

# 國立交通大學

多媒體工程研究所

碩士論文

基於局部圖樣之強健式內/外插影像縮放技術



A ROBUST PATTERN-BASED  
INTER-/EXTRA-POLATION APPROACH  
FOR IMAGE SCALING

研究生： 陳俊宏

指導教授： 莊仁輝 教授

中華民國九十七年六月

基於局部圖樣之強健式內/外插影像縮放技術

A ROBUST PATTERN-BASED  
INTER-/EXTRA-POLATION APPROACH  
FOR IMAGE SCALING

研 究 生：陳俊宏

Student : Jiun-Hung Chen

指 導 教 授：莊仁輝

Advisor : Jen-Hui Chuang

國 立 交 通 大 學

多媒體工程研究所



A Thesis

Submitted to Institute of Multimedia Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

# 基於局部圖樣之強健式內/外插影像縮放技術

學生：陳俊宏

指導教授：莊仁輝 教授

國立交通大學多媒體工程研究所

## 摘 要

有別於一般單純的影像內插放大或者是放大後再另外強化，本論文提出一個可同時對影像進行放大及強化的方法。此方法透過對局部影像的分析與內建 140 個圖樣的比對，選擇性地對不同區域作不同的內/外插處理。針對各區域的不同性質而交互進行內插補點或是外插補點，可保有原始影像中的低對比區域之平滑度與各區域周界之銳利度。實驗結果顯示，上述放大後影像於平滑度與銳利度的平衡，提供了使用者絕佳的觀賞品質。並且由於演算法運算簡單且暫存記憶之有限，本論文所提出之方法未來將有利於硬體的實作。

# **A ROBUST PATTERN-BASED INTER-/EXTRA-POLATION APPROACH FOR IMAGE SCALING**

Student : Jiun-Hung Chen

Advisor : Jen-Hui Chuang

Institute of Multimedia and Engineering College of Computer Science  
National Chiao Tung University



Unlike image scaling through simple interpolation, which may be followed by some image enhancements, this thesis proposes a method which will scale and enhance the images simultaneously. The proposed approach achieves image scaling by performing either (i) interpolation or (ii) extrapolation according to the analysis of local image region based on 140 4×4 image patterns. While the former helps to keep the smoothness within low contrast image regions, the sharpness along border of such regions will be maintained by the latter. Experimental results show that the balance between smoothness and sharpness can indeed provide fine image quality of the scaled images thus obtained. Because of simple arithmetic operations and limited memory buffers, the proposed approach will be favorable in hardware implementation in the future.

## 誌 謝

兩年的碩士班生涯一眨眼就過去了，入學與畢業典禮似乎只發生在昨今二日。這兩年遇見了許多人，發生了很多事。生活中的每一件事，研究過程的每一個瓶頸與突破都砥礪著自己。回頭看來一副理所當然，可是經過夜深人靜的細細回想，越來越覺得如果單靠自己根本無法走到現在。

首先感謝我的父母—陳榮華、賴娟娟，一手拉拔我至今，衣食無慮。從小就告訴我：讀書是窮人家的唯一出路。沒有顯赫的家世，但是不比別人差的，我有一對關心我的父母和溫暖的家庭。每每在外頭犯了錯、吃了虧、受了委屈，家裡似乎是最後的避風港，我可以無憂無慮地在他們的辛苦的撫養之下成長。

另外，在研究的過程中，必須得感謝我的指導老師—莊仁輝教授。在這兩年當中，花了很多心思指導我學業、研究、論文，並且不時關心我們生活上的瑣事，很幸運的在老師的指導之下完成學業。除此之外，老師為人和善做事細心，在待人處事方面的體貼與用心，都是我學習的目標。

實驗室的泓宏學長和國華學長，總是不吝惜對我指導，幫我解惑。學習的過程中常常遇到一些問題，他們總是不厭其煩地解說。另外就是實驗室的其他學長姐、同學和學弟們，大家在這兩年一起出去玩、一起吃飯、一起唱歌、一起聊天、一起歡笑，無一不是點綴我生命的那盞燈。

這兩年很快，學習了很多，經驗了很多，我會記取各種教訓，努力邁向人生的下個旅程。

# 目錄

目錄	iv
圖目錄	v
第一章 前言	1
1.1 文獻探討	2
1.1.1 適用於硬體實作的方法	2
1.1.2 適用於軟體實作的方法	4
1.2 二維 Bi-Cubic 內插放大	5
1.3 影像內/外插放大	6
1.3.1 先前的作法	7
1.3.2 本論文之推廣	12
第二章 決定影像像素內/外插圖樣與高解析度高/低群分界函式	13
2.1 圖樣的建立	13
2.2 相鄰區塊之邊界連接	17
2.3 高/低灰階群邊界的決定	20
第三章 計算灰階值之內/外插函數	25
3.1 相近灰階值中的內插	26
3.2 懸殊灰階值間的內插	29
第四章 實驗結果	33
4.1 各參數的比較	33
4.2 與其他方法的比較	39
4.3 影像斜邊放大後的平整程度比較	47
第五章 結論	49
參考文獻	51

# 圖目錄

圖 1-1	傳統內插放大。.....	2
圖 1-2	二維 Bi-Cubic 內插方法，以紅色為參考像素，藍色方框為某一行或列之內插目標，其中黑色小圓為欲利用 Bi-Cubic 補足的像素位置。.....	5
圖 1-3	以 Nearest Neighbor 從解析度 180x180 放大至 300x300，放大後的鋸齒邊緣顯而易見。.....	6
圖 1-4	線性內插與外插。其中黑點為已知灰階值之像素，灰點為與補足之未知像素。.....	7
圖 1-5	各種影像場景。.....	7
圖 1-6	巨觀來看，可明顯觀察到原始影像中灰階的深淺分界。.....	8
圖 1-7	從微處著手，藉由圖 1-6 觀察到的灰階深淺邊界對欲補足的像素作深淺的預測。.....	8
圖 1-8	2x2 區塊的七種類別。.....	9
圖 1-9	目標區塊分類決策樹。.....	10
圖 1-10	將內插目標與其周圍像素分成 1/0/-1 三類。.....	11
圖 1-11	內建供作比對的數個圖樣，每個圖樣並個別搭配一高解析度高/低群分界函式分界線段。.....	12
圖 1-12	三種高解析度高/低群分界函式圖例，其中小圓圈是欲補足的像素，並將依高/低群分界函式作出不同的標記補點。.....	12
圖 2-1	類別 A 的所有圖樣。.....	14
圖 2-2	原先類別 C 的所有圖樣。.....	15
圖 2-3	擴充後類別 C 的所有圖樣。.....	15
圖 2-4	類別 C 減少無關像素前後的差異。.....	16
圖 2-5	類別 G 的所有圖樣。.....	17
圖 2-6	邊界連接情形。.....	18
圖 2-7	類別 A 相鄰區塊的各種情形。.....	18
圖 2-8	各類別的相鄰邊界連接點。.....	19
圖 2-9	兩相鄰區塊有著共同參考像素。.....	20
圖 2-10	不同斜率下理想與現實的差異，圖中藍線為理想情況，綠線為我們所定義的高/低群分界函式所形成的邊界線，紅圈為邊緣發生的 2x2 區塊。.....	21

圖 2-11	類別 A 圖樣與其高/低群邊界。	22
圖 2-12	類別 B 圖樣與其高/低群邊界。	22
圖 2-13	類別 C 圖樣與其高/低群邊界。	22
圖 2-14	類別 D 圖樣與其高/低群邊界。	23
圖 2-15	類別 E 圖樣與其高/低群邊界。	23
圖 2-16	類別 F 圖樣與其高/低群邊界。	24
圖 2-17	類別 G 圖樣與其高/低群邊界。	24
圖 3-1	區塊 A、B、C 和 D 將以不同方式作內/外插處理。	26
圖 3-2	相同參數下，不同內/外插補點計算方法之比較。	28
圖 3-3	以高/低群分界函式的邊界為中心所形成的邊界區域。	29
圖 3-4	邊界區域上的漸層內插，依 $d_0$ 、 $d_1$ 的比例以不同比重計算像素 p 的灰階值。	30
圖 3-5	邊界區域寬度的調整。	31
圖 4-1	以 $h=10$ 從解析度 $180 \times 180$ 放大至解析度 $400 \times 400$ 。	35
圖 4-2	以 $h=10$ 從解析度 $180 \times 180$ 放大至解析度 $400 \times 400$ 。	36
圖 4-3	以 $T_i=0$ 、 $T_e=15$ 將影像從解析度 $100 \times 150$ 放大至解析度 $200 \times 375$ 。	38
圖 4-4	將影像從解析度 $75 \times 75$ 放大至解析度 $250 \times 250$ 。	40
圖 4-5	將影像從解析度 $640 \times 512$ 放大至解析度 $2000 \times 2000$ 的部分影像。	42
圖 4-6	將影像從解析度 $125 \times 125$ 放大至解析度 $300 \times 300$ 。	43
圖 4-7	將影像從解析度 $800 \times 600$ 放大至解析度 $1024 \times 768$ 的部分影像。	44
圖 4-8	分析不同斜率的斜邊放大後平整程度的測試資料。	48
圖 4-9	不同斜率的斜邊放大後平整程度的測試結果，PCA 計算所得較小的特徵值越小表示越平整。	48



# 一、前言

新型的顯像設備，例如：液晶電視、電漿電視，如雨後春筍般的推陳出新，琳瑯滿目的高畫質、高解析度電視總是讓消費者游移不定，不知如何選擇。各家廠牌不同的規格、不同的價格、不同的售後服務都是讓消費者猶豫的原因，然而成像的品質往往就是左右消費者意識的一個主因。

成像品質左右著消費者的決定，而又是什麼左右著成像品質的好壞？以 HDTV 顯示器為例，HDTV 的標準影像格式解析度達 1920×1080 像素，然而 NTSC 的標準影像格式解析度為 648×486 像素。若欲將低解析度的影像在高解析度的顯像產品上播放的話，對原始影像作內插補點的解析度放大技術是不可或缺的。因此，即使拜顯示技術與製程上的進步所賜，市面上有著許多高畫質的電視產品可供選擇，可是如果缺乏一個強大的影像放大技術，在很多時候我們可能感受不到高解析度所帶來的高畫質。

另一方面，所謂的「令人覺得滿意的成像品質」是一種主觀上的認定，針對不同類型的影像所適合的影像放大方法在主觀認同上也不盡相同。而不同的放大倍率，也影響著各種影像放大方法的適用性。傳統的方法如：Nearest Neighbor、Bi-Linear、Bi-Cubic，這些方法使得原始影像在放大作用下，模糊、鋸齒等失真會隨著其倍率的提高而變大，如圖 1-1。因此，在高放大倍率的情況之下，這些傳統方法將會顯得不適用或者有所缺陷。

上述的不適用與缺陷其原因來自於「透過傳統的方法，原始影像中的局部特性並未在放大的同時被考慮到」。例如原始影像中一個該是亮暗分明的邊界，經

過線性放大後，將變成由亮到暗的漸層，而嚴重的模糊在大多數人眼中是不討喜的。所以善用圖形的局部特性因地制宜地選擇放大方法，以改善影像放大所產生的毛病，例如：模糊、鋸齒等，提高成像品質，並且顧及到硬體實作上時間和空間的限制，就是本篇論文所提出的影像放大技術的主要精神所在。

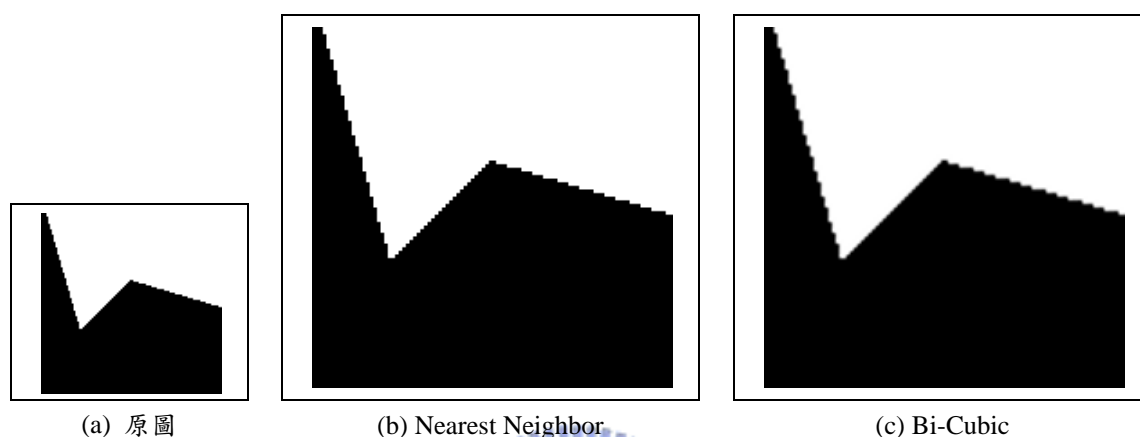


圖 1-1 傳統內插放大。

## 1.1 文獻探討

在此我們對文獻分成兩方面來探討：適用於硬體實作的方法與適用於軟體實作的方法。兩者的差別在於其演算法的複雜度與其效果的優劣，前者憑著較簡單的演算法在執行時間、空間上的優勢，可作即時的影像放大，後者雖需要龐大計算量與記憶體但其放大效果較佳，而結合兩方優點則是我們所努力的目標。

### 1.1.1 適用於硬體實作的方法

為求能在硬體中實作並且即時運作，低時間、空間複雜度是硬體實作考量的重點。因此，以硬體實作為目的所提出的演算法，通常是較為簡單並且成效有限。

例如：Bi-Linear[1]、Bi-Cubic[2-4]、Nearest Neighbor、Sinc[5]等方法，是透過個別的核心函數（Kernel Function）完成影像放大。然而上述所列的這些傳統方法皆是單純的影像放大，其放大結果常會有模糊、鋸齒等不理想的現象。

一般而言，原始影像透過上述這些方法放大之後，為了增加其銳利度，會再經過高頻增益的濾波器[6]，以強化放大後影像的銳利程度。藉由強化影像的銳利度，而解決因影像放大而產生的模糊現象，的確是有達到其目的。但是一味地使用高頻增益濾波器來強化影像，不見得適用於同一影像的所有部分。由於放大過程中影像的局部資訊得被忽略，使得經過放大後的影像，其失真的情況在透過高頻增益濾波器的同時也被強化了。

因此，考量影像的局部特性，在同一張影像中因地制宜地對不同的細節使用不同的放大方法，不失為提升放大品質的一個途徑。例如在[7]提出考慮影像中的邊緣部分，在放大的時候沿著邊緣作內插，可以減少鋸齒狀邊緣現象的發生。或是像[8]利用影像三角化的方式，不但提昇了運算速度，也有利於硬體的實作。另外，如[9]所述，參考內插目標周圍更多的像素，找出內插目標內邊緣發生的可能性進而內插得到該邊緣，並且透過即時計算的臨界值，除了可以更普遍適用於各類型的影像，在適用於硬體發展的條件下，這樣的方法有著更好的放大品質。除了考慮影像中的邊緣，經由計算已知像素網格上被未知像素所覆蓋之大小，進而依比例計算未知像素的數值完成影像放大[10]，也是有效利用影像的局部特性的一個實例。這些善用影像局部特性，同時完成影像放大與強化，比起純粹放大，或是純粹放大後的一概強化，保留了較多原始影像的資訊，主觀上也較為能夠迎合大眾的喜好。

## 1.1.2 適用於軟體實作的方法

除了上述較為簡單快速，適用於硬體實作的方法外，另外還有較為複雜，只適用於軟體實作的影像放大方法。這些方法對原始影像大都同時進行放大與強化，例如在放大影像的過程中保持影像的精確度，採用視覺上的幾何取代核心函數，使得放大後的邊緣較為平順[11]。或是以信息傳遞（Belief Propagation）所計算得出的機率混合模型作放大，透過潛藏點（Latent Node）的混合計算得到高解析度的像素[12]。另外，對於放大後的影像，亦可利用偏微方程式改善影像中放大後邊緣鋸齒的情形，使之較為平滑[13、14]，但偏微方程的求解計算量相當可觀。

超解析度問題是針對放大倍率很大的情況，對於這樣的問題，早期大多從影像重建著手。由於低解析度影像為高解析度影像的取樣，因此透過  $L = TH + Z$ ，其中  $H$  為高解析度影像， $T$  為 Convolution 與 Down-Sampling 運算， $Z$  是雜訊或誤差， $L$  為作用後的低解析度影。而對  $H$  求近似解  $H'$ ，以得到近似於取樣前的高解析度影像。假設  $T$  為簡單的線性轉換，則可事先求得其轉換矩陣以求解[15]，或是利用最大化相似區間（Maximum Likelihood）求得  $H'$  [16]。但其結果通常在人眼視覺上有不自然的感覺，例如鋸齒或是光暈。

除了上述的方法，另外可從機器學習方法著手解決超解析度問題[17-21]。如果資料庫中存有單位區塊的低解析度影像並可對應到其高解析度影像，此時只要將原始的低解析度影像分成數個小區塊，並一一至資料庫中比對以得到相似度最高的區塊，便可得到其所對應高解析度影像。放大後的影像較為自然為其優點，但其品質與資料庫中的資料蒐集有極大關係，並且同時會影響到其比對的時間。

上述這些複雜的放大方法因運算量過大或記憶體需求高而無法於硬體中實現，但是其能獲得之較為良好的放大品質，可以作為我們日後研究的指標。

## 1.2 二維 Bi-Cubic 內插放大

如上節所述，Bi-Cubic 為在硬體上常見的內插方式。然而一般而言，Bi-Cubic 指的是在一維空間的內插方法，若要將 Bi-Cubic 內插演算法應用在影像放大上，則必須將其演算法推廣至適用於二維的影像內插[22]。在之後會提到的內/外插影像放大技術，由於將利用 Bi-Cubic 適用於影像中平緩變化場景之放大的特性，來完成內/外插影像放大技術中某些案例的內插補點，在這裡將先對二維 Bi-Cubic 內插放大作介紹。

首先以一維 Bi-Cubic 內插放大為例，影像中的每一行均為內插補點之對象，如圖 1-2(a)。同樣的方法，承接先前的結果，以影像中的每一列作為內插目標，如圖 1-2(b)，便可將原本的影像以一維 Bi-Cubic 作二維的影像放大。此方法將可供後面所述的內/外插影像放大技術所使用。

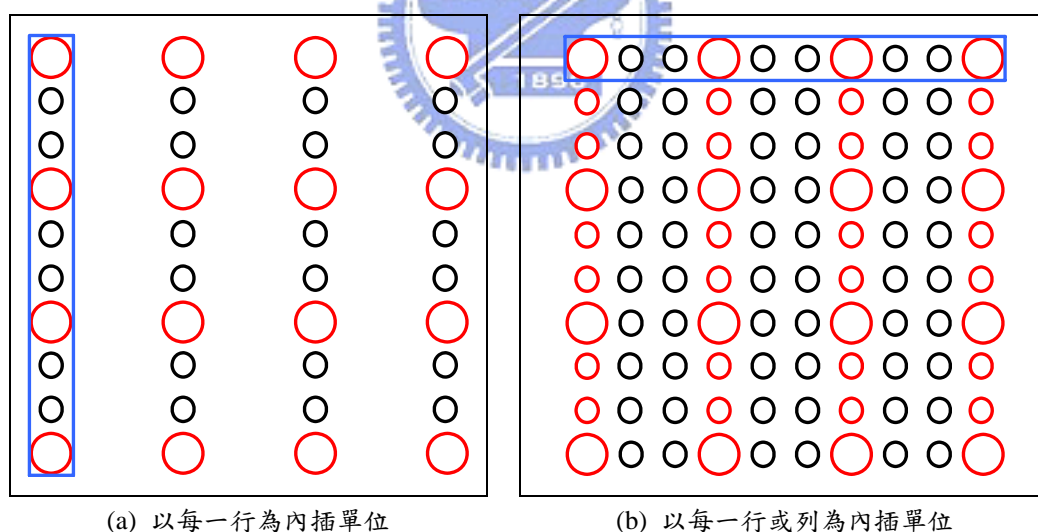


圖 1-2 二維 Bi-Cubic 內插方法，以紅色為參考像素，藍色方框為某一行或列之內插目標，其中黑色小圓為欲利用 Bi-Cubic 補足的像素位置。

### 1.3 影像內/外插放大

在傳統如 Bi-Linear、Bi-Cubic、Nearest Neighbor 等單純的放大方法之下，原始影像中較為細緻的部分因無法被顧及而變得粗糙，如圖 1-3 所示。即使經過影像強化的作用而使之更加銳利，但卻也同時強化了因放大而產生的失真。為了避免這種顧此失彼的情況，因地制宜的內/外插影像放大技術，試圖保留在影像中的局部特性與資訊。

以圖 1-4(a)為例，以 Bi-Cubic 或 Bi-Linear 為內插方式的情況之下，在面對變化劇烈的場景時，我們將失去影像中高/低驟變的原始資訊，取而代之的是一條平滑的線段，而這樣的情形在影像的放大上，就是造成放大後影像模糊的原因。因此，為了改善這樣的缺失，對低解析度的內插目標依其灰階值高/低作分群的步驟，如此對於較高的灰階值與較低的灰階值可以個別計算其內插值，並且保留其高/低落差懸殊的邊界，如圖 1-4(b)。這樣的改善方法，推廣到二維影像的內插放大，可以有效避免其因放大而模糊的情況，保留細緻的影像細節部分。

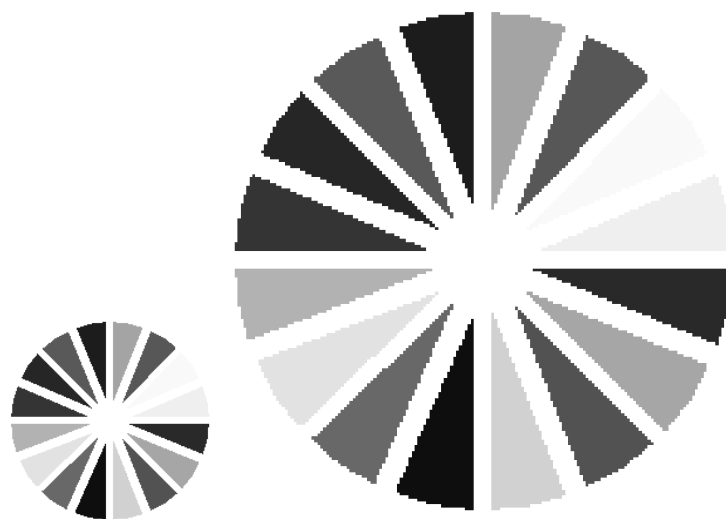
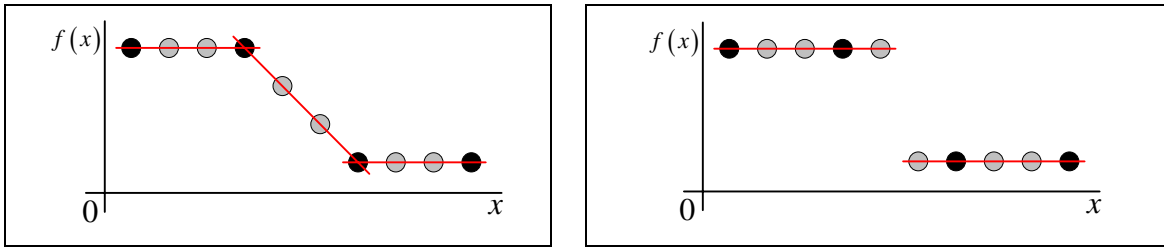


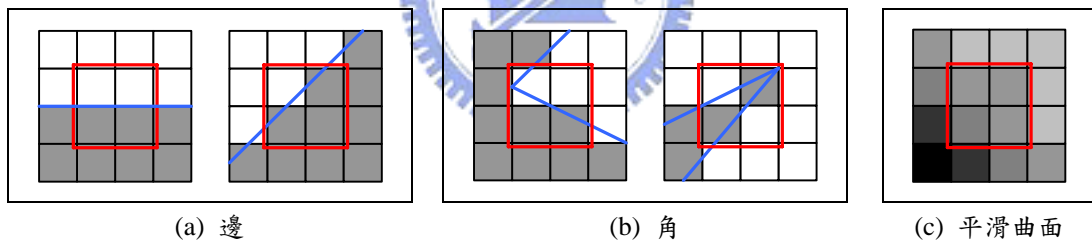
圖 1-3 以 Nearest Neighbor 從解析度 180x180 放大至 300x300，放大後的鋸齒邊緣顯而易見。



(a) 中間兩灰點灰階值以線性方式內插 (b) 中間兩灰點灰階值分別以左右像素外插獲得  
 圖 1-4 線性內插與外插。其中黑點為已知灰階值之像素，灰點為與補足之未知像素。

### 1.3.1 先前的作法

上述的內/外插影像放大應用在[23]中，在放大低解析度影像中  $2 \times 2$  大小的區塊的時候，可將  $2 \times 2$  小區塊分成兩種情況：(i) 4 個像素灰階值可分成高/低兩群和 (ii) 4 個像素灰階值無法分成高/低兩群。其中後者可將場景視為平滑曲面來處理，前者的情況則可依其高/低灰階值在  $2 \times 2$  區塊中的分布情形與其周圍 12 個像素的關係分成邊和角，因此總共是被分成三種情況以待處理，如圖 1-5 所示。



(a) 邊 (b) 角 (c) 平滑曲面  
 圖 1-5 各種影像場景。

平滑曲面屬於影像中灰階變化較為緩和的部分，較無需顧慮其內插放大後影像銳利程度的減損，可以傳統的二維 Bi-Cubic 內插放大之。而在較為特殊的邊和角的處理方面，其目的是希望能夠達到放大影像而不失其銳利度與影像細節資訊。在[23]中，作者是透過中間的  $2 \times 2$  區塊的 4 個像素與其周圍的 12 個像素一共 16 個像素的相互關係資訊，來比對數十個內建的 16 個像素高/低灰階值的分

布情形，以判斷在  $2 \times 2$  區塊中，邊發生的位置或是角的角度與其發生的位置，以利於在放大後的  $2 \times 2$  區塊中決定待插入像素所應屬的高/低灰階群。簡而言之，透過  $2 \times 2$  區塊的分類及 16 個像素所構成圖樣的比對，可以決定放大後的像素所屬的高/低灰階群，進而依上述的內/外插放大技術，個別對高/低灰階群作內插放大處理。

例如圖 1-5(a)與(b)可視為圖 1-6 對應圖示中的中間  $4 \times 4$  區域。透過邊緣走向之分析(圖 1-5 之藍色線段)，可由圖 1-7 得到較細緻的放大效果。

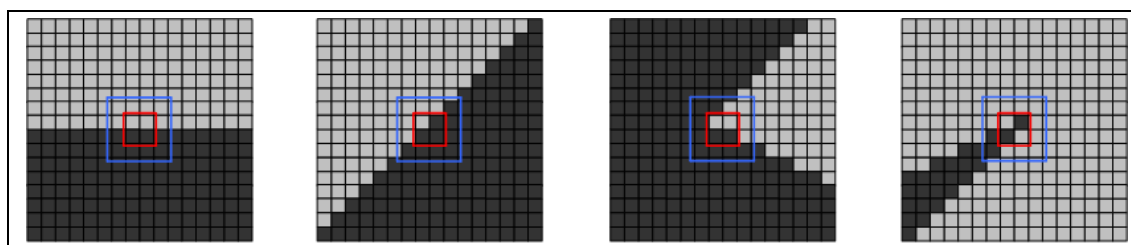


圖 1-6 巨觀來看，可明顯觀察到原始影像中灰階的深淺分界。

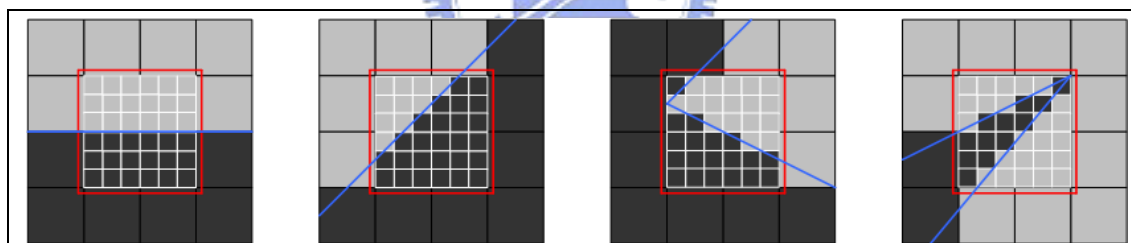


圖 1-7 從微處著手，藉由圖 1-6 觀察到的灰階深淺邊界對欲補足的像素作深淺的預測。

### 為 $2 \times 2$ 區塊作亮度分群

在[23]的架構下， $2 \times 2$  區塊之放大處理將會分成兩種情況：(i) 4 個像素值可依其灰階值分成高/低兩群，(ii) 不可分成高/低兩群。而前者依其在  $2 \times 2$  區塊中的分布情形定義為 A、B、C、D、E、F、G 七種高/低兩群的分布情況，如圖 1-8 所示。另外，若 4 個像素灰階值無法分割為高/低兩群的情況則作平滑曲面處理，



以 Bi-Cubic 內插放大之。

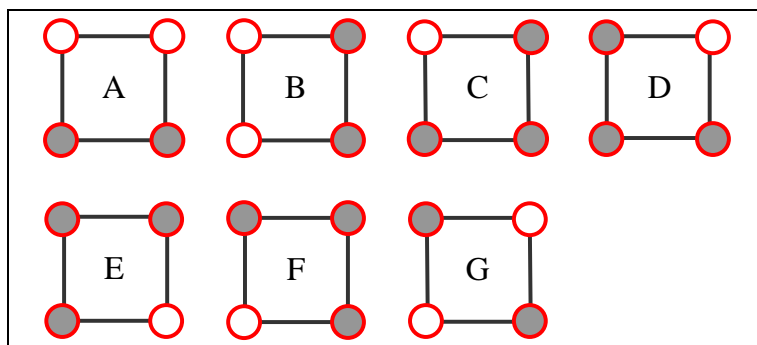


圖 1-8 2x2 區塊的七種類別。

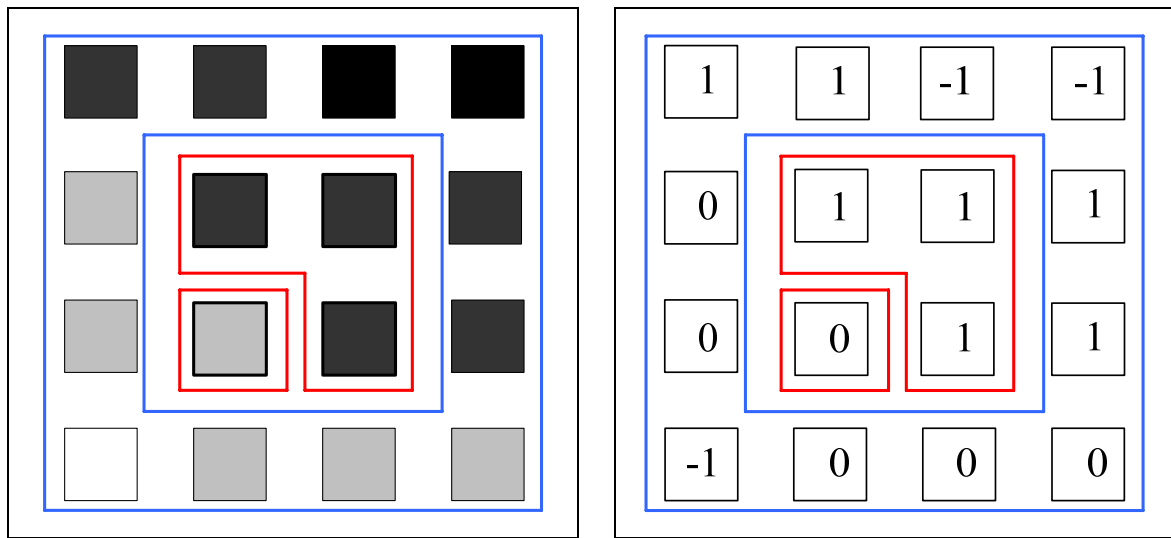
為了將 2x2 區塊中的 4 個像素灰階值區分為高/低兩群並且分類，我們首先定義一函式，將兩個像素關係分成三種情況，假設  $a$ 、 $b$  為待比較的兩個像素：

$$S(I_a, I_b) = \begin{cases} 1, & |I_a - I_b| < T_i & \text{(very similar, VS)} \\ 0, & T_i \leq |I_a - I_b| \leq T_e & \text{(else)} \\ -1, & T_e < |I_a - I_b| & \text{(very different, VD)} \end{cases} \quad (1.1)$$

其中  $I_a$ 、 $I_b$  為像素  $a$ 、 $b$  之灰階值， $T_i$ 、 $T_e$  為可供調整的參數。當  $I_a$ 、 $I_b$  差距小於  $T_i$  時，則稱  $a$ 、 $b$  為灰階值極相似的像素(VS)。另外當  $I_a$ 、 $I_b$  差距大於  $T_e$  時，則稱  $a$ 、 $b$  為灰階值差異極大的像素(VD)。因此藉由  $T_i$  與  $T_e$  的調整，可重新定義兩像素之關係，以因應不同場景影像的放大。進一步，透過內插區塊分類決策樹，如圖 1-9 所示，可以將 2x2 區塊中的像素灰階值作二值化，以 1/0 作高/低標記並且分類，而個別的高/低灰階群內的平均值  $u_1$ 、 $u_0$  將供後來的內/外插補點所參考使用。



亮度關係，可將 4×4 區塊每個像素作高/低標記，如圖 1-10(b)所示。



(a) 此 16 個像素在亮度上有明顯的高/低區隔

(b) 以 1/0/-1 的標記顯示各像素的亮度關係

圖 1-10 將內插目標與其周圍像素分成 1/0/-1 三類。

而對於每一類別，為了針對  $3^2$  種亮度的高/低分布情形來對 2×2 區塊放大作適切的內/外插補點，我們訂定了總共 140 個互斥的圖樣供比對。每個圖樣中的像素分成 1/0/x 三種狀態，1/0 分別表示該像素須為高/低灰階群，x 則表示對應的像素將不影響我們對高解析度影像補點的決定，在比對時視為 don't care (稱為無關像素)。如此，每個圖樣皆搭配一個高解析度高/低群分界函式，可對放大後高解析度中的每個像素，依其在圖樣中心的 2×2 區塊中所對應的位置作高/低分界標記，如圖 1-11 所示，作為影像補點的依據。圖 1-12 中，紅色圓圈為圖樣中心的 2×2 區塊，藍線的在區塊中的位置為其高/低灰階群的分界，小圓圈為欲補足之像素，將依高/低群分界函式有著不同的標記。

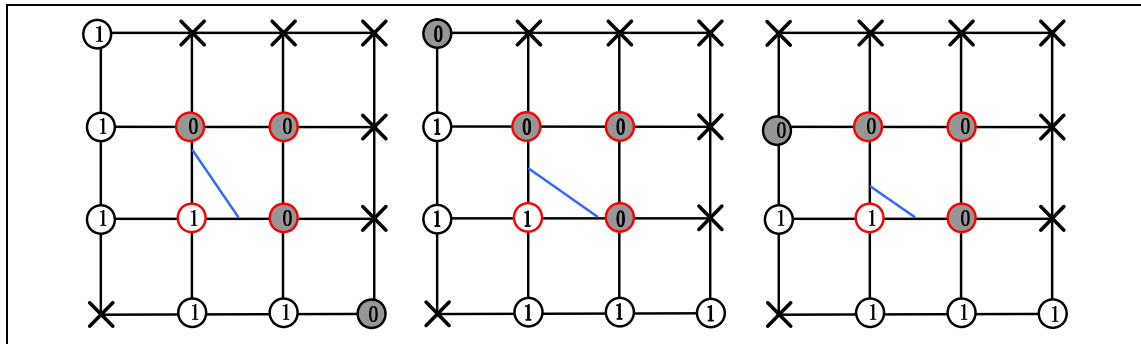


圖 1-11 內建供作比對的數個圖樣，每個圖樣並個別搭配一高解析度高/低群分界函式分界線段。

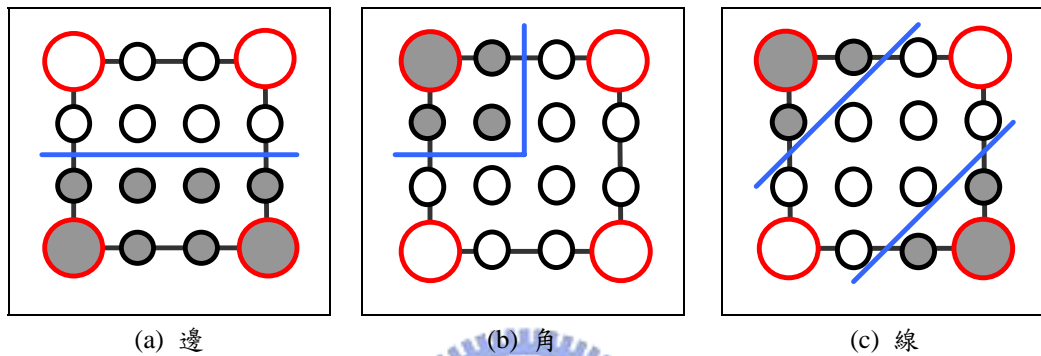


圖 1-12 三種高解析度高/低群分界函式圖例，其中小圓圈是欲補足的像素，並將依高/低群分界函式作出不同的標記補點。

### 1.3.2 本論文之推廣

本論文對於[23]中之圖樣設計部分有進一步的推廣，所提作法是以相鄰 2x2 區塊之高/低群分界線在放大補點後的妥善連接為出發點，並且改善原先只有邊、角的考量，加入了對影像中線段特徵的放大作相對應的處理，另外也試圖善用無關像素以減少類別內圖樣的個數。經由本論文所設計的圖樣群，讓各種亮度的高/低分布情形在所屬類別的圖樣群必定可找到一個對應，進而得到高解析度高/低群分界函式。另外，在[23]中對於高灰階群是一概以  $u_1$  為其內插值，相對地，低灰階群的像素以  $u_0$  內插之，本論文將對此作進一步的改進，以三維平面函數作為我們的新內插補點之依據。

## 二、決定影像像素內/外插圖樣與高解析度高/低群分界函式

對於前面分析所得的各種灰階高/低分布情形，我們必須在其所屬的類別中找到一圖樣對應以決定影像像素內/外插的方式。然而為了滿足圖樣群的完備性，其數量是相當可觀的，這也將增加比對所需的時間。對每個類別內的所有灰階高/低分布情形來說，在如式子(1-2)這樣分類下，則共有 $3^{12}$ 種組合。在這麼龐大的組合數之下，若全部建檔為圖樣資料供比對的話，勢必會因為其過多的資料量而窒礙難行，並且也會因其比對數量過多而無法即時比對，這將無法完成落實硬體設計的前提。因此，本論文將透過明訂出與決定影像像素內/外插無關的像素，來大大降低其組合數，解決上述的問題。



### 2.1 圖樣的建立

在決定影像像素內/外插之時，某些像素的灰階數值其實並不怎麼影響中間區塊的內/外插方式。換言之，在設計高解析度高/低群分界函式時，可以只考慮部分像素，也就是相關像素，而不需顧及所有的 12 個像素的高/低歸屬。

以類別 A 為例，如圖 2-1 所示，很明顯的，這樣的灰階高/低分布情況可能是中央區塊的上部為同一灰階群，下部為另一灰階群。在此情況下，各圖樣的高解析度高/低群分界函式的決定等同於決定放大後的上下分隔邊界線。圖樣中紅色圓圈為內插目標，黑色圓圈為參考像素，x 表示無關像素。因其內插目標的上下方各 2 個像素並不影響其上下分隔邊界線的決定，故以左右兩方的 8 個像素為

依據訂定各種圖樣並決定其上下分隔邊界線。最後對類別 A 歸納出九種圖樣，這些圖樣上的差異，將會影響其高解析度高/低群分界函式。此外，這些圖樣有順序上的差別，順序在後的皆是處理所有被判斷為非前者的所有案例，例如 A2 將被比對如果被判斷為非 A1 的情形，A3 將被比對如果被判斷為非 A1 與 A2 的情形，而 A9 將被比對如果被判斷為非 A1~A8 的情形。此外類別 B 與 A 類似，僅是角度上的差別。

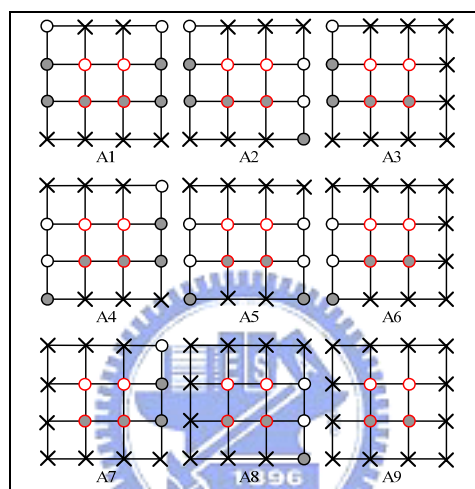


圖 2-1 類別 A 的所有圖樣。

另外以類別 C 為例，如圖 2-2，可判斷其左上方為同一灰階群，右下方為另一灰階群。同樣的，在此我們必須建立各種圖樣以區隔出不同的左上/右下灰階群分隔邊界。參考中央  $2 \times 2$  區塊的上方與左方共 4 個像素，可歸納出  $2^4 = 16$  種圖樣，但經過實驗結果表示，只使用這 16 個圖樣將會因過少的資訊，而對某些斜率的斜邊放大將會有明顯的波浪狀產生。因此，對於 C1、C2、C3、C4、C5、C9、C13 進一步將原本的無關像素納入考慮，擴充了 C17、C18、C19、C20、C21、C22、C23、C24、C25 等 9 種圖樣(C17~C19 為 C1 所擴充)，共計 25 種圖

樣，如圖 2-3 所示。如此圖 2-4(a)中斜邊之波浪狀況便可獲得如圖 2-4(b)的改善。

類別 D、E、F 與 C 類似，亦僅是角度上的差異。

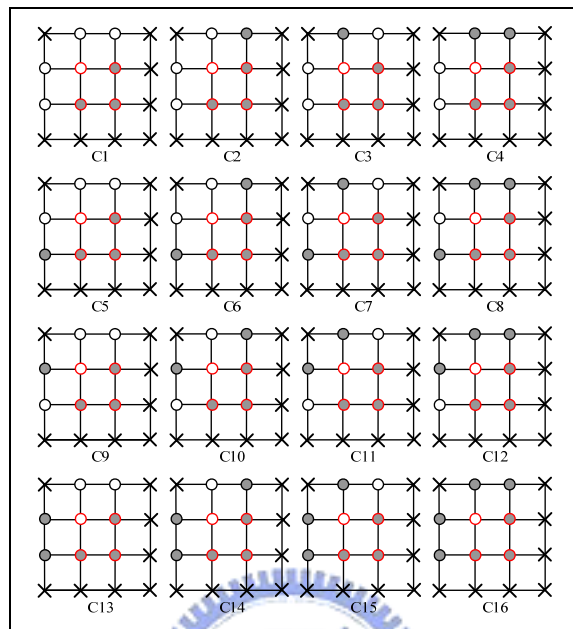


圖 2-2 原先類別 C 的所有圖樣。

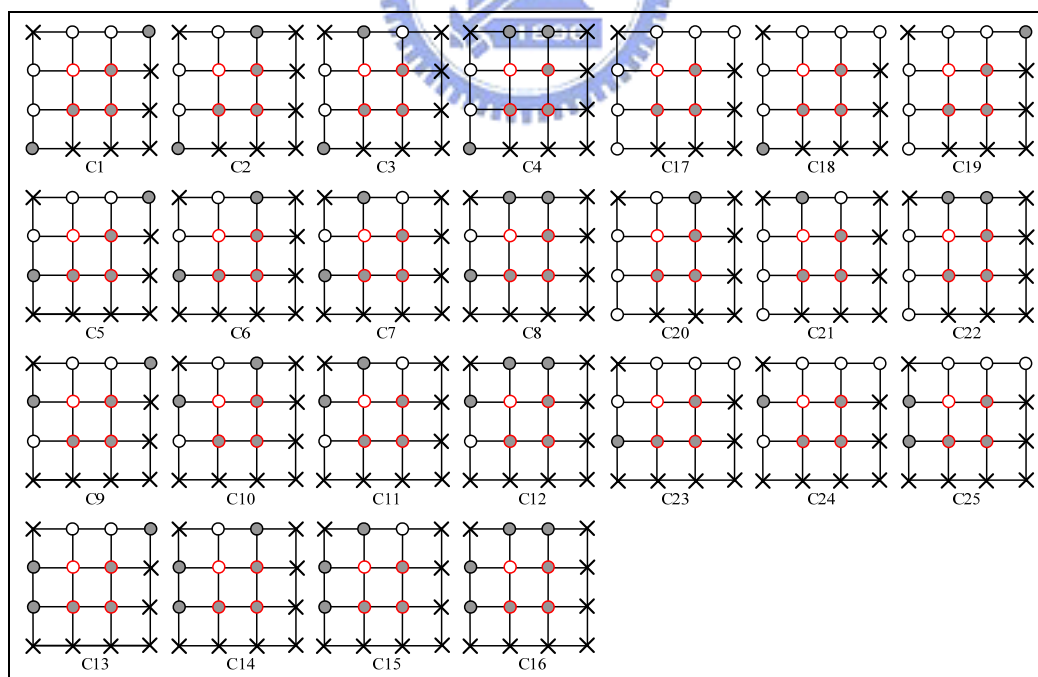
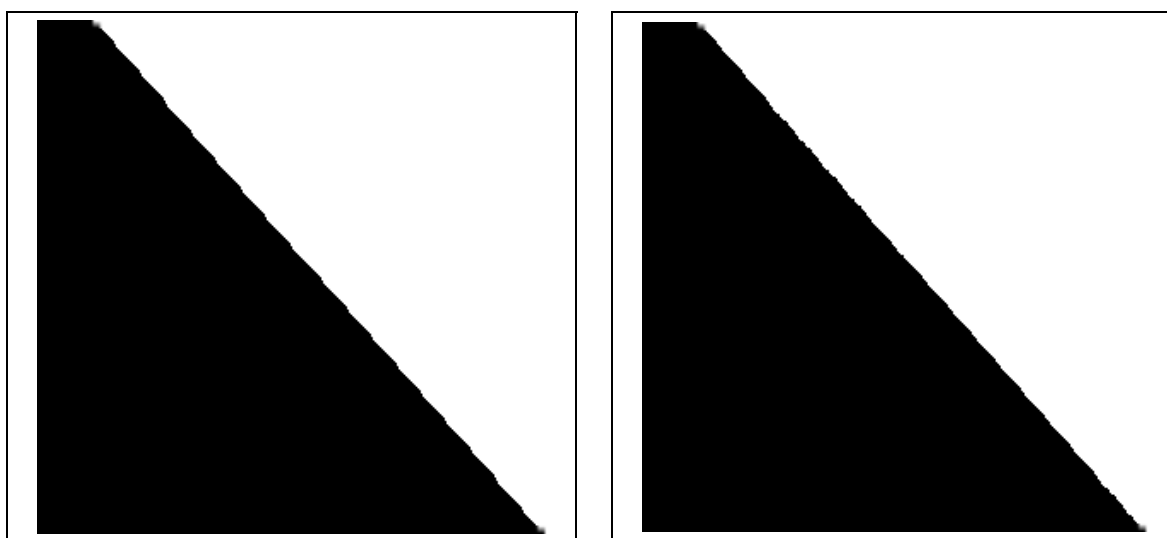


圖 2-3 擴充後類別 C 的所有圖樣。



(a) 類別 C 擴充前

(b) 類別 C 擴充後

圖 2-4 類別 C 減少無關像素前後的差異。

而最後的類別 G 在圖樣的設計上屬於較為特殊的類別，如圖 2-5 所示，其中間的  $2 \times 2$  區塊為點對稱，左上與右下屬於同一灰階群，右上與左下屬於另一灰階，這意味著有極大的機會將有一斜線貫穿此區塊。因此，判斷此斜線為左上右下或是右上左下為設計圖樣的主要課題。最後設計完成的圖樣可分成 G1~G11 和 G12~G22 兩個部分，前者為所有右上左下斜線通過的情況，後者為所有左上右下斜線通過的情況。然而這 22 個圖樣並無法涵蓋所有像素亮度的高/低分布情形，對於被判斷其為非直線通過的情況，將以 Bi-Cubic 內插之。

如此，類別 A~G 的所有圖樣皆已建構完成，這些圖樣群是異於[23]中的圖樣群。值得注意的，在[23]中並未提供類別 G 的圖樣，對於影像中線段發生的部分無法作適切的內插補點，本論文對此部分作了更細微的考量。因此，比起[23]所提出的圖樣群，本論文之圖樣群可對更多的場景作更適切的放大。



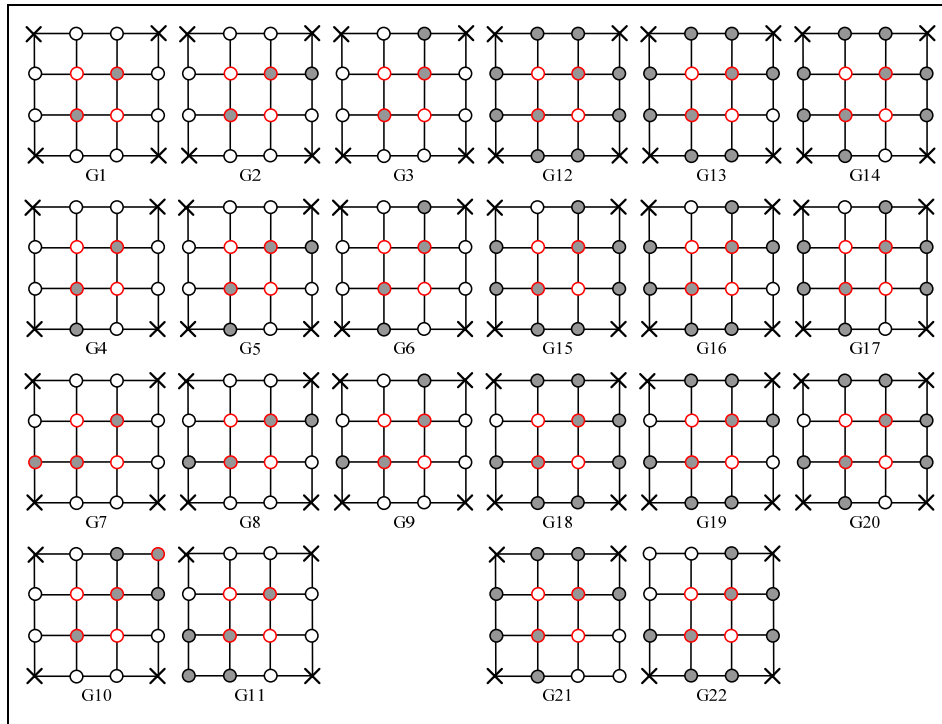


圖 2-5 類別 G 的所有圖樣。

## 2.2 相鄰區塊之邊界連接

在上節完成各類別圖樣群之完整建構之後，我們將在本節中針對每個圖樣訂定合適的高解析度高/低群分界函式。高解析度高/低群分界函式的功用是將區塊中放大後的高解析度像素作出高/低群之分界標記，以便之後在計算其像素值的時候，可做出高/低群的區隔並個別計算之。

然而相鄰的區塊，若其高解析度高/低群分界函式在其區塊邊界部分的接點不一致的話，將會造成，如圖 2-6 這樣的情況。因此，處理相鄰區塊的邊界連接問題成為我們設計每個圖樣的高解析度高/低群分界函式的考量要點之一。在[23]中對於相鄰區塊的邊界連結問題，是靠著儲存上一列區塊的下方連接點位置與左邊區塊的右方連接點，進而使得目前內插目標區塊的連接點迎合上方與左方區塊的連接點。此篇論文將透過限制連接點的個數，以相鄰區塊一致的邊界連接為考

量，設計可以讓各圖樣相互配合的高解析度高/低群分界函式，以節省用來記錄連接點的上述儲存列暫存空間。

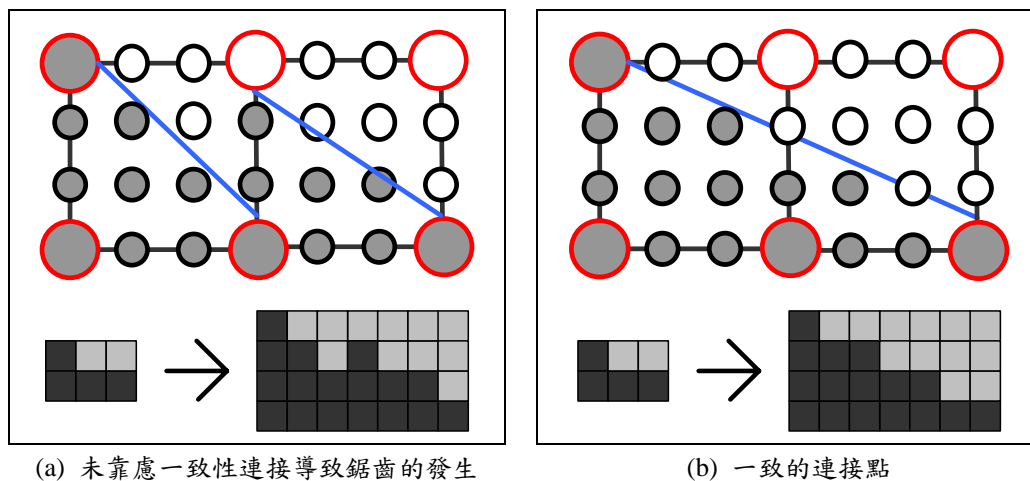


圖 2-6 邊界連接情形。

以類別 A 中間的  $2 \times 2$  區塊來說，因其分成上下的高/低兩群，顯而易見的，其連接點將位於  $2 \times 2$  區塊的左右兩側。也因此如，如圖 2-7 所示，類別 A 的左側將只可能是類別 A、D、E、G，右側只可能是類別 A、C、F、G。所以當我們考慮類別 A 的高解析度高/低群分界函式的同時，左邊連接點必須顧及類別 A、D、E、G 的右邊連接點，右邊連接點必須顧及類別 A、C、F、G 的左邊連接點。

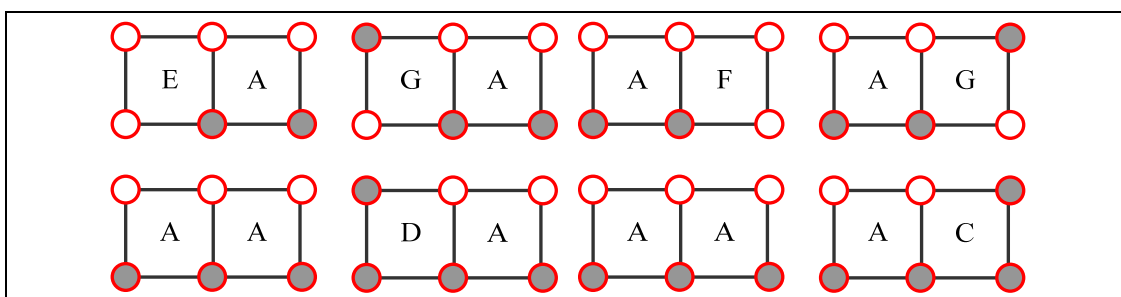


圖 2-7 類別 A 相鄰區塊的各種情形。

然而在這樣解析度高/低群分界函式的連接點的相互影響之下，顧此失彼的情況在所難免。因此，為了降低其連接點的變動範圍以降低其連接點互相影響的效應，在這裡我們限制除了類別 G 外，每個相鄰邊界只能有三個連接點的可能性，而 G 在各邊只有一個連接點，如圖 2-8 所示。

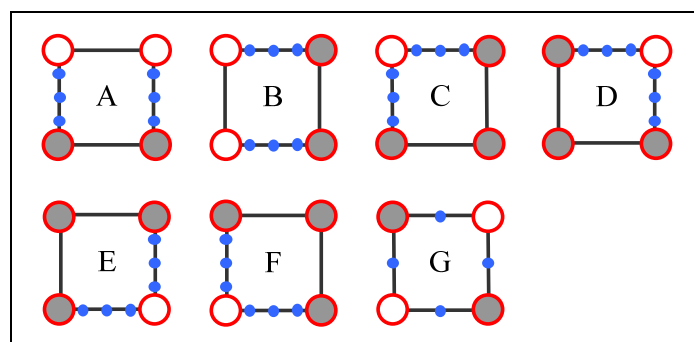


圖 2-8 各類別的相鄰邊界連接點。

為了確保妥善連接相鄰邊界，可以仰賴的是相鄰區塊所共同參考的像素。如圖 2-9 中間綠色框內的 12 個像素為左右相鄰區塊的共同參考的像素，稱為左右相鄰區塊的共同區塊。左邊為類別 A，右邊為類別 C。因此，對於類別 A 中的圖樣而言，選擇右邊連接點時以其右部的 12 個像素為參考依據，對右邊相鄰區塊的類別和其右邊連接點的位置作判斷，以訂定合適的連接點位置。因此，透過確保每種共同區塊的樣式有著唯一的連接點位置，可以確保左邊區塊的右連接點跟右邊區塊的左連接點的一致性。

各個圖樣邊界的連接點決定完成後，接下來的工作便是建構高解析度高/低群分界函式。事實上，連接點的決定與建構高解析度高/低群分界函式在工作順序上是同時間完成，因為圖樣中連接點的決定會直接影響其對應高解析度高/低群分界函式的設計。

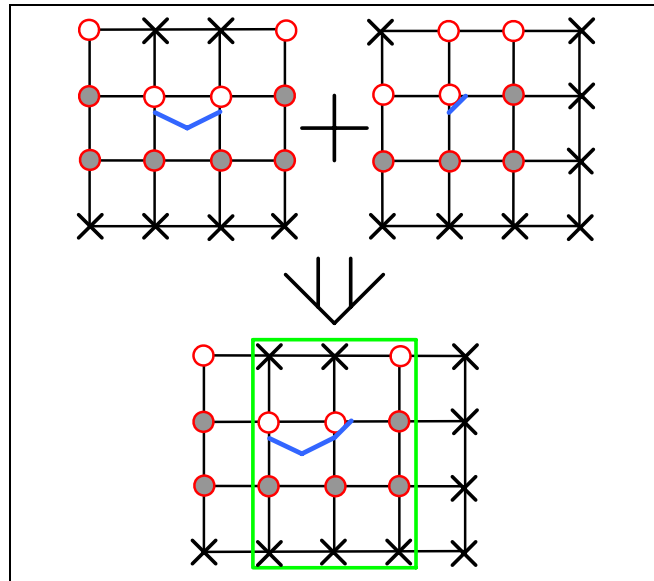


圖 2-9 兩相鄰區塊有著共同參考像素。

## 2.3 高/低灰階群邊界的決定

上節提及的邊界連接點一致性將影響其相鄰區塊內插後的連續性，不一致的情況會導致鋸齒狀的內插結果。然而區塊內之高/低灰階群分界線的斜率對於內插後的視覺效果也有很大的影響，如圖 2-10 所示，綠色線段為我們所設計的高解析度高/低群分界函式所構成的高/低群分界線，而藍色則是主觀上較為合理的分界線。對於每個  $2 \times 2$  中間綠色小線段的決定，其參考範圍只有 16 個像素，因此導致波浪狀的產生在所難免。但是經過實驗與調整，可使綠線的位置盡可能接近藍線。然而分隔線的斜率與其左右的連接點是互相牽制的。所以，高/低灰階群分界函式的制訂必須兼顧邊界連接點的一致性與整體分界線的平順。

以下我們列出本論文所有類別的圖樣與其高解析度高/低群分界函式的邊界，如圖 2-11、圖 2-12、圖 2-13、圖 2-14、圖 2-15、圖 2-16 和圖 2-17 所示。此處的圖樣列舉了大部分認知上的邊、線、角的案例，並且滿足了各種像素灰階高/低

分布情形的可能性，對於類別 G 中一些難以判斷的案例，則可採用 Bi-Cubic 來作例外的處理。

至此，影像內/外插放大技術的主要部分大抵上已經完成，其主要精神在於使得放大後的影像保有原畫面銳利度；然而，太過銳利的影像在視覺上不見得是絕對討喜的，而或有矯枉過正之憾。因此本論文對於上述的高解析度高/低群分界函式中的高/低灰階群邊界附近的像素，將會以沿著垂直於邊界方向作線性內插的方式作改善，以降低太過銳利的情況。另一方面，[23]中對高/低灰階各群內部像素一概以平均值作內插值，在本論文中則改依平面函數內插之，以達到較為平順的內插補點效果，這些都將於下一章一併作說明。

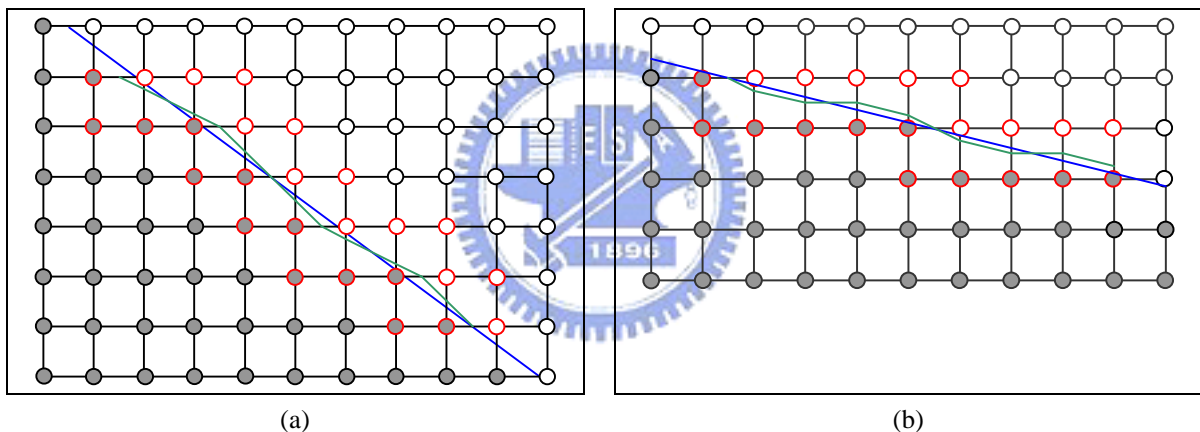


圖 2-10 不同斜率下理想與現實的差異，圖中藍線為理想情況，綠線為我們所定義的高/低群分界函式所形成的邊界線，紅圈為邊緣發生的 2x2 區塊。

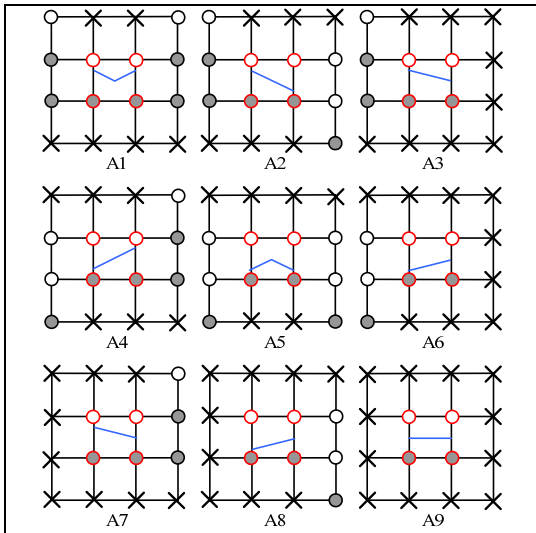


圖 2-11 類別 A 圖樣與其高/低群邊界。

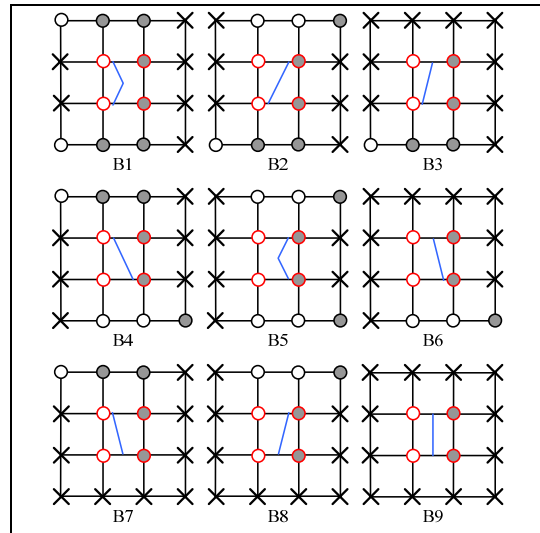


圖 2-12 類別 B 圖樣與其高/低群邊界。

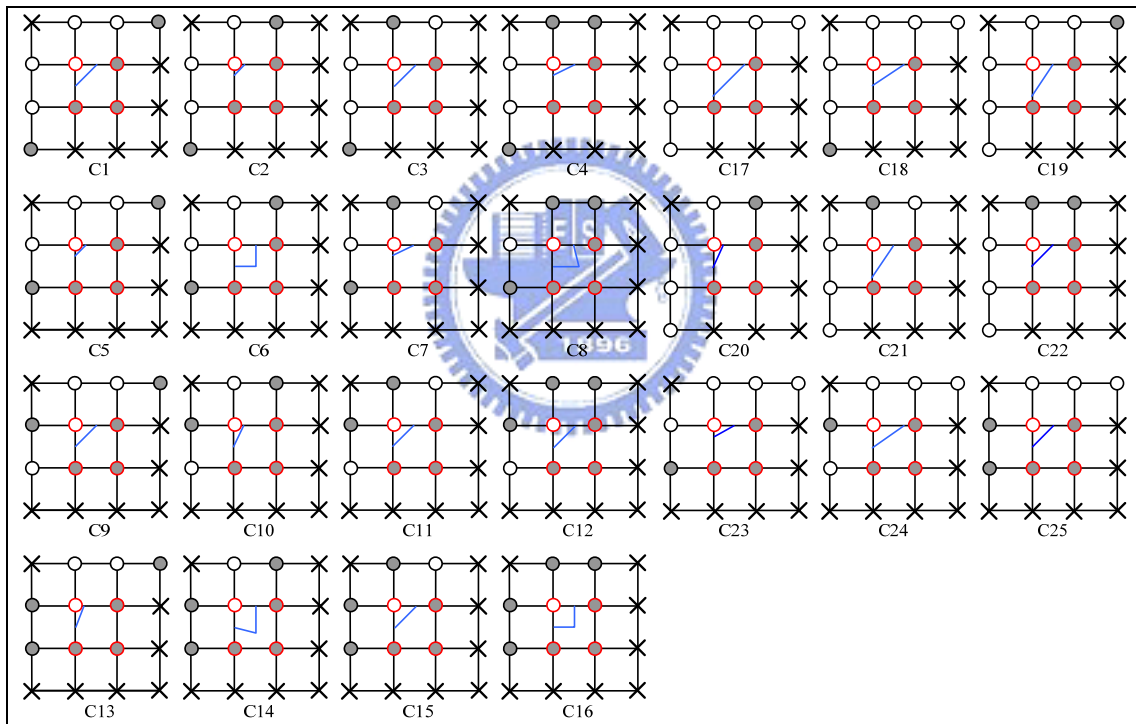


圖 2-13 類別 C 圖樣與其高/低群邊界。

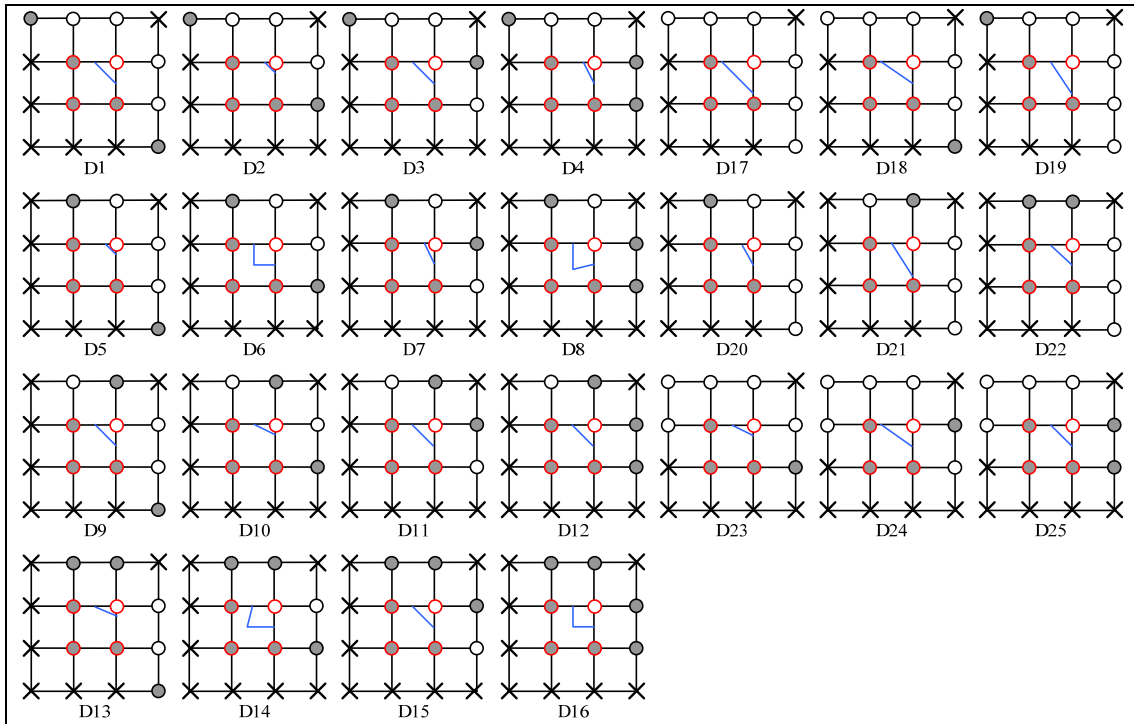


圖 2-14 類別 D 圖樣與其高/低群邊界。

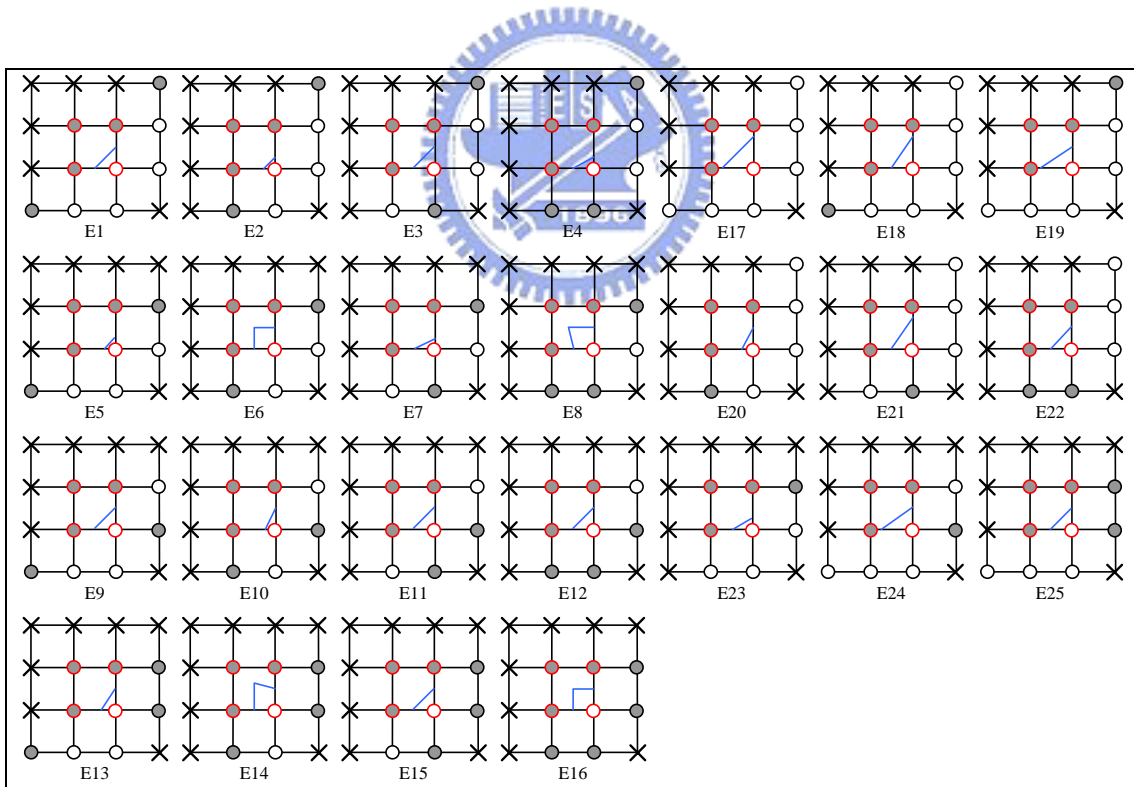


圖 2-15 類別 E 圖樣與其高/低群邊界。

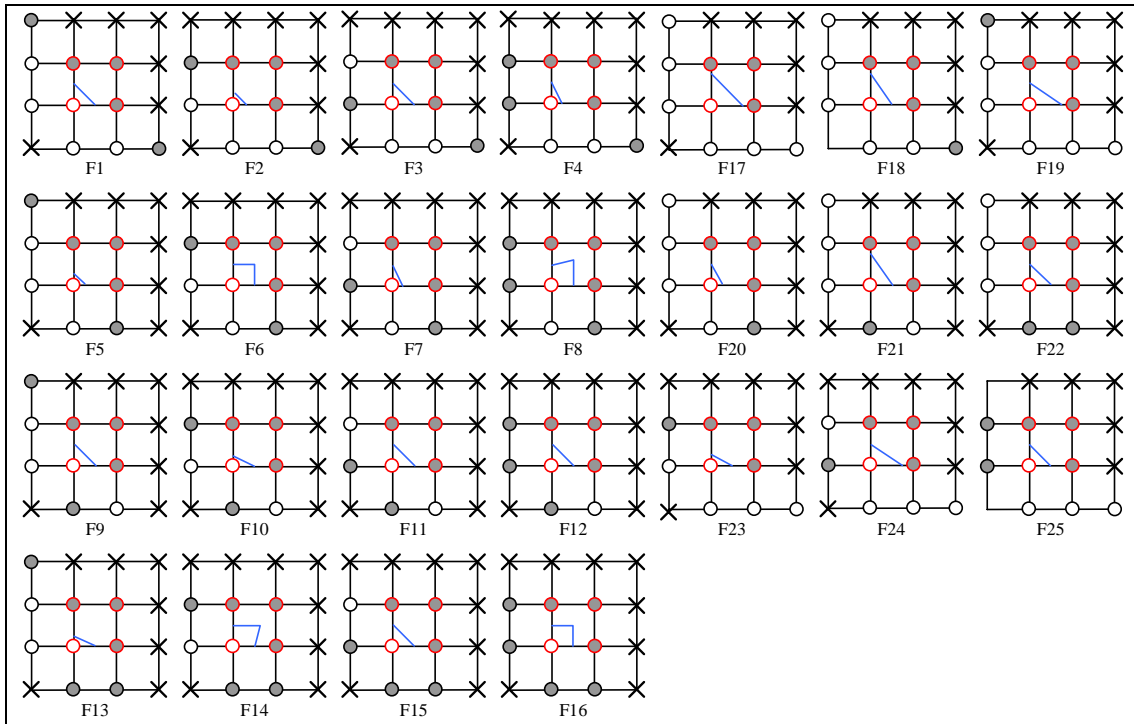


圖 2-16 類別 F 圖樣與其高/低群邊界。

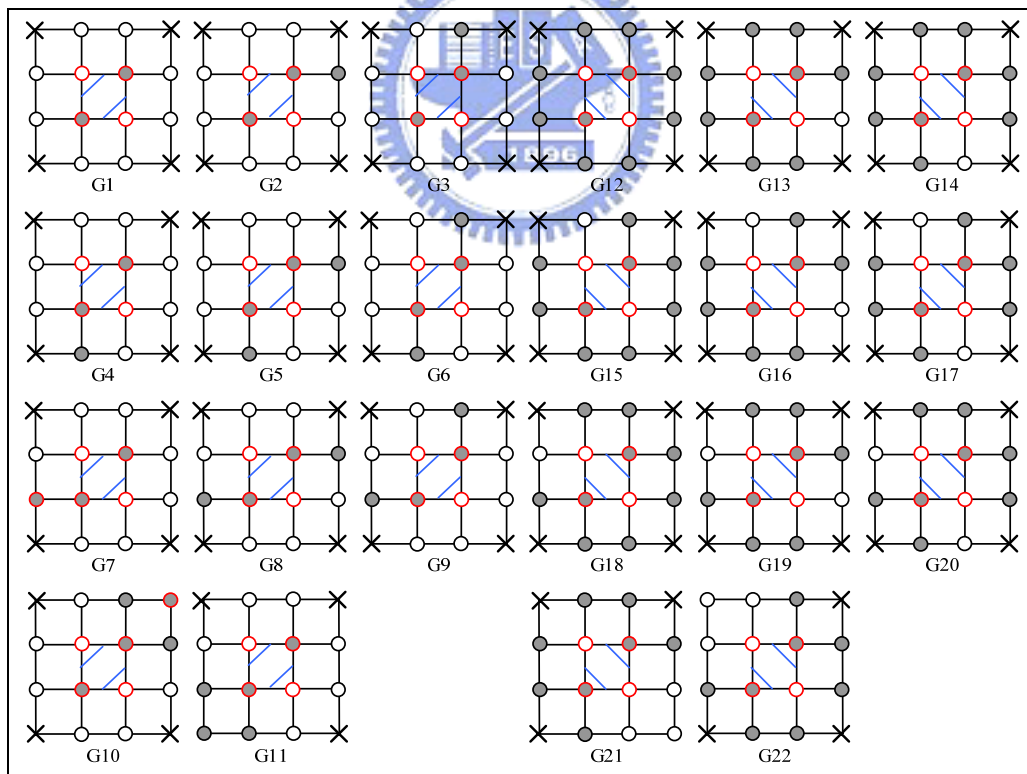


圖 2-17 類別 G 圖樣與其高/低群邊界。



### 三、計算灰階值之內/外插函數

前一章已經將內插目標內的高解析度像素依其灰階高/低作標記。進一步地，依每個像素所屬的灰階群，計算其灰階值為接下來的工作。在[23]中，所有像素一概由所屬灰階群在低解析度的參考素平均值作(零次)內/外插補點。此即，即使這些參考像素灰階值有著些微的差異，但將忽略其間差異而以同一灰階值作內/外插。這意味著放大後的影像中將會有許多等灰階值的區塊。因此，本論文將對這樣的缺點作改進，即使這些被判斷為相似的像素其灰階值是相近的，但仍可由計算一次平面函式，使得高解析度的每個像素可依其所在位置計算較為合適的灰階值。另一方面，為求良好的放大品質，銳利化一向是影像放大過程中不可或缺的一部分。然而，試想電視上的銳化調整，太過銳利的影像在視覺上反而讓人覺得不自然。在[23]中，並沒有特別對深淺懸殊的兩灰階群之邊界作處理，以致於在高/低灰階群邊界部分的懸殊變化使放大後的影像過於銳利。因此，如圖 3-1，藍色線段為我們為高/低灰階群的分隔線，圖中區塊 A/B 將以中央區塊中灰階群 0 的 3 個像素灰階值作內/外插依據，區塊 D 則以灰階群 1 中間的像素灰階值為外插依據，而像區塊 C 這樣較接近邊界之鄰近區域則作漸層式的內插，並使其邊界的銳利程度可隨區塊 C 大小作調整。

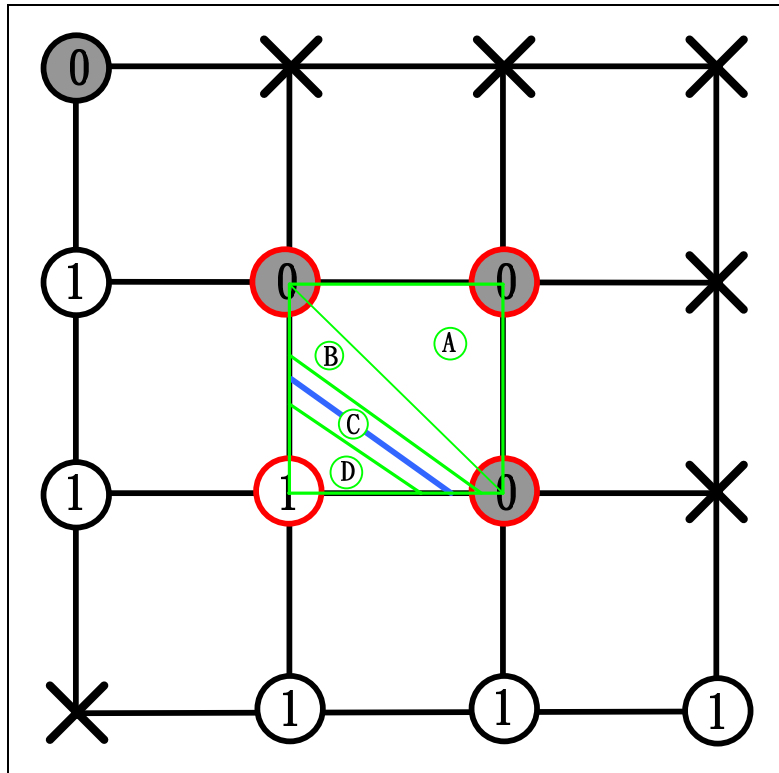


圖 3-1 區塊 A、B、C 和 D 將以不同方式作內/外插處理。

### 3.1 相近灰階值中的內插

若以圖 2-11 中類別 A 中的  $2 \times 2$  區塊來說，其依灰階值高/低分群的結果是上部的 2 個像素為一群，下部的 2 的像素為一群。因此，欲計算上部的高解析度像素灰階值時，可參考上部的在低解析度時的 2 個相鄰像素，下部亦同，而類別 B 與類別 A 類似。另外對於類別 C 而言，其分群結果為左上部的 1 個像素與右下部的 3 個像素。此時可參考的像素左上部為 1 個，右下部為 3 個。然而對於類別 G 而言，左上角與右下角判斷為同一灰階群，右上角與左下角為另一灰階群，各群可參考的像素皆為對角的 2 個像素。因此，在作補點時可將參考的像素依數量分成參考 1 個像素、參考 2 個像素和參考 3 個像素三種案例處理。並分別對高/低灰階值各群，依其參考像素建構一個平面函式  $I(x, y)$ ，以計算  $2 \times 2$  區塊內標

記為該群的高解析度像素灰階值，其中  $(x, y)$  為各像素座標。

對於參考像素個數為 3 的情況，假設  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  為 3 個參考像素，其中  $p_1 = (x_1, y_1)$ 、 $p_2 = (x_2, y_2)$ 、 $p_3 = (x_3, y_3)$ ，並且假設其於原始影像中的灰階值分別為  $z_1$ 、 $z_2$  和  $z_3$ ，則此三點所構成平面之法向量為：

$$N = \begin{pmatrix} x_1 - x_2 \\ y_1 - y_2 \\ z_1 - z_2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_2 - x_3 \\ y_2 - y_3 \\ z_2 - z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (y_1 - y_2)(z_2 - z_3) - (y_2 - y_3)(z_1 - z_2) \\ (x_1 - x_2)(z_2 - z_3) - (x_2 - x_3)(z_1 - z_2) \\ (x_1 - x_2)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_2) \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

此平面函式則為：

$$N^T \begin{pmatrix} x \\ y \\ I(x, y) \end{pmatrix} = N^T \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

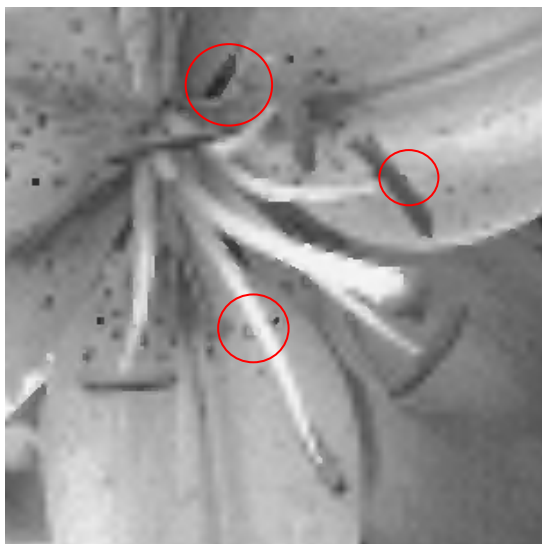

對於參考像素個數為 2 的情況，假設  $p_1$ 、 $p_2$  為參考像素，此時欲建構一平面，使得各像素灰階值依其在  $\overline{p_1 p_2}$  作上的投影位置作線性內插，因此高解析度的各像素灰階值將依其在  $\overline{p_1 p_2}$  上的投影位置呈一線性關係。然而對於參考像素個數為 1 的情況，假設該參考像素座標為  $p_1 = (x_1, y_1)$ ，其灰階值為  $z_1$ ，我們則對每個標記為該群的高解析度像素，一概以  $z_1$  內插之，亦即建構一平面，使得所有像素有著相同灰階值。

平均值補點與平面函式補點之差異如圖 3-2 所示。在以所有參考點平均值作內插補點時，由圖 3-2(a) 中可清楚觀察到其在深淺交界處的區塊化現象。區塊化

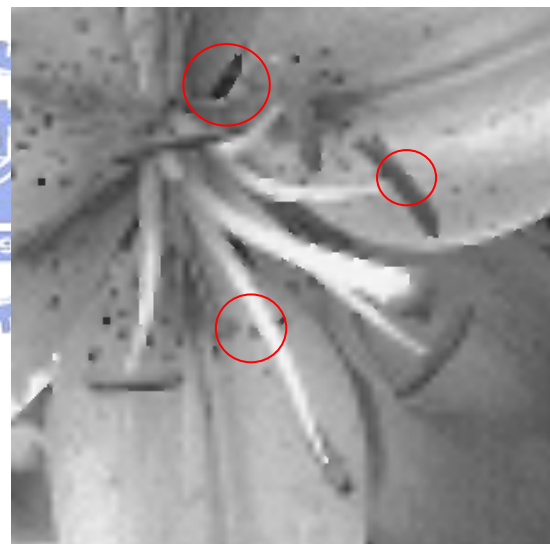
現象形成原因來自於被判斷為屬於同灰階群的像素是以同一灰階值進行內/外插補點，進而使得被放大後的影像以當初的 2x2 區塊為單位形成塊狀。然而在以平面函數為內插補點方法之後，可依參考的像素在不同位置而採用平面方程式計算不同的灰階值，因而減少因區塊內同灰階群像素以同一灰階值作內/外插而引起的區塊化現象。



(a) 原圖



(b) 以參考點平均值作內/外插補點



(c) 以平面函數作內/外插補點

圖 3-2 相同參數下，不同內/外插補點計算方法之比較。

### 3.2 懸殊灰階值間的內插

上節已說明了如何以平面函數對於高解析度區域內的各點作適切的灰階值內/外插。然而在此，我們將不再只把區塊內的高解析度像素分為高/低灰階群兩種情況處理。取而代之的是除了分為高/低灰階群，另外對高/低群分界函式中的高/低灰階群邊界附近以漸層方式內插之。此時，以高/低灰階群邊界為中心，寬度為 $2h$ 的帶狀區域，即為我們所另外區隔出來的邊界區域，如圖 3-3 所示。歸屬於邊界區域內之像素灰階值內插方法將有別於高灰階群與低灰階群，此處灰階值是依其與邊界區域兩端距離，而以不同的比重混合該點於高/低灰階群兩平面函式上的數值。其中邊界區域之寬度 $2h$ ，可依視覺喜好調整 $h$ 大小。

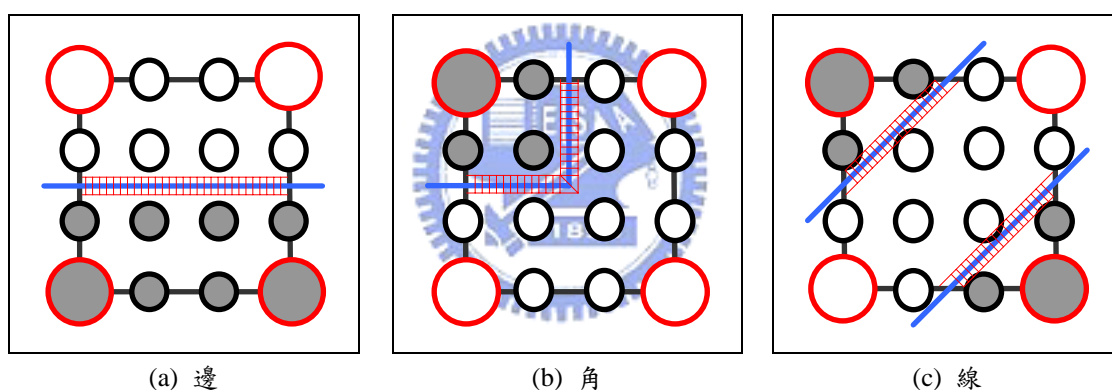


圖 3-3 以高/低群分界函式的邊界為中心所形成的邊界區域。

如圖 3-4，假設 $p$ 為邊界區域內欲計算灰階值的像素， $d_0$ 、 $d_1$ 為 $p$ 至邊界區域兩端的距離， $I_0(p)$ 、 $I_1(p)$ 各別為像素 $p$ 的座標代入高/低群兩平面函式所得之值，則新像素 $p$ 的灰階值可表示為：

$$I_E(p) = \frac{d_0}{2h} I_1(p) + \frac{d_1}{2h} I_0(p) \quad (3-5)$$

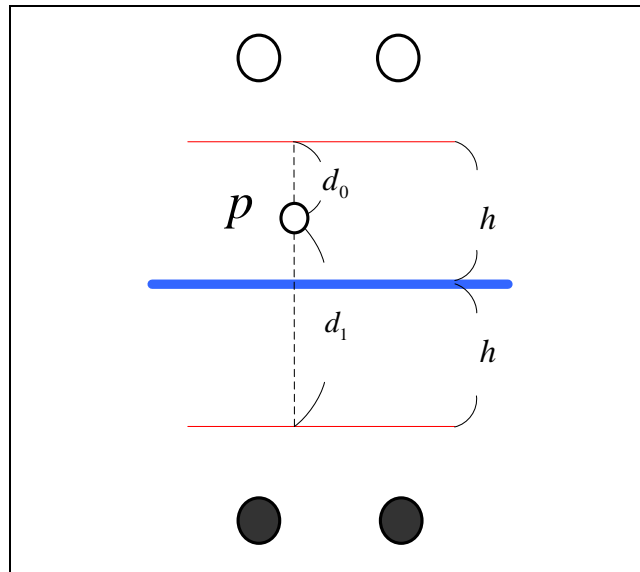


圖 3-4 邊界區域上的漸層內插，依  $d_0$ 、 $d_1$  的比例以不同比重計算像素  $p$  的灰階值。

因此，對於放大後區塊中的每個高解析度像素，可依其與邊界的距離關係分成三種情況：

$$I(p) = \begin{cases} I_0(p), & \text{when } d > h \text{ and } p \in G_0 \\ I_1(p), & \text{when } d > h \text{ and } p \in G_1 \\ I_E(p), & \text{when } d \leq h \end{cases} \quad (3-6)$$

這裡， $G_0$  表示被標記為 0 之灰階群內之所有像素所成集合， $G_1$  表示被標記為 1 之灰階群內之所有像素所成集合。 $I_0$ 、 $I_1$  個別為高/低灰階群之平面函數， $I_E$  如 (3-5) 為邊界區域內的內插補點函數。

透過以漸層的方式處理邊界附近的像素，如預期地，將使放大後的影像不至於太過銳利，如圖 3-5 所示。隨著  $h$  值變大，其深淺交界處越來越不那麼銳利，

尤其是 $h \geq 30$ 之後，影像已經漸趨模糊。然而影響不只於此，我們可以觀察到，與圖 3-5(b)相比，圖 3-5(c)的鋸齒現象較為緩和。其原因為對於鋸齒細紋，在邊界漸層化的同時，可使其細紋較為模糊。因此由於深淺交界處的漸層式內插，可以使放大後的影像得以選擇其深淺交界處之銳利程度，並同時降低鋸齒現象。

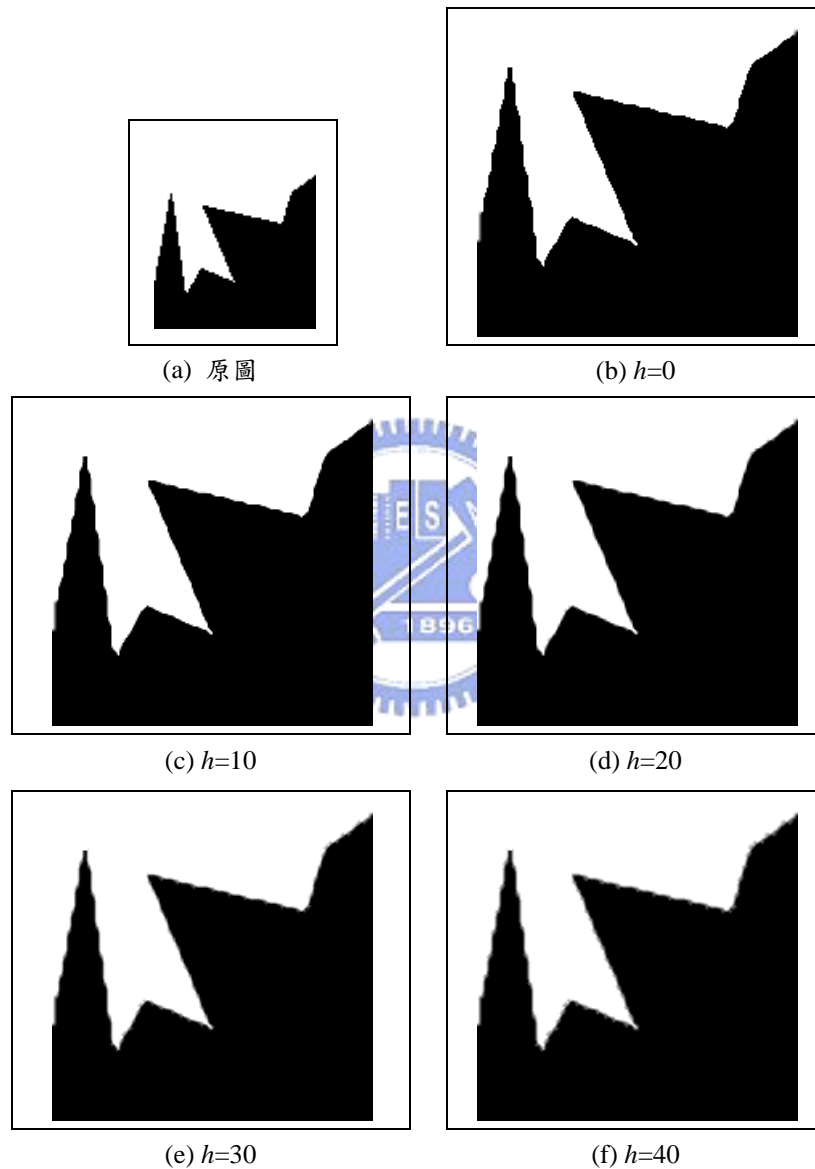


圖 3-5 邊界區域寬度的調整。

目標區塊內的各部份的內/外插補點方式已經介紹完畢。承接第一章的  $2 \times 2$  區塊內像素的分群與分類，有些區塊被歸類以 Bi-Cubic 處理之，有些則進一步對內/外插補點目標與其周圍像素作亮度的高/低標記，並與第二章所建立之其所屬的類別圖樣群作比對，比對成功後可得該圖樣所搭配之高/低群分界函式，以之將高解析度各像素做 1/0 標記而區隔出高/低灰階群。對於這些標記完成後的像素，進而計算其像素灰階值。首先對於區塊內的高/低灰階群，計算個別的平面函式  $I_0$  與  $I_1$ ，進而對區塊內的所有高解析度像素依其與高/低群邊界的距離，分成距離大於  $h$  者與距離小於等於  $h$  者。當該像素與邊界距離大於  $h$ ，則以像素座標帶入其所屬灰階群之平面函式以求其灰階值。反之，當距離小於等於  $h$ ，則屬於邊界區域內的像素。此時則依其與邊界區域兩端之垂直距離，以不同比重混合該像素於高/低灰階群之兩平面函式的數值為其灰階值。如此，區塊內的所有像素灰階值皆已計算完成，此時將目標區塊往影像右方移動一個像素距離，重複同樣的工作直至影像右下角最末端。





## 四、實驗結果

在本章中，我們將展示內/外插影像放大技術之實驗結果。首先，先針對前幾章敘述中，可調整的參數值作比較與討論。第二章中提及的 $T_i$ 與 $T_e$ 為一開始進行分群步驟時所設定的門檻值，其大小將影響我們對像素的相似關係之判斷。另外，上一章所提及 $h$ 的大小決定了邊界區域的寬度，這將影響到放大後的影像其銳利程度與鋸齒現象。另外除了本身的各參數不同設定的比較之外，我們將進一步與 Bi-Cubic、Nearest Neighbor 和[23]的放大結果作比較。並在本章最後，透過 PCA 為放大後影像中邊緣部分作量化的比較。

### 4.1 各參數的比較

此節我們將探討 $T_i$ 與 $T_e$ 對影像放大結果的影響，主要分兩種情況來討論。一是在固定 $h$ 的情況之下，我們以不同的 $T_i$ 與 $T_e$ 進行實驗，以比較在不同的 $T_i$ 與 $T_e$ 下，放大後的影像會有怎樣的差異。另一方面則是在固定 $T_i$ 與 $T_e$ 的情況下，以不同的 $h$ 進行實驗，以比較邊界區域的寬度對於放大後的影像的影響。

首先假設 $h=10$ 為常數，藉此以比較不同的 $T_i$ 與 $T_e$ 對放大結果的影像。圖 4-1(a)為原始影像，其解析度為 $180 \times 180$  像素。圖 4-1(b)則是以 $T_i=20$ 、 $T_e=60$ 放大為 $400 \times 400$  像素。而圖 4-1(c)是以 $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 放大為 $400 \times 400$  像素。我們可以發現，圖 4-1(b)顏色較淺的四塊扇形區塊，其邊緣較為模糊。進而觀察其灰階值個別為 249、239、209、226，此四值皆與背景灰階值 255 相差小於 $T_e=60$ 。由此可得知其邊緣部分於分群判斷時，因判斷為 Bi-Cubic 處理，故有

此模糊化的結果。而圖 4-1(c)改以 $T_i=5$ 、 $T_e=15$ ，因此圖 4-1(c)中只剩一塊邊界模糊的扇形，此即是灰階值為 249 的扇形，其餘於圖 4-1(b)中邊界模糊的扇形因 $T_i$ 與 $T_e$ 的改變而改善。

圖 4-2 為一個自然影像的例子，同樣在固定 $h=10$ 的條件之下，將解析度為 $200\times 200$  像素的原始影像如圖 4-2(a)以 $T_i=20$ 、 $T_e=60$ 放大為圖 4-2(b)，以及以 $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 放大為圖 4-2(c)，其解析度皆為 $400\times 400$  像素。可觀察到的是，圖 4-2(b)中因為 $T_i=20$ 限制鬆散，而有著些微的區塊化現象，相較之下 4-2(c)較不明顯。因此對於此原始影像，以 $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 的參數較為合適。圖 4-2(c)、(d)以黑色標示了 Bi-Cubic 補點的像素，可由此二圖比較影像內/外插補點在不同參數下所占的數量與位置。

另外在固定 $T_i$ 與 $T_e$ 的情況下，我們將比較 $h$ 的大小對放大結果的影響。如圖 4-3(a)為原始影像，其解析度為 $100\times 150$  像素，然後在 $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 的情況下分別經由 $h=0$ 、 $h=7$ 、 $h=15$ 放大為 $250\times 375$  像素。其結果如圖 4-3(b)、圖 4-3(c)與圖 4-3(d)所示。當 $h=0$ 時，表示其邊界區域寬度為 0，因此對於每個放大單位區塊，內/外插補點方式僅分為高/低灰階群或 Bi-Cubic 內插。然而當 $h=7$ ，則因為邊界區域內的漸層內插，使得圖 4-3(c)中的深淺交界處灰階值變化顯得較為平緩，並且原本於圖 4-3(b)中的鋸齒現象也得以紓緩。圖 4-3(d)為 $h=15$ 的情結果，其深淺交界處與圖 4-3(c)相較之下更為模糊。

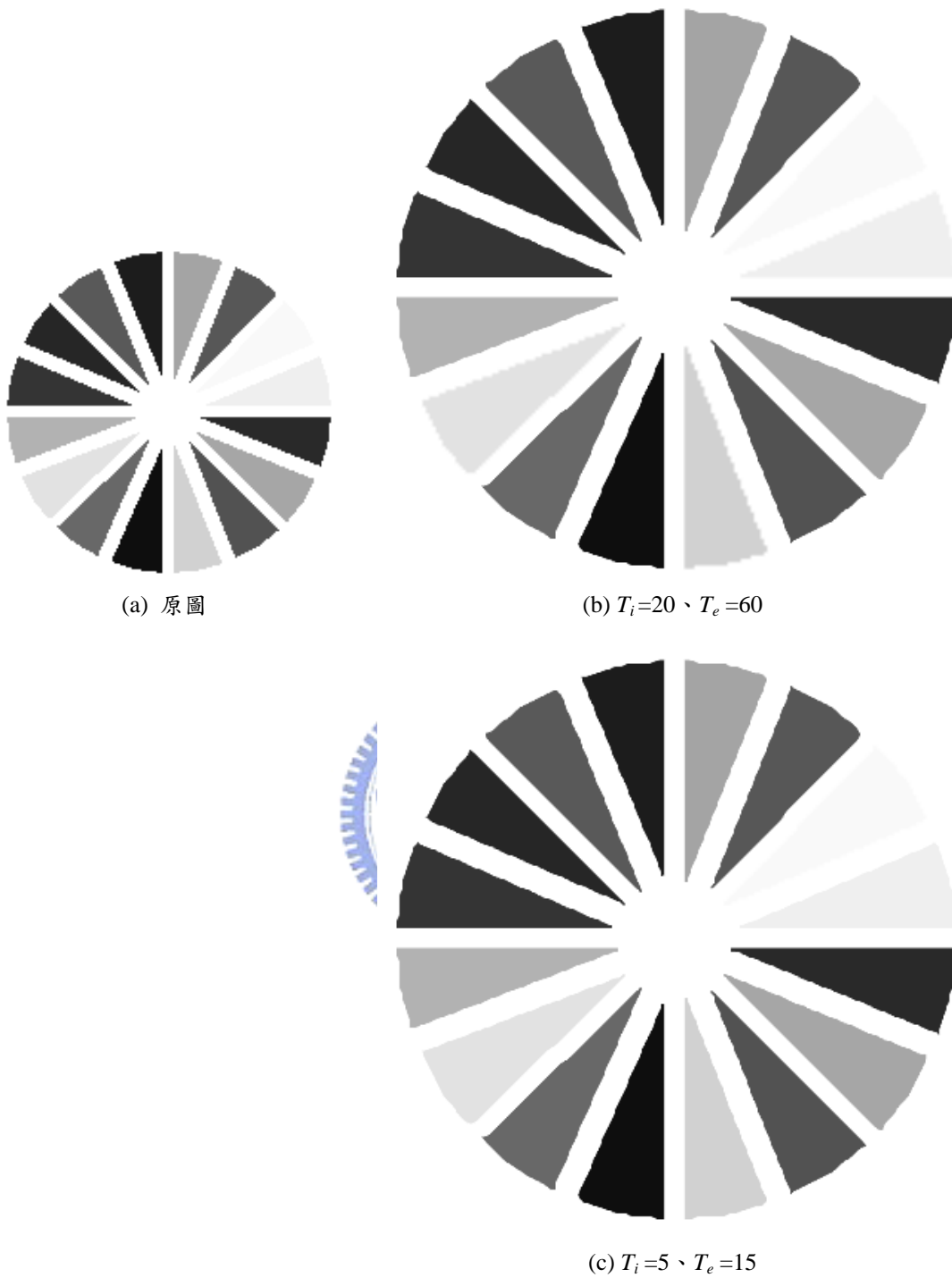
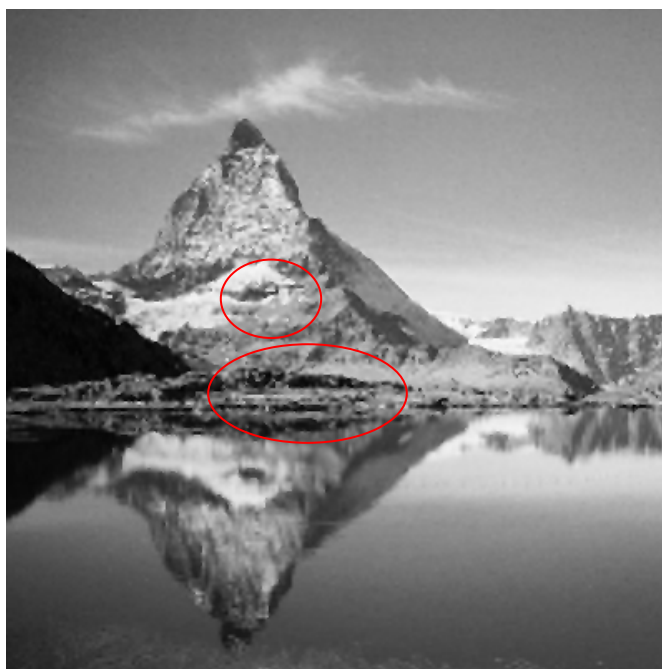


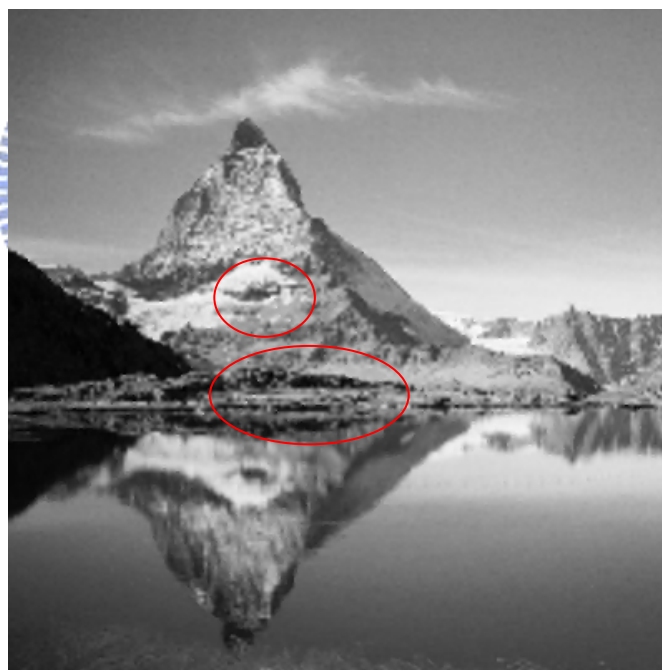
圖 4-1 以  $h=10$  從解析度  $180 \times 180$  放大至解析度  $400 \times 400$ 。



(a) 原圖



(b)  $T_i=20$ 、 $T_e=60$



(c)  $T_i=5$ 、 $T_e=15$

圖 4-2 以  $h=10$  從解析度  $180 \times 180$  放大至解析度  $400 \times 400$ 。



(d)  $T_i=20$ 、 $T_e=60$  影像中 Bi-Cubic 補點部分以黑色取代

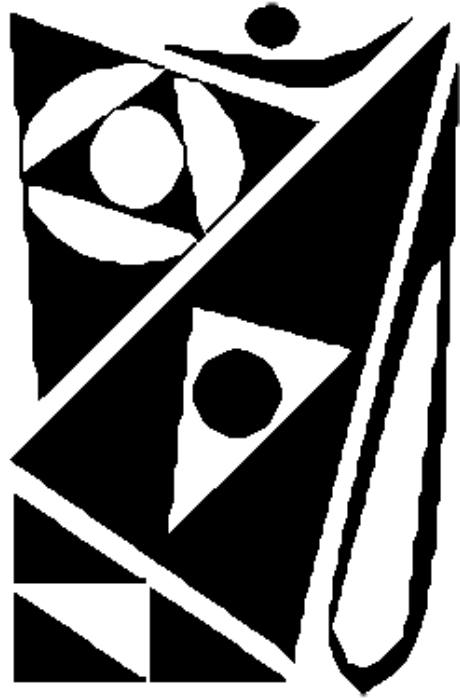


(e)  $T_i=5$ 、 $T_e=15$  影像中 Bi-Cubic 補點部分以黑色取代

圖 4-2 以  $h=10$  從解析度  $180 \times 180$  放大至解析度  $400 \times 400$ 。(續)



(a) 原圖



(b)  $h=0$



(c)  $h=7$



(d)  $h=15$

圖 4-3 以  $T_i=0$ 、 $T_e=15$  將影像從解析度  $100 \times 150$  放大至解析度  $200 \times 375$ 。

## 4.2 與其他方法的比較

在上一節已經展示了  $h$ 、 $T_i$ 、 $T_e$  不同的數值對放大結果的影響，本節將著重在與 Bi-Cubic、Nearest Neighbor 和 [23] 作比較。並且由於本論文是針對 [23] 作進一步改善， $T_i$  與  $T_e$  為共同參數，因此在比較時將以相同的  $T_i$ 、 $T_e$  作為比較基準。

圖 4-4(a) 為解析度  $75 \times 75$  像素的影像，圖 4-4(b)、(c) 個別為經過 Nearest Neighbor 和 Bi-Cubic 放大處理之後的結果。可以觀察到圖 4-4(b) 的放大結果相當不理想，而圖 4-4(c) 相較之下好很多，但是仍有過於模糊的缺點。圖 4-4(d) 為 [23] 所提的方法在  $T_i = 30$ 、 $T_e = 50$  下的結果，圖 4-4(e) 為本論文的方法在同樣的  $T_i$  與  $T_e$  並且  $h = 20$  結果。圖 4-4(d) 對於影像的銳化程度明顯優於圖 4-4(c)，但是部分區塊的深淺懸殊差異相當突兀，圖 4-4(e) 對於這樣的缺點有明顯的改善。另外圖 4-4(f)、(g) 是設定  $T_i = 30$ 、 $T_e = 80$  的結果。圖 4-4(h)、(i) 以黑色標示了 Bi-Cubic 補點的像素，可由此二圖比較影像內/外插補點在不同參數下所占的數量與位置。

圖 4-5 是將原本解析度為  $640 \times 512$  像素的影像放大到解析度  $2000 \times 2000$  的結果。圖 4-5(b) 為經過 Bi-Cubic 放大後的部分影像，圖 4-5(c) 為 [23] 的方法在  $T_i = 30$ 、 $T_e = 80$  下放大後的部分影像，圖 4-5(d) 為本論文的方法在同樣的  $T_i$  與  $T_e$  並且  $h = 20$  結果。可以觀察到，圖 4-5(b) 較為模糊，而圖 4-5(c) 中有些微的鋸齒現象，相較之下圖 4-5(d) 有較好影像品質。

另外對於如圖 4-6 這樣的二值影像放大，比起 Nearest Neighbor 和 Bi-Cubic，本論文有著更強烈的優勢。由於我們的演算法是以區塊內的深淺二分法為主軸延伸，所以對與二值影像，正好切中本方法的主要精神。圖 4-6(a) 是解析度為  $125 \times 125$  像素的原始影像，在經過 Nearest Neighbor、Bi-Cubic 放大至解析度為  $300$

×300 像素的結果分別如圖 4-6(b)、(c)所示。可看見圖 4-6(b)明顯的鋸齒現象和圖 4-6(c)中的鋸齒現象和模糊現象。然而[23]的方法在  $T_i = 5$ 、 $T_e = 15$  的情況下的結果，如圖 4-6(d)所示，鋸齒現象已經大幅減少，並且沒有像圖 4-6(c)這樣模糊的邊緣。更優於[23]，圖 4-6(e)為在同樣的  $T_i$ 、 $T_e$  下，並設定  $h = 15$  的結果，可觀察到圖 4-6(d)中些微的鋸齒現象已獲得更進一步的改善。

圖 4-7(a)為常見的顯示器測試影像，其解析度為 800×600 像素。圖 4-7(b)為 [23]所提的方法在  $T_i = 5$ 、 $T_e = 15$  下放大至 1024×768 後的部分影像，圖 4-7(c)為本論文的方法在同樣的  $T_i$  與  $T_e$ ，並且設定  $h = 10$  的結果。可以觀察到圖 4-7(c)中的細線較為平順，色塊的四角較為完整，並且在文字的放大上較為美觀。另外由圖 4-7(d)可看出放大後被判別為類別 G 的部分。

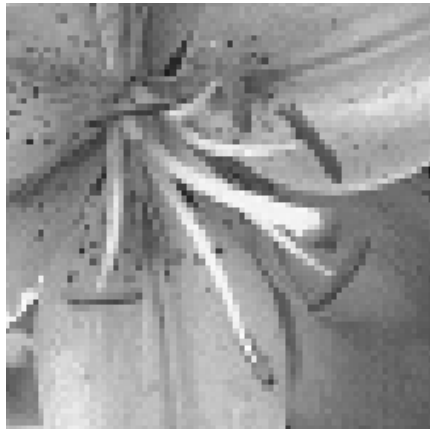
透過上述的這些例子，可以明顯看出比起 Nearest Neighbor 和 Bi-Cubic，本論文所提出的方法對於影像放大後的鋸齒和模糊有著顯著的改善。而[23]中一些矯枉過正的缺點也得到解決，而以更適切的灰階變化詮釋原始影像中的各種細微灰階變化，使得內插後的放大結果較為自然。



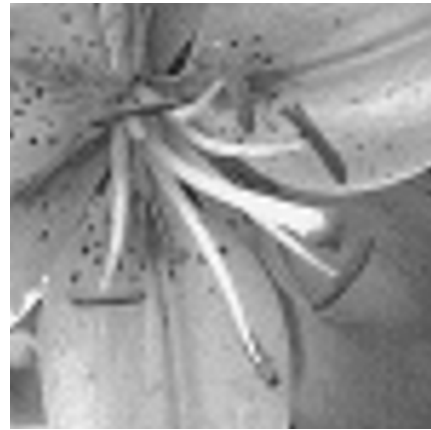
(a) 原圖

圖 4-4 將影像從解析度 75×75 放大至解析度 250×250。





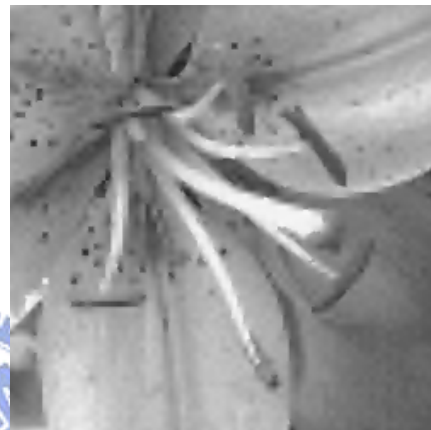
(b) Nearest Neighbor



(c) Bi-Cubic



(d) [23]  $T_i=30$ 、 $T_e=50$



(e)  $T_i=30$ 、 $T_e=50$ 、 $h=20$



(f) [23]  $T_i=30$ 、 $T_e=80$

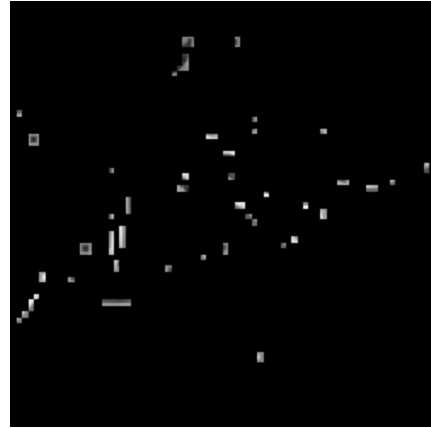


(g)  $T_i=30$ 、 $T_e=80$ 、 $h=20$

圖 4-4 將影像從解析度  $75 \times 75$  放大至解析度  $250 \times 250$ 。(續)



(h)  $T_i=30$ 、 $T_e=50$ 、 $h=20$

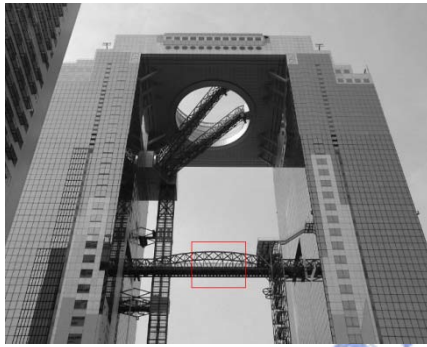


(i)  $T_i=30$ 、 $T_e=80$ 、 $h=20$

影像中 Bi-Cubic 補點部分以黑色取代

影像中 Bi-Cubic 補點部分以黑色取代

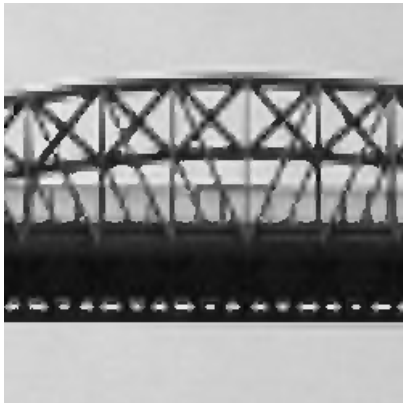
圖 4-4 將影像從解析度  $75 \times 75$  放大至解析度  $250 \times 250$ 。(續)



(a) 原圖



(b) Bi-Cubic



(c) [23]  $T_i=30$ 、 $T_e=80$



(d)  $T_i=30$ 、 $T_e=80$ 、 $h=20$

圖 4-5 將影像從解析度  $640 \times 512$  放大至解析度  $2000 \times 2000$  的部分影像。

神

(a) 原圖



(b) Nearest Neighbor

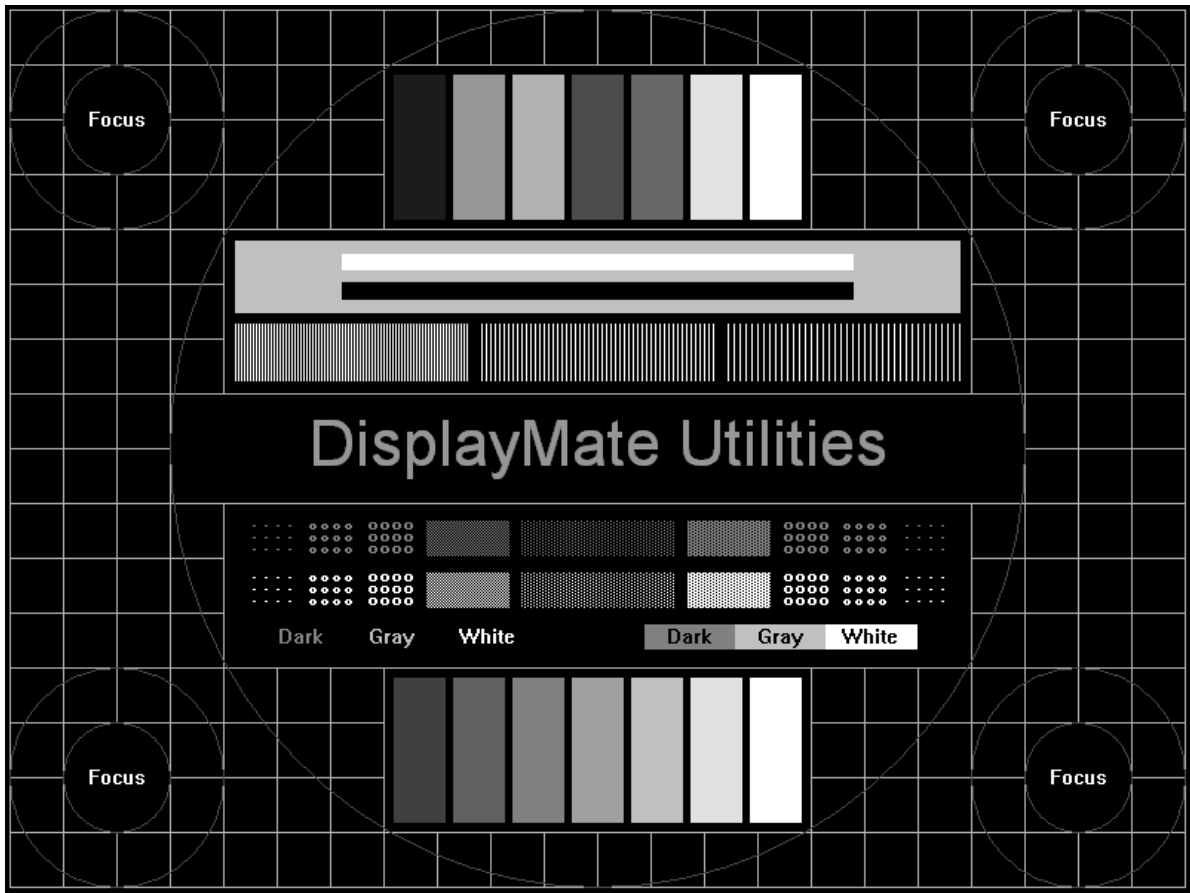
(c) Bi-Cubic



(d) [23]  $T_i=5$ 、 $T_e=15$

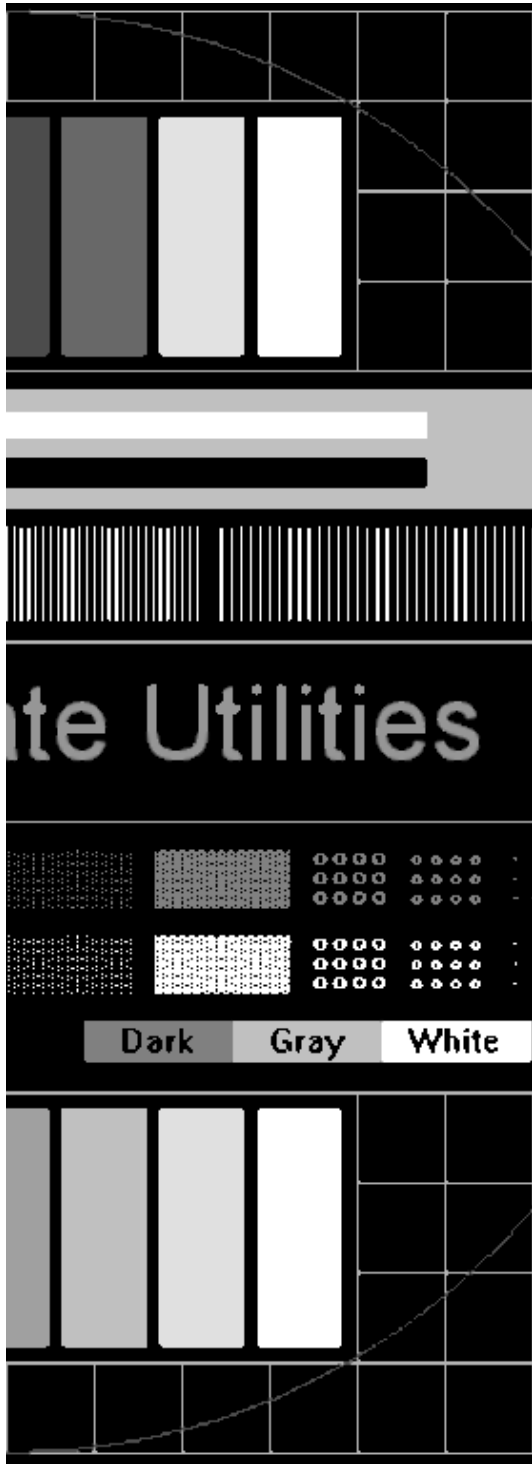
(e)  $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 、 $h=15$

圖 4-6 將影像從解析度 125×125 放大至解析度 300×300。

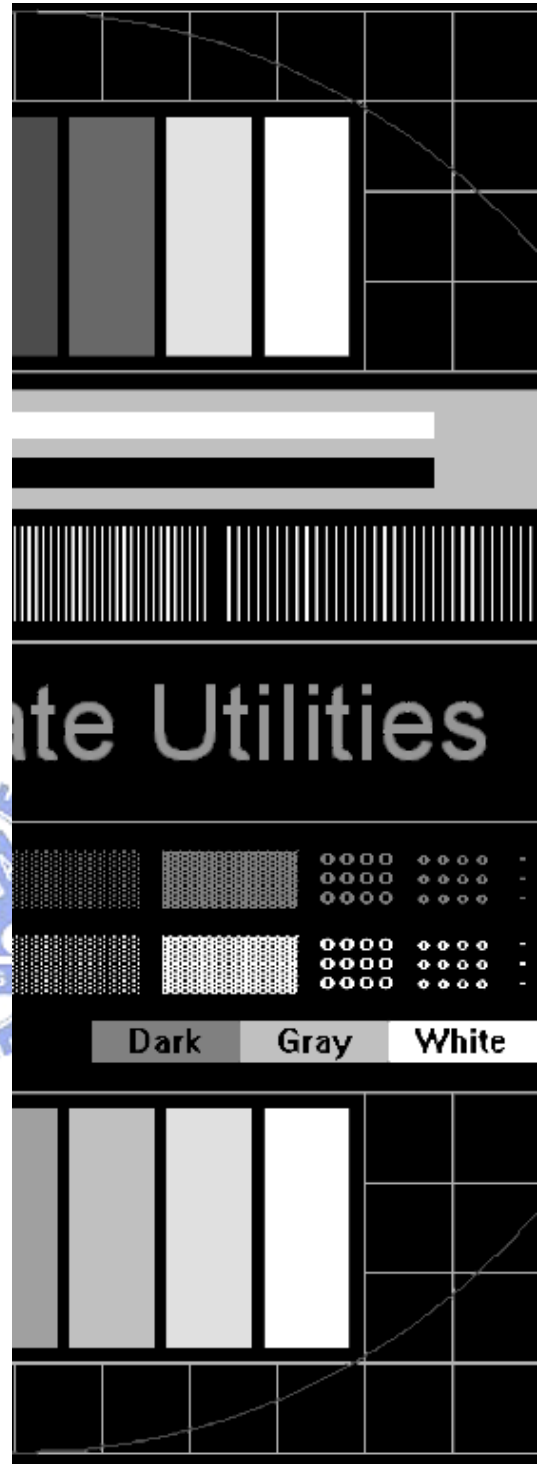


(a) 原圖

圖 4-7 將影像從解析度 800x600 放大至解析度 1024x768 的部分影像。

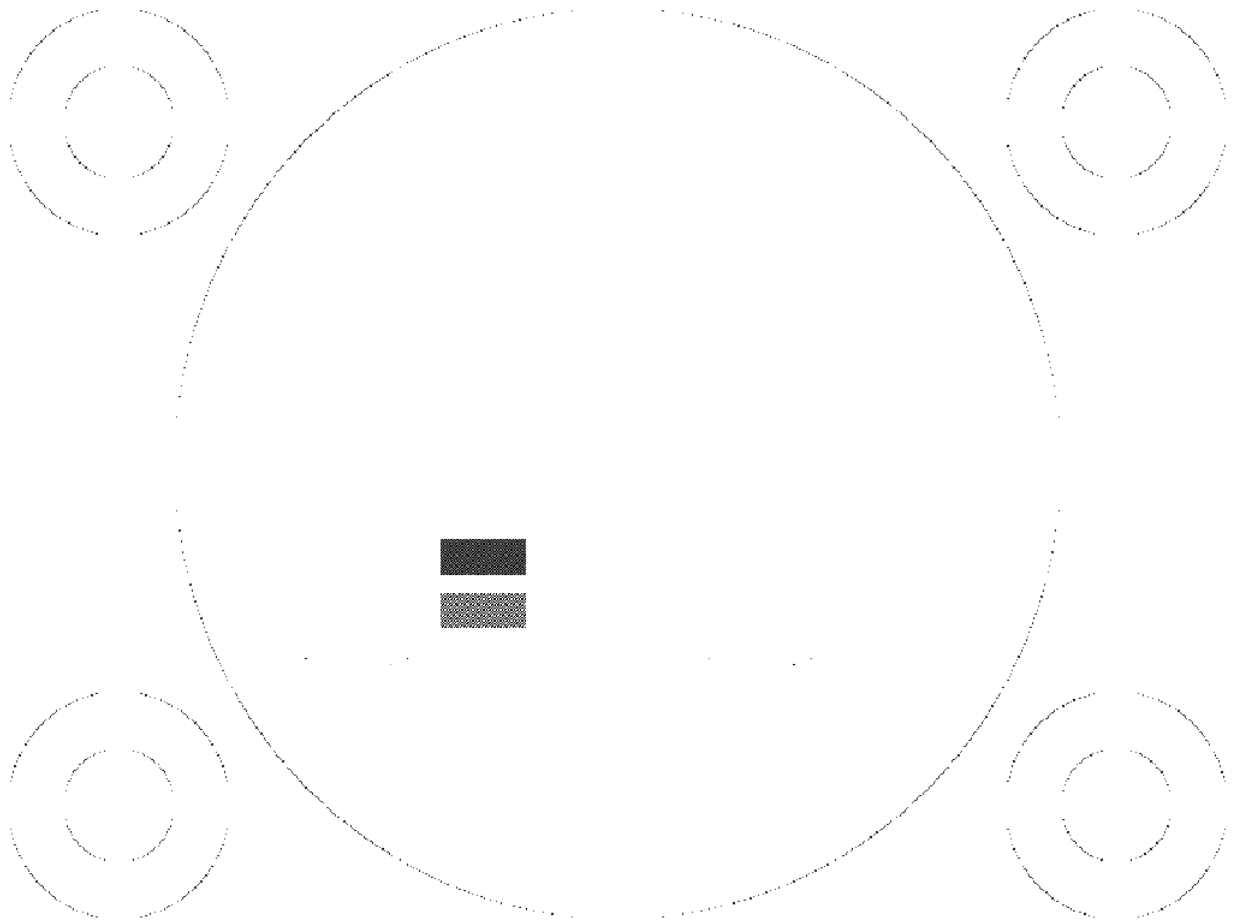


(b) [23]  $T_i=5$ 、 $T_e=15$



(c)  $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 、 $h=10$

圖 4-7 將影像從解析度 800×600 放大至解析度 1024×768 的部分影像。(續)



(d) 在  $T_i=5$ 、 $T_e=15$ 、 $h=10$  下判別為類別 G 的部分

圖 4-7 將影像從解析度  $800 \times 600$  放大至解析度  $1024 \times 768$  的部分影像。(續)

### 4.3 影像斜邊放大後的平整程度比較

此節我們將對 Nearest Neighbor、[23]和本篇論文三種演算法作放大品質作進一步的量化比較。我們透過比較視覺上的舒適度可以粗略地比較各演算法的放大品質，試想影像中一個平整的物體邊緣，他可能一條直線，或是一條圓錐曲線。但經過演算法放大後，直線變成凹凸不平的鋸齒，圓錐曲線變成一條一條的短直線，都是不佳的放大結果。因此，我們將透過各演算法對平直邊緣的放大後的邊緣平整性，比較各演算法的放大品質。

首先，圖 4-8(a)~(e)為我們作比較的測試資料，分別針對五種不同斜率的斜邊作比較。以 Nearest Neighbor、[23]和本篇論文等三種演算法將此五張影像從解析度 648×486 放大到 1920×1080，並從放大每張後的影像中取出邊緣部分的 100 個像素座標，透過 PCA 找出近似直線。在 PCA 計算過程中我們可求得此 100 像素座標的相關矩陣(covariance matrix)的特徵值，特徵值中較小者可表示為此 100 像素與上述近似直線的平均誤差。誤差越小我們可視為此 100 像素座標的分布越接近一條直線。

結果如圖 4-9 所示，縱軸為特徵值，橫軸分別表示五個不同斜率，特徵值越小表示取樣的像素與降維後直線的誤差越小。我們可以觀察到[23]與本篇論文所提方法明顯優於 Nearest Neighbor 的放大結果。而[23]與本篇論文所提方法差異不大，但就記憶體需求量來說，因為本篇論文因透過圖樣群的妥善設計，所以節省了記錄連接點暫存器，在將來尋求硬體實現的前提下，可以較低的記憶體成本達到相似的邊緣放大平整性。

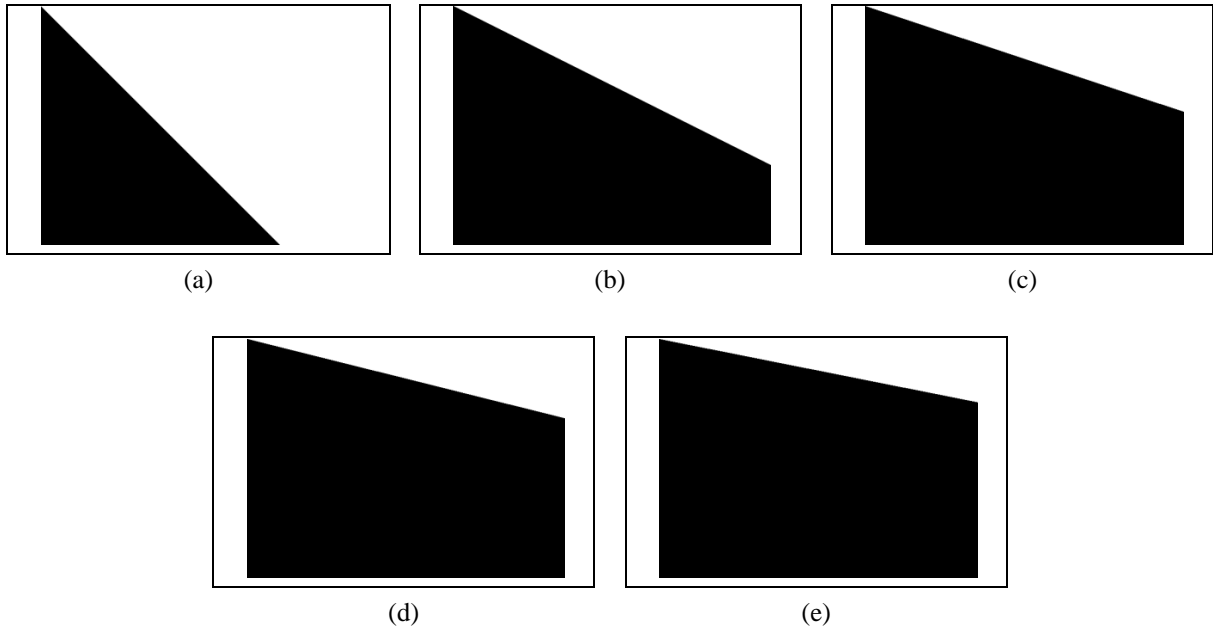


圖 4-8 分析不同斜率的斜邊放大後平整程度的測試資料。

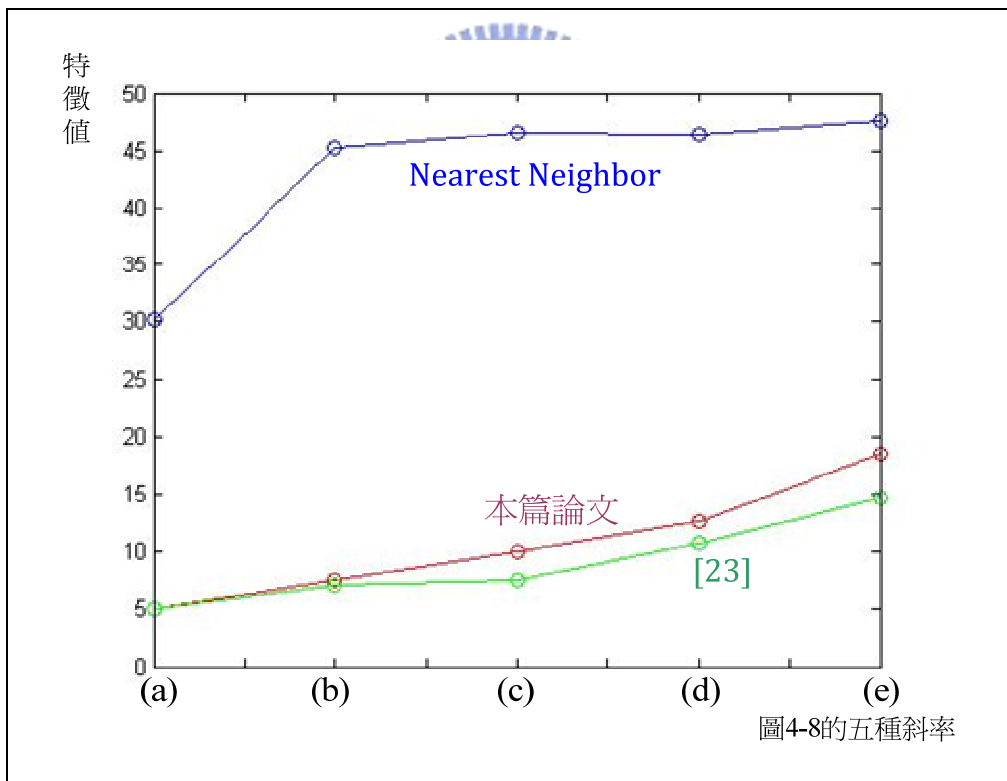


圖 4-9 不同斜率的斜邊放大後平整程度的測試結果，PCA 計算所得較小的特徵值越小表示越平整。



## 五、結論

本論文所提出的方法可同時對影像放大並且強化。對於影像的細節資訊詳加分析，善用圖形的局部特性因地制宜地選擇放大方法，以改善影像放大所產生的毛病，例如：模糊、鋸齒等，提高成像品質，並且顧及到硬體實作上時間和空間的限制。作法是以影像中 4x4 大小的區塊作為分析的基準，利用區塊中的 16 個像素的深淺分布情形，比對我們所建構出來的各種圖樣，以得到合適的高/低群分界函式。進而對高解析度的像素作標記，並依標記的不同，以不同的三維平面函式計算其灰階值，以完成內插補點的動作。而我們所建構出來的圖樣群，除了滿足各種像素灰階高/低分布情形外，無關像素的考慮和邊界的連接性都是我們建構圖樣群時的依據。並且因透過內插區塊分類決策樹對中央 2x2 區塊的先期分類，使得圖樣的比對更有效率，並且有清楚的架構。

由實驗結果可以明顯地看出本論文所提出的方法可以有效避免模糊與鋸齒現象，放大品質明顯優於 Nearest Neighbor 和 Bi-Cubic 內插放大，尤其是對二值化影像的放大，有極優異的表現。另外，因為平面函式作像素灰階的計算方式取代以單一灰階值的內插方式，改善[23]中的區塊化現象。而透過區隔出鄰近上述邊界區域並採用不同的內/外插方式計算灰階值，也使得對於深淺交界處的鋸齒現象獲得改善。至於影像中的細線，也因為本論文所提出之圖樣較為完整，使得放大後的細線有更為完美的呈現。上述這些優點都讓放大後的影像在視覺上更趨於自然。並且相較於[23]，圖樣的妥善設計也使得記憶體需求量較低。

然而即使在成像上有較好的品質，無法避免的對於一個使用內/外插作補點的區塊，緊鄰著一個以 Bi-Cubic 作內插補點的區塊時仍有些許視覺上的落差。

在這樣情況下，或許可以靠著區塊內灰階深淺的三分法或者四分法，以彌補灰階值高/低二分法的不足，減少以 Bi-Cubic 作內插補點的機會。但如此一來，所需考慮的圖樣又將更為複雜，並且在顧及演算法複雜度之下，將會是一個值得努力的方向。另一方面，因為本論文是以硬體實作為出發點，因此有朝一日若希望能落實在硬體實作方面，勢必將面對更多時間與空間上面的限制。屆時，對現有的演算法架構作最佳化的處理，將會是所須面對的新挑戰。



# 參考文獻

- [1] T. W. Parks and C. S. Burrus, *Digital Filter Design*, John Wiley & Sons, 1987. Page. 209-213.
- [2] R. G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," *IEEE Trans. ASSP*, vol. 29, pp. 1153-1160, 1981.
- [3] D. P. Mitchell and A. N. Netravali, "Reconstruction Filters in Computer Graphics," *Proc. SIGGRAPH*, vol. 22, pp. 221-228, August 1988.
- [4] <http://www.cg.tuwien.ac.at/~theussl/DA/node11.html>
- [5] K. Turkowski, "Filters for Common Resampling Tasks," *Graphics Gems*, Academic Press, pp. 147-165, 1991.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> Ed., 2002.
- [7] S. D. Bayrakeri and R. M. Mersereau, "A New Method for Directional Image Interpolation," *Proc. IEEE ICASSP*, vol. 4, pp. 2383-2386, 1995
- [8] D. Su and P. Willis, "Image Interpolation by Pixel Level Data-Dependent Triangulation," *Computer Graphics Forum*, vol. 23, no. 2, pp. 189-201, 2004.
- [9] L. Rodrigues, D. L. Borges, and L. M. Galvalves, "A Locally Adaptive Edge-Preserving Algorithm for Image Interpolation," *Proc. Computer Graphics and Image Processing*, pp. 300-305, Oct. 2002.
- [10] C. H. Kim, S.M. Seong, J. A. Lee, and L. S. Kim, "Winscale: An Image-Scaling Algorithm Using an Area Pixel Model," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 13, no. 6, pp. 549-553, 2003.
- [11] X. Wu and X. Zhang, "Image Interpolation Using Texture Orientation Map and Kernel Discriminant," *Proc. ICIP*, vol. 1, pp. 49-52, 2005.
- [12] A. J. Storkey, "Dynamic Structure Super-Resolution," *Proc. NIPS*, 2002.
- [13] M. Bertalmio, A. L. Bertozzi, and G. Sapiro, "Navier-Stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting," *Proc. CVPR*, 2001
- [14] B. Morse and D. Schwartzwald, "Image Magnification Using Level-Set Reconstruction," *Proc. CVPR*, vol. 1, pp. 333-340, 2001.

- [15] M. Elad and A. Feuer, "Restoration of a Single Superresolution Image from Several Blurred, Noisy, and Undersampled Measured Image," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1646-1658, December 1997.
- [16] M. Irani and S. Peleg, "Improving Resolution by Image Registration," *CVGIP*, 1991.
- [17] S. Baker and T. Kanade, "Limits on Super-Resolution and How to Break Them," *IEEE TPAMI*, vol. 24, no. 9, pp. 1167-1183, September 2002.
- [18] H. Chang, D. Y. Yeung, and Y. Xiong, "Super-Resolution through Neighbor Embedding," *Proc. IEEE Conf. CVPR*, pp. I:275-282, 2004.
- [19] W. T. Freeman, T. R. Jones, and E. C. Pasztor, "Example-Based Super-Resolution," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 2, pp. 56-65, 2002.
- [20] A. Hertzmann, C. E. Jacobs, N. Oliver, B. Curless, and D. H. Salesin, "Image Analogies," *Proc. of ACM SIGGRAPH'01*, pp. 327-340, 2001.
- [21] J. Sun, N. N. Zheng, H. Tao, and H. Y. Shum, "Image Hallucination with Primal Sketch Priors," *Proc. CVPR*, 2003.
- [22] A. J. Eglit, "Method and Apparatus for Upscaling an Image in Both Horizontal and Vertical Directions," US005739867, Feb. 1997.
- [23] J. Chuang, H. Lin, and S. Wu, "A Pattern-Based Inter-/Extra-Polation Approach for Image Scaling", *Proc. ICIP*, vol. 4, pp. IV:209-212, 2007.

