

# 天文攝影的數位影像處理

v2.0, 2003/10

王為豪

## 前言

好的天文照片的產生，取決於三個過程：計畫、拍攝、以及對所攝得影像的後處理。所謂的後處理，更簡單地說，就是暗房工作，包括底片的沖洗、放大、以及能讓影像改頭換面的影像處理（image process）。在台灣的天文攝影圈，整個後處理的部份都被忽略了，擁有自己的暗房並常加以利用的攝影者屈指可數。表面上的原因在於暗房過程太過繁瑣，暗房的濕暗與藥水味也叫人受不了，而建設一個標準暗房的花費又不下於天文儀器，種種藉口加起來，使得暗房工作在台灣似乎不是天文攝影的一部份。

然而，在個人電腦的處理能力越來越高之後，個人電腦也漸漸加入影像處理的行列。使用者可以透過電腦改變影像的明暗、對比、色調，或做出其他特效，完成的影像則透過印表機、幻燈片輸出機、相紙輸出機等製成照片或幻燈片，或透過網際網路輸出到螢幕上供人欣賞。這種數位式影像處理相較於傳統暗房有很多方便處，很重要的一個是速度快，而坐在電腦前手握滑鼠耳聽音樂順便喝點飲料，更是比進暗房忍受藥水味快樂多了。

目前，數位影像處理受限於硬體的處理能力，產生影像的細膩度仍比不過大型底片經傳統暗房製作出的照片，階調也遜於傳統照片。這些缺點，使得數位影像在質感方面仍無法與傳統照片相提並論，但卻是可望藉著軟硬體的進步而不斷改善的。我樂觀地相信，數位影像的品質將很快地提升到能為大多數天文攝影者所接受。或許，便利快速的數位影像處理能成為台灣天文攝影圈不重視後處理的一個解藥。

本文將針對天文攝影上的數位影像處理做概念性的介紹，全文共分三大部份：第一部份簡介數位影像與影像處理的基本概念；第二部份介紹各種天文攝影常用到的影像處理手法；第三部份則針對各種不同的天體與可能遭遇到的狀況，依我的經驗提出幾種或許有用的處理菜單。

## Part I 數位影像與數位影像處理的基本概念

### 1-1 簡介數位影像

在電腦裡，像元 (pixel) 是構成數位影像的基本單位，它們規則排列且每一個像元都有自己的亮度，許多個不同明暗的像元排列在一起就成了我們在電腦螢幕上看到的影像。對電腦來說，像元的亮度值是用二進位來表達，如果我們只用一位數字來表示像元的亮度，則該數字非零即一，而該像元的顏色非黑即白。如果我們希望一個像元除了黑與白外，還能擁有中間色調——也就是各種不同深淺的灰，該像元的亮度值便需是更多位的二進位數字。例如，若亮度值是四位二進位數字，則該數字可能是自  $0$  至  $2^4-1=15$  的整數，也就是含代表黑的  $0$  與白的  $15$ ，該像元可能具有  $2^4=16$  種不同深淺的灰色與黑白。

因此，像元亮度值的二進位位數，除了代表該像元佔去的記憶體，也代表了一幅影像中所能蘊含的不同深淺的灰階 (greyscale)，灰階數目 (稱色彩深度, color depth) 越多，影像的色澤層次越豐富而連續，當然看起來也更悅目 (圖 1-1.1)，相對的也佔去較多的記憶體。目前電腦上最常見的黑白影像是 8 bit 影像，其一個像元將佔 8 bit 記憶體，且共有  $2^8=256$  種不同的灰階 (色彩深度 256)。更多位元的黑白影像也有，例如專業的影像工作者可能用到 12 bit 以上的影像，而天文用 CCD 可以產生高達 16 bit 的影像。就一般的觀賞與輸出目的來說，8 bit 的灰階影像已是足夠，但在影像處理過程中，為了保留影像中最完整的階調，在軟硬體許可的情況下，以高於 8 bit 的色彩深度來處理常是必要的。

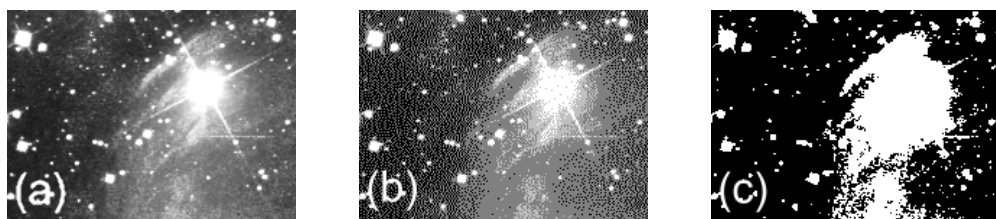


圖 1-1.1 (a) 是一幅 8 bit 影像，影像中不同濃度的中間色調層次相當豐富。(b) 是一幅 4 bit 影像，一些灰調之間的轉變並不連續，看來並不自然。(c) 是一幅 1 bit 影像，其中只有黑與白，沒有中間調，看起來非常難接受。

我們賦予每個像元一個亮度值，便可利用這樣的像元建構出一幅黑白影像。而若我們要建構一幅彩色影像，便需賦與每個像元至少三個亮度值，以表示該點在各色光的亮度。例如，用不同程度的三原色——紅(R)、綠(G)、藍(B)可組合出其它的許多色彩：紅加綠成為黃(Y)，是藍的補色；藍加綠成為生青(C, cyan)，是紅的補色；藍

加紅成爲紫紅(M, magenta)，是綠的補色.....。因此我們可以三個數字來表示一像元的 RGB 亮度值，從而建立一幅彩色影像。與黑白影像類似，最常見的 RGB 影像三色的色彩深度都是 256，也就是三色共可組合出  $256^3=2^{24}$  種不同的色彩，我們稱之爲 24 bit 彩色影像，其每一個像元都佔 24 bit 的記憶體。

以紅綠藍三色組合出其它色彩是一種符合直覺的方式，像照片、幻燈片、電視、電腦螢幕等媒體都是採用 RGB 分色。然而，RGB 並不是唯一能組合出色彩的方式，我們觸目能及的所有印刷品，包括以印表機印製的，便是用另一種稱 YMCK 的分色法來建構色彩，其基本組成元素是前面介紹過的 RGB 的補色 YMC 與 K (黑, key color)。RGB 色系是將不同的原色相加而產生色彩，屬累加式，而 YMCK 則是在混合不同成份的 YMC 油墨後留下其中共通的顏色成份，從而建構出各種色彩，是減扣式的。理論上，因 YMC 是 RGB 的補色，它們可以獨立構成一個色系，但在實際的印刷中，以等量的 YMC 三色混合後不會得到白的補色—黑，而是產生一種深棕色，因此需再加入黑色(K)才構成夠完整的色系。

RGB 與 YMCK 都不能組合出所有肉眼能分辨的色彩，而且它們彼此所能含蓋的色域也有差異，採用的時機則應視使用的輸出裝置而定。例如，從影像的數位化到影像處理的過程中，宜採用色域較寬廣的 RGB 模式，以保留影像中的各種色彩。而最終若要以印表機輸出或將檔案交付印刷廠，便可先將影像轉成 YMCK 模式並作最後的色彩修正。若不這麼做，很可能某些在 RGB 下看來很美麗的顏色轉成 YMCK 後無法正確表達而顯得暗暗醜醜。

除了 RGB 與 YMCK 外，還有別的色彩模式。很重要的一種是由國際色彩組織 CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 所發展的色彩，它含蓋所有肉眼所能查覺的色彩，Adobe PhotoShop 中的 Lab 模式與 Kodak 在 Photo CD 中採用的 YCC 模式都是植基於 CIE 色彩，其色域較 RGB 或 YMCK 都更寬廣，且在裝置與色彩模式間轉換時有最少的失真。在天文攝影中，Lab 色彩有時也相當好用，有興趣者不妨參考[此文](#)。

## 1-2 影像的數位化

在對一張照片或底片進行數位處理前，我們必需先將它數位化成電腦認得的、由一個個像元組成的數位影像。這樣的動作一般是由所謂的掃描器來完成，扣除昂貴的滾筒掃描器，市場上的掃描器可分平台式掃描器與底片掃描器兩種，而只要加上光罩，平台掃描器也可用於掃描底片，也可以同時掃描照片。

底片掃描器或附有光罩的平台掃描器是以光源照射底片，在另一側用 CCD 記錄透射光的強弱並分析顏色。由於其掃描的對象是底片上最原始的影像，而不是經過再製的照片，故理論上掃描底片可獲得最多的影像細節，只要掃描器的動態範圍夠

高同時使用者的技術夠好。一個事實是，照片所能展現的階調範圍比底片小很多，也就是底片上存在的很多亮部或暗部的影像細節在洗成照片後會失去，尤其是幻燈片洗成的照片。因此，平台式掃描器在掃描照片時，掃描出的影像在亮部與暗部的質感會遜於直接掃描底片，呈現一片沒有變化的黑或白，無法施以影像處理。我建議所有的天文攝影影像處理都使用直接掃描底片得到的數位影像。

我們可以簡單估計要得到一幅高品質天文影像在掃描底片時所需的解析力。一般而言，底片上的星點最小可到  $30\mu\text{m}$  ( $=0.03\text{mm}$ ) 以下，要展現這個圓形的星像，你至少要以長寬各四個像元來拼湊它（圖 1-1.2），也就是每個像元不可大於  $8\mu\text{m}$ 。因為一英吋是  $25.4\text{mm}$ ，如果一像元有  $8\mu\text{m}$ ，那每吋便約有 3000 個像元，也就是解析力是 3000dpi。因此，對天文攝影來說，底片掃描器至少要有 3000dpi 的解析力才足以分辨出底片上所有有意義的細節，這樣的掃描器在市場上是屬於中級產品。然而，這樣的要求是基於影像需要輸出成 10 吋以上的印刷品，如果影像只需顯示在螢幕或只作低放大率的輸出，當然可以降低標準，以減輕硬體的負擔。

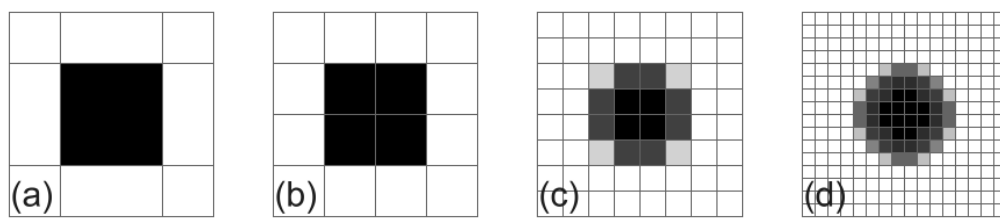


圖 1-1.2 一個  $30\mu\text{m}$  的星點，若以 800dpi 的解析力掃描將只佔一個像元，看起來就像(a)一般。(b)是以 1500dpi 解析力掃描出的星點，由於一個像元有  $15\mu\text{m}$  大，仍無法顯出星點為圓形。當解析力達 3000dpi 時，掃描出的星點便如(c)，可看出其圓形模樣，是掃描解析力的最低限的要求。而若用 6000dpi 加以掃描的話，星點就成了(d)的模樣，對這個星點來說，其中顯然包含了過多的像元。如果這星點已是整張影像中最小的星點，(d)的解析力可說是高過頭了。

除了底片與照片，數位影像的另一個重要來源是 CCD 或數位相機（其實它們是同一種東西），它們都能自動產生數位影像，其數位化的過程不是我們需要擔心的。以下的介紹都同時適用於 CCD 攝得的或是經由掃描產生的數位影像。

### 1-3 影像檔簡介

當我們完成影像的掃描或處理時，需要將它們以特定的格式儲存在磁碟中，以下簡單介紹幾種重要且常見的影像格式。

1-3.1 TIFF (.tif, Tagged Image File Format) 是目前最廣為採用的檔案型式，所有的影像與排版軟體都支援這種格式。它可儲存黑白、RGB 彩色、CMYK 彩色、CIE Lab 彩色等影像。TIFF 本身是非壓縮格式，沒有失真的問題。TIFF 也支援 LZW 壓

縮 (Lempel-Ziv-Welch，例如在 PhotoShop 中儲存 TIFF 格式時，PhotoShop 就會問你要不要採用 LZW 壓縮)，這是一種非破壞性壓縮，壓縮比約 2:1。我建議直到最後輸出前，都採用 TIFF 格式來儲存你的影像。

1-3.2 JPEG (.jpg) 是由 Joint Photographic Experts Group 所發展的很有效的壓縮格式，壓縮比可以從非破壞性的 2:1 到約 40:1，壓縮比越高對影像品質產生越多的破壞，不同的套裝軟體提供不同的方式給使用者控制壓縮比。由於壓縮會對影像造成破壞，我建議只有當完成所有的影像處理且影像非壓縮不可時（例如用於網際網路）才將影像存成 JPEG 格式，同時盡量保存原來未經壓縮的檔案。JPEG 適於儲存連續調影像，若影像是以高反差線條為主，則不宜存成 JPEG，讀者在儲存時應嘗試找出最適合的壓縮比。

1-3.3 BMP (.bmp, Windows Bitmap) 爲了配合 Windows 系統下的應用程式而發展出的檔案格式。BMP 本身是非壓縮格式，所以如果你願意的話，也可以 BMP 格式來儲存你正在處理中的檔案。BMP 格式並不支援 YMCK 彩色。

1-3.4 GIF (.gif) CompuServe 的 GIF 格式採用 LZW 非破壞性壓縮，只能處理 256 色 (8 bit) 以下的彩色或黑白影像，故實際上在將檔案轉成 256 色時就已造成色彩上的破壞。相較於會造成空間上的破壞的 JPEG，GIF 格式適合儲存以線條爲主的影像或其它低解析力影像。

以上只是我常使用的檔案格式，當然還有很多的其它格式如 EPS (Encapsulated PostScript)、PICT (Macintosh Picture)、Scitex CT、PhotoShop PSD、TARGA.....等，它們都各有適合的用途與作業環境，有興趣了解的讀者可參閱相關書籍。

## 1-4 影像處理的基本概念

我們已經了解所謂的數位影像不過是一堆排列有序的數字，那麼數位影像處理不過是一系列地改變這些數字的數學方法。我們可以依數學模式的不同，將常見的影像處理分成四大類。

1-4.1 第一類影像處理可以理解爲作用在所有像元亮度值上的函數，函數值是新的像元亮度值，簡單寫成數學式就是：

$$B_{out}(x, y) = f(B_{in}(x, y))$$

其中， $(x, y)$  是像元的空間座標， $B_{in}$  是該像元的原亮度值而  $B_{out}$  是像元的新亮度值。有時候我們的影像處理只針對特定色調實施，或對不同色調施以不同的處理，這時的處理式可能是像這樣（以 RGB 分色爲例）：

$$R_{out}(x, y) = f(R_{in}(x, y)) ; \quad G_{out}(x, y) = g(G_{in}(x, y)) ; \quad B_{out}(x, y) = h(B_{in}(x, y))$$

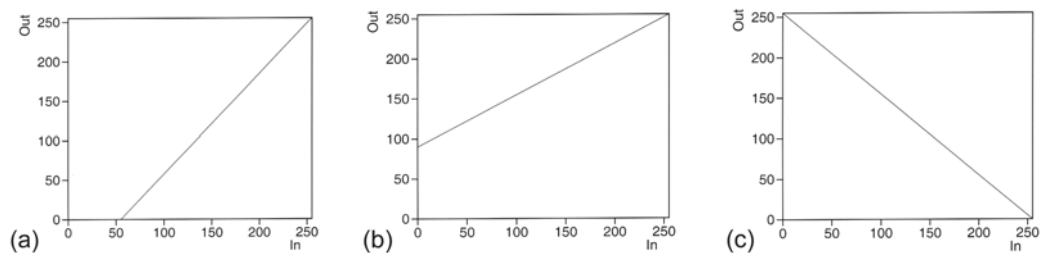


圖 1-4.1

- (a)  $B_{out}=1.275(B_{in}-55)$  這樣的處理可以使原先亮度分布介於 55 到 255 的影像，重新調整成介於 0 到 255，將整幅影像的反差與階調範圍擴大 1.275 倍。
- (b)  $B_{out}=165B_{in}/255+90$  效果與(a)相反，原先亮度介於 0 到 255 的影像成為介於 90 到 255 之間，階調與反差被壓縮成原來的 165/255。
- (c)  $B_{out}=255-B_{in}$  對比與亮度分不範圍不變，但明暗互易，成為負影像。



圖 1-4.2 圖 1-4.1(a)的處理實例，(a)是原始影像，(b)是提高反差後的影像，月面上的細微亮度變化明顯地被放大。

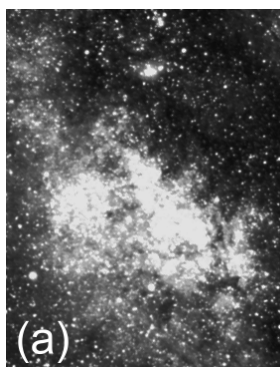


圖 1-4.3 圖 1-4.1(b)的處理實例，(a)是原始影像，(b)是壓縮階調並增亮後的影像。這個區域原本就該是高亮度區域，(a)可能是被影像軟體自動處理後的結果。

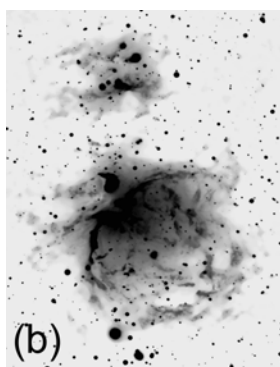
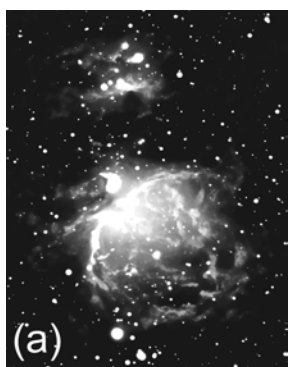


圖 1-4.4 圖 1-4.1(c)的處理實例，(a)是原始影像，(b)是反轉後的影像。

其中， $f$ 、 $g$ 、 $h$  是三個不同的影像處理函數， $R$ 、 $G$ 、 $B$  分別代表某像元在三色的亮度。事實上，以後我所提到的各類影像處理都可以像這樣針對不同的顏色施以不同的處理。

這種針對像元亮度值做函數運算的處理，很重要的特性是其結果與像元的空間位置無關，也與畫面中其它像元的亮度無關，影像中所有的像元都獨立地受到函數作用。這種函數型的處理常用於調整畫面的明暗、反差（也就是俗稱的對比）、色彩等，以下舉出幾個例子來說明。

- a. 改變影像亮度 這種處理只需將像元亮度加減某一數字即可，其數學式是：

$$B_{out} = B_{in} + C$$

若  $C$  為正數則畫面增亮，負數則減暗。

- b. 改變反差 反差的直覺意義是明暗間的差距，若我們想拉大或縮小兩點間的亮度差，最簡單的作法是將它們的亮度值都乘上某一常數，若此數大於 1 則亮度差被放大且整幅畫面的反差因而提升，小於 1 則反之。其函數型式是：

$$B_{out} = C_1 B_{in} + C_2$$

$C_1$  是控制畫面反差增大或縮小的放大因子，若小於 0，則畫面的色調反轉，亮區成為暗區，暗區成為亮區（參考圖 1-4.1、1-4.2、1-4.3、1-4.4）。

- c. 大幅壓縮階調 除了前段所述將亮度值乘一小於 1 的數外，另一種壓縮階調的有效方式是取亮度值的對數：

$$B_{out} = C_1 \log(C_2 B_{in} + 1) + C_3$$

這會讓影像的亮度分布大幅被壓縮。從圖 1-4.5，我們可看出對數函數很重要的特性是，影像暗部（低亮度值）被壓縮的幅度很小而亮部則有很強的壓縮，也就是影像暗部的明暗變化會得到較多的突顯（圖 1-4.6、1-4.7）。

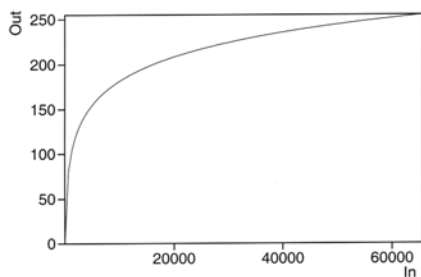


圖 1-4.5  $B_{out} = 90.5 \log(1 + B_{in}/100)$

此函數能將 0 到 65535 的亮度壓縮成 0 到 255，且突顯低亮度區的亮度變化而壓縮高亮度區的亮度變化，它和圖 1-4.1(b)或圖 1-4.3 中所示對所有亮度區的影像皆給予一致的壓縮是不同的。

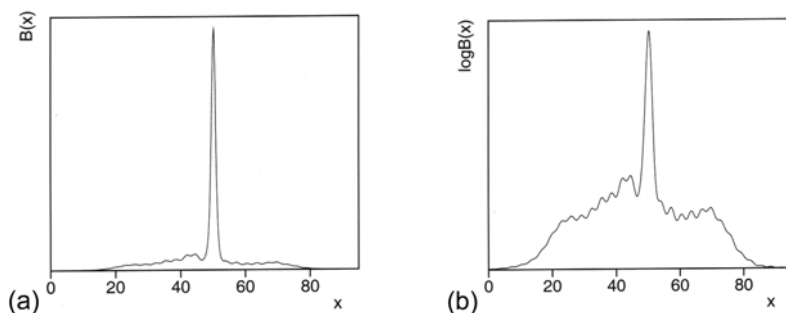


圖 1-4.6 這是幅一維的影像，橫軸是像元座標，縱軸是亮度。在(a)中，中間的突起可能是一顆亮星，而它週圍繞著很暗的雲氣，礙於中間的亮星，雲氣在影像中是很不易被察覺的。(b)將(a)中的像元亮度取對數，整體的亮度分布被壓縮，但暗淡的雲氣反而被突顯且其中的亮度變化也被放大。

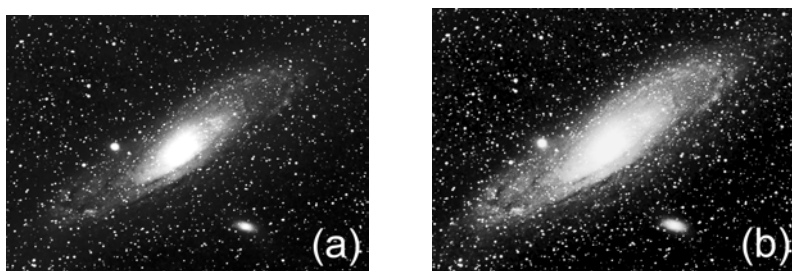


圖 1-4.7 (a)原始的影像中，M31 核心的亮度很高而漩臂卻不夠明顯，只改變反差或亮度雖可將的漩臂突顯出來，卻會使中心亮區呈現一片死白。(b)是經對數處理的影像，漩臂的部份很成功地被突顯，而中心附近的細節也被保留。

以上的函數有些在影像軟體中會提供，像是改變亮度與反差等。除了利用這些軟體內建的函數外，更有用的是由使用者透過更改階調曲線來自定函數，這提供了更大的自由度來精確調整影像，我建議讀者在稍有經驗後盡量利用階調曲線來控制影像，而不要依賴軟體所提供的改變亮度或反差等功能。

1-4.2 第二類影像處理是涉及雙重或多重影像的組合處理，以最簡單的雙重影像為例，這類影像處理的通式是：

$$B_{out}(x, y) = B_{in}^1(x, y) \& B_{in}^2(x, y)$$

其中  $B_{in}^1$  與  $B_{in}^2$  分別是第一幅與第二幅輸入影像的像元亮度值，&代表的是連結二影像的組合運算，它可以是加、減、乘、除或更複雜的數學運算，也可以是 AND、OR 等邏輯運算。與 1-4.1 中所述的影像處理相同的是，這種處理一次只考慮每幅影像中的單一像元，某像元處理後的亮度與它週圍的像元沒有關係，我們很快會看到另兩類與此不同的影像處理。

同時處理兩幅影像的原因很多，對業餘天文攝影來說，最重要的是將多張不同時間拍的照片疊合以提高訊噪比（S/N, signal to noise ratio），另一個原因可能是要讓兩張主題相同但拍攝方式不同的照片互補。



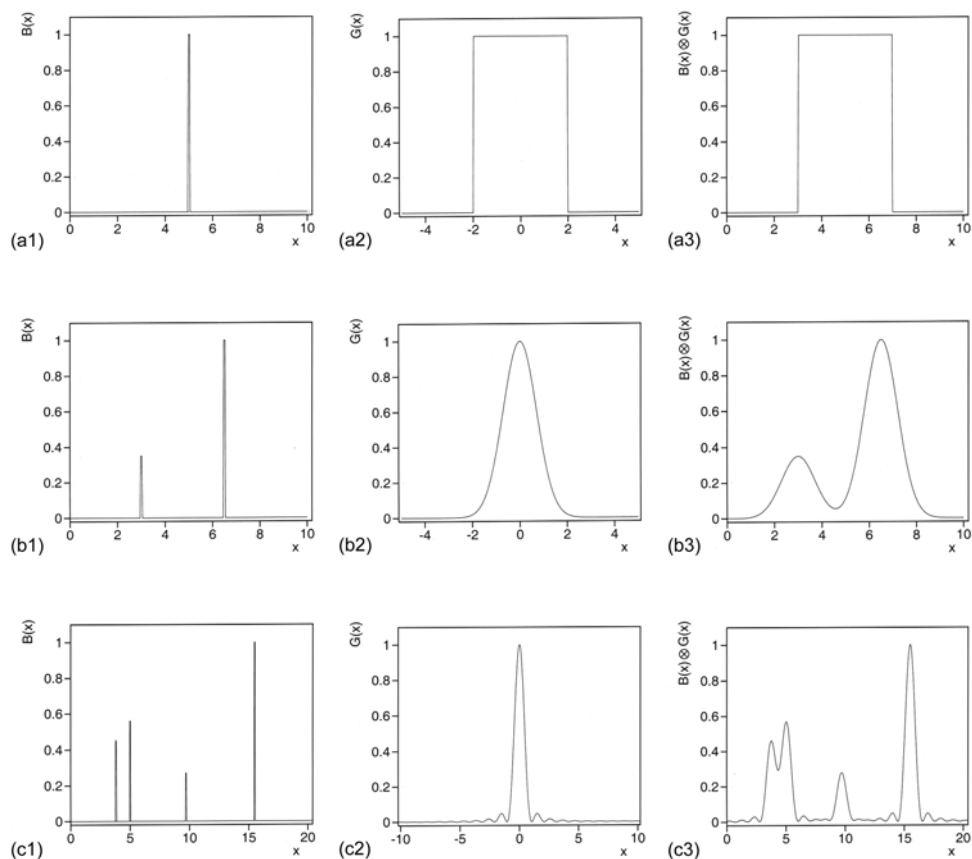


圖 1-4.8 在原始影像(a1)、(b1)、(c1)中的是數個點光源，與它們作用的摺積函數分別是(a2)、(b2)、(c2)，摺積產生的結果分別是(a3)、(b3)與(c3)。其中，(b2)所示的函數是所謂的高斯函數（Gaussian，又稱機率分布或常態分布），星像經地球大氣的擾亂後，最終在影像中所呈現的強度分布就是幾近於高斯分布，故(b3)中所見到的就像是被大氣擾亂的星像。而(c2)中所示的是點光源經圓形口徑繞射後的強度分布，故(c3)中的影像就像是經由望遠鏡以極高倍觀察星像的結果。

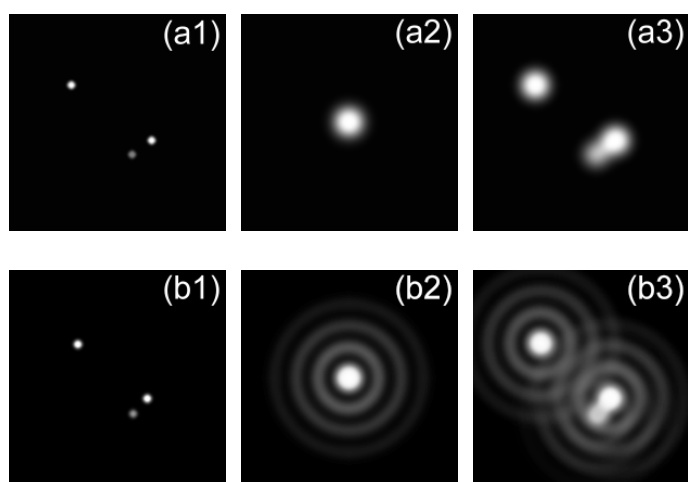


圖 1-4.9 (a1)、(b1)是含有幾個點光源的原始影像，它們分別與(a2)、(b2)的摺積函數作用後成為(a3)、(b3)的結果。(a2)中所示的是二維高斯分布，(b2)中所示的是繞射圓盤，它們可說是圖 1-4.8(b)與(c)的二維實例。

1-4.3 一種與前述截然不同的影像處理方式是我們稱為“摺積”（convolution）的數學手法，它在決定某像元將具有的亮度值時，不只考慮該像元本身，還會考慮在該像元附近其它像元的亮度。在很多影像軟體中，這種處理方式都被歸類在叫作 Filter 的選項裡（註一）。

以一維影像為例，摺積的數學表示式如下：

$$B_{out}(x) = B_{in}(x) \otimes G(x) = \int_{x'} B_{in}(x') G(x - x') dx'$$

其中， $\otimes$ 代表的是摺積運算， $G(x)$ 是所謂的摺積函數。這種影像處理的效果決定於摺積函數的型式，各種不同效果的處理其實只是套用不同的摺積函數而已，而在操作套裝軟體進行摺積式的影像處理時，我們輸入的參數事實上都是用來調整摺積函數的長相。因此要活用這些軟體特效，我們必需對摺積有足夠深入的體會。

影像摺積的直覺意義是，決定一像元的新亮度值時，需將它四週許多像元的亮度值都乘上某些數字，之後加起來成為該像元的新亮度。這些被乘在週圍像元亮度上的數字，可能互異，可能與四週像元到待處理像元的距離或方向有關，甚至可能是負數。而這些數字，都由摺積函數  $G(x)$  來賦與。另一種對摺積的描述是，我們把原始影像中的每個像元當作獨立光源，這些光點在運算時會被擴散成不再是一點而呈現與摺積函數相同的形狀，最終影像中像元的亮度值便是把從每一個像元擴散來的亮度相加。我在圖 1-4.8 與 1-4.9 中繪出幾個一維與二維影像的摺積簡例，希望有助於大家理解摺積到底是怎麼一回事。

摺積型態的影像處理中，對天文攝影很重要的有用來加強小區域對比或使影像銳利化的模糊遮罩（unsharp mask）、可使影像模糊的高斯模糊化（Gaussian blur）、可將影像裡高空間頻率的成份提取出來的高頻濾波器（high pass filter）等。

1-4.4 我們可以把所有不屬於前三種的影像處理都歸為第四類，它們可以像 1-4.1 與 1-4.2 中所述，一次處理只涉及一個像元，也可以像 1-4.3 中所述，一個處理動作需同時考慮多個像元的亮度。前者可能包括了影像的變形或旋轉、翻轉、平移等，較有意思的是後者，很多有用的影像處理牽涉到多像元的邏輯與數學運算，像是比較某像元亮度與其週圍許多像元的平均亮度，或是將許多像元的亮度作排序後取中位數等。天文攝影中會用到的包括了可用以控制雜訊的中間值濾波（median filter）、最小值濾波（minimum filter），或者將雜訊控制考慮進去的模糊遮罩等。

以上我僅對各種影像處理方式介紹其共通原理，在接下來的 Part II 中，我將為各位個別介紹每一種影像處理的詳細意義、特性，以及使用的時機與方法。

註一：之所以稱之為 filter 是因為摺積運算在經傅利葉變換（Fourier transform）至頻率空間後，就相當於濾掉或加強影像中特定空間頻率的成份。這種與摺積等價的過程對熟悉數學分析的人來說往往更容易掌握且合乎直覺，可惜空間頻率的概念並不合大部份人的直覺，在本文裡也就沒有多加討論的必要。

另一點是在軟體中文化時，filter 都被翻譯成濾鏡，這種翻譯方式很容易讓人聯想到執行這功能後會讓影像的顏色出現什麼變化，就像相機用的濾鏡一樣。事實上，熟悉訊號處理的人會寧可稱之為濾波器，它執行的是頻率空間的濾波，與濾鏡可說是八竿子打不著。

註二：本文原出處為 [ALOHA 天文小站](#)

## 版權聲明

本文作者是王為豪（[whwang@asiaa.sinica.edu.tw](mailto:whwang@asiaa.sinica.edu.tw)），本文著作權歸作者所有。只要將此版權聲明原封不動地放在文章中，任何人可自由地以任何形式複製與散佈全部或部份的本文，包括販售圖利，以及將本文重新排版成各種檔案格式，而不需經任何人同意。請你注意的是，不論你如何散佈本文，你不能對本文進行實質內容的修改，而且除了這段版權聲明，你不能對你的散佈品作任何其它的限制，也就是你不能限制他人散佈你的散佈品，否則作者將對你採取法律行動。如果你對擴充或修改本文有任何建議，請與作者聯絡，作者將樂於把你的大名放在本文的擴充版本裡。