第四章 數位影像處理

4-1 簡介

一般而言，在成像的改良上，我們可利用額外的硬體，如空間濾波器可濾除高頻雜訊，或擴散片能強化影像對比等。但額外的架設也意味著龐大的架設及造成訊號損失或是引入多餘雜訊的風險。因此在本章節中，我們將介紹如何使用數位影像處理方法，在不改變原始資料的情況下得到品質較好的圖片。在文中，我們將著重於演算概念之舉例及說明，至於較複雜的程式流程則附於附錄一與附錄二中。

4-2. 歸一化與數位化

回顧表 2-2，背面掃瞄訊號通常僅在很小的浮動範圍，故在沒有任何處理的情況下，小訊號很容易被直流或背景訊號覆蓋而無法顯現出來，因此在做任何影像處理前，我們必須訊號的有效的訊號範圍界定出來，並數位化，以方便後期的資料處理。

現在假設我們得到一連串的類比訊號，其最大值為 100，最小值為 0。由於類比訊號可為任何連續實數值如 30.3293...或 22.392...等，為清楚表示訊號的相對大小，並且保持線性關係，我們將每單一訊號除以訊號的分佈範圍(0~100)，此步驟稱為訊號的歸一化(Normalization)。例如 50 可變成 0.50，25 變成 0.25，而 78.2919…則變為 0.782919…(假設此值為無窮有效位數)。雖然歸一化步驟看似單純，但其實訊號有效範圍通常

不是由資料最大及最小值界定，原因是大部分的圖片訊號分佈都偏重在某一較小範圍內，因此為了得到這些訊號在圖片上較好的對比，我們必須自行決定或是交由程式統計後設定出較小的訊號有效範圍。在界定出這樣的範圍後，我們才能進行數位化的步驟。

類比訊號通常意味著許多無窮位數的實數值，我們無法用有限位元表達這樣的值，因此在數位化過程裡必然有資訊失真。通常數位影像最大灰階值可以 2^n-1 表示，例如 n=4(16 色)、n=8(256 色) 、n=16(高彩)以及 n=32(全彩)等。其中 n=8 的灰階值已足夠一般圖像使用，且程式較簡易，故接下來以 256 色做為說明。灰階值分為 256 階，因此我們要將得到的類比訊號歸類成 0~255 個整數中，如圖 4-1 所示，其每個訊號數位化後的灰階值可以下式表示:

$$\text{灰階值} = \left\lfloor \frac{\text{訊號}}{\text{上限}-\text{下限}} \times 2^n \right\rfloor \tag{4-1}$$

其中取整數下限僅為程式定義，我們也可取其上限或四捨五入求得該點灰階值。

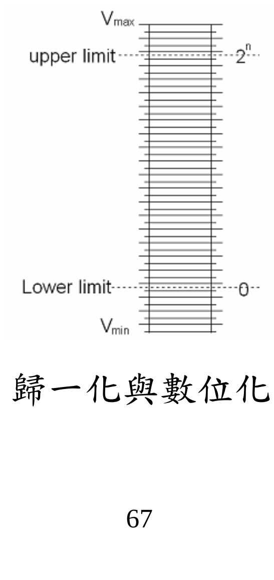
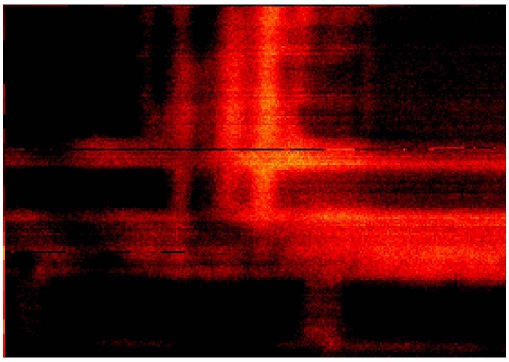
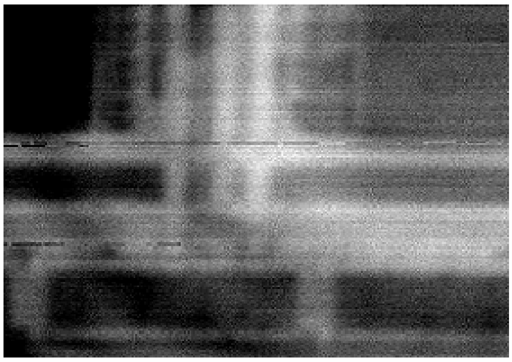


圖 4-1 歸一化與數位化示意圖

圖 4-2 為程式自動歸一化前後的照片，相較之下，很明顯地經過自動歸一化後的圖片保留了較細緻的資訊。



(a) 使用不理想的歸一化範圍所得到的影像



(b)使用自動歸一化後所得到的影像

圖 4-2 歸一化範圍選取與成像品質的比較

4-3. 執行電腦運算

在本節我們要正式討論數位影像的處理方法，並以最常見也最重要的兩種影像處理步驟為例。

- 平坦化
- 強化對比

為了方便接下來的討論，首先我們引入一連續數列，並表示成如圖 4-3 的統計圖形式。

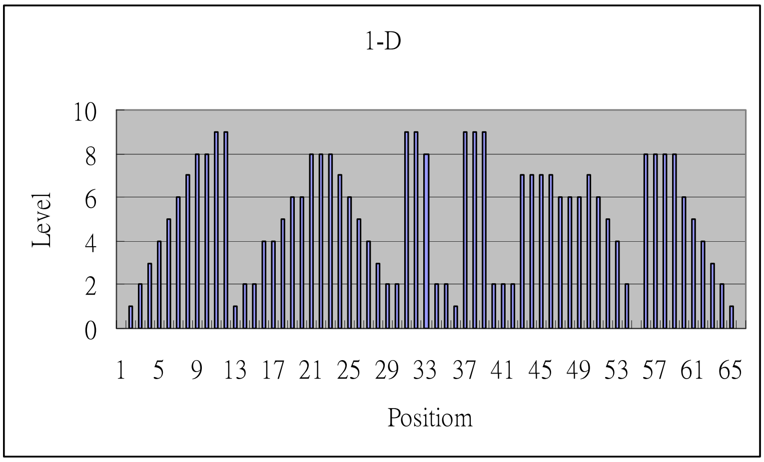


圖 4-3 原始輸入數列一維分佈圖

輸入數列: 01234 56788 99122 445668 88765 43229 98221 99922 27777 66676 54208 88865 43210

圖中我們可看到許多高低起伏及平坦部分，在介紹如何利用影像處理改變這些結構之前，我們首先定義什麼是濾波核心(Filter Kernel, FK)。濾波核心是一種資料處理的演算法則，當程設師決定好這樣的法則後，所有資料都將透過濾波核心的轉換而到得新的輸出值。針對不同的需求，濾波核心的形式及規模也有所不同，且即使有相同的處理需求，其定義的方法亦會因人而異，因此我們可以自行定義所需的核心參數，其方法由以下討論可得。

4-3-1. 平坦化

平坦化的目的在於去除不必要的高頻變化，故我們可藉由小範圍的幾何平均數以減少資料的變異性。在一開始我們必須選定一個步驟，使得輸入數列在執行這個步驟後能達到平坦化的要求，至於這個步驟要如

何選取？首先我們從輸入數列中選定任三個連續數值為一組，每個數值都付予權重值”1”後相加，再將總和除以權重值總和後取代原本三個連續數值的中間值，接下來再選取次一位的三個數值，並重覆以上步驟，直至所有資料都被處理完後才終止。而將上述步驟以數學形式表示後，即得到平坦化處理之濾波核心，我們可將它寫成:

$$\frac{1}{\text{權重值總合}}[\text{第1位權重值，第2位權重值.....第n位權重值}] \tag{4-1}$$

要注意一點，我們得到新的數列並非真的取代原始資料，為避免處理過的資料會干擾下一組數據處理而失真。所有新的資料都會暫存到新的資料檔中，靜待所有數據處理完後才進行圖像重組。

選擇濾波核心並沒有絕對規則，對不同的圖片而言。其選法也不全然相同。但在選取濾波核心時，有幾點要特別注意。首先對於無變動的資料，我們也維持其平穩值，如 5555...，因此最後輸出也必須是...55...的形式，要做到這點，則濾波核心前的分數其分母必為權重之總和。此外，我們也可一次選出四個、五個，甚至十個連續數列來做處理，而最後得到的數字亦可放在任一位置，只要每次處理數列時的規則都相同即可。另外要特別注意一點，在資料處理時，第一組與最後一組數據都會缺少一個值，因此在一開始，我們必須在原始數列前後各加入一數值，其值通常與最鄰近的資料相同。

現在我們以圖 4-3 的資料來舉例說明，其最初的三個數分別為 0，1，

以及 2，我們將三數相加後除以權重值總和 3，並將結果放回原本置放”1”的位置，其濾波核心可表示為 $\frac{1}{3}[+1,+1,+1]$，第三組數據為 1，2，以及 3，經處理後放回原本置放”2”的位置，以此類推，最後我們可得到輸出圖形如圖 4-4 所示。很明顯地，圖 4-3 中圖形許多圖形直角(尖銳)部分已被平坦化而使得對比變小。

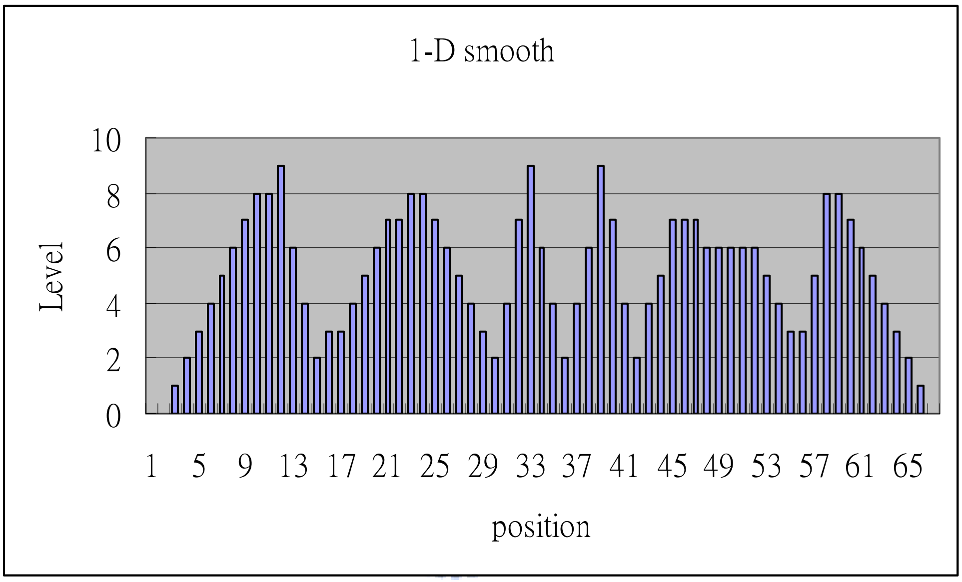


圖 4-4 平坦化輸出數列之一維分佈圖，濾波核心 $\frac{1}{3}[+1,+1,+1]$。

輸出數列: 23456 78896 43345 67788 76532 47964 24697 24577 76666 65435 88765 43210

同樣地，我們也可以自行設計一個二維濾波核心，其形式可如下：

$$FK=\frac{1}{5}\begin{bmatrix} & +1 & \\ +1, & +1 & ,+1 \\ & +1 & \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \frac{1}{9}\begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \quad \text{等。} \tag{4-2}$$

4-3-2.　強化對比

強化對比之濾波核心可表示如下：

$$FK = \frac{1}{2}\,[-1,+2,+1] \quad 。 \tag{4-3}$$

同樣我們也有各種不同二維核心濾波的設定方式如下:

$$\frac{1}{2}\begin{array}{c} \overline{-1} \\ [-1,+2\,,+1] \\ \underline{+1} \end{array} \quad 或 \quad \frac{1}{2}\begin{bmatrix} +1, -1\,, -1 \\ -1, +2\,, +1 \\ +1\ +1\,, -1 \end{bmatrix} \tag{4-4}$$

要強化對比最好的方法，通常是擴大相近像素間的差值[1]，故對於周圍有變動的像素而言(中間值)，我們給該值的權重值最大以強調原有特性，而周圍則分別付予權重值為 1 但正負相反以強調中間值與相鄰資料間的差異性。最後，我們再將計算後的值放回中間位置(或自訂的位置)即完成處理:

我們同樣以圖 4-3 做為輸入，其對比強化後的結果如圖 4-5 所示。然而由於引入負權重值的關係，經核心處理後的結果亦可能產生負值，故我們將所有數值加上最大負值之絕對值，以修正到數列最小值為零為止。此外，我們也可選用全部非負權重值如$\frac{1}{4}[+1,+2,+1]$等濾波核心，但在處理效果上較不明顯。

圖 4-5 為圖 4-3 強化對比後的結果，很明顯其結構比原始圖案銳利許多。

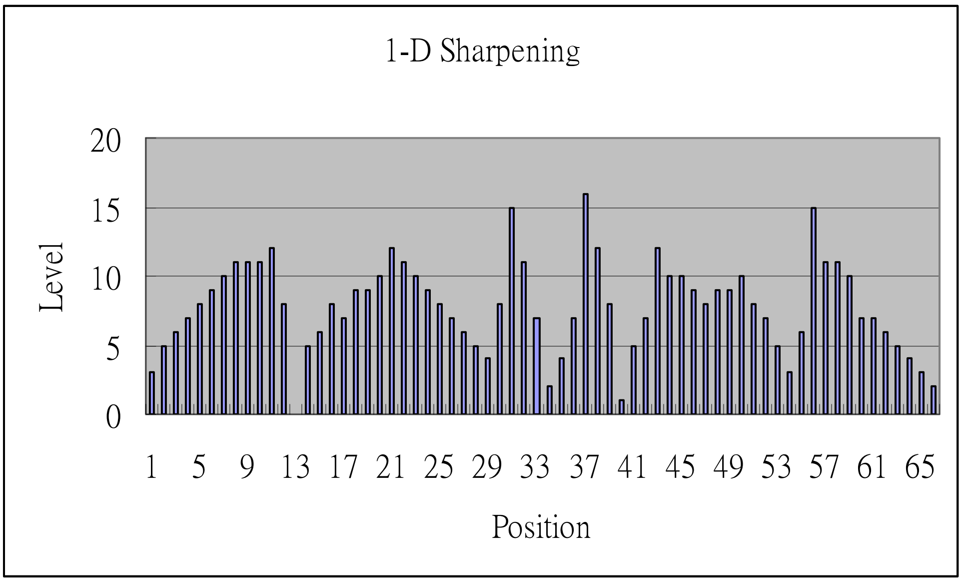


圖 4-5 銳利化輸出數列之一維分佈圖，濾波核心$\frac{1}{4}[+1,+2,+1]+2.5$。

在介紹完利用自訂濾波核心的處理方式後，接下來我們要介紹另一種更簡單的方式來強化對比，微分法[2]。對一般連續可微函數而言，在經過一次微分後，通常可得到更銳利的曲線圖，於是我們將這樣的特性應用在圖像的對比強化。首先考慮二維微分式:

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} i + \frac{\partial f}{\partial y} j$$

其中∇運算子就如同濾波核心，接下來將得到的向量轉換成純量後，可得到：

$$Mag(\nabla f) = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f}{\partial y})^2} \text{。} \tag{4-5}$$

其中 f 為原始圖像，我們以下列的二維矩陣表示之，其中各元素為該點像素之強度值。

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}

圖 4-6 圖像資料分佈示意圖

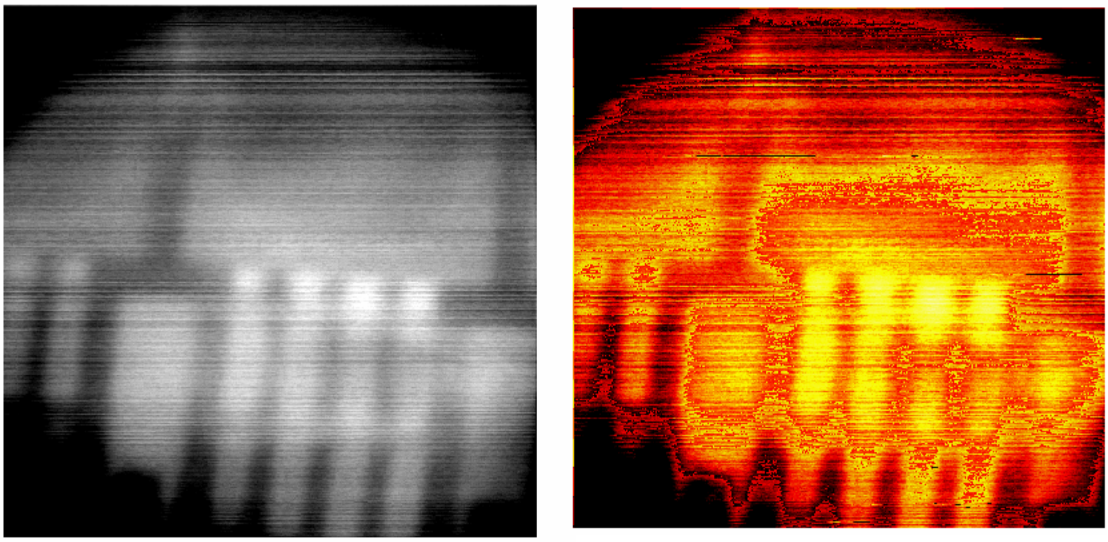
假設我們以 a_{22} 為主值，則 $\partial f/\partial x$ 可為 x 方向微變量，即 $a_{22}-a_{23}$ 或 $a_{22}-a_{21}$，而 $\partial f/\partial y$ 為 y 方向數值的微變量，即 $a_{22}-a_{12}$ 或 $a_{22}-a_{32}$。故(4-5)式可改寫成:

$$Mag(\nabla f)=[(a_{22}-a_{32})^2+(a_{22}-a_{23})^2]^{1/2} \tag{4-6}$$

於是我們可以得到新的 a_{22} 值。

同樣地，我們也必須在圖片外圍加入新的資料，以彌補在邊緣運算時資料不足。

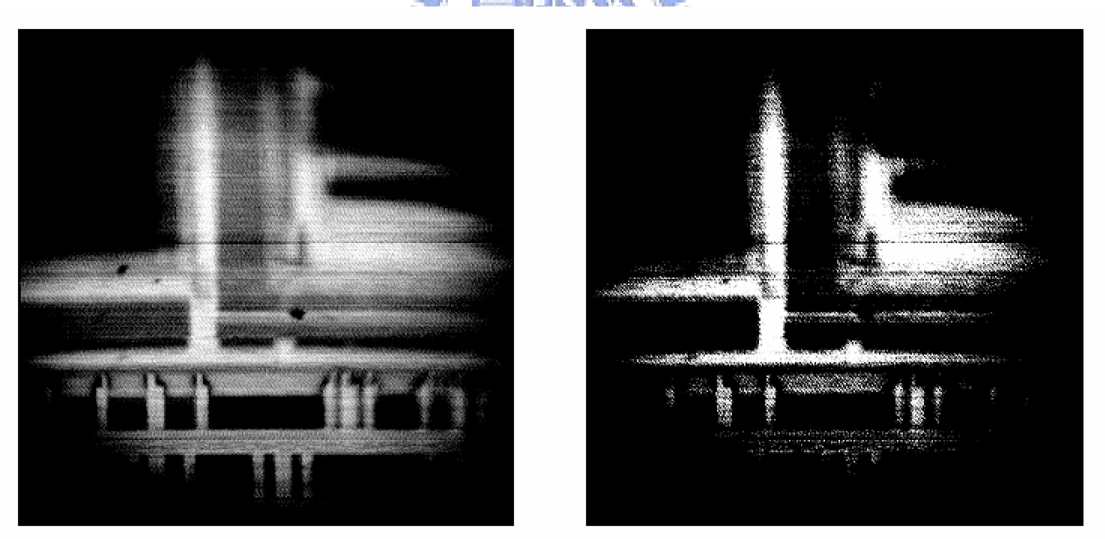
圖 4-7 與圖 4-8 為兩種不同影像處理方法所得到的強化對比結果。其中利用濾波核心之方法得到的圖像較為粗糙，我們可嘗試不同的設定得到更好的影像。至於對比的處理上還有其它方法，如使用指數或對數法，或其它特殊函式等，都同樣可應用在數位影像處理上。至於更進一步的數位處理方式，如過採樣(Oversampling)[3]或外推法(Extrapolation)[4]則需要更複雜的演算法，我們在此不做討論。



（a）原始圖像

（b）使用二維濾波核心 $\frac{1}{2}\begin{array}{c} -1 \\ [-1, +2, +1] \\ +1 \end{array}$

圖 4-7 使用權重值濾波核心前後的圖像比較



（a）微分法處理一次後的圖像

（b）微分法處理兩次後的圖像

圖 4-8 使用微分法強化對比，原始圖片為圖 3-7(b)

參考文獻:

[1] W. David Schwaderer, David W. Schwaderer, “Digital Imaging In C and the World Wide Web,” Wordware Publishing, Inc., pp. 172-255, September 1997.

[2] Craig Marven, Gillian Ewers, “A simple approach to digital signal processing”, New York /JOHN WILEY & SONS, pp.355-62, 1996.

[3] Ivana Jovanovi’c, Baltasar Beferull-Lozano, ”OVERSAMPLED A/D CONVERSION OF NON-BANDLIMITED SIGNALS WITH FINITE RATE OF INNOVATION,” IEEE International Conference, Vol. 2, pp.797-800, May 2004.

[4] R.C Gonzales, R.E. Woods, “Digital Imaging Processing,” pp.231-32,1992.