

高動態範圍影像風格化演算法

High Dynamic Range Image Stylization

王宗銘

國立中興大學

資訊科學研究所

cmwang@cs.nchu.edu.tw

周頤采

國立中興大學

資訊科學研究所

s9556050@cs.nchu.edu.tw

黃明隆

國立中興大學

資訊科學研究所

sk8board@ms34.hinet.net

摘要

在非擬真成電腦繪圖的領域中，以影像為基礎的風格化演算法有很多，這些演算法往往因簡化影像資訊，而失去原影像中物件的層次感，也改變原影像中的光照條件，此外，這些演算法於一般的低動態範圍影像均能順利地運作，但是對於新的高動態範圍影像則無法順利運作。而本文針對影像風格化議題，提出一個簡單且能有效保留影像中物件的層次感以及光照條件的影像風格化演算法，此外亦可有效使用於高動態範圍影像上。我們主要有三項貢獻：(1)提出一個三向邊緣保留濾波器來為影像簡化資訊；(2)提出一個能夠盡量保留原始影像光照條件的明視度量化技術；(3)提出一個能夠產生較為客觀結果的影像合成技術。結合上述三項新的技術，使得我們的輸出影像能夠有較佳的風格化結果。

關鍵字：非擬真成像、影像風格化、高動態範圍、三向邊緣保留濾波器、明視度量化、影像合成。

Abstract

Recently, image-based stylization is a popular research topic in non-photorealistic rendering (NPR) community, and many algorithms are proposed. Even though those results can be approved, we observe that the gradations between objects and the original lighting conditions within image are lost after the process of the stylized operators. In addition, those proposed algorithms are performed well for low dynamic range images (LDR) such as bitmap images, but not for high dynamic range images (HDR). In this paper, we focus on the image-based stylization topic, presenting a simple and efficient image stylization algorithm that can preserve the gradations between objects and the original lighting condi-

tion. Furthermore, it can also be used to HDR images. Our technique has three main contributions: (1) a new trilateral edge-preserving filter is proposed to reduce the image information, (2) a luminance quantization technique is also proposed, preserving as much as the original lighting condition, and (3) a more objective image synthesis method is proposed. The combination of three new methods above makes the final stylized results being more pleasing and natural.

Keywords: Non-photorealistic rendering, image-based stylization, high dynamic range image, trilateral edge-preserving filter, luminance quantization, image synthesis.

1. 簡介

由於近年來電腦繪圖領域的蓬勃發展，促使各種影像處理技術日漸成熟，然而將影像抽象化為某一種風格，無論是水彩風格、素描風格以及卡通化風格等更是廣受討論，這些演算法均可以將輸入的低動態範圍影像轉換成某特定的風格。影像抽象化，即是利用各種方法將原始影像的資訊加以減化，再運用作為其它演算法的輸入影像，以模擬各種特有風格，然而根據我們的觀察發現，現有的影像風格化技術會導致失去影像物件之間的層次感，而且相較於原始影像將會降低或是提升影像的對比度，換句話說，即原始影像中的光照條件 (Lighting condition) 將會被改變；此外，現有的影像風格化技術都可有效地運應於低動態範圍影像 (Low Dynamic Range, 以下簡稱為 LDR)，但對於高動態範圍影像 (High Dynamic Range, 以下簡稱為 HDR) 則無法獲得所預期的效果，而且據我們所知，目前尚未有以影像為基礎的風格化演算法可適用於高動態範圍影像上，必須透過某些機制以使得現有的演算法能夠適用於 HDR 影像上；基於上述的動機，在本文中，我們提出一個能有效保留影像中物

件的層次感以及保留近似於原始影像光照條件的影像風格化演算法，並且能夠使用於 HDR 影像上，使得 HDR 影像亦能夠產生不同的風貌。

影像風格化技術要能順利使用於 HDR 影像上，需考慮到(1) HDR 影像之亮度，依[17,19]所提出的歸納方式，可將高動態範圍影像分成三類，分別是高鍵值(High key scene)、中鍵值(Mid key scene)以及低鍵值(Low key scene)景象。因為中鍵值影像的亮度範圍較接近一般的 LDR 影像之亮度，而那些適用於 LDR 影像之演算法，若輸入中鍵值的 HDR 影像時，或許能夠達到預期效果；但是由於高鍵值 HDR 影像的亮度是較大的、而低鍵值的亮度是很暗的，因此一般演算法無法直接適用於這類影像，所以演算法要可適用大部分的 HDR 影像，需要其他的方法來達到目的；(2)HDR 影像的鮮豔色彩及豐富的細小資訊，是 HDR 影像優於 LDR 影像之處，因此所提的演算法要盡可能地保留 HDR 影像的色彩、光照條件、以及影像中物件之間的層次感。基於上述之兩關鍵問題，我們得知影像風格化演算法欲能直接應用至 HDR 影像上，必需有其他的機制以保留影像特有資訊並且適用於上述三類的 HDR 影像。

2006年時，Winnemöller提出一個新的影像抽象化的技術，其演算法主要是為LDR影像而設計[26]，若是將她的演算法使用至HDR影像上時，則容易導致影像資訊的破壞，使其結果影像不符合原始色調，圖1(b)為Winnemöller方法所獲得的影像，其結果不大能令人接受。另外，一個可能的方法能夠達成此一目的方法，即使用一線性的方法先將HDR影像正規化至[0,1]的區間，然後再使用Winnemöller的影像風格化技術將正規化過的資料做處理，最後再將處理完成的資料作反運算回HDR的資料空間上；此方法看似有理，不過所獲得的結果是不能夠為我們所接受的，如圖1(c)。我們取用Winnemöller的技術概念來設計我們的演算法，圖1(d)是由我們的方法所產生的結果；由此證實我們提出的方法能有效地使得HDR影像擁有不同的風格。

以低鍵值HDR影像為例，因為此類HDR影像中的明視度數值均很小，甚值非常接近0，因此對它做資訊的簡化時，將失去大部分的色彩資訊，為了使得影像中的資訊能夠被有效地簡化並且保留影像的色彩資訊，我們使用一簡單的方式為影像明視度作縮放處理(Luminance Scaling)，當所有的演算過程均完成之後，我們

再為處理過的影像重建它的明視度。在為影像簡化資訊的處理部分，Winnemöller採用雙向濾波器(Bilateral Filter)為影像作抽象化處理，但是我發現雙向濾波器將失去影像中物件之間的層次感。為了保留物件之間的層次感，我們基於雙向濾波器的架構，多考慮了梯度域(Gradient Domain)的變化，如此便能夠在簡化影像內容資訊的同時亦能夠保留更好的物件邊緣資訊。再者，Winnemöller為了模擬類似卡通風格中的色彩區塊效果，他提供一可將影像的明視度作量化處理的技術，但是我們發現他所提出的方法，可能導致影像中的亮度被提升或是降低，這將使得結果影像的整體效果與原始影像中的光照條件有所差異，而我們認為被量化後的結果影像須依然保有「近似」原始影像中的光照條件，為了達到此目的，我們設計了一簡單且有效的影像明視度量化技術，其可有效地保留近似於原影像中的光照條件。我們更提出一個基於模糊關係的影像合成技術(Fuzzy-Relationship-based Image Composition)，其能夠將抽象化後的影像與明視度量化後的影像作較為客觀的合成，以使得最後的結果影像更為地自然，不會產生任何的視覺瑕疵(Visual Artifacts)，最後再將此結果與影像中的物件邊緣資訊結合在一起，使得最後的HDR影像具有卡通風貌的風格化影像。

本文其餘章節的架構如下：第2節回顧之前學者所提出的相關技術，第3節詳細敘述我們提出的高動態範圍影像風格化演算法，第4節說明試驗結果，第5節總結本文並提出未來之研究方向。

2. 相關研究

本節中，我們首先簡單的回顧與本文相關的影像風格化研究。因為我們提出的演算法可適用於高動態範圍影像，但是目前尚無以普遍化的 HDR 顯示器直接將其影像資訊完整呈現出來，因此需透過色調再生的方法，才能有效地於目前較為普遍被使用的 LCD 螢幕上將 HDR 影像顯現出來，因此我們也對色調再生的技術作簡單的回顧。

2.1 影像風格化技術

欲將影像模擬成繪畫風格時，為了使影像更具繪畫感，首先都需要將影像作抽象化處理，以達到減化影像細節資訊，當然抽象化技

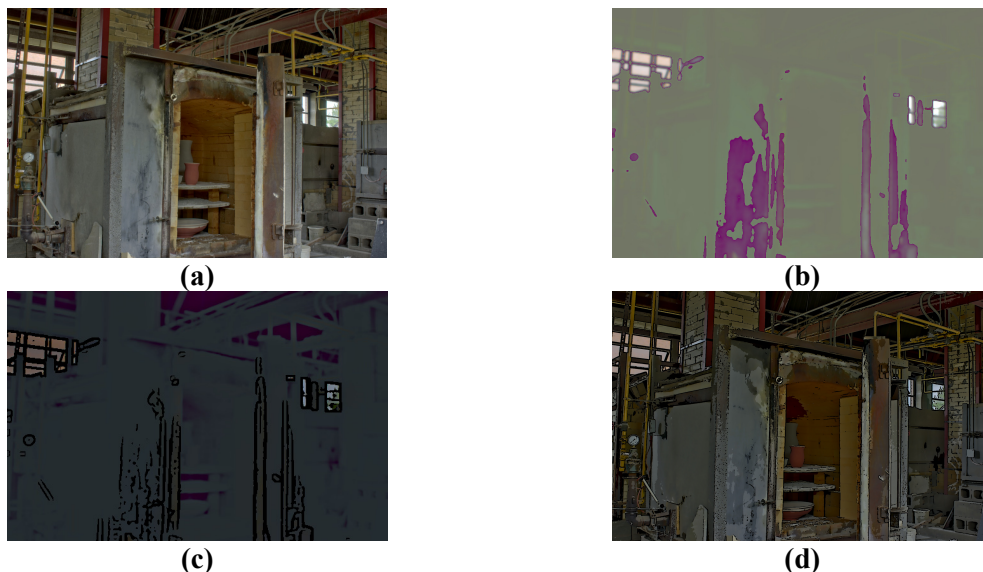


圖1：燒窯測試影像(HDR影像)。(a)來源影像；(b) Winnemöller方法所獲得的結果；(c)此為先利用線性轉換將HDR資訊壓縮至 $[0, 1]$ 後，再使用Winnemöller方法所獲得的結果；(d)是我們提出的演算法所獲得的結果影像。(以上結果均使用PhotoImpact 10作色調再生的處理)

術不止是有助於繪畫風格之模擬，還可以促使一張資訊多而繁雜的影像，轉變成主題凸顯的影像，更促進視覺傳達之效果。因此抽象化的技術會依據其演算法之目的，而抽象化的程度各有不同，接下來我們將回顧以往抽象化技術之相關研究。

DeCarlo[8]提供一種抽象化風格影像技術，主要利用人眼追蹤(Eye-Tracking)的方式決定影像中各部分之抽象化程度，由使用者自行決定重要資訊位置並且於圈選部分予以保留較多資訊，另外在抽象化處理部分，主要將細節資訊濾除，並且將影像套用上色彩分割技術，再將相近色彩的區塊全部平均起來，再用所獲得的參數填補那些色塊，使影像呈現區塊感的抽象化風格，此外再利用 Canny 邊緣偵測技術，針對有意義的視覺要素，以輪廓清晰之邊緣加以強調，達到抽象化並且凸顯基本主題之效果。後續 Santella[21]不但利用人眼追蹤策略(由使用者決定其影像重要資訊位於處)以決定其影像之抽象化程度，另外也提供均高、與均低之抽象化影像，均高的模糊程度較少，使整體影像較清晰，而均低則是模糊程度較高，整體效果均較為模糊感，以達到影像抽象化之目的，甚至還運用自動偵測影像特點位置的方法，自動偵測幾個特點位置，保留較多重要訊息，相對的其它部分，則濾除較多的資訊。

Fischer[11]主要是以不產生突兀感為前提，將虛擬的物件加入真實影像或影片之中。主要方法是將已加入物件的影像以雙向濾波作抽象化處理，使得加入的物件能與其他真實

場景有一定程度上的相似，以降低整體影像的突兀感。此外，Fischer 也使用 Canny 邊緣偵測的方式偵測出影片中之真實邊緣，然而 Canny 邊緣偵測技術有兩個控制參數，此兩參數的數值若較小，則找出較多的邊緣資訊，但相對的雜訊也隨之增加，反之則可以找到較重要之影像邊緣資訊。

Winnemöller[26]發展出一個可運用於影像和影片的即時且自動之抽象化架構，其首先針對影像亮度之對比部分做分析，將亮度對比較高之處，以他們新定義的高斯差異技術(Difference of Gaussian)的方式找出其邊緣資訊加以強調，另外在亮度對比較低之處，則以雙邊濾波器將其影像之細節部分加以減化，之後再將抽象化後的影像取其亮度加以量化，使影像形成區塊感，更可達到抽象化、卡通化效果之影像。

Luan[25]則提供一個模擬手繪彩色素描的抽象化技術，就此抽象化技術而言，由於主要是模擬手繪彩色素描之效果，因此在抽象化的程度上，需要減少較多的細節資訊，以保留主要影像之色塊範圍為目的。起初可以由使用者自行將背景部分繪出幾筆簡單的線至影像中，以區別影像之前景、背景，之後再利用自動分割技術將其背景影像分割出來，並且在前景、背景的分界處留白，以增添彩色素描作品之模擬，最後再將色彩的部分，經由色彩平移的方式，淡化原始色調，即可產生最後的結果影像。

Bousseau[4]提出一個模擬水彩畫風格之

演算法，可以將輸入影像或 3D 物件模擬成水彩畫風。其主要分成兩大步驟，首先，為了使影像更類似水彩畫之效果，它們使用 Mean-Shift 的技術將影像細節資訊加以去除，其次是水彩效果的模擬，主要是將抽象化後之影像，利用各種不同的雜訊，模擬水彩顏料濃度、以及顏料與紙張結合的效果，再加上其它水彩技巧之模擬如：乾刷、邊緣加深等效果，使輸出影像有如水彩畫一般。

2.2 高動態範圍影像色調再生技術

高動態範圍影像(High Dynamic Range, HDR)包含了相當大的明視度範圍，致使對比度很大，而且並無固定範圍，因此一般顯示器無法直接將 HDR 影像完整呈現出來，若於現有的顯示器上直接顯示時將會流失大量資訊(較亮、較暗區域中的細節資訊)，而必需透過色調對應(Tone Mapping)，亦稱為色調再生(Tone reproduction)，其色調對應主要目的即將 HDR 影像的資訊壓縮成低動態範圍影像(Low Dynamic Range)以利於呈現較完整、確實的影像，在本研究中亦需要此一技術來視覺化我們的試驗結果。因此我們將對色調對應之技術簡單回顧其相關研究。

直至今日，已有許多與色調再生技術的相關研究報告被提出 [6,7,13,14,15,16,20,22,23,27]，色調對應之技術一般可以分為全域法(Global method)和區域法(Local Method)。所謂的全域法主要是利用特定之函數曲線找出影像之特徵值，再藉由找出之特徵值對整張影像之像素統一處理，在此方法之中，常會使用數個影像之共同特徵值，或是利用單一影像的明視度平均值(Luminance Mean Value)或自然對數平均明視度值(Log Average Luminance)作為影像特徵值。另外區域法則是延續全域法使用其影像特徵值之概念，將其特徵值的範圍縮小到單一像素的幾個相鄰之像素，再針對這些像素處理之，而這些像素我們稱為區域特徵值。其兩大方法之優缺點如下：全域法架構較為簡單比較容易實作，處理速度又快，實用上較為頻繁，對於 HDR 影像中較亮、較暗的細節資訊會有較明顯的失真發生；而區域法對於 HDR 影像的細節均能有良好的結果，其主要缺點在於處理時間較長，有時會出現光暈的現象(Halo Artifacts)，而且在取得區域特徵值需考慮到影像邊界的問題，因此實作上較為繁複。在

本文中，為了能夠比較公正客觀地展現我們的實驗結果，我們採用 PhotoImpact 10 影像處理軟體中所提供的色調再生工具來視覺化我們的結果。

3. 高動態範圍影像風格化演算法

圖2為我們所提出的演算法流程圖，演算法主要有五個步驟：(1) 影像明視度的縮放與重建(Luminance scaling and Recontrustion)：此步驟能夠將HDR影像明視度作適當的增強(放大)或是減弱(縮小)的處理，以利於我們為HDR影像作風格化處理，當風格化處理完成後再將被增強過的影像資訊作重建處理，以還原為接近原始影像的明視度強度；(2)影像抽象化(Image Abstraction)：基於雙向濾波器(Bilateral Filter)的架構，我們提出一個新的三向邊緣保留濾波器(Trilateral Edge-preserving Filter)，此新的濾波器能夠降低影像內容物的資訊，並且保留較好的物件邊緣，使用此濾波器抽象化影像，能夠獲得比使用雙向濾波器更好的效果；(3)影像亮度量化(Luminance Quantization)：通常在卡通畫裡頭均使用色彩區塊的方式來圖繪卡通畫中的物件，為了模擬這樣的效果，我們使用一個與Winnemöller不同的方法為影像的明視度做分層的量化處理(Luminance leveling)，我們的方法能夠依據每一HDR影像明視度的特性而自動分層量化，並且使得影像中的明視度變化與原HDR影像中的明視度分佈「看起來相似」，並且凸顯出來；(4)影像邊緣偵測：在卡通畫中，通常都會使用明顯的邊緣來簡略地描繪一物件的外型，為了模擬這樣的特點，使用高斯模糊差異值(Difference of Gaussian)將影像中的物件邊緣找出來，最後再將此邊緣資訊與我們模擬出來的卡通化影像作結合，使得最後的結果看起來更像卡通的樣子；(5)基於模糊關係的影像合成(Fuzzy-relationship-based Image Composition)：我們使用簡單的線性內插法為抽象化以及明視度量化後的兩張影像結合在一起，使得最後的風格化效果更能令人所接受，在此，為了能夠較客觀地為兩張影像作結合，我們提出一個新的方法為兩影像之間找到一個最佳、最適當的混和權重值合成抽象化以及量化明視度後的兩張影像。演算法最後將模擬出似卡通風格的HDR風格化影像，以下將詳細說明我們所提出的演算法。

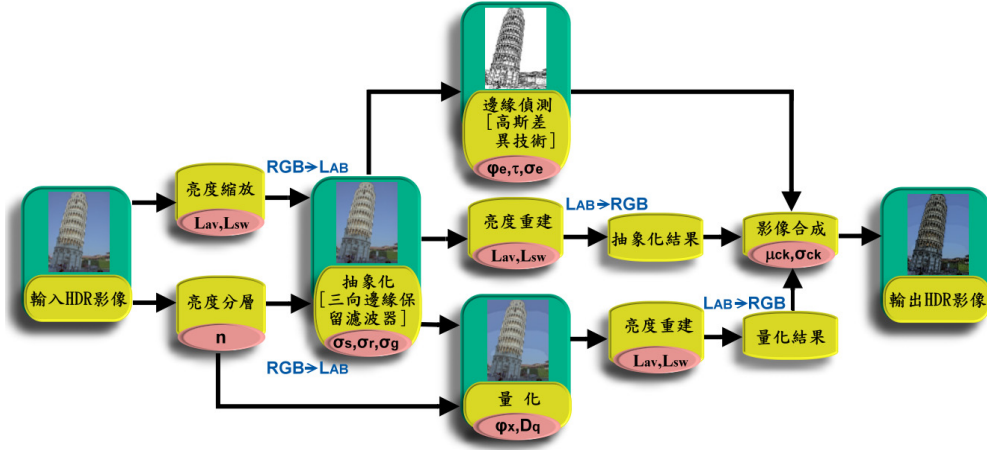


圖2：高動態範圍影像風格演算法之流程圖架構。

3.1 影像明視度的縮放與重建

由於HDR影像的明視度涵蓋廣泛的範圍。依據影像中的對比度變化，HDR影像可大致上被分為相對的低、中、高鍵值景象(Low, Mid, High key scene)[18]。低鍵值影像定義為影像中大部分的明視度的數值均非常地小，在視覺上則是相當暗，幾乎看不見影像中的物件；中鍵值影像定義為影像中的明視度分佈比起低鍵值影像較為明亮些，可以由眼睛直接觀察到一些影像中的物件；高鍵值影像定義為影像中大部分的明視度值均很大，在視覺上，影像中的物件均因為很大的明視度，因此眼睛是無法直接觀察到影像中的物件。而我們發現，上述的三種鍵值影像，均無法直接被風格化，特別是低鍵值以及高鍵值影像，如圖1(b)與(c)。

為了解決這一問題，對於兩個較為極端的情況，低鍵值與高鍵值影像，我們期望能有某個簡單的機制能夠依據影像自身的特性自動地使低鍵值的明視度強度能夠變大，而高鍵值的明視度強度能夠減弱，使影像的資訊更為地顯著，以利於後續處理。我們發現有個較為簡易的方法可以達到此目的，如演算式(1)；當我們欲將明視度縮小或是放大時，首先取出影像的明度 L_w ，此處我們使用 $L_w(x, y) = 0.2126R_w(x, y) + 0.7152G_w(x, y) + 0.0722B_w(x, y)$ 來獲得HDR影像的明視度；接著透過 L_w 取出RGB三頻道的色彩參數(R_c, G_c, B_c)，如演算式(1-1)；隨後利用自然對數平均值 L_{av} 縮放影像明視度，即可獲得 $L_{sw}(x, y)$ ，其中 δ 為一很小的數值，避免取對數時發生錯誤，我們使用

$\delta=0.0000001$ ；最後再將 $L_{sw}(x, y)$ 與先前的所獲得的色彩參數(R_c, G_c, B_c)作乘法運算，如此即能夠獲得一資訊較為適當的影像，以幫助我們作其他的處理。

$$\begin{aligned} R_c(x, y) &= R_w(x, y) / L_w(x, y) \\ G_c(x, y) &= G_w(x, y) / L_w(x, y) \\ B_c(x, y) &= B_w(x, y) / L_w(x, y) \end{aligned} \quad (1-1)$$

$$L_{sw}(x, y) = \frac{L_w(x, y)}{L_{av}}, \quad L_{av} = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(L_w(x, y) + \delta)\right) \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} R_w(x, y) &= R_c(x, y) \cdot L_{sw}(x, y) \\ G_w(x, y) &= G_c(x, y) \cdot L_{sw}(x, y) \\ B_w(x, y) &= B_c(x, y) \cdot L_{sw}(x, y) \end{aligned} \quad (1-3)$$

當所預期的處理完成後，我們必須再將影像的明視度重建為近似原始影像的明視度，其處理方法與上述的演算式(1)相同，唯一不同之處僅將演算式(1-2)置換為演算式(2)，此處須注意，演算式(2)中的 L_{av} 值為由原始HDR影像中所獲得的。儘管此方法很簡單不過能夠有效地使得HDR影像能順利地被風格化，如圖3(d)~(f)。在下一節中，我們將展示以及說明我們的試驗結果。

$$L_w(x, y) = L_{sw}(x, y) \times L_{av} \quad (2)$$

3.2 影像抽象化

在彩色的卡通漫畫或是動畫中，其內容物件的各個區域僅會使用單一的色彩區塊來描繪該物件，不會有太多多餘的細節資訊，因此

當欲將一影像轉換成為具卡通化的風格，首要的作法即必須降低影像中的細節資訊，並且保留物件的外型，這樣的處理過程稱為「抽象化」。為了能夠達到上述卡通的基本特性，我們必須選擇適當的濾波器。Tomasi 與 Manduchi[24]提出一雙向濾波器，此濾波器為一非線性的濾波器，他同時考慮了空間域(Spatial Domain)的變化以及強度域(Range Domain)的變化。使用標準的高斯濾波器(Gaussian Filter)作為空間域的核心，此部分主要用來濾除空間中的雜訊，此外更考慮到單一像素值週遭的強度變化，此處亦是使用標準的高斯濾波器於強度域中，這將使得影像中物件的外型能夠被保留下來。雙向濾波器的數學模型如演算式(3)，此處 $B(*)$ 為雙向濾波器的輸出結果， $f(x_c)$ 為 n -by- n 核心 Ω 最中央的像素， $f(x)$ 為 $f(x_c)$ 周圍的鄰近像素， $w_s(*)$ 為空間域的高斯權重函式， $w_r(*)$ 為強度域的高斯權重函式。圖3(b)為使用雙向濾波器所獲得的效果，圖3(e)為圖3(b)中央橫切面的訊號變化曲線圖；根據視覺的效果以及訊號的變化，對照圖3(a)與圖3(d)，可以清楚觀察到儘管雙向濾波器能夠保留物件的邊界並且濾除雜訊，但是尚未能夠較好地保留物件邊界資訊且效果上依然能夠感受到清楚模糊的效果，使得結果影像失去了原有的層次感。

$$B(x_c, x, \sigma_s, \sigma_r) = \frac{\sum_{x \in \Omega} w_s(x_c, x, \sigma_s) \cdot w_r(x_c, x, \sigma_r) \cdot f(x)}{\sum_{x \in \Omega} w_s(x_c, x, \sigma_s) \cdot w_r(x_c, x, \sigma_r)}$$

$$\text{where } w_r(x_c, x, \sigma_r) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\|f(x_c) - f(x)\|}{\sigma_r} \right)^2}, w_s(x_c, x, \sigma_s) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\|x_c - x\|}{\sigma_s} \right)^2} \quad (3)$$

在Winnemöller的研究中，他們使用此雙向濾波器降低影像的明視度變化，藉此抽象化一張影像。我們認為要有較佳的抽象化效果時，景物的層次必須能夠被較好地保留下來，我們相信如此能夠使得抽象化的結果更好，更能令人接受。2002年時，Fattal利用梯度域(Gradient Domain)的變化去壓縮HDR影像，藉著於梯度域中尋找出影像中的細節變化之處，而這些變化較大的位置大部分為物件的邊界資訊[10]。同年，Barash找出了非等向性擴散(Anisotropic Diffusion)以及適應性柔化(Adaptive Smoothing)之間的關係，這兩項技術共同的特性為均以梯度域為基礎，Barash提到當梯度的變化越大時，擴散(柔化)的處理將會於物件的邊界處停止[5]。由此啟發我們，將

雙向濾波器視為柔化技術的一種，當我們為雙向濾波器多考慮梯度域的變化，那麼於影像邊界的部分則期望能夠確實地保留下來，並且將多餘的雜訊濾除。因此，以原來的雙向濾波器為基礎，再進一步考慮梯度域的變化影響，其數學模型如演算式(4)，此處 $w_g(*)$ 為梯度域的高斯權重函式， $\nabla f(*)$ 為像素的梯度變化值，並且稱此濾波器為三向邊緣保留濾波器(Trilateral Edge-preserving Filtering)。

$$T(x_c, x, \sigma_s, \sigma_r, \sigma_g) = \frac{\sum_{x \in \Omega} w_s(*) \cdot w_r(*) \cdot w_g(x_c, x, \sigma_g) \cdot f(x)}{\sum_{x \in \Omega} w_s(*) \cdot w_r(*) \cdot w_g(x_c, x, \sigma_g)}, \quad (4)$$

$$\text{where } w_g(x_c, x, \sigma_g) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\|\nabla f(x_c) - \nabla f(x)\|}{\sigma_g} \right)^2}$$

圖3(c)為使用為我們的三向邊緣保留濾波器所獲得的結果，圖3(f)為圖3(c)中央橫切面的訊號變化曲線圖；比較圖3(e)與圖3(f)，可以清楚地觀察到，我們提出的濾波器在邊緣資訊的保留上，確實比雙向濾波器的效果為佳；圖3(g)與圖3(h)則分別展示出雙向濾波器與原始影像的空間差異性以及我們提出的三向邊緣保留濾波器與原始影像的空間差異性；雙向濾波器與原影像的差異性極大，而我們的技術與原影像雜差異較少，這顯示我們的方法確實能夠保留較多的資訊並且達到濾除雜訊的目的；圖3(i)則展示出雙向濾波器以及我們提出的濾波器，兩者的空間差異性，所呈現的差異性均是在物件的邊界處，這顯示出，我們的三向邊緣保留濾波器與雙向濾波器的效能差異主要就是在物件邊緣上的差異；不管是以我們的視覺、訊號變化曲線圖以及空間差異性來觀察，均可清楚得知我們的方法確實能夠將影像中的雜訊濾除，並且保留較多的物件邊緣資訊，提供物件之間較佳的層次感。

如同Tomasi與Manduchi所述[24]，雙向濾波器在8位元灰階影像上有較好的效果，然而或是欲將此濾波器延用至彩色影像上時，僅需選擇適當的色彩空間即可，如CIE L*a*b*或是CIE L*u*v*色彩空間。在我們的系統中，實作所提之三向邊緣保留濾波器，選擇使用CIE L*a*b*色彩空間。我們的三向邊緣保留濾波器使用於HDR影像上時依然具有相同的效果，如圖4。

3.3 影像明視度量

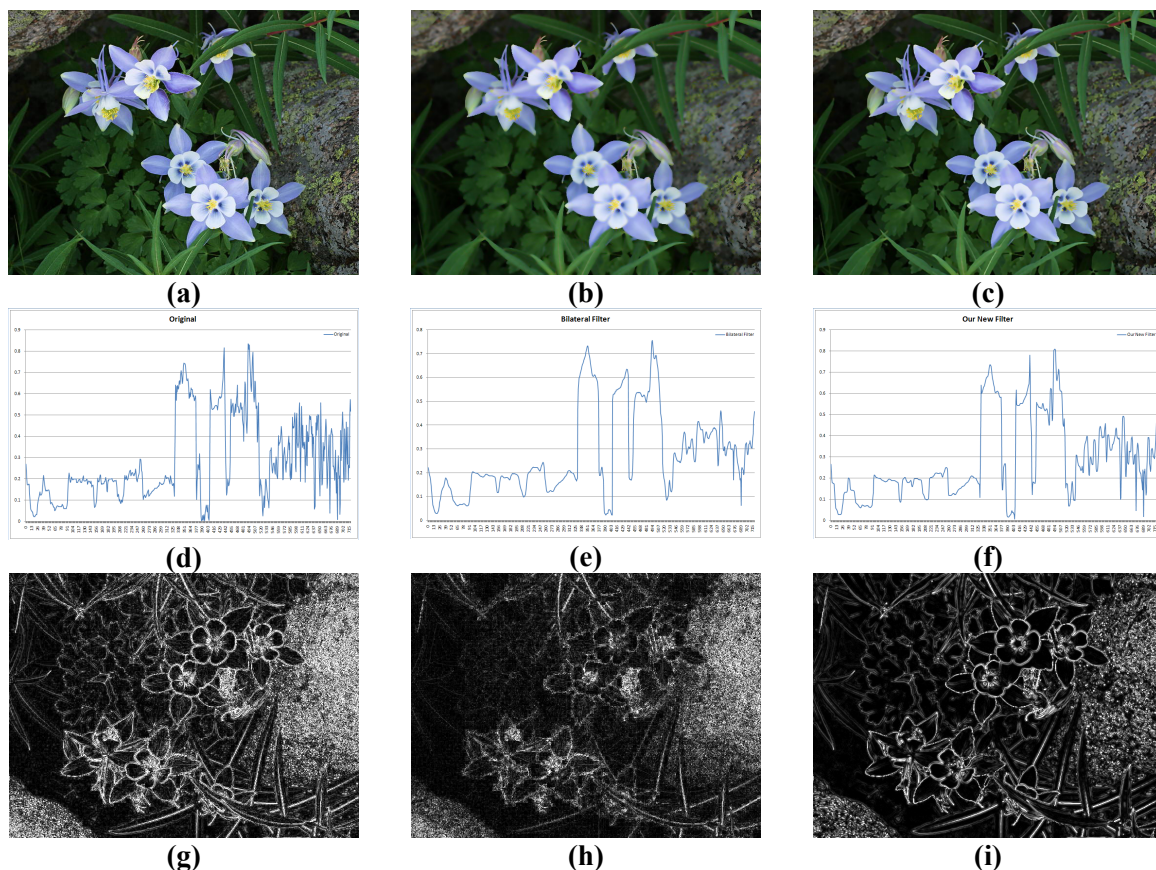


圖3：花草試驗影像(LDR影像)。(a)原始影像；(b)使用雙向濾波器所獲得的結果影像， $\sigma_r=13.0$ ， $\sigma_s=14.25$ ，高斯核心遮罩為 5×5 ，其三個RGB頻道與原始影像之PSNR值為(R, G, B)=(27.6149, 26.037, 26.9358)；(c)使用我們所提出的三向邊緣保留濾波器所獲得的結果， $\sigma_r=13.0$ ， $\sigma_s=14.25$ ， $\sigma_g=0.5(\sigma_r+\sigma_s)$ ，高斯核心遮罩為 5×5 ，其三個RGB頻道與原始影像之PSNR值為(R, G, B)=(30.3719, 28.9076, 29.8394)；(g) 圖(a)與(b)的空間差異性；(h) 圖(a)與(c)的空間差異性；(i) 圖(b)與(c)的空間差異性。由以上，我們提出的技術的確能夠保留影像中的物件邊緣，效果確實優於雙向濾波器所獲得的結果。

如上節所述，漫畫家常使用單一的色彩區域來描繪卡通中的物件，所以在兩個不同的色彩區域之間，視覺上會產生輪廓線 (Pseudo-contour)，為了模擬此效果，Winnemöller採用數值量化的方式來加以模擬。數值量化的意義是將某一區間的連續信號全部以某一信號強度來表示該區間。在Winnemöller的研究中，對於LDR影像，他建議可將CIE L*頻道分為5至8個固定區間，並且使得每個區間呈現非線性的變化，這樣的分類在LDR影像上有著不錯的效果，因為CIE L*頻道的數值區間為[0, 100]，分布較為均勻，但是我們認為Winnemöller的分區方法對於HDR影像則不適用，因為HDR影像擁有廣泛的明視度 (Luminance) 範圍 (近似於真實世界的環境照度)，當試圖要將HDR影像作分區量化處理時，需依據其亮度的分布情況作動態的分區量

化，為了達到這樣的目的，我們參考以於攝影界被使用超過50年以上時間的區域系統 (Zone System)。

在過去，當一位專業的攝影師欲將底片洗出來時，他必須憑靠著長時間的經驗才能於相片紙上洗出良好效果的照片，不過這些照片的效果是否良好全憑藉著攝影師主觀的美感，為了降低主觀的藝術感受，在過去的150年裡，有許多較為客觀的沖洗照片技術被提出來，但是這些所謂「客觀的」技術，其獲得的效果好壞與否全然與所使用的量測媒體有關，因此要能沖洗出一能令眾人都能接受的照片是一件很困難的任務[17]。為了於藝術與技術之間找到一個較佳的平衡處，Adams於1980年代時，為一些量測技術與區域系統建立了關聯性[1,2,3]，此後攝影師沖洗照片時有個不錯的依據，使得照片效果更為地客觀。



(a) (b) (c)

圖4：斜塔測試影像(HDR影像)。(a)原始影像；(b)使用雙向濾波器的結果影像，其三個RGB頻道與原始影像之PSNR值為(R, G, B)=(32.087, 32.0811, 32.0824)；(c)使用三向邊緣保留濾波器的結果影像， $\sigma_r=13.0$ ， $\sigma_s=14.25$ ， $\sigma_g=0.5(\sigma_r + \sigma_s)$ ，高斯核心遮罩為5x5，其三個RGB頻道與原始影像之PSNR值為(R, G, B)=(34.9709, 34.9649, 34.9648)。此處為了較客觀地視覺化HDR結果影像，我們使用商業的影像處理軟體，PhotoImpact 10，所提供的色調再生處理功能來視覺化HDR影像。

因為現有的電腦顯示裝置有動態範圍的限制，對於HDR影像而言，在電腦繪圖領域中，衍生出於現有顯像裝置上色調再生(Tone Reproduction)的問題，也稱為色調映射(Tone Mapping)。直到目前為止已有許多的色調再生技術被提出，其中，Reinhard基於區域系統提出一效果相當不錯的色調再生技術[17]，其結果影像的效果為目前公認效果最佳的技術[6,7]，據此，我們相信以區域系統來作為HDR影像作分區量化的依據，能夠獲得一不錯的效果，圖5指出近似真實世界的明視度對應至區域系統示意圖。

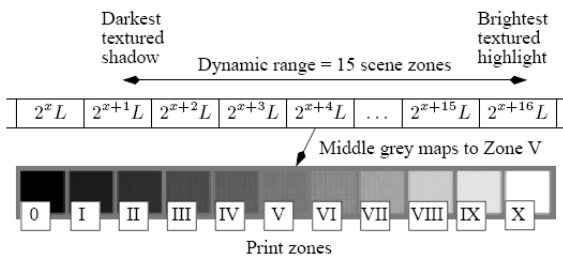


圖5：真實世界中的明視度對應至區域系統示意圖，其中以2為基底區分真實場景中的明視度是因為我們的電腦系統是以位元來儲存資料。倘若一HDR影像的動態範圍涵蓋了11個區域，則將如實地對應至區域系統的11個區域[17]。

當我們企圖為一HDR影像的明視度作分區量化處理時，因為影像中從最小至最大的明

視度所橫跨的範圍可能很大，也可能很小，因此衍生出一問題，即明視度畫分為幾區是比較適當且客觀的。當明視度橫跨的範圍差距較小時，倘若我們畫分過多的區域時，則將使得影像中的物件被畫分的太過細小而產生視覺上的瑕疵(Visual Artifacts)，例如人臉就不適合被畫分過多的區域；當明視度橫跨的範圍差距較大時，倘若畫分太少的區域時，則將使得劃分後的結果與原始影像中的景象相差甚遠，影像的對比度(Contrast)將被降低，例如風景影像，若是畫分的太少區域則將失去原景象的風貌。為了能夠適當地為HDR畫分區域，我們的作法如演算式(5)，首先找出HDR影像中的最大亮度 L_{max} 與最小亮度 L_{min} ，我們採用 $L_w(x, y) = 0.2126R_w(x, y) + 0.7152G_w(x, y) + 0.0722B_w(x, y)$ 來獲得HDR影像的明視度($R_w(x, y)$, $G_w(x, y)$, $B_w(x, y)$ 為HDR影像像素的三個頻道， $L_w(x, y)$ 為像素的明視度值)，此處須注意我們所定義的最大明視度與最小明視度是相對的最大與最小，它們被定義為：將影像上所有的明視度值作從小至大的排序處理後，取排序後續列的第1%位置的明視度值作為最小明視度，第99%的明視度值作為最大明視度值；此做法主要的目的是為了避免影像中僅有少數幾個像素較暗，或是僅有幾個像素較亮，此作法較為客觀與準確；當獲得最大明視度與最小明視度值後，我們再將它對應至區域系統上，再計算最大的明視度與最小明視度之間差距最大為

多少個區域，取用此差距作為畫分多少個區域。

$$n = \lceil \log_2(L_{\max}) - \log_2(L_{\min}) \rceil \quad (5)$$

當為HDR影像找出合適的分層數 n 後，緊接著即是為HDR影像作量化的處理，此處我們舉一例子來說明，假設一HDR影像的明視度量化邊界值，定義為 $Q_i = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n+1}\}$ ，每一層的上下邊界值為 Q_i 與 Q_{i+1} ，當某一像素的明視度落於其間時，因為影像中的某些區域具有連續的相似性，若僅將該像素的明視度值直接指定為 Q_i 或是 Q_{i+1} ，如此將會降低影像的對比度，因此Winnemöller提出，欲儘量保留影像對比度時，必須使得 Q_i 與 Q_{i+1} 之間的明視度以非線性的方式呈現，如圖6。

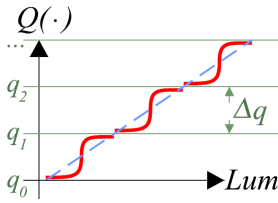


圖6：明視度分層量化[26]。

演算式(6)為Winnemöller提出的明視度分層量化方法，此處 $Q_{\text{assigned}}(*)$ 為量化後的結果； D_q 為 Q_i 與 Q_{i+1} 之間的差距；影像中某一像素明視度 L_x 與 Q_i 或是 Q_{i+1} 最接近的被指定為 Q_{nearest} ； φ_q 用於控制兩個量化層 B_i 與 B_{i+1} 間的鮮明變化程度，為明視度的梯度變化函式， B_j 定義為第 j 個量化層頻寬(bandwidth)， $B_j = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ ，介於量化邊界 Q_i 與 Q_{i+1} 之間； $\tanh(*)$ 函式用來使得每一量化層間呈現非線性的變化。但是我們發現倘若HDR影像的大部分的分明視度落於某一量化層 $B_k(D_q/2)$ 以上的區間時，演算式(6)將會降低結果影像對比度，反之若是大部分落於 $B_k(D_q/2)$ 以下的區間時將會提升結果影像的對比度；我們進一步探討導致上述提升或是降低影像對比度的原因，發現主要的造因源於 $\tanh(*)$ 函式，如圖7(a)；當明視度落於 $B_k(D_q/2)$ 以上的部分並且梯度變化較大時，則演算式(4)變成 $Q_{\text{assigned}}(*) = Q_{\text{nearest}} - (D_q/2)$ ，反之則變成 $Q_{\text{assigned}}(*) = Q_{\text{nearest}} + (D_q/2)$ 。

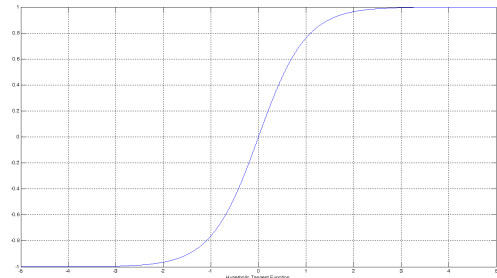
$$Q_{\text{assigned}}(L_x, Q_{\text{nearest}}, D_q, \varphi_x) = Q_{\text{nearest}} + \frac{D_q}{2} \tanh(\varphi_x \cdot (L_x - Q_{\text{nearest}}))$$

$$\text{where } \tanh(*) = \frac{e^* - e^{-*}}{e^* + e^{-*}}, \quad \varphi_x = \frac{11.0}{\nabla L_{\max} - \nabla L_{\min}} (\nabla L_x - \nabla L_{\max}) + 3.0 \quad (6)$$

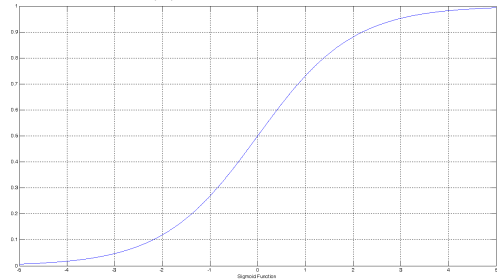
儘管Winnemöller提出的方法其結果已可令人接受，但是，我們認為為影像作量化處理時，應該儘量保留原影像中大略上的明視度層次變化，我們相信如此所模擬的卡通效果表現將會更好，更能令人所接受。為了解決上述保留明視度層次的變化，我們發現能夠以Sigmoid函式很簡單地解決我們的問題。我們的明視度量化處理技術如演算式(7)。圖8展示採用自動分層的條件下分別使用演算式(6)以及演算式(7)所獲得的明視度量化處理結果；從視覺上而言，圖8(c)的量化分布效果比圖8(b)的效果近似於圖8(a)，且依然具有類似於卡通的效果，此外，圖8(a)與圖8(b)三個RGB頻道的PSNR值分別為 $(R, B, B)_{\text{PSNR}} = (27.9750, 27.9733, 27.9782)$ ，圖8(a)與圖8(c)三個RGB頻道的PSNR值分別為 $(R, B, B)_{\text{PSNR}} = (31.7160, 31.7122, 31.7150)$ ，據此證明我們改善的量化技術不僅能夠模擬出具有卡的效果的結果影像，亦能夠儘量地保持與原始影像相似的亮度對比。

$$Q_{\text{assigned}}(L_x, Q_{\text{nearest}}, D_q, \varphi_x) = Q_{\text{nearest}} + \frac{D_q}{2} \text{Sigmoid}(\varphi_x \cdot (L_x - Q_{\text{nearest}}))$$

$$\text{where } \text{Sigmoid}(*) = \frac{1.0}{1.0 + e^{-*}}, \quad \varphi_x = \frac{6.0}{\nabla L_{\max} - \nabla L_{\min}} (\nabla L_x - \nabla L_{\min}) \quad (7)$$



(a) tanh函式曲線



(b) Sigmoid函式曲線

圖7：tanh與Sigmoid函式的比較。

3.4 影像邊緣偵測

影像抽象化，主要特色即為簡化影像內容。在之前的抽象化步驟中，我們已經將影像的次要內容簡化了，所以抽象化後所保留下來的資訊即是我們想要強調的影像主題。因為我

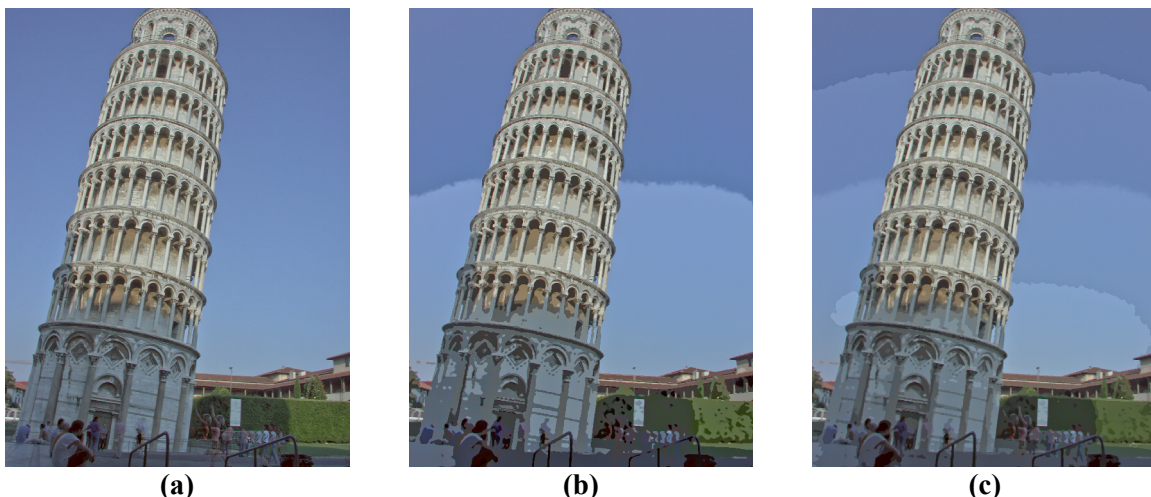


圖8：明視度量化結果比較。(a)原始影像；(b)使用演算式(6)所獲的的量化結果；(c)使用演算式(7)所獲的的量化結果。相較於Winnemöller提出的方法，我們的方法簡單而有效地儘量維持影像原有的明視度變化。

們人類視覺再辨識物體主要均是憑藉著物件邊緣資訊的強弱，因此在抽象化的影像中，若是要強調影像中物體的型態，我們即須要取得影像物件「大致上」的邊緣資訊，以使用於加強結果影像中的主題。我們延續使用Winnemöller所定義的步階高斯差異技術(Difference-of-Gaussians, DoG)偵測影像邊緣[26]，如演算式(8)，其中 σ_e 、 σ_r 表示高斯函式 $G(x_c, \sigma_e)$ 的兩個半徑，且 σ_e 為 σ_r 的1.265倍； τ 可控制邊緣資訊的多寡參數； φ_e 控制邊緣銳化程度，其值介於[0.75,5]。圖9展示此DoG的邊緣資訊結果圖。

$$D(x_c, \sigma_e, \tau, \varphi_e) = \begin{cases} 1 & \text{if } (G_{\sigma_e} - \tau \cdot G_{\sigma_r}) > 0 \\ 1 + \tanh(\varphi_e \cdot (G_{\sigma_e} - \tau \cdot G_{\sigma_r})) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{where } G(x_c, \sigma_e) = \frac{1}{2\pi\sigma_e^2} \int f(x) \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{|x_c - x|}{\sigma_e} \right]^2}$$

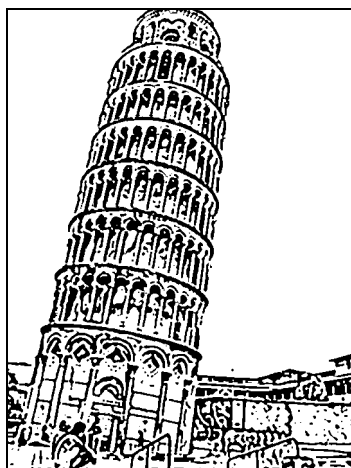


圖9：影像邊界資訊($\sigma_e=5.0$)。

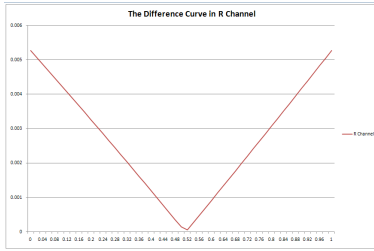
3.5 基於模糊關係的影像合成

如3.3節所述，我們可以為一影像的明視度作量化處理，使得結果影像中具有類似於卡通中的色彩區塊效果，不過，我們認為量化後的結果影像中，兩個量化層間的輪廓線過於明顯，具有不自然的斷裂效果，而我們期望這些輪廓線在結果影像中能夠看起來較為自然，較為和緩的。為了產生較為平滑的效果，我們企圖使用線性內插法，將抽象化以及量化後的兩張影像作結合，如 $C = wA + (1-w)Q$ ， C 為結合後的結果影像， A 為抽象化的結果影像， Q 為量化後的影像， w 為結合的權重值；在此處，以使用者的觀點來看，任意的權重值 w 均可產生一可令人接受的結果，因為不同的使用者有不同的個人藝術觀感，例如 $w=0.5$ 。換句話說，由使用者給予的權重值所產生的結果是較為主觀的，我們期望能夠有一個較為客觀的方式找到一個較為客觀的權重值來為兩張影像作合成處理。

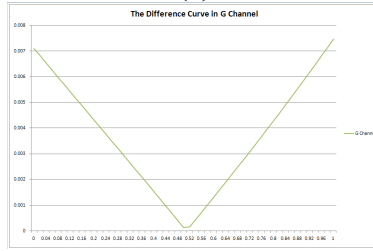
我們假設存在一適當的權重值 w_s 使得抽象化影像與量化影像對於合成後的影像具有近乎相等的貢獻。為了能達成這樣的目的，我們使用高斯關聯函式(Gaussian Membership Function)來量測兩影像的相似性；高斯關聯函式透過使用兩個資料集合各自的平均值(Mean)與標準差(Standard deviation)即能夠量測此兩個集合的資料分布相似程度[12]，高斯關聯函式所獲得的數值亦被稱為模糊關係(Fuzzy Relationship)，如演算式(9)，此處，FR定義為模糊關係， m_A 與 m_B 分別為A資料集合以及B資



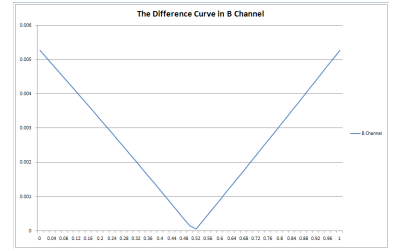
(a)



(b) R頻道



(c) G頻道



(d) B頻道

圖10：(a)具似卡通風格的HDR影像；(b)~(d)為RGB三個頻道的模糊關係差異值曲線，最小差異值所對應的權重值為(R, G, B) = (0.52, 0.5, 0.52)。(x軸為權重值序列，每一間隔為0.02；y軸為差異值)

料集合的平均值， σ_A 與 σ_B 分別為A資料集合以及B資料集合的標準差。

$$FR = \exp \left[- \left(\frac{m_A - m_B}{\sigma_A + \sigma_B} \right)^2 \right] \quad (9)$$

為了找出適當的權重值 w_s ，我們的策略如下：

對於抽象化影像A以及量化影像Q，給予一具有m個數值的權重數列， $w_k = \{0, \dots, 1 \mid k=1, 2, \dots, m\}$ ，然後將權重數列帶入線性內插演算式中，則形成 $C_k = w_k A + (1 - w_k) Q$ ；緊接著計算 C_k 與A的模糊關係 FR_{CAk} ，以及計算 C_k 與Q的模糊關係 FR_{CQk} ，然後計算模糊關係的絕對差異值(Difference of FR)， $FR_{Dk} = |FR_{CAk} - FR_{CQk}|$ ，最後取出具有最小差異值的 FR_{Dk} 所對應的 w_k 作為權重值 w_s 以獲得最後的合成結果影像。注意，影像的R、G、B三個頻道均以上述方式找出其各自的權重值 w_{Rs} 、 w_{Gs} 、 w_{Bs} 。

如演算式(9)，我們必須計算兩個資料集合的平均值和標準差，而我們必須計算的是 C_k 與A之間的模糊關係 FR_{CAk} 以及 C_k 與Q之間的模糊關係 FR_{CQk} ；很顯然地， C_k 的平均值以

及標準差必須被計算出來，很幸運地， C_k 的平均值 m_{ck} 與標準差 σ_{ck} 可由演算式(10)計算快速獲得。我們所合成的結果影像可進一步與邊緣資訊結合，使得HDR影像變成類似於卡通風格的效果，如圖10(a)，圖10(b)~(d)為RGB三個頻道的差異值曲線圖。使用我們提出的影像合成方法，基於統計學的觀點，能夠獲得一較為客觀的合成結果。

$$\mu_{ck} = w_k \cdot \mu_A + (1 - w_k) \cdot \mu_Q,$$

$$\sigma_{ck}^2 = w_k^2 \cdot \sigma_A^2 + 2 \cdot w_k \cdot (1 - w_k) \cdot \text{Cov}(A, Q) + (1 - w_k)^2 \cdot \sigma_Q^2$$

$$\text{where } \text{Cov}(\cdot) = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n (A_p - \mu_A) \cdot (Q_p - \mu_Q)$$

(10)

4. 試驗結果

本文中，我們使用C++程式語言來實作所提演算法，測試平台為Intel(R) Pentium(R) M processor 1.73MHz, 1GB memory，受測的高動態範圍影像格式為RGBE[19]。此外在我們的系統中，我們統一使用5x5的大小範圍作為捲積(convolution)的核心(kernel)，而邊緣資訊的

細節參數 τ 設為0.92。為了能公正客觀地視覺化我們的結果影像，所展示的影像均已經過色調再生演算法的處理，此處，我們選用了商業影像處理軟體PhotoImpact 10中的色調再生演算法來視覺化所有的測試影像，接下來我們針對下列幾個結果影像分別做說明。

圖11(a)為房間的測試影像，在圖11(b)中我們可以清楚地得知，當我們直接使用Winnemöller的方法於HDR影像上，相較於原圖，牆面、床、枕頭，櫃子均產生不好的視覺瑕疵結果。圖11(c)為降低影像細節資訊後的邊緣資訊，當其與抽象化影像結合後，更能夠凸顯出卡通化的效果。圖11(d)為經由我們的演算法所獲得的結果影像；很清楚地，我們的方法所產生的結果，風格化的視覺效果不錯；儘管我們將影像中的明視度(Luminance)作分層的量化處理，影像中的光照條件與原始影像中的光照條件沒有太大的差異，此外，物件之間的層次感均被保留下來，特別是窗戶外的景致；此結果證明，我們提出的技術確實能夠於低鍵值的HDR影像上順利運作並且符合我們所預期的效果，整體的風格化視覺效果亦是不錯。

圖12為中鍵值HDR影像，圖12(b)是直接使用Winnemöller的方法所獲的結果，我們可以很清楚的觀察到除了窗戶的部分外，儘管室內的卡通化效果是可以被接受的，但是整體的明視度卻被提升了，與原影像中的光照條件差異太大，較不符合直覺上應有的效果；接下來則是窗戶部分的景物，可以清楚地看出卡通化效果較不理想。圖12(d)為經由我們的演算法處理所獲得的結果。我們的結果相較於圖12(b)，儘管光照條件較原圖為暗些，但是整體的卡通化效果確實優於圖12(b)，特別是窗戶的部分，我們的方法能夠確實把它做適當的處理；由此測試結果說明，我們提出的技術對於中鍵值HDR影像依然能夠有效地運作，能夠獲得預期中的效果。

在前兩個例子中已經證實我們提出的方法確實能夠於低鍵值與中鍵值的HDR影像上運作，圖13為一高鍵值影像。同樣地，當我們將Winnemöller的方法直接使用於此影像上，其結果如圖13(b)，視覺效果依然是非常地不理想，而圖13(d)為我們提出的方法所獲得的結果影像，由此測試影像結果得知，我們的技術對於高鍵值的HDR影像依然能夠有不錯的表現。



圖11：房間測試影像。(a)原始影像，此影像為一低鍵值HDR影像(low key scene)；(b)直接使用Winnemöller的方法所獲得之結果；(c)邊緣資訊；(d)風格化後的結果影像。



圖12：餐桌測試影像。(a)原始影像，此影像為一中鍵值HDR影像(mid key scene)；(b)直接使用Winnemöller的方法所獲得之結果；(c)邊緣資訊；(d)卡通化後的結果影像。

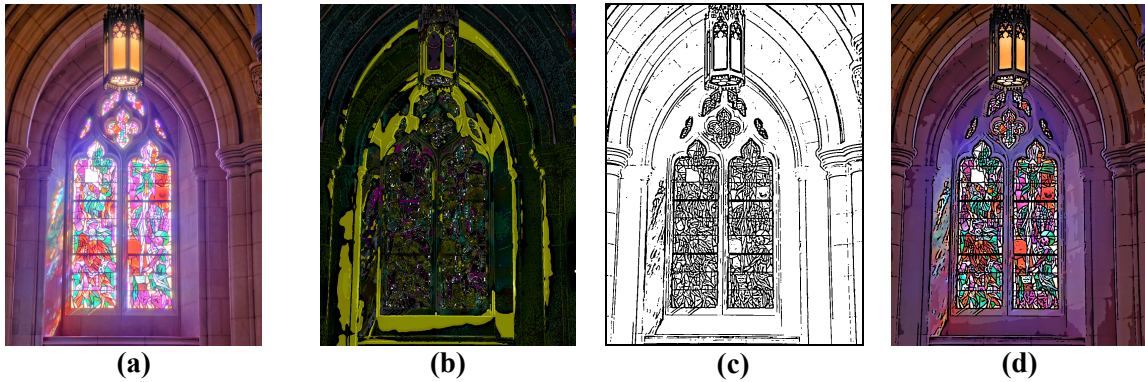


圖13：教堂玻璃測試影像。(a)原始影像，此影像為一高鍵值影像(high key scene)；(b)直接使用Winnemöller的方法所獲得之結果；(c)邊緣資訊；(d)風格化後的結果影像。

5. 結論

不同於低動態範圍(LDR)影像，高動態範圍(HDR)保留更多、更精確的細節資訊，但是因為 HDR 影像中的亮度變化並不只侷限於一有限的範圍內，致使一些原於 LDR 影像上能夠運作良好的演算法在 HDR 影像無法獲的預期的效果，本文專注於將影像風格化的技術，取自現有的技術概念，提出一個簡單且有效的技術將高動態範圍影像風格化。

我們首先利用影像明視度縮放與重建的方式，使得原於 LDR 影像上才會有良好表現的影像風格化演算法能夠使用於 HDR 影像上，此外我們觀察到過去的影像風格化演算法所獲得的影像會失去影像內物件之間的層次感，此外，現有的演算法將會增強或是減少影像的明視度，使得結果影像中的光暈條件與原影像有很明顯的差距，以上均會影響到我們觀察一影像的美感；為了改善上述的缺失，基於雙向濾波器的架構，考慮了影像明視度的梯度域變化，我們提出一個新的三向邊緣保留濾波器來簡化影像資訊，同時亦可保留較好的物件邊緣資訊，藉此保留住物件之間的層次感，除

此之外，為了儘量保留「近似」原始影像中的光照條件，我們亦提出一個簡單且有效的技術來達到我們的目的，其稱為影像明視度量化，最後，為了能有更佳的視覺效果，我們亦將抽象化與量化後的影像結果結合起來，此處，為了能獲得一較為客觀的影像合成結果，我們更提出一個基於影像模糊關係的影像合成演算法，透過此方式所合成的結果，以統計學上的觀點而言，能夠確實獲得一不錯且客觀的合成結果。

我們提出的方法有幾項好處：(1)演算法架構簡單，易於實作與模組化；(2)對於高動態範圍與低動態範圍影像均能獲得不錯的視覺效果；(3)使用者能夠依需求而改變風格化的變化程度；(4)三向邊緣保留濾波器能夠被獨立使用於柔化影像，並且保留物件原有的邊緣特性，為需要對影像濾除其他細節資訊的影向上提供了另一個選擇；(5)我們提出的影像合成方法概念亦可被延伸需要混和兩種相似的資料集合，甚至是混和色彩，能夠產生較為客觀的結果；(6)我們的風格化效果可被實際應用於商業廣告，或是電影上，可將真實的環境人物模擬成似卡通的效果，極具實用價值。

在未來將考慮利用我們提出的影像明視度量化技術模擬水墨擴散的效果，藉此使得一適當的影像轉換成為中國水墨畫風格的影像。此外，以廣義的角度而言，本研究亦啟發我們思考那些於數位影像處理以及電腦繪圖領域中已有的演算法是否能夠有效地沿用於高動態範圍影像上。由於我們所提出來的方法均使用了捲積的方式來抽象化一張影像，因此需要大量的計算時間，所以我們亦期望能夠設計出一全新的方法能夠快速地卡通化一張影像，以使得卡通化效果也能夠變沿用至任何一種形式的行動裝置上。

參考文獻

- [1] Adams A., *The Camera, The Ansel Adams Photography series*, Little, Brown and Company, 1980.
- [2] Adams A., *The Negative, The Ansel Adams Photography series*, Little, Brown and Company, 1981.
- [3] Adams A., *The Print, The Ansel Adams Photography series*, Little, Brown and Company, 1983.
- [4] Bousseau A., Kaplan M., Thollot J. and Sillion F. X., "Interactive Watercolor Rendering with Temporal Coherence and Abstraction," *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering*, pp. 141-149, 2006.
- [5] Barash D., "A Fundamental Relationship between Bilateral Filtering, Adaptive Smoothing and the Nonlinear Diffusion Equation," *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 6, pp. 844-847, 2002.
- [6] Čadík M. and Slavík P., "The Naturalness of Reproduced High Dynamic Range Images," *Proceedings of the Ninth International Conference on Information Visualization*, pp. 920-925, 2005.
- [7] Čadík M., Wimmer M., Neumann L., and Artusi A., "Image Attributes and Quality for Evaluation of Tone Mapping Operators," *Proceedings of Pacific Graphics 2006*, pp. 35-44, 2006.
- [8] DeCarlo D. and Santella A., "Stylization and Abstraction of Photographs," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, 769-776, 2002.
- [9] Durand F. and Dorsey J., "Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 257-266, 2002.
- [10] Fattal R., Lischinski D., and Werman M., "Gradient Domain High Dynamic Range Compression," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 249-256, 2002.
- [11] Fischer J., Bartz D., and Straber W., "Stylized Augmented Reality for Improved Immersion," *Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference (VR'05)*, pp. 195-202, 2005.
- [12] Friedman M., and Kandel A., *Introduction to Pattern Recognition Statistical, Structural, Neural and Fuzzy Logic Approaches*, Imperial College Press, London, 1999.
- [13] Li Y., Sharan L., and Adelson E. H., "Compressing and Companding High Dynamic Range Images with Subband Architectures," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 24, No. 3, pp. 836-844, 2005.
- [14] Lischinski D., Farbman Z., Uyttendaele M., and Szeliski R., "Interactive Local Adjustment of Tonal Values," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 646-653, 2006.
- [15] Mantiuk R., Efremov A., Myszkowski K., and Seidel H.-P., "Backward Compatible High Dynamic Range MPEG Video Compression," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 713-723, 2006.
- [16] Mantiuk R., Krawczyk G., Myszkowski K., and Seidel H.-P., "Perception-motivated High Dynamic Range Video Encoding," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 733-741, 2004.
- [17] Reinhard E., Stark M., Shirley P., and Ferwerda J., "Photographic Tone Reproduction for Digital Images," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 267-276, 2002.
- [18] Reinhard E., "Parameter Estimation for Photographic Tone Reproduction," *Journal of Graphics Tools*, Vol. 7, No. 1, pp. 45-51, 2003.
- [19] Reinhard E., G. Ward, S. Pattanaik, and P. Debevec, *High Dynamic Range Imaging*, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- [20] Roimela K., Aarnio T., and Itäranta J., "High Dynamic Range Texture Compression," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 707-712, 2006.
- [21] Santella A. and DeCarlo D., "Visual Interest and NPR: an Evaluation and Manifestation," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 257-266, 2002.

- to,” *Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering*, pp. 71-150, 2004.
- [22] Smith K., Krawczyk G., Myszkowski K., and Seidel H.P., “Beyond Tone Mapping: Enhanced Depiction of Tone Mapped HDR Images,” *Computer Graphics Forum*, Vol. 25, No. 3, pp. 427-438, 2006.
- [23] Tai S.C., Chang Y.Y., Cheng J.H., and Chi C.Y., “High Dynamic Range Compression with Detail Refinement in Network Communication,” *Proceedings of the IASTED International Conference Web Technologies, Applications, and Services*, pp. 156-161, 2006.
- [24] Tomasi C. and Manduchi R., “Bilateral Filtering for Gray and Color Images,” *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 836-846, 1998.
- [25] Wen F., Luan Q., Liang L., Xu Y.-Q., and Shum H.-Y., “Color Sketch Generation,” *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering*, pp. 47-54, 2006.
- [26] Winnemöller H., Olsen S. C., and Gooch B., “Real-time Video Abstraction,” *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 1221-1226, 2006.
- [27] Yoshida A., Mantiuk R., Myszkowski K., and Seidel H.-P., “Analysis of Reproducing Real-World Appearance on Displays of Varying Dynamic Range,” *Computer Graphics Forum*, Vol. 25, No. 3, pp. 415-426, 2006.