在將灰階影像中的代表性區塊進行彩色化之後，便不再須要彩色影像中的取樣像素的色彩資料，而利用灰階影像中已進行上色的區塊進行紋理取樣的工作，來對整張影像進行全域上色的處理。

在這裡採用的材質合成方法有以下步驟[3]:

- (1) 設 I 為此一灰階影像，其中包含了已經進行彩色化後的所有區塊 I_c ，和未進行彩色化的所有灰階區塊 I_g
- (2) 設 P 為彩色區塊 I_c 中的取樣像素，且 $w(P)$ 是以 P 為中心的方形影像區塊，其寬度為 w ；在此處我們採用的寬度 w 為 5，即是一個 5x5 的彩色區塊。
- (3) 定義一組集合以便找尋灰階影像和取

樣的彩色區塊將具有最高相似性：

$$\Omega(p) = \{w' \subset Ig : d(w', w(p))\}$$

- (4) 將 Ig 中的每一像素和其鄰近區塊 w' 和所有的彩色取樣區塊 $w(p)$ 進行距離的計算，且找出具有最小距離的彩色取樣區塊，其距離計算的方式如下：

$$d(Sn, Tn) = \sum_{p \in n} [Sn(p) - Tn(p)]^2$$

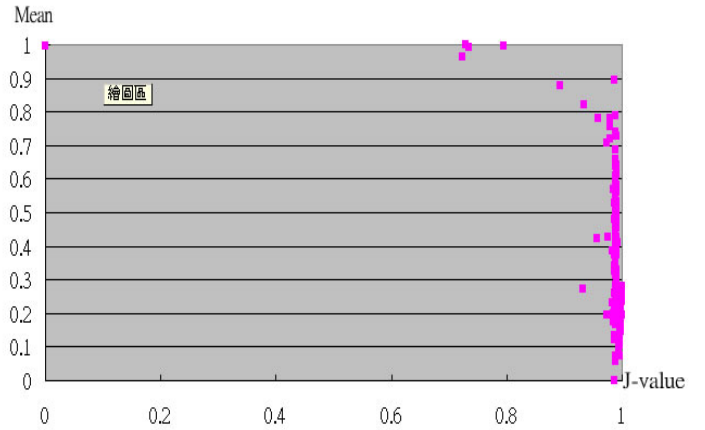
$Sn(p)$ 表示為取樣的一彩色區塊，而 $Tn(p)$ 表示為一欲進行紋理比對的灰階區塊。

- (5) 利用距離公式的計算，在灰階區塊中每點像素 Pg 和其相鄰區塊 w' 來和所有的彩色抽樣區塊進行比對之後，可得具有最小距離的彩色區塊 $w(p)$ ，就可把此點彩色像素 p 的色彩資料 (α 和 β) 轉移到 Pg 中。如此，便將色彩資料順利的轉換到合適的灰階像素中，且不改變其原來的明度。

4 實作與系統



(a) 模糊分群的色彩影像

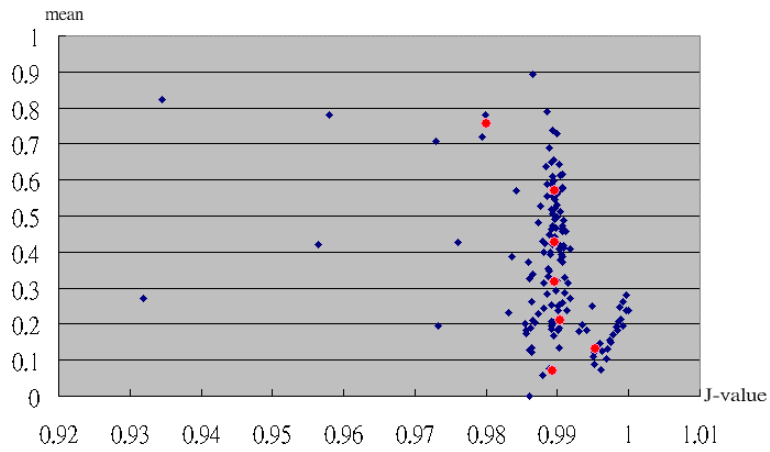


(b) 特徵值分佈圖

圖 a 為進行模糊分群的色彩影像，取出的特徵值分佈圖 (分類映對圖中切割出的區塊 J 值和平均值) 圖 b，由上圖可知 J 值的分布大多集中在 0.9~1 之間，而平均值則較分布的較為均勻。以下是經由模糊分群後所得的結果：

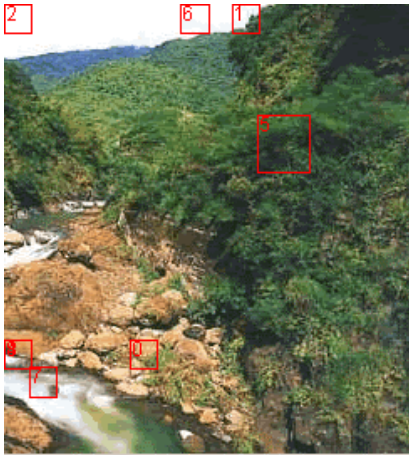
分群結果	J-value	Mean(平均值)
1	0.989358565	0.07135
2	0.979977607	0.757161
3	0.989640154	0.571387
4	0.989676921	0.317184
5	0.995293514	0.132067
6	0.990429282	0.208883
7	0.989664162	0.427558
8	0	0.996638
9	0.733760152	0.993601

然後以下是局部的分布情形 (J 值定為 0.9~1 之間，紅點表示模糊分群後所得到的代表性特徵值)：

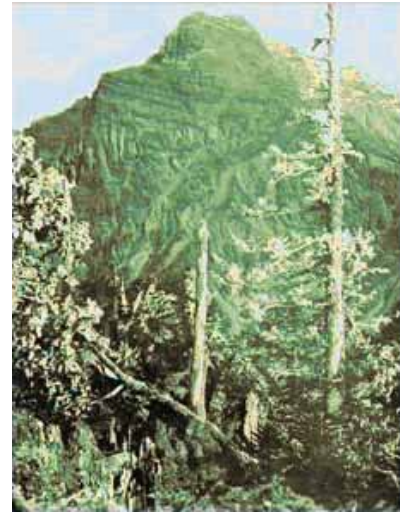


(c) 紅點表示模糊分群後所得到的代表性特徵值

利用已取得的代表性特徵值對彩色影像進行相似比對，以便取得代表性區塊，然後利用取得的代表性區塊，對灰階影像進行比對後，進行局部的區塊上色結果後，最後進行全域上色。



(d) 原參考圖



(g) 全域上色



(e)原圖 1



(f)局部上色



(h)原圖 2



(i)上色圖

而本系統已經實作雛形並至於數位博物館網站中，利用 Java 等 webstart 平臺供

使用者自由下載並推廣到個人數位化影像之彩色化工作。

5 討論與未來工作

灰階影像的上色過程中，當原影像的品質不高，如模糊、破損、雜訊等情況發生時，上色後的效果還是無法完全呈現出彩色影像所具有的色彩表達能力。而所挑選出來作為色彩樣本群的彩色比對影像，也須具有與原灰階影像具有一定程度的相似性，如紋理、明暗的表現，方能得到代表性的色彩資訊，以完成一張具有豐富色彩的彩色化影像。

在對原有灰階的影像的色彩化程序中，為了要求盡可能保留原有灰階影像的訊息，所以上色的過程中保留其原有的明度(luminance)而添加了色彩資訊(hue)，來達成初步的上色目標。在後續的發展中，可將原有明度的保留不視為其必要條件，可再經由影像的修補(inpainting)和紋理的合成(synthesis)來著手，使影像色彩化的處理不只是著重於色彩空間的轉換和加值，更可經由更多重的程序來完成一張即保有原影像的內容訊息，又具備了在形式上(紋理、色彩)的豐富表現性，不只具有充足的資訊表達能力，更加強了在藝術上的表現。

本系統目前已應用於數位博物館圖照館藏，未來將更進一步達到(a)更好更自動化的上色效果與(b)即時黑白動畫上色等目標為未來工作。

6 Reference:

[1] Y. Deng, B.S. Manjunath, and H. Shin, "Color Image Segmentation", Proc. Of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern

Recognition"(CVPR), 1999.

[2] L. Zhang, "Comparison of Fuzzy c-means Algorithm and New Fuzzy Clustering and Fuzzy Merging Algorithm," Professional Paper, 2001 May

[3] A. Hertzmann, Charles E. Jacobs, N. Oliver, B. Curless, and David H. Salesin, "Image Analogies," In Proceedings of ACM Siggraph 2001, pp.341-346.

[4] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley, "Color Transfer between Images," IEEE Computer Graphics and Applications, September/October 2001, 34-40

[5] N. Kehtarma, J. Monaco, J. Nimtschek, A. Weeks, "Color Image Segmentation Using Multi-scale Clustering," IEEE Image Analysis and Interpretation, 1998, pp.142-147

[6] T. Uchiyama, M. A. Arbib, "Color Image Segmentation Using Competitive Learning," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 16, no. 12, pp.1197-1206, Dec. 1994

[7] M.A. Ruzon, C. Tomasi, "Color Edge Detection with the Compass Operator," IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, 1999, pp.160-166

[8] Y. Deng, C. Kenney, M.S. Moore, and B.S. Manjunath, "Peer group filtering and perceptual color image quantization," to appear in Proc. Of ISCAS, 1999

