

Part II 重要的影像處理手法

我已在 Part I 中向大家介紹過一些數位影像與數位影像處理的基本概念，現在我將正式介紹幾種常用的影像處理手法，包括它們的原理、使用時機等。

2-1 影像處理的限制

對天文攝影來說，影像處理除了要調整影像的階調色彩使照片看起來更悅目外，另一個重要目的便是要設法突顯一些影像中的細節，幫助我們透過照片來了解天體的結構。然而，存在於影像中的資訊並不能無限制地被放大，任何高明的處理手法都有其極限，這極限是由影像中的雜訊來決定。

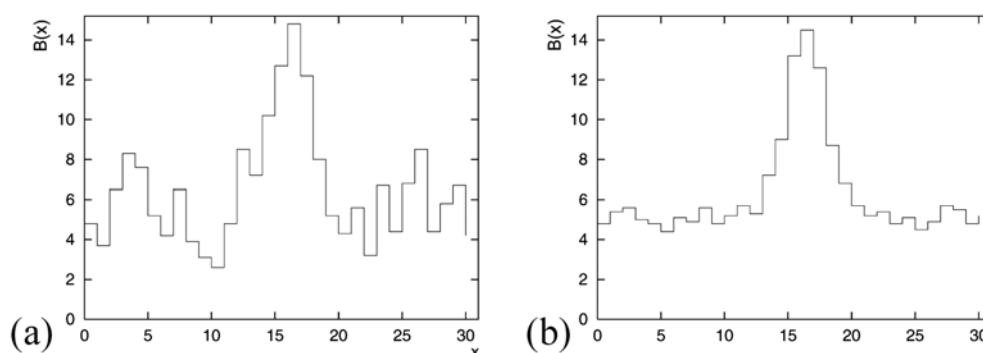


圖 2-1.1 在(a)與(b)兩幅一維影像中 $x=16$ 的附近都各有一群亮度較週圍高的像元，然而在(a)中，因雜訊相對來說較強，我們幾乎不能確定那是一顆星或者只是雜訊；但相對的，在(b)中，我們幾乎可以賭定的說那是一顆星或者其它真實的天體。

雜訊 (noise) 泛指任何在拍攝、底片沖洗、掃瞄時所產生，實際上不存在於真實景物的影像結構。雜訊會影響我們對真實訊號的判斷，例如在圖 2-1.1a 與 b 的兩幅一維影像中，在 $x=16$ 附近的訊號強度是差不多的，但(a)這幅影像的背景起伏（也就是雜訊）很強，我們會懷疑 a 中訊號的真實性，它或許只是個湊巧突起較高的雜訊而已。在圖 2-1.1a 的情況下，任何影像處理都無法對該訊號作加強，因為一來訊號本身可信度低，二來雜訊必會同時被加強。但在圖 2-1.1b 中，我們可以放心去加強圖中的那個突起，它或許是顆暗星而不像是雜訊的一部份。

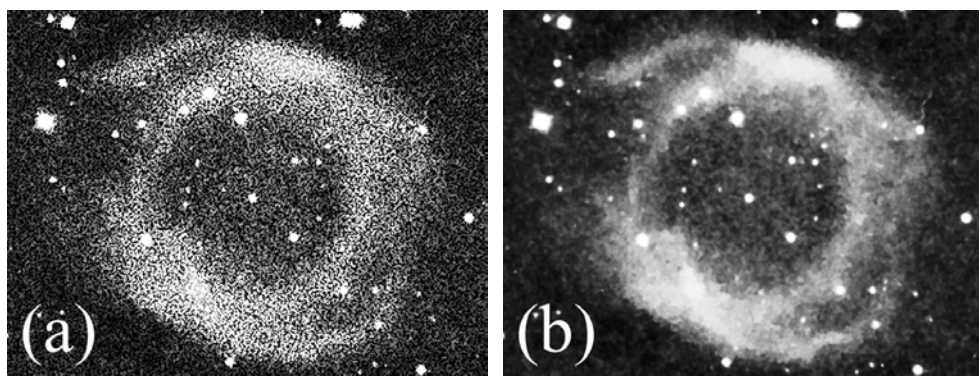


圖 2-1.2 讀者可以比較這兩張照片，(a)是低訊噪比影像經處理後所得到的，(b)則是高訊噪比影像處理後的結果。

因此，一個訊號是否能有效或有意義地被放大，端視其與雜訊的相對強度而定，二者的比值稱“訊噪比”（**signal to noise ratio**，常記作 **S/N**）。訊噪比越高，該訊號可信度便越高，越容易進行深度處理，反之則不僅處理不易，更可能獲得粗糙甚至至假的結果（註一，圖 2-1.2）。我們可以簡單歸納出幾個影響訊噪比的因素，依重要性為：

- a. 曝光量 底片上的雜訊（濃度的起伏）在不同曝光量（濃度）的區域之間差異不會很大，因此高曝光區的訊噪比（濃度／濃度起伏）當然比較高。所以，長時間曝光是提升影像品質最基本也是最有用的方法。
- b. 底片 一般來說，對底片上同樣的濃度區，低感度、粒子細的底片會擁有較高的訊噪比，有時不同品牌的底片也會有可察覺的差異。
- c. 沖片 底片的顯影、定影等沖片過程會直接影響影像品質，包括粒狀性、反差、銳利度等，同時也會引入雜訊，過度粗糙的沖洗很可能會完全破壞一張照片。對不是親自沖片的人來說，慎選沖印店是十分重要的。
- d. 掃描 以掃描器掃描底片或照片時也會引入雜訊，所謂的高階掃描器除了有高解析力、高動態範圍等優點外，另一個優點就是有較高的訊噪比。目前市面上的掃描器，除去最低價的機種，好壞的差異都只能在極暗部與極亮部比較得出來，但這些區域卻也是最需要影像處理展現威力的地方，如果你的原稿品質夠好的話。

歸納來說，要讓影像處理發揮最大的效能，一定要先有高品質（也就是高訊噪比）的原始影像。影像處理的目的是設法從影像中提取有用的資訊，並非用來彌補粗劣的拍攝過程。希望讀者們在學習威力強大的數位影像處理時，仍要持續充實基本的天文攝影功夫。

2-2 動態範圍的調整

每幅影像都有其色彩深度（請參考 1-1 節），大部份的情況下，照片或底片經掃描後，影像的動態範圍—最亮與最暗像元的亮度差，常小於該影像的色彩深度，使得色彩深度被浪費了。以 8 bit 灰階影像為例，其色彩深度為 256，而某幅掃描產生

的影像，其像元亮度可能只從 50 到 180，動態範圍只佔了色彩深度的一半。在視覺上，這將使畫面顯得無力而對比不足；從處理的角度來看，這表示像元間的亮度差異被縮小，該影像經過一連串處理後的亮度分布可能不足以反應真實。

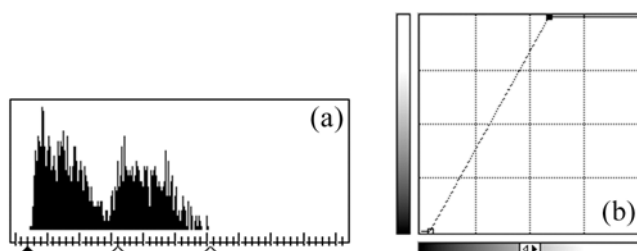


圖 2-2.1 (a)為某影像的像元亮度分布，可以看出，像元亮度只分布於 10 到 150 之間，因此可以將影像的最暗與最亮點設於 10 與 150。(b)所示的階調曲線為一次函數，其作用與(a)中所做的重設最亮與最暗點完全相同。

影像的動態範圍最好能調整成恰佔滿或幾乎佔滿色彩深度，這個動作可以在掃描前透過掃描器控制軟體、或是在掃描後透過影像處理軟體來完成（在 PhotoShop 中是 Levels 指令），其中前者是較佳的方式。不論在何種環境下進行此調整，像元亮度分布圖都是必需參考的要素（如圖 2-2.1a），該圖可以幫助處理者判斷如何重設影像的最亮點與最暗點。改變最亮點與最暗點，相當於以一線性函數作用於像元亮度（圖 2-2.1b）；而若同時改變中間調，則亮度函數將成為二次函數，且伴隨的是影像階調特性的變化：若將中間調的位置向左（暗部）移，暗部的階調將被擴張而亮部則被壓縮，右移則反之。在很多狀況下，讀者會發現，將中間調移向暗部對天文影像來說是特別有用的。不過，此處我們的工作重點只是調整影像的動態範圍，此處所能做的階調調整非常粗略，所以即使不在此改變中間調位置也無所謂，下一節馬上會為各位介紹更強大的階調調整方式。

完成動態範圍的調整後，就可以將照片掃描並開始我們的數位處理了。而在往後的處理過程中，須小心不要讓任何像元被處理成有超過 255 或低於 0（此乃以 8 bit 影像為例）的亮度，否則其亮度會被當成 255 或 0，間接造成細節的損失。

2-3 階調與色彩的修正

當我們開始處理一幅影像，第一個想做的可能是修正影像的明暗、對比、或色彩。以 Adobe PhotoShop 為例，用來做此類調整的指令就有 Levels、Curves、Color Balance、Brightness/Contrast、Hue/Saturation、Invert、Equalize、Threshold、Variations 等那麼多。在這之中，要對影像做出最完整細膩的調整唯有藉助 Curves（階調曲線）與 Hue/Saturation（色相/飽和度）兩個指令，前者用以控制影像的明暗、對比、階調、與色彩，後者則在部份時候提供輔助性的色彩控制，尤其與階調曲線相比，所有其它的指令都只能提供部份的控制。

還記得我在 PART I 1-4.1 節中所提的像元亮度函數嗎？改變階調曲線的意義其實就是自訂亮度函數。在調整時主要的考慮重點有二，一是曲線在每一點的高低位置，這代表的是亮度，有時我們會想把曲線上某一點的位置提高（或降低），以使該點代表的像元亮度增加（或下降）。另一是曲線在不同位置的斜率，這代表的是反差，當我們想提高（或降低）某亮度區的對比時，我們可以讓該區內的曲線變得更陡峭（或平緩）。以下舉出兩個例子來說明其應用。

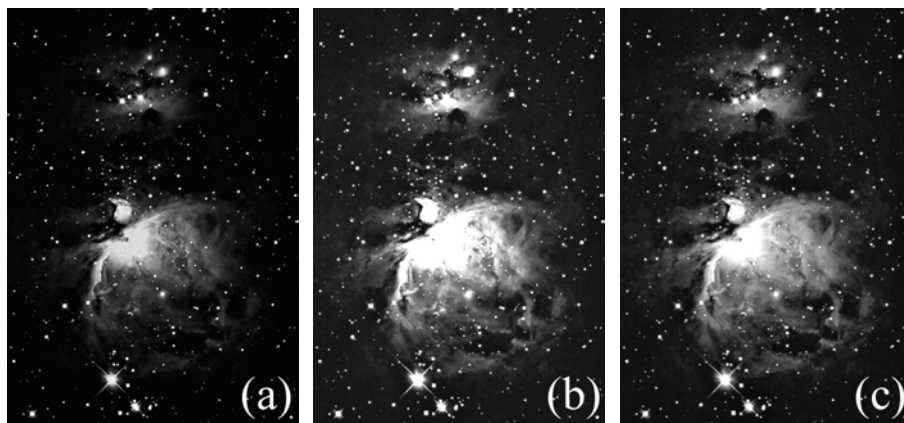


圖 2-3.1 (a)由掃描器取得的初步影像，可以看出週邊較暗的星雲，但很不明顯。(b)爲了突顯較暗的星雲而直接提高反差後的結果，雖然外圍的雲氣變明顯了，星雲中心卻也因此飽和，完全看不出其中的結構。(c)利用圖 2-3.2 中的階調曲線修正影像的結果，同樣提升了週邊雲氣的亮度，卻能避免中心飽和。

我們掃描一張星雲影像後，有時會覺得雲氣較暗淡的部份不夠明顯，畫面顯得無力（如圖 2-3.1a），這時若我們直接改變明暗與對比，在暗部細節呈現後，亮部卻近於飽和（如圖 2-2.1b），二者難以兼顧。這時可考慮用如圖 2-3.2a 的階調曲線來調整，大體來說，這條曲線很像對數函數或平方根函數（如 PART I 1-4.1 節中介紹），它可以在提升中間調與暗部亮度的同時，適度壓縮亮部的階調並防止飽和。而在曲線底部，有時我會製造出一個由水平向上彎的形狀（如圖 2-3.2b）以壓縮極暗部的階調，這可以降低背景天空的亮度同時藉降低反差使背景中的雜訊看起來不那麼明顯。圖 2-3.1c 是經此調整後的結果。

另一種可能的調整方式是如圖 2-3.3 所示的曲線，它可能使用於球狀星團的照片。它擴大亮部的反差，可突顯星團中央的亮度變化，避免中央因曝光量較大而呈現死白，有利於在下一步處理時使用 unsharp mask 將其中的星點分離出來。暗部亮度的提升可突顯星團外圍的暗星，且縮小亮暗部間的亮度差有助於同時呈現星團外圍與中心的星點。

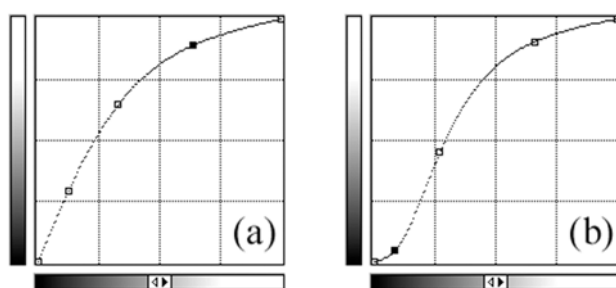


圖 2-3.2 這兩條曲線的作用都在提升中間調與暗部的亮度，同時壓縮亮部的階調。(a)與(b)不同之處在於(b)對極暗部作出一些壓縮，用意是降低背景天空的亮度。

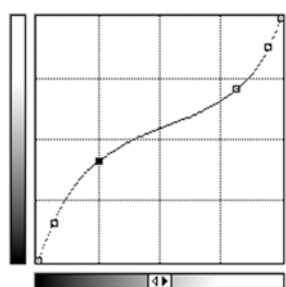


圖 2-3.3 這條曲線的作用是壓縮中間調，降低亮部與暗部之間的亮度差。

階調曲線除可改變影像的明暗分布，亦可用於改變畫面的色彩，方法是獨立調整每一個色彩頻道（**channel**）的曲線。初學者這麼作可能甚感不便且難以獲致理想的結果，但習慣後會發現其優點與功能強大。用階調曲線來做色彩調整最大的好處是可以單獨改變某個亮度區間的色彩，例如，你可以在改善背景因光害而呈現的微綠的同時，略微提升中間調的星雲的紅色，又設法消除亮星週圍因鏡頭色差而產生的藍暈。階調曲線唯一無法做到的事是改變色彩的飽和度，這時只好藉助獨立的飽和度調整，這也是為何我前面說需要 **Curves** 與 **Hue/Saturation** 這兩個指令才足以對影像做出完整的控制。

總而言之，用階調曲線自定亮度函數可說是控制明暗階調與色彩最精確卻也是最不易掌握的方式，初學者應盡量從嘗試中學習控制方式，最終必可獲得階調美麗而主題明顯的影像。

2-4 影像的疊合

將內容相同但可能拍攝時間或使用儀器不同的照片疊合在一起，其目的可能在改進影像品質（也就是訊噪比），或是融合不同照片所具有的優點（例如一張照片具有高解析力而另一張記錄了天體中較多的暗淡細節）。影像疊合的數學原理我已在 1-4.2 節中介紹過了，此處僅介紹兩種常用的疊合方式及其效果。

2-4.1 加法疊合 將多張影像做加法疊合的主要目的是改進訊噪比，理論上，將 N

張訊噪比相近的影像作加法疊合後，合成影像的訊噪比會是原來的 $N^{1/2}$ 倍。實際上在疊合時，差不多只要疊合三張以上的照片，就可以看出其暗部品質的提升（參考圖 2-4.1）。在傳統暗房，加法疊合相當於將多張內容相同的底片逐次印相在一張相紙上，此法除可改進訊噪比，亦可令底片顆粒看起來較不明顯（可惜數位影像的加法疊合不具此優點）。在 PhotoShop，加法疊合是 Apply Image 或 Calculations 功能之下 Blending 選單中的 Add 選項。

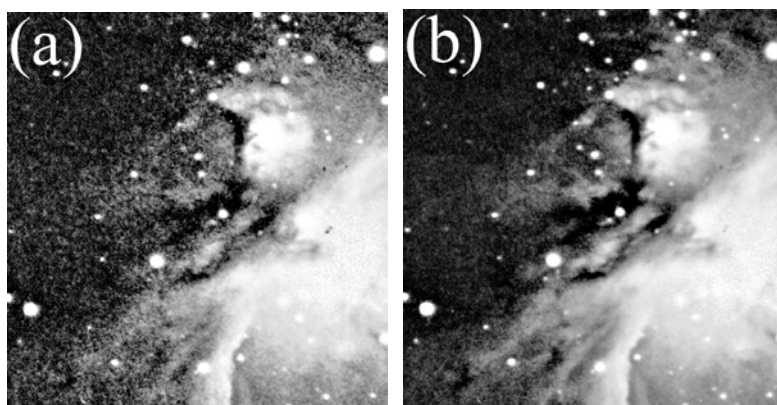


圖 2-4.1 (a)為單一短時間曝光的影像，(b)為將三張與(a)類似的影像作加法疊合後的結果。顯然，(b)的暗部品質要比(a)好得多，且呈現出較多星雲外圍的細節變化。

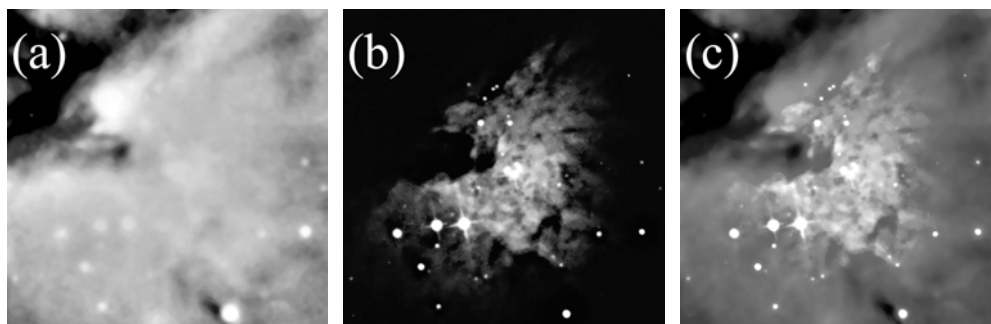


圖 2-4.2 (a)為以短焦距長時間曝光攝得的低解析力影像，(b)則是以長焦距短時間曝光攝得的高解析力影像，(c)是將此二幅影像做乘法疊合後的結果。

2-4.2 乘法疊合 在做星野攝影時，高解析力與攝得較暗淡的雲氣是我們常追求的兩個目標。然而，獲取高解析影像的最佳方式是使用大口徑而長焦距的系統，這類系統往往難以攝得太暗的細節。相反的，能攝得極暗淡雲氣的，往往是一些中小口徑而短焦的系統，這類系統攝得的照片解析力並不會太高。這兩類長短處互補的照片，可以透過乘法疊合得到最佳的融合（圖 2-4.2）。乘法疊合的另一個作用是產生階調的擴張，將兩張階調相似的照片以乘法疊合後，效果將近於以平方函數作用於單一影像上，其階調將得到大幅擴張。在疊合不同解析力的影像時，為了避免階調的擴張，我有時會以高頻濾波將較高解析力影像中的低頻成份濾除（反正此已存在

於較低解析力影像中)。在傳統暗房中，乘法疊合相當於將多張內容相同的底片貼合成一張，再印相到相紙上，這麼做的主要效果在於擴張階調，對訊噪比或畫質的改善實是有限。在 PhotoShop 中，乘法疊合是 Apply Image 或 Calculations 功能之下 Blending 選單中的 Multiply 選項。

加法疊合與乘法疊合是我最常用的兩種影像疊合方式，在 PhotoShop 中，尚有十多種疊合影像的方式，包含多種算術與邏輯運算，讀者在了解其運算內容後或許可以發現其在天文影像的運用。另一方面，實際疊合的工作有其惱人之處，在 PhotoShop 中，Apply Image 與 Calculation 都要求被疊合的影像要有完全相同的大小，且疊合時不允許使用者移動或旋轉影像，所以在疊合前就得先將每幅影像中星點的角度與位置調至分毫不差，雖然 PhotoShop 有提供尺與量角器，這樣的動作仍很煩人。如何有效率而正確地將多幅影像疊合，完全仰賴使用者對軟體的熟悉度。

2-5 雜訊的處置

如我在 2-1 節中介紹的，雜訊存在的事實限制了我們影像處理的深度，此一限制不可能消失。然而我們有些辦法可以在對影像做強力處理後，讓被放大的雜訊看起來不那麼明顯，維持影像美觀。方法之一是以解析力作爲代價，把影像中的細小結構（包括雜訊）給抹平；另一種是根據一些我們相信應存在於天文影像的規律，把我們不信任的影像結構給抹平。以下介紹三種我常用的方法：

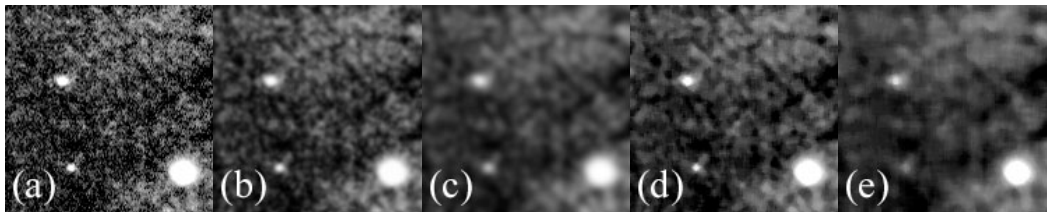


圖 2-5.1 從以上五幅影像可比較出，在對雜訊有同等程度的抑制時，高斯模糊處理後的星點較中位數濾波略大。

- (a) 150×150 像元的未處理影像
- (b) 經半徑 1.2 像元的高斯模糊處理
- (c) 經半徑 2.5 像元的高斯模糊處理
- (d) 經半徑 2 像元的中位數濾波處理
- (e) 經半徑 4 像元的中位數濾波處理

2-5.1 高斯模糊化 高斯模糊是將原影像與二維高斯函數作摺積，讀者不妨回顧 PART I 的圖 1-4.8b 與 1-4.9a，其細節此處暫不討論。由於這種模糊化基本上是求局部亮度的（加權）平均，它會使解析力下降，且將像元亮度作平均的結果將使雜訊彼此相消，故可說是以解析力換取影像品質。也因此，使用時便需在二者間做抉擇。一般狀況下，在模糊半徑不超過最小星像直徑的三分之一時，你很難看出解析力的下降，當然此時對畫質的改善也有限。

2-5.2 中位數濾波器 (Median Filter) 中位數濾波器執行前需輸入的參數是濾波半徑，執行時電腦讀取被處理像元四週濾波半徑內所有的像元亮度，之後取中位數作為被處理像元的新亮度。一般來說，只要濾波半徑夠大（例如在三個像元以上），取中位數的結果會近於取平均值。但與取平均值不同的是，若影像中有亮度特別大或特別小的雜點，則中位數濾波可不受這些點的影響且能將它們自影像中濾掉，而取平均值（或高斯模糊）則反會擴大這些像元的影響。我自己常用小半徑的中位數濾波（例如 1 或 2 像元），尤其是在剛完成影像的掃描時，這可消除一部份的雜點而不影響解析力。讀者可從圖 2-5.1 比較高斯模糊與中位數濾波抹平雜訊的效果與對解析力的影響。

2-5.3 PhotoShop Smart Blur 這是 PhotoShop（4.0 版以後）特有的一種模糊功能，它執行的方式是比較被處理像元的亮度與週圍某給定半徑內所有像元的平均亮度，若二者相差在某給定的臨界值內，則以週圍像元的平均亮度作為被處理像元的新亮度；若二者之差超過臨界值，則被處理像元的亮度維持不變。換言之，這是一種有條件的模糊化（註二）。

現在最重要的問題是，將 smart blur 應用於天文影像時，半徑與臨界值應如何設定。首先關於半徑，它必然不能是個太大的數，否則我們相當於在比較一像元及許多與該像元無關（因距離太遠）之其它像元的亮度，這顯然無意義。因此，半徑值需小到在其範圍內的像元是彼此相關的。更明白的說，它差不多是由一幅影像的解析力來決定，因為我們相信在小於解析力範圍內的像元應該要有類似的亮度值，除非是受到雜訊的影響。因此在使用 smart blur 之前，可以先量量最小星像直徑，合理的半徑設定應在最小星像直徑的 1 到 2 倍之間。

關於臨界值的設定，我們也可以預期它不能是個很大的數，否則待處理像元的亮度將有很大的可能性被週圍像元的平均亮度取代，其結果便會與無條件的模糊化接近，這當然不是我們想要的。那麼它應小到何種程度？答案是應與影像中的雜訊強度差不多。既然我們認為比雜訊弱或與之差不多的訊號在影像中都不盡可信，那何不以四週像元的平均值取代？在執行 smart blur 前，你可以先看看背景的亮度起伏量，例如約是 ± 10 ，那你便可在 8 到 20 之間嘗試找出最合適的臨界值。

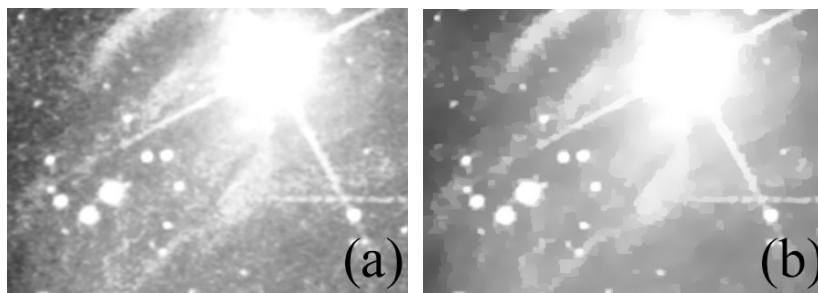


圖 2-5.2 (b)為(a)經 PhotoShop Smart Blur 處理後的結果，可以看出畫面變得較平順而解析力並未下降。

Smart blur 與高斯模糊或中位數濾波比起來，最大的好處是它不會破壞影像中的

線條，也幾乎不影響星點，只要參數設定恰當。圖 2-5.2 是 smart blur 的處理實例，讀者可以參考。

以上三種對抗雜訊的方式各有其效果與適用的時機，除了前面所述，我常在影像掃描完畢後用中位數濾波外，我也常在執行 unsharp mask 後執行小半徑的中位數濾波，以令因 unsharp mask 變粗的星點略微減肥，或是執行高斯模糊以緩和被 unsharp mask 放大的雜訊。至於 smart blur，我建議在影像處理結束前執行，用以做最後的畫面修飾，經 smart blur 處理過的影像並不適於再做其它的處理強化，尤其是 unsharp mask。

2-6 Unsharp Mask（模糊遮罩）

— 同時介紹高斯模糊化（Gaussian blur）與高通濾波（high-pass filter）

介紹過以上基本的處理後，我將進入天文影像處理的核心問題—設法突顯天體的細微結構。所謂的結構，在影像中就是亮度（有時是色彩）的變化，此處將要介紹的 unsharp mask 法（以下有時縮寫為 USM），便是一種突顯小範圍而微弱的亮度變化最具威力的方法（註三）。在天文攝影裡，不論在傳統暗房或數位影像處理，USM 都有極廣泛的應用（註四）。

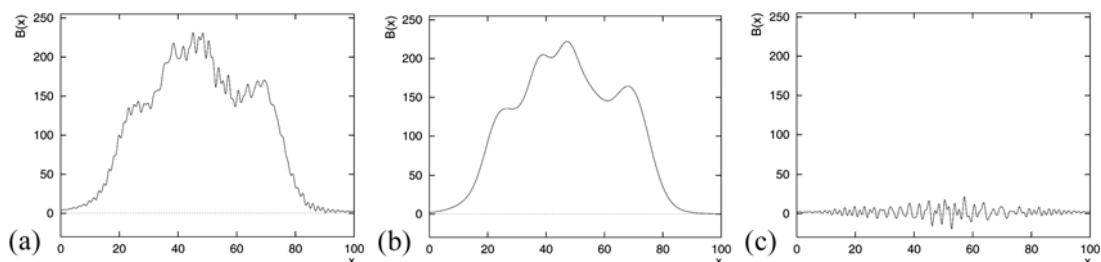


圖 2-6.1 (a)是一幅一維影像，橫軸是像元位置，縱軸是亮度。這幅影像可依空間頻率的不同拆解成(b)與(c)兩部份（ $a=b+c$ ），其中(b)是所謂的低頻部份，而(c)則是高頻部份。

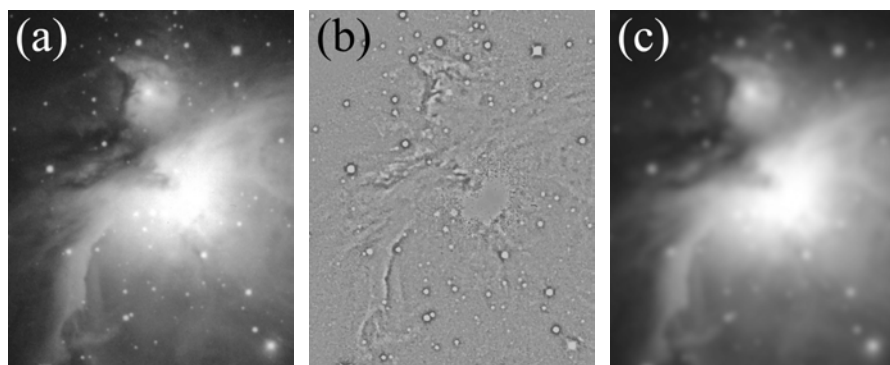


圖 2-6.2 這是圖 2-6.1 的二維實例，(a)是原始影像，(b)是其中較高頻的成份，(c)是其中較低頻的成份。

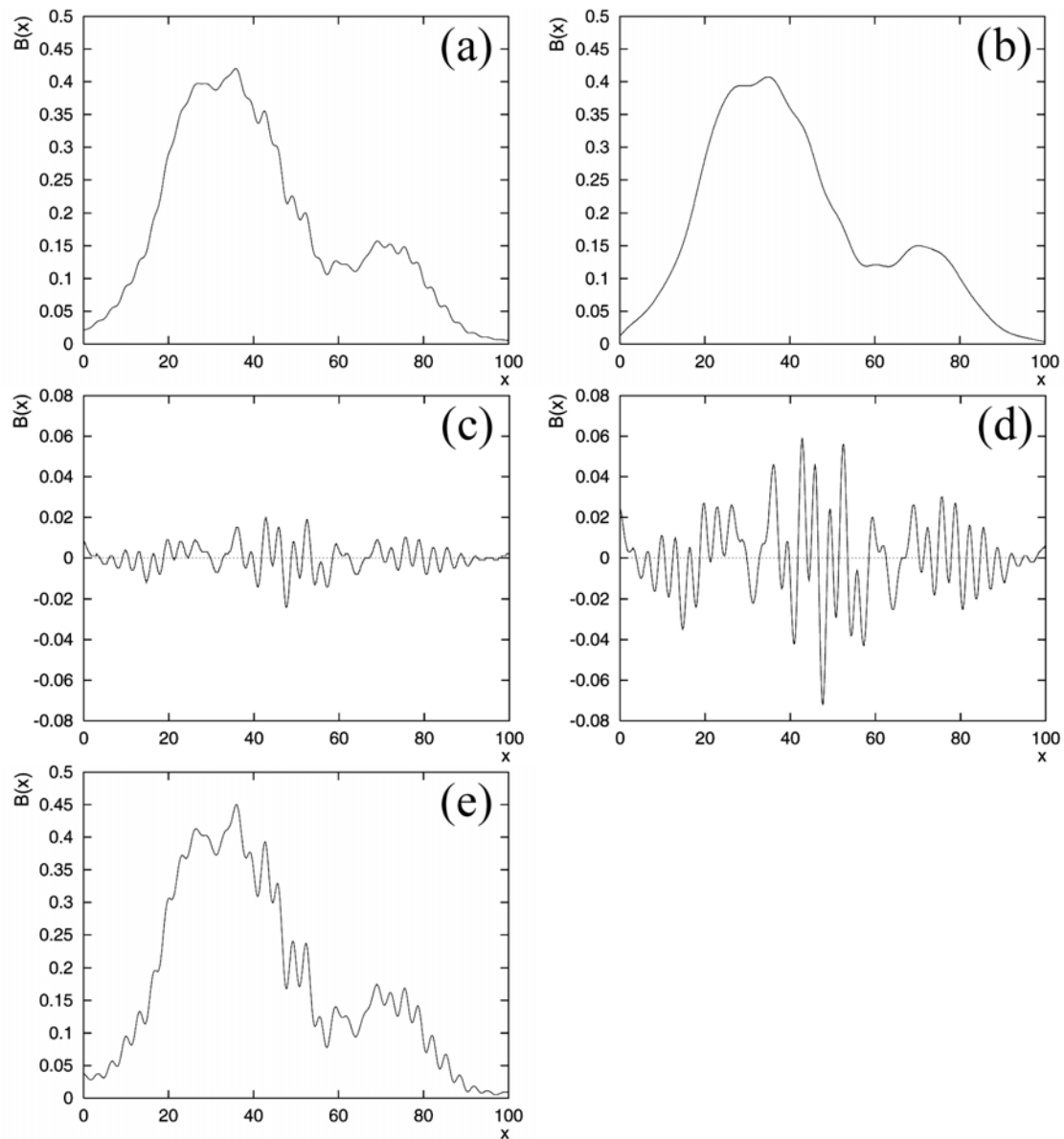


圖 2-6.3 詳細的說明請參考正文

- (a) 為原始影像
- (b) 將(a)模糊化後所得
- (c) = (a) - (b)
- (d) = (c) \times N
- (e) = (d) + (b)

首先讓我介紹所謂“空間頻率”（spatial frequency）的概念（參考圖 2-6.1）。一幅影像中存在著各種不同的亮度起伏，有的起伏橫跨很多個像元，就如圖 2-6.1b 中所示，這種起伏我們稱它有較低的空間頻率；相反的，有些亮度起伏上下振動很快，起伏之間可能只差了幾個像元，就如圖 2-6.1c 中所示，這種起伏我們稱它有較高的空間頻率。一般來說，一幅影像中會存在著各種高低不同的頻率成份。“通常”，高空間頻率的成份會有較小的振幅，也就是亮暗的差距較小；而低頻成份的亮度變化“通常”可以很大，並幾乎主宰了整幅影像的明暗分佈（註五），圖 2-6.1 與圖 2-6.2 中的影像是很好的例子。

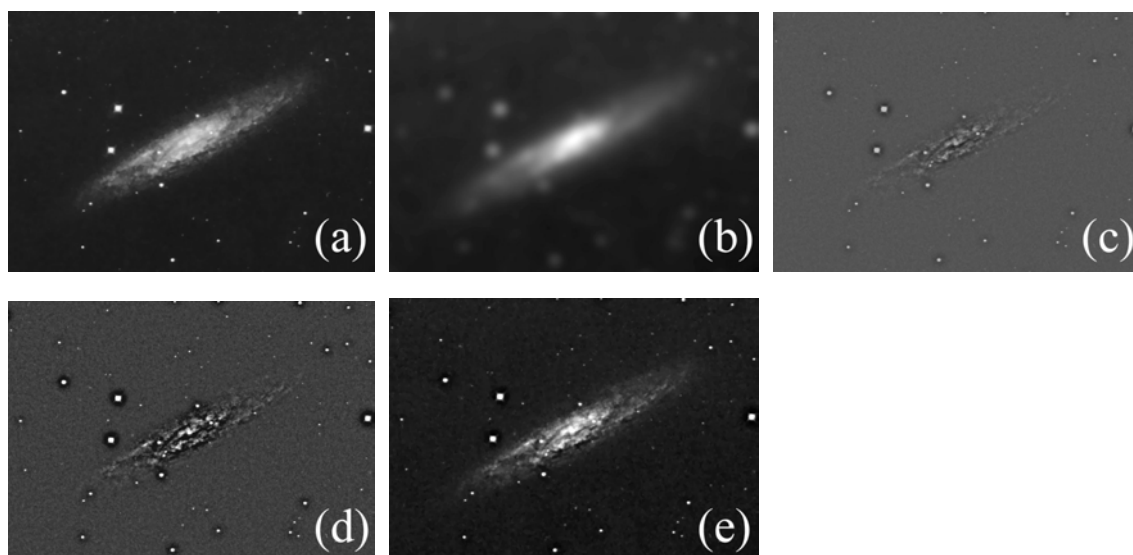


圖 2-6.4 圖 2-6.3 的二維實例，各圖的意義同圖 2-6.3。

不論高頻成份或低頻成份都代表著天體的某些結構，但需要被加強的常常只是高頻成份，因其亮度起伏所橫跨的空間範圍與起伏量都小，較不易被察覺。在 1-4.1 節（或 2-3 節）中所提及的亮度處理函數是對整幅影像的亮度變化做調節，並不能只針對高頻成份加強。相反的，低頻成份受這類函數處理的影響較大，因為整幅影像的明暗變化絕大部份取決於低頻成份。因此，我們需要一種能辨認影像空間結構的處理方式。讀者不妨回想一下 1-4.3 節中所述的摺積，它便是一種與影像空間結構有關的處理，USM 也就是透過摺積來辨認影像中的高頻成份並對之施以強化。以下先介紹 USM 的基本原理。

USM 的第一步是將影像模糊化，而得到原影像中的低頻成份，如圖 2-6.3a 到圖 2-6.3b。第二步將模糊影像從原始影像中扣除而得到原始影像中的高頻成份，如圖 2-6.3c。接下來便是對高頻影像做乘法加強（圖 2-6.3d），最後把前面被扣除的低頻影像再加回來而完成 USM 處理（圖 2-6.3e）。其中，模糊的低頻影像我們稱之為 unsharp mask，它是整個 USM 處理的關鍵（它也是 USM 處理法的名稱由來），要掌握 USM 的運作，必需先了解模糊影像的產生與控制方式。

將影像模糊化常見的方式是所謂的“高斯模糊化（Gaussian blur）”（註六），它是將原始影像與高斯分布函數作摺積（請參考 1-4.3 節與圖 1-4.8b 與 1-4.9a）。最終影像的模糊程度取決於高斯函數的寬度，高斯函數越寬，模糊度越高。在以軟體執行高斯模糊或 USM 時，軟體會要求你輸入一個半徑參數，此參數便是用於控制二維高斯函數的寬度（註七，圖 2-6.5）。用最粗淺的方式來理解，某像元經高斯模糊化後的亮度值是其周圍給定半徑內所有像元亮度的平均值。我們可以想像，影像經此處理後，所有尺度小於模糊半徑的影像結構都會消失。

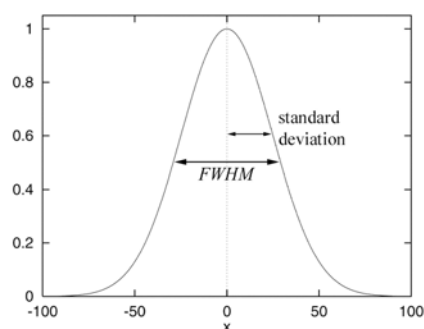


圖 2-6.5 一維高斯函數的寬度定義，請參考註七。

介紹至此，容我稍稍岔開話題。由於高斯模糊處理的結果是令影像中的高頻成份消失而保留低頻成份，因此它可說是低頻濾波器（low-pass filter，亦有人稱為“低通濾波”）的一種。相對的，若某種處理只保留高頻成份而濾去低頻成份，它便是一種高頻濾波器（high-pass filter，亦稱“高通濾波”）。例如，前述將模糊（或低頻）影像自原影像中減掉的過程便屬於高頻濾波。高頻濾波在 PhotoShop 中可直接執行，其需要輸入的參數與高斯模糊一樣，是個半徑參數，只是此時高頻濾波會留下比半徑小的結構，與高斯模糊相反。而從影像處理的觀點來看，高通與低通濾波都只是種概念，並不是專指某種處理。事實上，我們能創造出許多不同的高通與低通濾波，PhotoShop 中的高斯模糊與高通濾波，只是其中的特例而已。

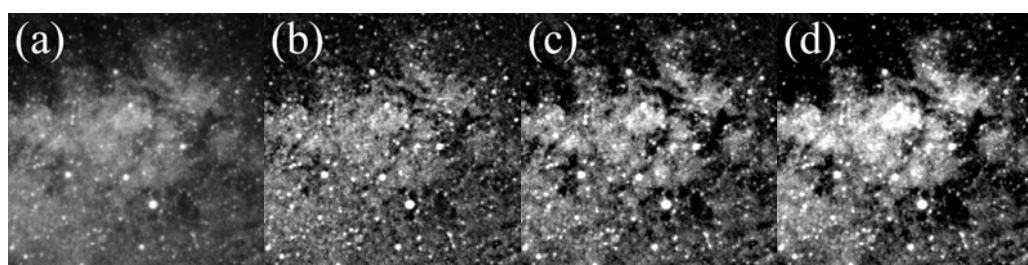


圖 2-6.6 一幅影像經相同強度但不同半徑的 unsharp mask 作用後的結果。

- (a) 400×400 像元的原始影像。
- (b) 模糊半徑 6 像元，此時得到最佳強化的是星點與一些最小的黑暗星雲。
- (c) 模糊半徑 20 像元，此時大部份的黑暗星雲與亮區都得到強化，此為最適於本幅影像的半徑設定。
- (d) 模糊半徑 80 像元，此時只有大區域的亮度變化被加強，結果與直接作階調調整差不多。

USM 執行後對影像的影響取決於模糊半徑的設定，與模糊半徑差不多大的結構會得到最多的加強（參考圖 2-6.6）。這是因為只含有低頻成份的 unsharp mask 已自原始影像中扣除，因此低頻成份不會在之後的作用中被加強。而在對高頻影像施以乘法加強時，只有其中較低頻的部份會得到最明顯的強化，這是基於前述一幅影像中較低頻的成份較易受函數處理影響的假設。綜合這兩點，我們發現在整個處理過程中由模糊半徑所定義出的空間頻率，也就是低頻與高頻的分野，是被 USM 強化得最多的。

介紹完理論後，讓我們回到現實。既然只有與模糊半徑差不多大的影像結構會被 USM 加強，我們便應視欲加強的天體結構來設定半徑參數。例如，若你想突顯 M51 星系的漩臂，你可以先看看一道漩臂的寬度為何，若是約 30 個像元寬，你便可在 20 到 40 間尋找最佳的半徑值。又例如，你希望將球狀星團中心一片幾近飽和中的微弱亮度變化呈現出來，此時雖然你難以觀察其中的結構大小，但可以預期的是其亮度變化必然是以一顆星的大小為基本單位，畢竟星團是由星構成的。此時你便可看看影像中其它區域一顆中低亮度的星的大小，例如是 10 個像元的話，你便可嘗試 6 到 20 之間的模糊半徑。另一個例子是，在處理月面影像時，你觀察到月球坑邊緣由明轉暗約經歷 4 個像元，你便可試用 2 到 6 的模糊半徑。

因為 USM 在所有影像軟體中都是執行起來較費時的，若使用者不知如何選擇適當的半徑參數而盲目亂試一定會浪費很多時間，且結果不一定令人滿意，以上提供的決定方式應是值得參考的。另一方面，一幅影像中必然存在各種不同的頻率成份，值得你去加強的有時不只其中一種，這時可能需要執行兩次甚至多次的 USM，每次使用不同的半徑。另一方面，也不是所有的模糊半徑都有意義，能產生作用的有一個下限，此即照片的解析力，因為照片中不可能存在小於解析力極限的結構，除了雜訊。例如，若照片中最小的星點佔了 8 個像元，你便無需嘗試 5 以下的模糊半徑，除非你想加強雜訊。

執行 USM 時另一個需要輸入的參數是對中高頻影像作乘法加強的強度，此一參數在 PhotoShop 中稱為 amount，在 PhotoImpact 則為清晰程度。它所代表的意義很明顯，讀者在執行時只需透過預覽功能直接調整強化的程度即可。

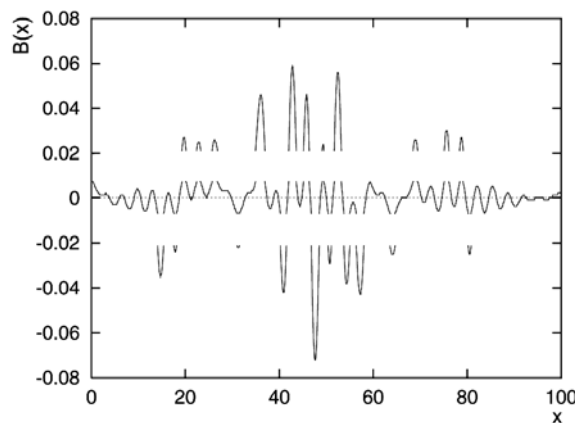


圖 2-6.7 此為圖 2-6.3(c)中的影像經臨界值 0.007 放大後的結果，讀者可比較其與圖 2-6.3(d)的不同。

以上所介紹的模糊半徑與 unsharp mask 強度是在執行 USM 時所需輸入的兩個基本參數，除此二者，PhotoShop 的使用者會發現 PhotoShop 中有另一個可輸入的參數，稱為臨界值（threshold）。這個參數的作用發生於對高頻影像作乘法加強時，若高頻影像中某像元的亮度值介於正負臨界值之間，則 PhotoShop 不對此像元施以乘法加強（圖 2-6.7）。這個參數的設置目的是為了避免雜訊被放大，因為依 2-1 節

中的概念，既然小於某程度的亮度起伏都不可信，我們便可透過臨界值的設定要求 PhotoShop 只對較大的起伏作強化。因此，在執行 USM 前，你可以在影像中找一塊“你相信”不該有結構存在的背景，看看該處的亮度起伏量是多少（那便是該幅影像的雜訊強度），再將之設為臨界值。若臨界值設為零，則 PhotoShop 回歸到原始的 unsharp mask，會對所有的像元做加強。

需警告讀者的是，以臨界值的設定來避免雜訊被放大看似合理，實則有問題。首先，若設定稍大的臨界值，有被 USM 強化與未被強化的區間看起來會不連續，畫面變得很不自然。另一方面，對雜訊較完整的處理應該還要從影像的解析力來考量（參考 2-5 節），PhotoShop unsharp mask 只以一個參數就判定某訊號是否該被處理實是過於簡化。我在 PhotoShop 中執行 USM 時，通常都設臨界值為零，只有很少的狀況下會用 3 以內的小臨界值。

2-6.x 旋轉式模糊遮罩（rotational unsharp mask）

以上所介紹的是 unsharp mask 的基本原理與其在軟體的應用，除了這些以外，留心天文攝影的讀者一定還看過另一種變體的 USM，稱為“旋轉 USM”，它幾乎只用於加強日全食的日冕。

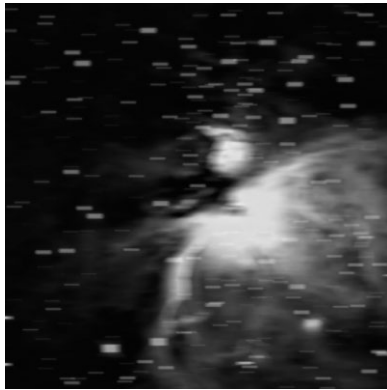


圖 2-6.8 此為影像經水平方向之 Motion Blur 模糊化後的結果。

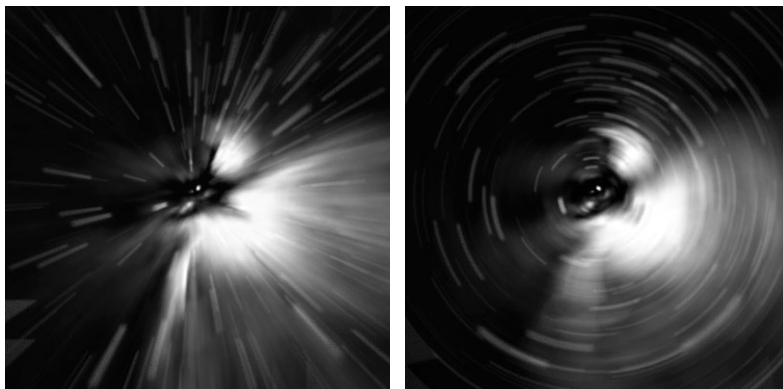


圖 2-6.9 (a)為經 PhotoShop Radial Blur 的 Zoom 模式模糊化後的結果。(b)為經 Spin 模式模糊化的結果。

旋轉 USM 與一般 USM 唯一不同處在於模糊影像的產生。前述的高斯模糊是將像元亮度向四面八方擴散出去，但若只是要讓影像變模糊的話，這不是唯一的可能。例如，我們可以令像元亮度只在水平方向擴散，如此，一個星點經模糊化後將不是變成一個更大的圓盤，而是變成一條橫向的長線（如圖 2-6.8），這樣的模糊化在 PhotoShop 中是 Motion Blur。另一種可能是，以某一點（通常是畫面中心）為圓心，令像元亮度沿半徑方向（放射模糊）或是垂直半徑方向（旋轉模糊）擴散（如圖 2-6.9），在 PhotoShop 裡，這分別是 Radial Blur 功能下的 Zoom 與 Spin 模式。一般我們說的旋轉 unsharp mask，就是以經旋轉模糊處理的影像作為模糊遮罩而做出。

如果讀者曾較仔細地觀看日冕的照片，會發現日冕的結構基本上在垂直（太陽的）半徑的方向有較明顯的亮度變化甚至不連續，而在沿半徑方向上則多半只有單調地緩慢向外減弱，較無明顯的結構。因此，若我們想突顯日冕在垂直半徑方向上的結構，用於 USM 中的模糊影像就最好是只破壞垂直於半徑的結構。這是以旋轉 USM 處理日冕影像的理由。

在 PhotoShop 中，並未提供這種變體 unsharp mask，讀者只能自己動手做：用 Radial Blur（Spin）做出模糊影像→以 Apply Image 或 Calculation 中的 Subtract Blending 將模糊影像自原始影像中扣掉而得到高頻影像→最後將高頻影像放大後以 Apply Image 或 Calculation 中的 Add Blending 加回原始影像中。如果各位已看懂我之前為各位介紹的 unsharp mask 基本原理，相信此處的 DIY 以及各種參數調節（例如旋轉量）是難不倒各位的。事實上，即使是一般的標準 USM，也不見得要依賴軟體來一氣喝成，一步步自己來有時會大有好處，我們可以很彈性地處理每一個次級影像（包括模糊影像與高頻影像等），在其中加入任何有必要的調整甚至製造更次級的影像，這樣大費周章的結果常會製作出比罐裝 USM 還要有質感的影像，如果處理得好的話。而這一切，都要求處理者對各種處理的內涵有深入的了解才行。

以上介紹了幾種常用於天文影像的處理手法，包括它們的抽象原理與應用方式。在進行實際的影像處理時，會用到的處理並不止這些，它們不過是最核心的幾個處理而已，其它各種影像編輯的技巧以及軟體的操作方式，都需要使用者透過坊間的影像處理書籍去學習。在不可知的未來，我會列舉幾個影像處理的實例，以方便讀者了解這許多的影像處理手法是如何串聯起來對付各種不同的天文影像。

註一：一個活生生的例子是自 1998 年 5 月到 12 月的“天文指南”雜誌中，MIZAR 公司於彩色頁的廣告照片，該照片是以短時間曝光拍攝再經影像處理所產生，由於訊噪比不足，玫瑰星雲中應有的許多亮度變化以及微小的黑暗星雲，都幾乎被淹沒在雜訊裡。即使星雲被處理得看起來很亮，仍無法改變這是一張粗糙照片的事實。

註二：我想 smart blur 八成不是 PhotoShop 為了處理天文影像而設計的，它在處理一

般影像時可製造出很有趣的特效，我只是偶然發現它和某些天文訊號處理的概念相近，而想到將之用於天文照片的處理。

註三：讀者千萬別看到模糊遮罩這名稱或 **unsharp** 一字就以爲它會讓影像變模糊，事實上，它在加強小範圍亮度變化後產生的視覺效果卻是讓影像銳利化，因此在 **PhotoShop** 中，**unsharp mask** 是列在 **Sharpen**（銳利化）選項之下。在國產的軟體 **PhotoImpact** 中，**USM** 被翻譯爲銳利遮罩，雖不能說對，卻可避免被不明究裡的使用者誤解其功用。

註四：我在台大天文社的“觀星者”雜誌第 61 期中的“星野攝影方法”一文中，有簡介 **unsharp mask** 在傳統暗房中實施的原理，有興趣的讀者可以參考。

註五：我必須強調這個“通常”，它表示這些事並非永遠是對的，偶爾會有例外，譬如在一幅只有星點的照片中，所有的亮度變化都由高頻成份主宰。不論如何，在後文中我假設它總是對的，例外的狀況並不列入考慮。

註六：在 **PhotoShop** 的 **unsharp mask** 裡，將影像模糊化的一步確實是高斯模糊化，但不表示在別的影像處理軟體裡，**unsharp mask** 都是用高斯模糊化。事實上，有的軟體甚至可以讓使用者自選想要的低通濾波，再怎麼說，高斯模糊不過是眾多低通濾波中的一個特例而已。

註七：（參考圖 2-3.5）定義高斯函數的寬度有兩種常用的方式，一是“半高全幅值”（**full-width-half-maximum, FWHM**），是高斯函數在二分之一高度時的全寬度；另一是“標準差”（**standard deviation**，亦稱“變異數”），是高斯函數在 $e^{-0.5} \cong 60.7\%$ 高度的半寬度。其中，二分之一半高全幅值（半高半幅值）約爲標準差的 1.18 倍。**PhotoImpact** 中的高斯模糊的半徑參數乃是高斯函數的標準差，而 **PhotoShop** 中的高斯模糊則未明言是以標準差抑或半高半幅值作爲其半徑參數。

版權聲明

本文作者是王爲豪（whwang@asiaa.sinica.edu.tw），本文著作權歸作者所有。只要你將此版權聲明原封不動地放在文章中，你將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。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。