

## 使用雙向濾波器之高反差影像自動增強法

吳俊霖

國立中興大學資訊科學系

台中市南區 40227 國光路 250 號

### 摘要

在數位相機的技術在最近這幾年來有了突破性的進展，由於其省去了傳統相機需要沖洗底片的麻煩，所以使用數位相機的人口正快速的增長中。由於數位相片很容易可以取得，所以使得以往底片的暗房處理都能在電腦上以影像處理相關的軟體來改善相片的品質。有些軟體確實能有效改善相片的品質，但卻往往需要手動調整許多參數，這使得一般使用者望而怯步。也有些影像處理軟體提供了影像“自動增強”的功能，但是實際操作發現，其對所謂高反差的相片都不能達到預期的結果，其主要原因是相片中有亮的區域也有暗的區域，所以使得自動功能認為該種相片已不須調整。若我們試著直接把影像中的暗部調亮，這又會導致原本很清楚的亮部細節因太亮而導致死白一片。

在本論文中，我們提出一個方法來自動增強高反差數位相片。我們的想法是利用雙向濾波器 (bilateral filter) 把影像分成粗略 (large scale) 影像及細節 (detail) 部份，然後我們只對粗略影像做直方圖等化 (histogram equalization) 處理來最佳化調整其亮度，最後再把眼睛感興趣的細節部份加回來。實驗結果證明所提方法可以有效把影像之整體亮度調整至最佳，且能保留影像中的細節資訊。

**關鍵詞：**高反差影像，自動增強，雙向濾波器，直方圖等化

## An Automatic Enhancement Method for High Contrast Images via Bilateral Filtering

JIUNN-LIN WU

*Department of Computer Science, National Chung Hsing University*

*250 Kuokuang Rd., Taichung 40227, Taiwan*

### ABSTRACT

High contrast images are common in the scenes with dark shadows and bright light sources. It is difficult to show the details in both dark and light areas simultaneously on most display devices. For solving this problem, there are many methods of image enhancement proposed to improve the quality of the images. However, most of them often get poor results if the images are high-contrast and have a wide dynamic range.

In this paper, we present a new method for enhancing the high-contrast digital photos automatically, which upgrades the global brightness and contrast of images while preserving details. The method is based on a two-scale decomposition of the image into a base layer, encoding

large-scale variations, and a detail layer. The base layer is obtained using an edge preserving filter called the bilateral filter. This filter is merely a weighted average of the local neighborhood samples, where the weights are computed based on temporal and radiometric distances between the center sample and the neighboring samples. Only the base layer image is enhanced automatically by using histogram equalization method, thereby preserving detail. The experimental results show the proposed method provides a significant enhancement for the high-contrast images and requires no parameter setting.

**Key Words:** high contrast images, automatic enhancement, bilateral filtering, histogram equalization

## 一、前言與相關工作

一般而言，我們人眼可以感受的外面景物的亮度變化非常大，而且有所謂視覺適應 (adaptation) 的能力，能在數分鐘內適應外界亮度的改變，而能感受分辨出更大範圍的變化。然而以相機拍攝時，不管我們使用傳統底片式的相機或數位相機來取像，我們發現其並不能做為該場景中真正亮度幅射 (radiance) 的量測 [1, 2, 6]。也就是說，有時候明明肉眼可以看的很清楚的部分，但是在拍攝所得的照片中卻可能會太暗而看不清楚或變成一片死白。尤其是在逆光拍攝時最容易發生此一狀況，這都是由於相機的動態範圍 (dynamic range) 有限所造成的 [6]。所以我們有時便需要利用影像處理 (image processing) 的技術來有效增強拍攝所得的影像。

目前坊間有許多影像編輯軟體，譬如 Photoshop、PhotoImpact 等，其中有些進階的功能確實能有效提升改善影像的品質，但其通常也都需要專業的知識來調整許多參數的設定 [6]，顯然這樣的軟體或功能只適合較專業的使用者。當然這些軟體也為一般使用大眾提供所謂“自動增強”的功能，只要一個按鍵即可輕易地改善相片的品質。但是我們實際測試的結果發現，這些自動增強功能對某些場景下的影像並不能得到有效的改善，尤其當來源影像為高反差相片時最為嚴重。而這裡所謂的高反差相片就是色階在兩端 (0 與 255) 都有明顯的分布的影像，也就是同時包含有亮部與暗部細節的影像。

圖 1(a) 所示為一由數位相機拍攝所得的來源影像，圖 1(b) 為其色階分佈圖 (histogram)，很明顯的，其在亮部與暗部都有分佈，這即是所謂的高反差相片。這時我們用一般的影像編輯軟體，例如 Photoshop 的自動增強功能來處理，其結果如圖 1(c) 所示，可以發現幾乎完全沒有任何改善，這是因為該影像在亮部與暗部都有像素分布，所以其自動增強演算法並不能有效改善此類相片。接著我們試著用色階調整 (level adjustment) 功能來直接把影像調亮以增強暗

部細節，其結果如圖 1(d) 所示。我們發現暗部細節確實被調亮改善了，但這卻也導致照片中亮的部分被調亮而變成泛白，例如天空的白雲等，其細節都消失了，顯然這也不是我們想要的結果。

最近有許多的動態範圍壓縮演算法 [2, 3, 5] 被提出，其除了可以針對高動態範圍影像 (high dynamic range images) 得到良好的色調對應 (tone mapping) 結果外，也都可以應用在一般傳統的低動態範圍 (LDR) 影像的增強上，且亦都能得到極好的效果。但是這些方法通常都需要額外的參數調整，並不能以全自動的方法來完成之。

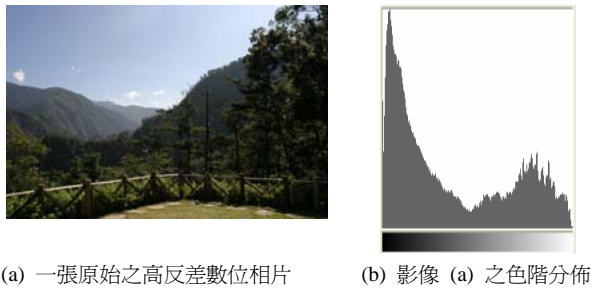
針對以上的問題，本論文中，我們提出一個使用雙向濾波器的演算法，以全自動的方式來增強高反差相片，其能有效地同時保留影像亮部與暗部的細節與色彩飽和度。圖 1(e) 所示為圖 1(a) 之高反差影像經由所提演算法自動增強的結果。我們可以發現所提演算法能有效增強高反差影像，且其不需任何的參數調整，所以適合一般數位相機使用者使用之。

## 二、所提演算法

為了有效保留影像的細節，在本論文中，我們提出先將來源影像利用雙向濾波器 (bilateral filter) 分解成粗略 (large scale) 影像與細節 (detail) 影像部份 [2]，接著只對粗略影像部分做亮度調整，最後再把我們眼睛感興趣的細節部份加回來，以達到細節保留的目的。其系統流程圖如圖 2 所示，詳細步驟我們接著詳述之。

### (一) 色彩分離

在一開始我們先將來源影像的色彩資訊分離開來，即把影像分解成色彩 (color) 影像與強度 (intensity) 影像。這裡我們可以以式 (1) 來計算強度影像  $I$  與其色彩資訊影像  $(\hat{R}, \hat{G}, \hat{B})$ ：



(a) 一張原始之高反差數位相片 (b) 影像 (a) 之色階分佈



(c) 經過 Photoshop 之自動增強處理的結果



(d) 以 Photoshop 之色階調整來增強暗部細節的結果



(e) 由所提演算法自動增強的結果

圖 1. 不同影像增強法的結果比較

$$I = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$$

$$\hat{R} = R \div I$$

$$\hat{G} = G \div I$$

$$\hat{B} = B \div I$$

(1)

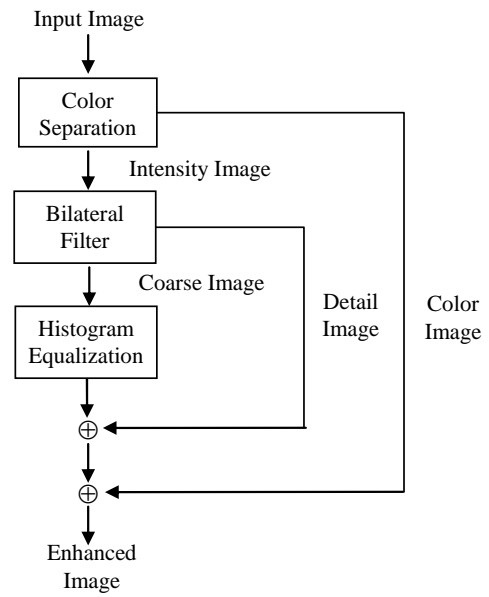


圖 2. 所提自動影像增強法之流程圖

或者使用廣泛用於 JPEG 影像壓縮的 YCbCr 色彩空間來完成色彩資訊的分離。這裡 YCbCr 與 RGB 色彩空間的轉換如式 (2) 所示：

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ -0.1146 & -0.3854 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4542 & -0.0458 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

實驗結果發現這兩種色彩分離法都能得到很好的結果。在本論文中，為了有效節省使用的記憶體，我們使用 YCbCr 法來分離影像的色彩資訊。

## (二) 雙向濾波器

接著我們使用雙向濾波器 (bilateral filter) 把強度影像分解成像素值變化較大的粗略 (large-scale) 影像與細節 (detail) 部分，其中這裡的細節影像就是我們眼睛所感興趣的部份。雙向濾波器是一種非線性濾波器，其最初被提出來是為了在影像處理中能有效地將雜訊平滑化且又可以把重要的邊界保留著，主要原理是同時在空間域 (spatial domain) 與強度域 (intensity domain) 做高斯平滑化 (Gaussian smoothing) 處理 [2]，其數學定義如下：

$$J_s = \frac{1}{k(s)} \sum_{p \in \Omega} f(p-s) \cdot g(I_p - I_s) \cdot I_p \quad (3)$$

其中  $J_s$  為像素  $s$  經過雙向濾波器的結果， $I_p$  與  $I_s$  分別為像素

$p$  與  $s$  的強度值 (intensity),  $\Omega$  為整張影像,  $f$  與  $g$  分別是空間域與強度域的高斯平滑化函數。而  $k(s)$  為一正規化用的函數, 其定義可以寫成

$$k(s) = \sum_{p \in \Omega} f(p-s) \cdot g(I_p - I_s) \quad (4)$$

圖 3 所示為雙向濾波器的輸入與輸出結果之示意圖 [2], 我們可以看出其能有效地去除影像中強度變化較小的雜訊成份, 並且保留強度變化大, 例如邊緣 (edges) 的部份。

圖 4 所示為來源影像經由雙向濾波器分解的結果, 圖 4(a) 為一高反差的數位影像; 圖 4(b) 所示為影像 (a) 經過雙向濾波器處理所得粗略影像 (coarse image) 的結果。而細節影像 (detail image) 為輸入影像 (input image) 與粗略影像相除的結果, 如式 (5) 所示:

$$\text{Detail Image} = \frac{\text{Input Image}}{\text{Coarse Image}}, \quad (5)$$

其結果如圖 4(c) 所示, 我們可以發現影像下方的暗部細節, 即牆上的枝葉被有效的分離出來了。

### (三) 直方圖等化

直方圖等化 (histogram equalization) 是一種在影像處理領域中很常見的自動影像增強法, 其原理是藉由重新分配影像中的灰階分佈, 使其分佈的較均勻因此強化了明暗對比, 而得到最佳的顯示狀態 [4], 其色階分佈變化示意圖如圖 5 所示。

但是若是直接以直方圖等化來處理高反差影像的增強, 由於輸入影像的直方圖已是亮部與暗部都有分佈的高對比影像, 所以其處理後的結果雖可以增加整理亮度, 但是卻會造成色彩失真。所以在本論文中, 為了能以全自動的方式來改善影像的對比與亮度, 我們提出使用直方圖等化, 只針對把影像中變化較大的粗略影像做色階調整, 將其整體亮度

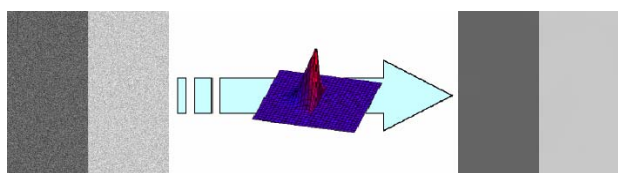


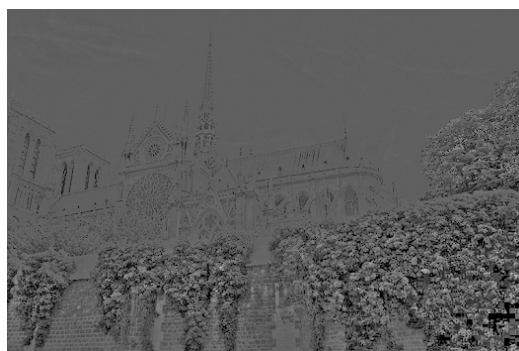
圖 3. 雙向濾波器示意圖



(a) 為一高反差的數位影像



(b) 經過雙向濾波器處理所得之粗略影像

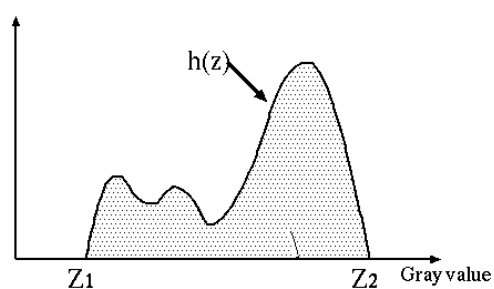


(c) 經過雙向濾波器處理所得之細節影像

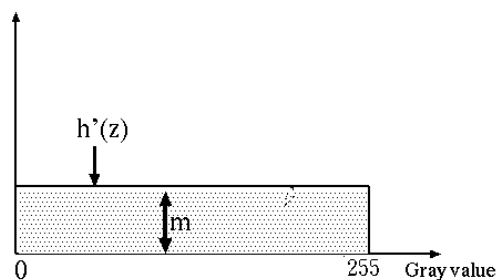
圖 4. 影像經由雙向濾波器分解的結果

調整至最佳最清楚。圖 6 所示為圖 4(b) 粗略影像經過直方圖等化的結果, 我們可以發現影像的下半部被有效的調亮變清楚了。

在影像重建的部分, 我們先把保留的細節影像與經直方圖等化調整過的粗略影像相乘而得到增強的亮度影像  $Y'$ , 最後再把原來的色彩資訊,  $C_b$  與  $C_r$ , 以式 (2) 的反轉換矩陣計算即可得到 RGB 的全彩影像了。這樣便可以得到既把影像的整體亮度調至最佳, 且又能保留其細節部份與色彩資訊的完美影像了。



(a) 原來的直方圖



(b) 經由直方圖等化後的結果

圖 5. 直方圖等化示意圖



圖 6. 經過直方圖等化處理所得到的新粗略影像

### 三、實驗結果與討論

爲了證明所提自動增強演算法的有效性，我們先以圖 4(a) 所示的高反差影像來測試所提演算法，並與其他影像增強法做一詳細的比較，其結果如圖 7 所示。首先我們發現以 Gamma 修正來增強的結果，可以把影像的暗部調亮，但是卻會使得影像的亮部（藍色的天空部份）變成死白；而以直方圖等化處理的結果是藍色的天空色彩被保留住了，但是暗部（紅色的磚牆）的色彩卻不夠；而以 Fattal 等人 [5] 所提 Gradient Domain 動態範圍壓縮演算法色調對應的結果，其暗部細節有效的被增強了，但是藍色的天空卻不夠明亮；最後所提影像自動增強法的結果，其不但把影像下



(a) Gamma 修正增強的結果



(b) 直接以直方圖等化處理的結果



(c) 以 Fattal 等人所提 Gradient Domain 動態範圍壓縮演算法色調對應的結果



(d) 經由所提演算法自動增強的結果

圖 7. 所提演算法與其他影像增強法的比較

半部的紅磚牆與枝葉調亮變清楚了，且有效地保留了影像上半部的藍色天空的細節與色彩。在計算時間方面，我們所使用的機器 CPU 為 Pentium IV 3GHz，記憶體為 1G，程式為以 Visual C++.Net 所完成，首先 Gamma 修正與直方圖等化都非常快速，皆在 1 秒內即可完成，而 Fattal 等人所提演算法的處理時間為 5.38 秒，我們的方法則耗時 4.3 秒，這說明了所提方法在計算時間上尚在一般使用者可接受的範圍之內。

最後我們以數張同時包含有亮部與暗部豐富細節的高反差影像來證明所提自動增強演算法的可行性。圖 8、9 與 10 的 (a) 部分分別為三張由數位相機拍攝所得的高反差原始影像，而 (b) 部分分別為其經過所提自動增強演算法處理的結果。我們可以看出，其不但把影像的暗部細節，例如圖 8 的公園內之樹木等，都調亮而變清楚了，而且亮部細節，例如圖 8 影像上方的藍色天空與右上方的夕陽等，都能完美的保留住，並沒有因為影像增強而泛白。由這些實驗結果可以證明我們的方法對高反差的圖片的自動增強是有效且成功的。



(a) 日本的一處公園之原始影像



(b) 經由所提演算法自動增強的結果

圖 8. 所提演算法影像自動增強的結果



(a) 攝於惠蓀林場之原始影像



(b) 經由所提演算法自動增強的結果

圖 9. 所提演算法影像自動增強的結果

#### 四、結論

一般影像軟體對所謂高反差相片都不能做有效的改善。在本研究中我們所提出之一個基於雙向濾波器與直方圖等化的自動影像增強法來能解決其缺點。實驗結果證明我們所提方法能有效自動增強色階亮、暗皆有分佈的高反差影像，而這種圖片也是一般市面上的影像編輯軟體處理較差的部分。我們所提方法的另一個重要優點是其完全不需手動調整任何參數，所以可以適用於一般的數位相機使用者。

#### 誌謝

本文為國科會專題研究計畫（編號 NSCNSC94-2213-E-005-004）之部份研究成果，特此申謝。

#### 參考文獻

1. Debevec, P. E. and J. Malik (1997) Recovering high dynamic range images. *Proceeding of the SPIE: Image Sensors*, 3965, 392-401.



(a) 攝於台中公園之原始影像



(b) 經由所提演算法自動增強的結果

圖 10. 所提演算法影像自動增強的結果

2. Durand, F. and J. Dorsey (2002) Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range image. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 21(3), 257-265.
3. Fattal, R., D. Lischinski and M. Werman (2002) Gradient domain high dynamic range compression. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 21(3) 249-256.
4. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods (2002) *Digital Image Processing*, 2nd Ed., Prentice Hall, New Jersey, NJ.
5. Tumblin, J., J. Hodgins and B. Guenter (1999) Two methods for display of high contrast images. *ACM Transactions on Graphics*, 18(1), 56-94.
6. Ward, G. L. (1998) The LogLuv encoding for full gamut, high dynamic range images. *Journal of Graphics Tools*, 3(1), 15-31.

收件：95.09.06 修正：95.12.29 接受：96.04.02