

有效基於模糊分割技術的中國水墨畫著色演算法

An Efficient Colorization Algorithm to Chinese Ink Paintings

Using A Fuzzy Segmentation Technique

王宗銘 游世安 黃明隆 洪國綸 李佳豐

國立中興大學資訊科學研究所

cmwang@cs.nchu.edu.tw、capyu@ms66.hinet.net、sk8board@ms34.hinet.net

idkfa2@pchome.com.tw、paulleek@ms66.hinet.net

摘要

本文針對傳統中國特有的水墨畫提出一個有效的著色技術，能夠將原本僅為水墨渲染的灰階圖畫予以上色，轉變成為具有豐富的色彩變化，並且保留畫中大量留白(Voids)的特性。現有的著色技術(Colorization Technique)運用在一般影像上有不錯的效果，但無法是運用於水墨畫上，主要是因為水墨畫具有筆劃交錯的極小縫隙與筆墨渲染(漸層)，以及背景的留白之處。為了有效解決水墨畫的上色問題，我們利用影像遮罩(Image Mask)的概念，有效地為水墨畫上色，並且仍然保存留白的特性，以及物件之間的細微留白處亦可被保留住。我們的作法主要分為三大部份：(1) 著色部份：利用Yatziv提出的最新著色技術，配合過度渲染畫法技巧，確保灰階影像所有細微之處都能上到顏色[18]；(2) 影像分割部分：先將灰階影像作亮度的調整，再利用模糊分割技巧(Fuzzy Segmentation Technique)將調整過後的影像進行分割處理，將其前景與背景分離；(3) 過度渲染濾除：以模糊分割的結果作為影像遮罩，將原始灰階影像與過度渲染後的彩色圖畫三者合併；經由以上三個步驟即可完成將水墨畫上色的工作。本文是首創將著色技術使用於灰階水墨畫，演算法具有四項優點：(1) 為物件上色簡易；(2) 演算法效果佳；(3) 處理過程快速；(4) 保留國畫原有特性。

關鍵字：著色演算法(Colorization Algorithm)，中國水墨畫(Chinese Ink Paintings)，影像遮罩(Image Mask)，模糊分割技術(Fuzzy Segmentation Technique)。

一、簡介

近年來在電腦繪圖領域中，除了探討彩色影像間的色彩轉換議題[3, 4, 16]，灰階影像轉換成彩色影像亦是另一各熱門的研究議題，灰階影像轉換成彩色影像的技術對於以往的黑白影像與電影能夠給予不同感覺的生命力，甚至於提高這些影像與電影的價值性，因此對於此一技術更深入的探討是有必要的。

Welsh 透過使用一張彩色的參考影像，來對灰階影像做上色的處理，為了更進一步提升演算法的效果，Welsh 允許使用者自行定義色彩的轉換區塊，對於未被使用者選取到的部份，則使用材質合成的概念，尋找具有相類似特徵的小區塊，以覆貼的方式完成其餘部分的上色，不過此方法將產生兩項缺點：(1) 覆貼過程中，尋找相似區塊的速度較慢；(2) 物件與物件之間的邊緣部份，可能產生較突兀的視覺效果(Artifacts)[17]。為了解決上述問題，Chen 利用貝氏影像分割技術(Bayesian Image Matting)[5]，先將影像中的物件一一分離，隨後再

由使用者直接指定欲轉換的色彩，他們的演算法效果的確優於 Welsh 的技術[5]。Welsh 與 Chen 共同缺點是，他們的技術僅能使用於物件較為簡單的影像上，對於具有較多細緻物件的影像，如中國水墨畫，他們的技術均無法適用。

Levin[9]與 Yatziv[18]兩位學者都是假設亮度與顏色有著非常密切的關係，亮度的變化相對的也會引其顏色的變化，鄰近區域亮度相似的地方應該會有相似的顏色，而亮度陡然變化的區域通常是顏色的邊界，有著不同的顏色分佈，以此為基礎，透過不同的顏色權重設計，Levin 與 Yatziv 都發展出快速且效果不錯的著色技術，使用於一般自然界影像效果相當不錯，不過，當使用於水墨畫上時，則因畫中常有筆墨渲染與毫芒筆鋒之處，以及留白的部份，而較難恰到好處地將色彩擴散均勻，導致產生過度渲染或是渲染不足的情況，所以，為國畫上色時，需要特別仔細地慢慢給予色彩，甚至需要不斷地重複測試，才能繪製出令人滿意的結果，花費的精神與氣力都不可小覷，如此對於一般未具有國畫藝術背景的使用者而言，他們的技術使用上較不便利。

早期，許多國畫大師的作品均為使用水墨繪畫而成，透過水墨的濃淡程度可以表現出明暗深淺不同的光影變化，此為水墨畫的一項特性，國畫的另一項特性是大部分的作品均會留下許多空白處，可令觀賞者增添想像空間，稱此為一留白 (Voids)，這是國畫相較於西方繪畫的獨特之處，但是有許多的創作雖然氣勢恢弘，但我們認為若是能夠為其增添色彩，或是轉變成一幅全彩的國畫，賦予它新的生命，除了欣賞筆墨的勁道與運筆的流暢之餘，亦可欣賞不同感覺的全彩國畫，以使作品主題更為生動逼真，躍然紙上。

為已存在的國畫上色確實不是一項簡單的任務，存在幾個必須考慮的問題；(1) 使用者的繪圖能力：大多數人並不具備臨摹仿效國畫創作的的能力，運筆也絕非大師般流暢與細緻，若是企圖重新繪製或是予以著色，也難以保證其結果可以令大多數人所接受，即使使用一些常用的繪圖軟體彩繪，

如 Photoshop 或是 PhotoImpact，也是一件困難且複雜的工作；(2) 細微資訊的保留：國畫中常有一些很細緻的物件如花、草、樹木等，難保不將色彩過度塗抹或是渲染過度，即使使用一些現有的著色技術來執行這項工作，也很難將細微的部份上色的恰到好處，經常發生過度渲染或是渲染不足的狀況；(3) 國畫的留白與水墨漸層：國畫中經常有許多大小不等的留白，有些藝術家甚至以留白為技巧來描繪雲、溪流、瀑布，甚至於是霧，除此之外，更是有水墨漸層存再於畫中物件之間，由此，當我們欲為水墨畫上色時，留白與水墨漸層處，均需被保留住；(4) 水墨畫灰階資訊較少：灰階水墨畫的資訊不如一般性影像那麼多，例如，一般性影像具有較明顯的邊界，而水墨畫則不然，儘管有一個效果不錯的著色技術亦是難以一肩挑起臨摹大師作品的大樑。有鑑於上述四個問題，當欲為水墨畫上色時，勢必需要其他的方法來執行著色的工作。

本論文中，透過影像遮罩 (Image Mask) 的概念，提出一個有效的上色技術來解決上述的問題。我們利用模糊樣式辨識 (Fuzzy Pattern Recognition) 技術 [7]，將水墨畫的前景與背景物件分割出來作為影像遮罩，有了此影像遮罩，使用者可以隨意地水墨畫塗色，而無須擔心色彩過度渲染的問題，於國畫上完色彩後，再透過我們建立的影像遮罩將過度渲染的色彩濾除，最後再與原始灰階影像加以合成；經由我們提出的演算法可有效地使結果影像的背景依然留白，前景物件則是色彩豐富、生動活潑，畫中的細微資訊，如物件之間的細微間隙，依然可被保留住，不僅保留水墨畫原有的意境，更增添許多色彩，使水墨畫呈現出不同的風貌，更為地賞心悅目，而達到為水墨畫著色的目的。

本文架構如下：第二節簡介灰階影像轉換成彩色影像的相關研究；第三節說明我們的演算法原理與流程；第四節說明與展示試驗結果；最後總結本文與建議未來工作。

二、相關研究

目前對於灰階影像轉換成彩色影像已有許多學者投入此相關研究，其中，具代表性的有 Welsh, Chen, Levin與Yatziv[5, 9, 17, 18]。這些技術大致可分為兩類：(1) 色彩由一參考影像提供；(2) 色彩由使用者塗繪；Welsh與Chen的技術屬於第一類，而Levin與Yatziv則屬於第二類。而我們擬提出之技術則屬於第二類。

Welsh利用一張彩色的參考影像與灰階影像，搜尋比對整張影像中，亮度的相似之處，當找到最相似的亮度時，再將參考影像上的色彩移轉到灰階影像上[17]。Welsh採用 $\alpha\beta$ 色彩空間來轉移色彩(l 為亮度頻道， α 為黃-藍頻道， β 為紅-綠頻道)[13, 16]，主要是因為該色彩空間的三個頻道，彼此間具有較高的獨立性，也就是它們之間的關連性較低，改變其一不會影響到其餘兩者，所以當轉換 α 、 β 色彩資訊至灰階影像時，仍可以保留原本灰階的亮度，而不受色彩的影響。為了更易於找到合適的對應亮度區域，Welsh調整彩色的參考影像，使彩色影像的亮度分布能夠接近於灰階影像的亮度分布，以避免有太多具相同亮度卻不同色彩的區塊出現，如此可以不必改變灰階影像的亮度便可以較容易地找到合適的對應區域，除此之外，為了獲得更佳的效果，Welsh提出另一個方法叫做 Swatches，可以透過人工的方式去指定欲轉換的色彩區塊，以避免具有相似亮度值的區域，配置到錯誤的顏色。

Chen以Welsh的技術為概念，特別針對Swatches技術的部份做改善，由於Welsh所使用的Swatches的技術是允許使用者自行定義色彩的轉換區塊，對於未被選取到的部份採用材質合成的覆貼技術補足，不過，此方法在物件與物件之間的邊緣處將產生不好的效果，邊緣部份的色彩無法混合在一起，為了解決此一問題，Chen採用貝氏影像分割技術(Bayesian Image Matting)[5]，透過此技術，可將灰階影像中的物件一一摘取出來，再個別指定欲轉換的色彩，最後再將所有的物件合成，以及使得物件的邊界色彩能夠充分的混合。

Levin提出一個能夠與使用者達到互動的方

法，由使用者將顏色塗繪在部分灰階影像區域之上，再依據亮度差異與權重計算找出鄰近點的顏色，逐步擴散出去，Levin主要的假設是：「鄰近的像素若具有相似的亮度則通常也會具有相似的顏色」，所以若亮度改變時顏色也會跟著變化，依據上述的假設可以計算出鄰近區域內點的顏色[9]。透過這種演算法計算像素的顏色感覺就像將顏色擴散出去一般，不需要先對圖先做切割(Segmentation)或是追蹤(Tracking)，只需要使用者在每個區域塗上想要的顏色即可。

隨後，Yatziv也提出了一個可由使用者自行上色的著色演算法，不過，不同於Levin的技術，Yatziv依據像素之間的亮度差異來計算不同顏色混合比重，進而將顏色擴散出去[18] (<http://mountains.ece.umn.edu/~liron/colorization/>)。Yatziv的方法與Levin相較之下是較為細密的，不僅計算兩點間的亮度差異，還將其他可能影響該點的顏色都考慮進去，計算不同顏色的混合比重，以此作為色彩混合的依據，所計算出的顏色變化是包含許多不同的顏色所混合而成，並非僅單一顏色的計算結果，比重越重的顏色也就越深，也因此Yatziv的方法其效果優於Levin所提出的方法。

當直接以現有的技術為灰階影像上色時，我們發現對於較一般性的灰階影像，如風景等，現有的技術對那些影像均有不錯的效果，不過，當使用於中國水墨畫時則不然，因為水墨畫通常較無明顯的邊界，即使有「視覺上」的邊界，實際上這些邊界上均有灰階漸層，致使色彩擴散至其他具留白的部份，因此現有的著色技術無法直接使用於中國水墨畫上，需有其他的技術或是其他方法的輔助才能夠完成這項任務，我們擬提出一個有效的方法來為中國水墨畫上色。

三、演算法

由於目前現存的著色技術已有不錯的效果，如Yatziv所提出的最新技術，因此我們以Yatziv的著色技術為基礎，期望能夠提出一個較簡單且有

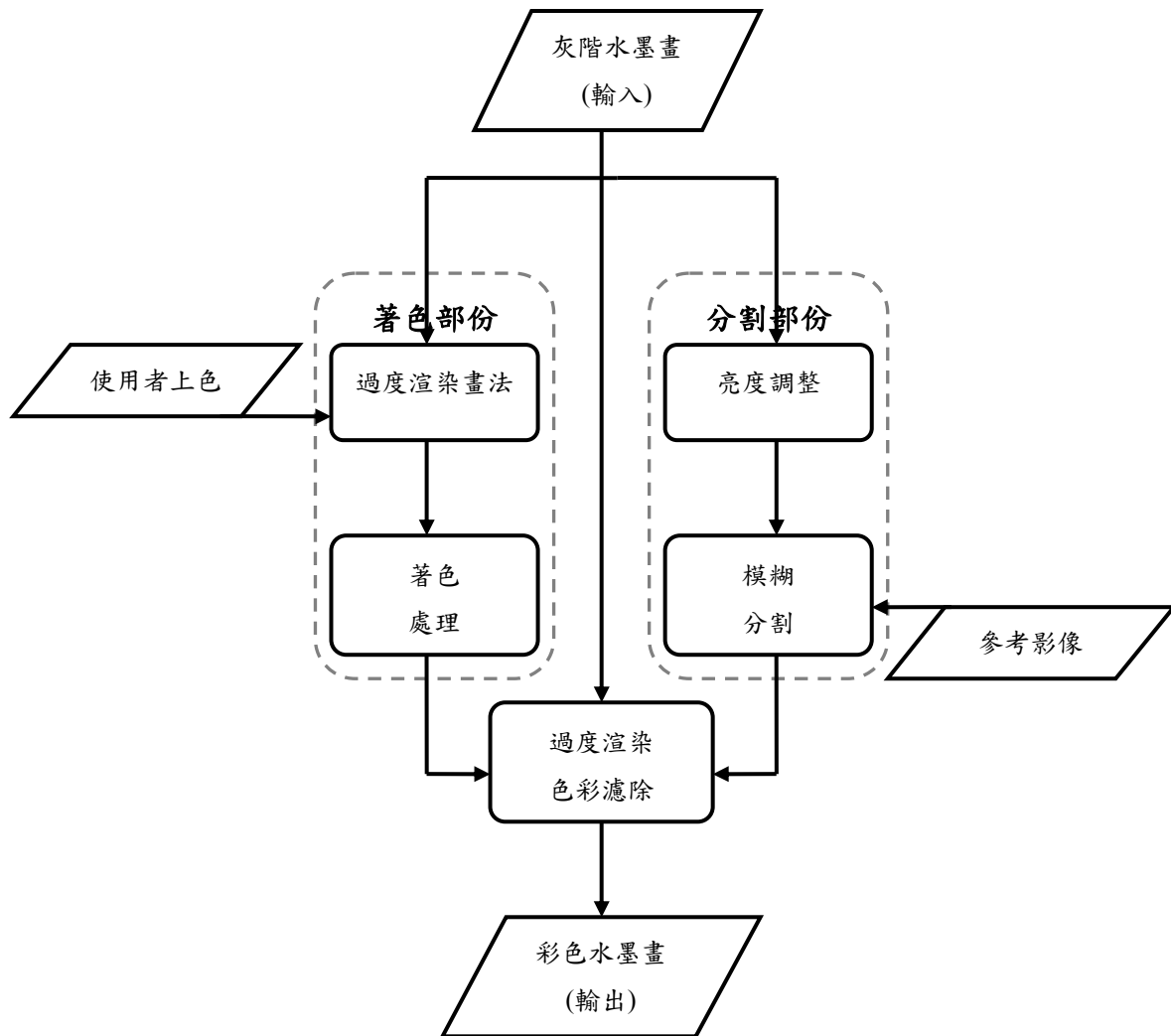


圖 1：演算法流程圖。

效的方法來解決為水墨畫上色的問題。我們提出的演算法流程如圖 1 所示，主要分為三個部份：(1) 分割：由使用者提供一全彩的參考影像，對灰階水墨畫作模糊分割，以做為影像遮罩；(2) 著色：由使用者先對灰階水墨畫中的物件給予色彩，再由著色演算法處理，使色彩產生過度渲染的效果；(3) 過度渲染色彩濾除：利用影像遮罩，將色彩過度渲染之處濾除，並且將濾除後的效果與留白及細微資訊合成；接下來我們針對這三個部份個別加以說明。

3.1 分割部份

在分割部分中，又分為兩個小部份：(1) 亮度調整；(2) 模糊分割；由於日常生活中所取得的影像大部分均為彩色影像，這也包括了近代的彩色中國國畫，因此我們所新發展出來的模糊分割技巧主要是為彩色國畫的處理所發展出來的，因此我們先針對模糊分割這部分先加以說明，而當此技術欲使用於灰階水墨畫時，僅須對其先做亮度的調整，故亮度調整部分於稍後再加以說明。

3.1.1 模糊分割

由於為水墨畫上色時，現有技術所產生的結果往往會有過度渲染的情況發生，因而破壞了水墨

畫原有的特性—留白(Voids)。留白是中國傳統水墨畫與西方世界的繪畫最大的不同點，留白提供給觀賞者有著無限的想像，山水畫更是如此，因此當我們對水墨畫上色時，留白的問題必須小心處理，我們必須將留白的部份予以保留下來，即必須將畫中的物件(前景)與留白(背景)分割開來。

當我們企圖對水墨畫作分割處理時，發現傳統的分割技術無法勝任，因為水墨畫中的灰階變化度很大，甚至有些時候，畫家會以淡灰色作為留白，如畫中的雲、溪流與瀑布等，因此若採用傳統的方法，如 K-Means，無法得到較好的分割效果，因此我們考慮採用另一新的技術，稱為 Image Matting，不過，由於此技術在欲將影像中某各物件取出前，須由使用者對欲摘取的物件，於物件的邊界上選取未知區域(unknown region)[1, 2, 5, 8, 10, 11, 12, 14, 15]。儘管分割效果良好，不過對於水墨畫而言，欲圈定未知區域是比較困難的，因為中國國畫中的物件，有些很細緻，有些更具有鏤空的效果，欲達到的良好的分割效果則必須作多次的摘取，而後再將多次的分割結果組合在一起，使用上非常不方便，因此我們必須尋求其他更方便且分割效果也不錯的解決方法。

為了能夠以較簡單並且有效的方式將畫中物件與留白部份分割出來，我們利用一張全彩的參考影像，透過計算水墨畫與參考影像間於亮度頻道(Luminance Channel)的關係以區隔出畫中物件與留白之處。我們認為：(1) 全彩的參考影像所包含的灰階度較水墨畫廣泛；(2) 水墨畫留白的特性是一般影像所沒有的；基於以上兩點，我們透過演算式(1)計算畫上每一像素與參考影像之間的關係程度，我們稱此為模糊關係數(Fuzzy Relation Value)，此數值的區間為[0~1]，數值越小代表關係越低，反之關係越高[7]。

$$F_i = \exp \left[- \left(\frac{G_i^l - \mu_r^l}{\sigma_g^l + \sigma_r^l} \right)^2 \right] \quad (1)$$

此處 F_i 表示每一像素的模糊關係數， l 表示影像的亮度頻道， G_i 為灰階亮度值， μ 為平均值， σ 為標準差， g 與 r 分別表示灰階影像與參考影像。為了能夠分析出留白與物件的分隔點，我們測試了 15 組不同風貌的彩色山水畫，搭配不同的 15 張全彩影像，以亂數的方式相互配對，計算出他們的模糊關係數，並且加以排序，由小至大，曲線圖如圖 2 所示，由於國畫均有共同的留白特性，其差異僅於留白多或少，因此我們認為 15 組測試模型便有其公信力，接下來我們將此 15 組數據算出每個區間的平均數，曲線圖如圖 3。

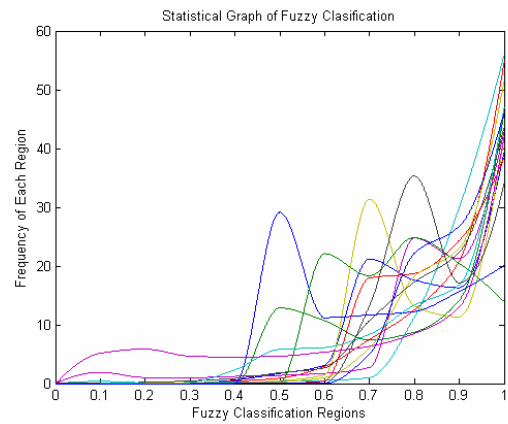


圖 2：針對 15 幅中國山水畫，計算其與目標影像每一區間之模糊關係數的頻率統計圖。

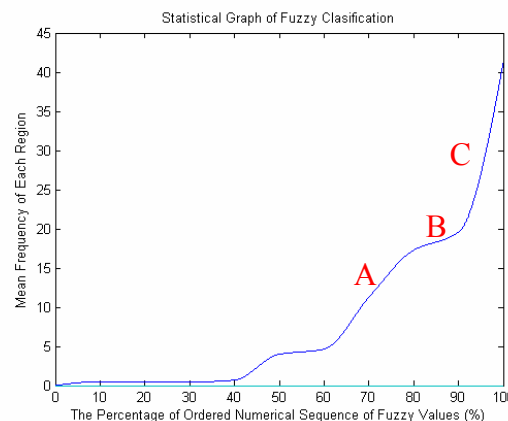
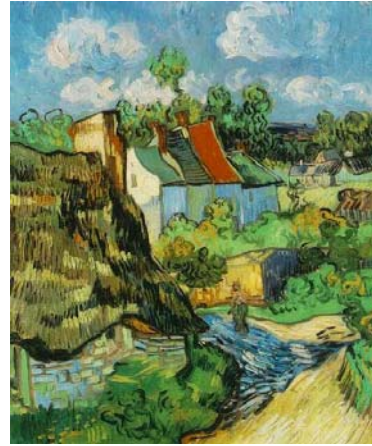


圖 3：進一步將此 15 幅山水畫的每一區取其平均數所獲得之曲線。



(a) 彩色山水畫。



(b) 參考影像。



(c) 分割後之結果。

圖 4：此分割影像明確地指出山水畫與參考影像中，具高關聯性與低關聯性的像素位置，確實地將前景與背景分割出來，白色表示具高關聯性的部份，為物件部分，黑色表示具低關聯性的部份，為留白部份。

圖 3 中有兩變化較大的區間，分別為 60%至 80%的 A 區間，以及 90%至 100%的 C 區間，由於中國山水畫中均有大量留白之特性，與畫中物件有很明顯的區隔，由此可以推斷 A 區間即為留白處，因為與參考影像的關係較低；B 區間為畫中物件的部份，因為與參考影像的關係則較高。

在此二個區間之間有一段變化較為平緩的區間 B，其範圍為 80%至 90%的部分，此區間即為留白與物件的邊界區域，具漸層效果的部分，因此，為了能夠確實地將畫中留白以及物件分開，於計算分割的門檻值(Threshold Value)時，我們以區間 B 作為區隔，例如當我們取 85%時，則門檻值 T 為 0~85%之間所有模糊關係數的平均值，經由我

們的試驗，演算式 2 中的 P 值取 80~90%均確實能夠獲得不錯之效果，如圖 4 所示。

$$T = \frac{1}{\lceil n \times P\% \rceil} \left(\sum_{i=0}^{\lceil n \times P\% \rceil} F_i \right) \quad (2)$$

3.1.2 亮度調整

由於我們主要的目標是為灰階的水墨畫上色，當欲以上述的方法使用於灰階水墨畫上之前，必須對灰階水墨畫作前處理，因為在灰階水墨畫上常有一些近乎與留白相同程度的淡灰色，這些部分



(a) 灰階水墨畫



(b) 加強過後的效果



(c) 分割效果

圖 5：我們提出的方法亦確實能將灰階水墨畫物件與留白部分的分割。

我們必須使他們夠確實地與留白之處分隔開來，因此我們對灰階水墨畫的亮度作些程度上的修正。計算灰階影像的亮度平均值，而後以此平均值做為門檻值，小於此門檻值的亮度，該亮度則減去平均值的四分之一，大於門檻值的則加平均值的四分之一，如演算式(3)，此處 $GP_{i_enhance}$ 表示加強後的灰階像素， GP_i 表示原始的灰階像素， GM 表示影像的像素平均值；以同樣的方式重複兩次，如此即可將比較細微的部份突顯出來，而後再使用上述的分割技術為灰階水墨畫做分割處理。如圖 5 所示，我們提出的方法確實能夠為灰階的水墨畫物件與留白的分割處理。

$$GP_{i_enhance} = \begin{cases} GP_i - \frac{GM}{4} & , GP_i \leq GM \\ GP_i + \frac{GM}{4} & , GP_i > GM \end{cases} \quad (3)$$

3.2 著色部份

在著色部份中，分為兩個小部份：(1) 過度渲染畫法；(2) 著色處理；由於我們的方法需要由使用者對灰階水墨畫中的物件上色，因此，再這部分我們先行說明何謂過度渲染畫法，隨後在說明 Yatziv 處理著色的方法。

3.2.1 過度渲染畫法

Levin 與 Yatziv 他們各提出的技術，均需要以較小心且仔細的方式為影像中的物件上色，也因此，最後所獲得的影像效果往往會有色彩過度渲染或是上色不足的情況發生，因此，我們擬提出的演算法另一項主要的訴求便是，企圖提供使用者有個較簡單且概括性的方式為灰階水墨畫中的物件上

色；如圖 6，我們僅需要對蘆葦的部份概略性的塗上黃色，荷花的部份更是隨意地塗上紫色，可以全部塗滿，甚至是超出物件外，又或是僅塗抹於部分區域，荷葉的部份亦可只塗抹於葉片的周圍，無需整個塗滿，此外，我們對於不欲被色彩渲染到的區域，以白色任意的塗抹；上述的色彩塗繪方式，我們稱為—過度渲染畫法。



圖 6：過度渲染畫法。

3.2.2 著色處理

Welsh與Levin均認為亮度與顏色有著非常緊密的關係，亮度急速變化的地方通常是顏色的邊界，而亮度變化和緩的地方通常不會是色彩的邊界，而是色彩平緩變化的地方，Yatziv根據這樣的假設，定義了一個計算兩點間亮度變化程度的方程式，並將此方程式的計算結果稱之為內在距離 (Intrinsic Distance)，如果兩點間的內在距離越小，則表示兩點間的顏色越接近，反之若內在距離越大，則兩點間顏色的差異也就越大[18]。內在距離 (intrinsic distance) 的演算式(4)。

$$d(s, t) := \min_{C_s, t} \int_{s=0}^1 |\nabla Y \cdot C(s)| ds \quad (4)$$

在上色的過程中，使用者所給的顏色資訊通常是一整個區域而不會是單獨的一個像素，為了正確計算出無色彩區域的顏色，所以先計算有顏色的

點與無顏色的點，兩點間的內在距離，以找到亮度的變化。假設某個顏色C的區域為 Ω_c ，沒有顏色的區域為 Ω ， s 為 Ω_c 中的任何一點， t 為 Ω 中的一點，Yatziv定義 $d_c(t)$ 為 Ω_c 中的任何一點 s 到 t 的最短內在距離，如演算式(5)。

$$d_c(t) := \min_{\forall s \in \Omega_c | \text{chrominance}(s)=c} d(s, t) \quad (5)$$

Yatziv使用的是 $YCbCr$ 的色彩空間，演算法主要概念是透過Y的變化去計算 C_b 與 C_r ，依據每個不同顏色對 t 點的最短內在距離，並加上比重的計算，將不同的顏色乘上不同的比重，混合起來的顏色應該即為 t 點的彩色，比重的演算式如下

$$\text{chromance}(t) \leftarrow \frac{\sum_{\forall c \in \text{chrominances}(\Omega_c)} W(d_c(t))c}{\sum_{\forall c \in \text{chrominances}(\Omega_c)} W(d_c(t))} \quad (6)$$

其中 $W(\cdot)$ 是一個將內在距離轉換成混合比重的方程式： $W(r) = r^{-b}$ ， $1 \leq b \leq 6$ ， b 是一個定義色彩轉換平滑程度的係數且方程式 $W(\cdot)$ 應該符合下列三點：

$$\begin{aligned} 1. & \lim_{r \rightarrow 0} W(r) = \infty \\ 2. & \lim_{r \rightarrow \infty} W(r) = 0 \\ 3. & \lim_{d \rightarrow \infty} W(d+c)/W(d) = 1 \end{aligned} \quad (7)$$

第一點的意義是，如果內在距離接近於零時，該顏色的比重則較大，第二點則剛好相反，若是內在距離接近無窮大，則該顏色所佔的比重則微乎其微，第三點的意義是，如果有兩個以上的顏色影響該點，若其中一個顏色的影響極大，則其他的顏色就會近乎被忽略。透過上述的方法，計算出每個顏色對於每個點的內在距離，然後找出每個顏色對該點的最短的內在距離，透過混合方程式(6)，就可以計算出所有點的顏色，完成對灰階影像的上

色處理。圖7為經由過度渲染畫法後，在交由上述著色技術的處理後所獲得的結果，此結果如我們所預期的，色彩均充分地為畫中物件上了顏色。



圖7：經由Yatziv的著色技術處理後，我們確實能夠獲得一個各部份均充分上到顏色的結果。

3.3 過度渲染色彩濾除

我們的策略是在著色時，盡量將顏色渲染開來，讓所有前景物件都上到色彩，但以免產生顏色混淆為原則，隨後再利用分割的技術，產生出前景與背景分割影像，我們以此影像作為遮罩，用以濾除掉留白被色彩渲染的部份，並且保留前景顏色，結果的好壞取決於分割的效果，切割後的影像的背景以純黑表示，前景已純白表示，與充分渲染的上色影像以及原始灰階影像三者相互作用，即可產生背景為原始灰階背景而前景為上色後具有色彩的前景，如此即可達成將中國水墨畫上色的目的，解決了著色演算法無法直接使用於水墨畫的問題。

四、實驗結果

我們的開發環境是使用C++，平台為Intel Pentium 4 CPU、512MB 記憶體，在Windows XP Professional版本之下獨立運行。經由實驗，我們發現透過影像遮罩的協助，可以較精確地為水墨畫上色，透過過度渲染的畫法，可以將細微之處悉數上色，上色時無須擔心色彩會超過前景範圍，反而導

致擴散不足的情形發生，也不必擔心上色時會將筆觸塗出範圍之外，因為前景之外的部份將全部被濾除掉，僅留下前景的色彩，而且影像遮罩並非僅是找出前景的輪廓，也並非僅找出物件外圍的邊緣，而是筆劃交錯所留下的縫隙，或是物體間層層疊疊後所留下的細微空間，都可以清清楚楚的被分割出來，並不會大而化之地全部覆蓋過去，而遺漏了細微的部份。

圖 8，荷葉與荷花的部份，均有一些沒有色彩的地方，除此之外，荷葉間交錯的縫隙，經過我們提出的分割技術處理後，都被保留下來，如圖 8(b)。圖 8(c)為過度渲染畫法所產生的結果，因為色彩過度擴散，所以更可以確保物件邊緣與細微的地方均可被上到顏色，如芒草的部分，並且上色後的結果仍然保留原本水墨畫的亮度，幾乎可以是原汁原味，增添豐富的色彩後，使得此幅畫作為地生動活潑，如圖 8(d)所示。圖 9(b)為模糊分割的結果，可以明顯看出右邊菊花，它的花托與花瓣中間仍然保留了沒有上色的留白之處，這是一般找邊緣偵測演算法所無法做到的，經由 Yatziv 的著色技術上色後，並且色彩予以擴散的結果可以發現，圖 9(c)左右兩邊的菊花，花托與花瓣的顏色都擴散到邊界即停止，並沒有跨越彼此的邊界，因此顯得非常鮮明，沒有模糊不清的地帶，再經過後續的過濾與結合的處理後，呈現的結果較單獨使用上色技術的結果為佳，沒有顏色錯誤渲染雜湊的缺失，亦保留了國畫背景留白的特性。

圖 10(b)最可以清楚地感受到模糊分割不錯的成效，就連竹葉間如此細微的縫隙，都可以清楚地被分割開來，運筆描繪竹竿本身所留下的空隙，也是清清楚楚、絲毫不差，經由過度渲染的畫法予以上色之後，即可確保任何再小的竹葉，均可被充分地上色，因為水墨畫的背景與前景邊界通常不是非常明確，甚至會有些很淡的漸層在其中，所以單純使用任何一種灰階轉彩色的技術，都無法將色彩塗繪的清楚漂亮，例如本測試影像上的竹葉的數量就非常多，難以逐一地為其上色，並確保不會將顏色塗到葉片之外，而透過模糊分割後的影像作為遮

罩，即解決了為水墨畫上色的困難。我們展示了其他的試驗結果於圖 11，上色的效果依然不錯。

五、結論與未來工作

為中國的灰階水墨畫上色，我們必須考慮到幾個實質的問題：(1) 使用者的繪圖能力；(2) 細微資訊的保留；(3) 大量的留白與漸層；(4) 水墨畫灰階資訊較少；基於上述四項問題，水墨畫的上色技術確實有必要深入探討。

本文首創一個有效的演算法為中國水墨畫著色，可給予水墨畫不同的生命力。我們發展出一個模糊分割的技術，可針對有大量留白與漸層特性的中國國畫，有較精確地將前景主要物件與背景的留白處分離，以作為影像遮罩，同時將灰階水墨畫利用 Yatziv 的著色技術上色，隨後透過影像遮罩進一步地把原灰階水墨畫以及著色後的影像將渲染至

留白處的色彩率除，並且再加以合成，即完成為水墨畫上色的工作。

演算法具有四項優點：(1) 為物件上色簡易：使用者可以概略性的方式為水墨畫中的物件上色；(2) 演算法效果佳：我們提出的演算法有效地解決了直接使用著色演算法所產生的色彩過度渲染問題，使得產生的最後結果更令人激賞；(3) 處理過程快速：上色的全部處理過程平均於五秒內即可完成；(4) 保留國畫原有特性：留白與較細緻的部份均可被保留住。

由於國畫細微之處實在太多，難以將色彩塗繪的很正確，且大部分的使用者並非有中國國畫的相關背景，因此由使用者自行塗繪的色彩，產生的結果也較不自然，未來我們將參考 Welsh 的方式，透過使用一彩色的參考影像，以給予更自然的色彩，使得未來的結果將更為寫實自然，以及改善我們的模糊分割技術，期望能有更佳的分割效果。



(a) 原始灰階影像



(b) 影像遮罩



(c) 過度渲染畫法的結果



(d) 繪製結果

圖 8：(d) 由我們提出的演算法所獲得之最後結果，透過影像遮罩的使用，確實能夠為水墨畫作有效的上色，並且將原來灰階影像的留白保存下來。



(a) 原始灰階影像



(b) 影像遮罩



(c) 過度渲染畫法的結果



(d) 繪製結果

圖9：我們的方法能夠確實地將細微的特徵保留下來。



(a) 原始灰階影像



(b) 影像遮罩



(c) 過度渲染畫法的結果



(d) 繪製結果

圖10：在(b)中，我們確實地將畫中的竹子(前景)全數清楚地分割出來，使得最後能夠有不錯的結果(d)。

六、誌謝

本研究承蒙國科會專題研究計畫之經費補助NSC 94-2213-E-005-022、NSC 94-2218-E-164-001、NSC 94-2815-C-005-026-E、NSC 93-2213-E-005-018、NSC 92-2213-E-005-021，謹此向國科會誌謝。

七、參考文獻

- [1] A. Berman, A. Dadourian, and P. Vlahos, "Method for Removing From An Image The Background Surrounding A Selected Object," U.S. Patent 6, 134, 346, 2000.
- [2] A Berman, P. Vlahos, and A. Dadourian, "Comprehensive Method for Removing From An Image The Background Surrounding A Selected Object," U.S. Patent 6, 134, 345, 2000.
- [3] Y. Chang, S. Saito, and M. Nakajima, "A Framework for Transfer Colors Based on The Basic Color Categories," in Computer Graphics International, pp. 176-183, 2003.
- [4] Y. Chang, Y. Chang, S. Saito, and K. Uchikawa, and M. Nakajima, "Example-Based Color Stylization Based on Categorical Perception," in Proceedings of the 1st Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, Los Angeles, California August 07-08, pp. 91-98, 2004.
- [5] Y. Y. Chuang, B. Curless, D. Salesin, and R. Szeliski, "A Bayesian Approach to Digital Matting," in Proceedings of CVPR 2001, pp. 264-271, 2001.
- [6] T. Chen, Y. Wang, V. Schillings, and C. Meinel, "Grayscale Image Matting and Colorization," in Proceedings of Asian Conference on Computer Vision, pp. 1164-1169, 2004.
- [7] M. Friedman and A. Kandel, Introduction to Pattern Recognition, World Scientific, New York, 1999.
- [8] P. Hillmann, J. Hannah, and D. Renshaw, "Alpha Channel Estimation in High Resolution Images and Image Sequences," in Proceedings of CVPR 2001, pp. 1063-1069, 2001.
- [9] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "Colorization Using Optimization," ACM Transaction on Graphics, Vol. 23, No. 3, pp.

689-694, 2004.

- [10] S. Lin and J. Shi, "Fast Natural Image Matting in Perceptual Color Space," *Computers and Graphics*, Vol. 29, No. 3, pp. 403-414, 2005.
- [11] S. Lin, Q. Zhang, and J. Shi, "Alpha Estimation in Perceptual Color Space," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing 2005* (accepted).
- [12] M. Ruzon and C. Tomasi, "Alpha Estimation in Natural Images," in *Proceedings of CVPR 2000*, pp. 18-25, 2000.
- [13] D. L. Ruderman, T. W. Kalvin, and C. C. Chiao, "Statistics of Cone Responses to Natural Images: Implications for Visual Coding," *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 15, No. 8, pp. 2036-2045, 1998.
- [14] A. R. Smith and J. F. Blinn, "Blue Screen Matting," in *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 259-268, 1996.
- [15] J. Sun, J. Jia, C. K. Tang, and H. Y. Shum, "Poisson Matting," *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 315-321, 2004.
- [16] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley, "Color Transfer between Images," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, No. 5, pp. 34-41, 2001.
- [17] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, "Transferring Color to Greyscale Images," *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 277-280, 2002.
- [18] L. Yatziv and G. Sapiro, "Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending," (submitted for *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005).



灰階水墨畫

繪製結果

圖11：測試影像結果。