



國立勤益科技大學  
電子工程系研究所

碩士論文

應用邊跡關係於彩色影像解馬賽克之  
研究

The study of color image demosaicking based on edge  
relation

研究生：阮任民

指導教授：黃世演 博士

中華民國 99 年 07 月

應用邊跡關於彩色影像解馬賽克之研究

The study of color image demosaicking based on edge relation

研究生：阮任民

指導教授：黃世演 博士

國立勤益科技大學

電子工程系碩士班

碩士論文

Submitted in partial fulfillment of the requirements

For the degree of

Master of Engineering

In

Institute of Electronic Engineering

National Chin-Yi University of Technology

July 2010

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國 99 年 07 月

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 電子工程系 碩士班 阮任民 君  
所提論文 應用邊跡關係於彩色影像解馬賽克之研究  
合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：黃啟瑞  
委員：黃啟瑞  
李隆財

指導教授：黃世漢

所 長： 陳文濤

中 華 民 國 九 十 九 年 七 月

# 應用邊跡關係於彩色影像解馬賽克之 研究

研究生： 阮任民

指導教授： 黃世演 博士

國立勤益科技大學

電子工程系研究所

## 摘要

為了因應數位相機的低價及小型化之需求，通常使用單一彩色濾光片置於感測器前，且每個感測器的輸出值即為一個像素值。相鄰感測器所使用的濾光片的顏色相異，一般是採貝爾模板(Bayer Pattern)之次序排列，以攝取景物的顏色強度，故必須利用重建插補演算法，重建每個像素所欠缺的原色。一般稱此重建原色的工作為解馬賽克。邊跡(edge)判斷是上述演算法的關鍵技術，通常採一個以上的固定閾值，當成像素原色重建公式的依據。因為每個感測器僅感知三原色(紅、綠、藍三色)其中的一個原色強度，故每個像素(pixel)需經二次重建以還原其他兩原色。以 768x512 影像為例，其待重建的原色達 786432 個。換言之，需重建的原色數是影像解析度的兩倍。本研究，為了提升影像

的重建品質，提出三種重建插補演算法。其中第一、二種演算法的閾值分別是依綠原色平均亮度、三原色平均亮度而定，第三種演算法是利用重建像素鄰近的像素之邊跡關係，當做閾值及權重的參考，並據以選擇原色重建公式。有別於傳統原色重建僅選單一邊跡的方向(水平、垂直或傾斜)，或固定權重值。本文提出的重建演算法，由實驗結果顯示無論是利用原色平均亮度選擇閾值，或利用邊跡關係以決定閾值及權重值觀念，並據以選擇原色重建公式，確能提升影像品質。

關鍵字：邊跡關係、原色重建、解馬賽克、貝爾模版

# The study of color image demosaicking based on edge relation

Student: Ren-Min Ruan

Advisor: Shih-Yen Huang

Institute of Electronic Engineering

National Chin-Yi University of Technology

## Abstract

To minimize the size and the production cost of digital cameras, using filters in front of built-in sensors is a general solution to obtain one primary color's (one of red, green, blue) intensity of a scene. The primary color of the adjacent filter are different that are arranged as Bayer pattern. Accordingly, must to reconstruct the other two primary colors for each pixel. This reconstruction is also named demosaicking. The edge identification around the pixel, which is reconstructed primary color, is an important technique. To select an appropriate threshold value to recognize edge are the traditional technique. In this thesis, we proposed three demosaicking algorithms those selected threshold values by novel techniques. Two of these proposed algorithms to identify edge by the threshold values which are selected according to the average intensity of green primary color or each three primary colors. The third algorithm selected reconstruction formula by the rate of the intensity of the edges that around the reconstructed pixel. The experiments showed that these proposed algorithms can reconstruct all primary color and the PSNR is higher than the tradition algorithm.

**Keywords :** edge, demosaicking, Bayer Patten

## 誌謝

論文寫到誌謝這一步，代表兩年碩士班的結束，也是另一段生活的開始，想要用心寫下這些心中感觸，卻無從著墨。

首先感謝我的指導教授-黃世演 博士在求學的日子，對我研究態度、文章寫作、研究方向、做人處事等相關，總是給予耐性的教導，對老師的感謝，如果用文字只能表達心中謝意的一半，謝謝。

另外要感謝口試委員黃啟瑞教授、李隆財教授的論文審查意見，讓論文能更趨完整。由衷的感謝兩位教授的指導。

研究室內前後屆學長學弟，士權、保發、相垣、沛嘉、育庭、郁升、柏君，謝謝大家在這些日子的陪伴及指教，祝福各位未來都能有很好的發展，一帆風順。

最重要為感謝我的父母，沒有你們辛苦的工作，撐起這個家，並且不願意放棄我，是你們的栽培和包容，才有今天的我。希望未來能有一天你們能真正以我為榮。

2010 年 7 月於勤益科技大學電子所  
智慧生活科技研究室

# 目錄

摘要 .....	i
Abstract .....	iii
目錄 .....	v
圖目錄 .....	viii
表目錄 .....	x
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究動機與目的 .....	3
1.2.1 研究動機 .....	3
1.2.2 研究目的 .....	6
1.3 章節概要 .....	6
第二章 重建插補演算法研究 .....	8
2.1 非可適性演算法 .....	9
2.1.1 雙線性重建插補法 .....	9
2.1.2 彩色差異重建插補法 .....	10
2.2 可適性演算法 .....	12

2.2.1	邊跡方向偵測重建插補法 .....	12
2.2.2	二階修正重建插補法 .....	14
2.3	多閾值重建插補法 .....	17
2.3.1	綠原色重建演算 .....	17
2.2.2	紅、藍原色重建演算 .....	17
2.4	次頻帶關聯重建插補法 .....	20
2.4.1	空間域轉換頻率域 .....	20
2.4.2	初階綠原色重建 .....	23
第三章	本文提出重建演算法 .....	28
3.1	本文提出的多閾值重建演算法 .....	28
3.1.1	依 Mose 理論設定閾值 .....	29
3.1.2	原色亮度多閾值重建插補法 .....	30
3.2	本文提出的自適性次頻帶關聯重建法 .....	35
3.2.1	初階重建綠原色 .....	38
3.2.2	初階重建紅、藍原色 .....	40
3.2.3	二階重建 .....	40
第四章	實驗結果 .....	42

4.1 實驗影像的視覺比較.....	45
4.2 實驗影像的數據比較.....	51
第五章 結論與未來展望 .....	55
參考文獻.....	56
附錄.....	58



## 圖目錄

圖 1.1	感測器加濾光片示意圖.....	2
圖 1.2	全彩圖片成像流程圖.....	2
圖 1.3	感測器讀取圖.....	4
圖 1.4	重建插補圖.....	5
圖 2.1	雙線性重建插補圖.....	9
圖 2.2	彩色差異重建插補圖.....	11
圖 2.3	邊跡方向偵測插補圖.....	13
圖 2.4	二階修正線性插補法插補圖.....	14
圖 2.5	多閾值重建插補圖.....	19
圖 2.6	小波轉換示意圖.....	21
圖 2.7	小波水平轉換圖.....	22
圖 2.8	小波垂直轉換圖.....	22
圖 2.9	次頻帶關聯插補重建圖.....	23
圖 2.10	頻率域圖.....	24
圖 2.11	頻率域實際圖.....	24

圖 3.1	邊跡計算圖.....	28
圖 3.2	原色亮度多閾值演算法的流程圖.....	32
圖 3.3	原色亮度多閾值重建圖.....	33
圖 3.4	自適應次頻帶關聯重建法的流程圖.....	37
圖 3.5	自適性次頻帶關聯重建法插補圖.....	38
圖 4.1	柯達公司 24 張測試影像.....	43
圖 4.2	貝爾模板圖樣 24 張.....	44
圖 4.3	第一組視覺比較重建影像.....	48
圖 4.4	第二組視覺比較重建影像.....	50

## 表目錄

表 2.1	MTI 亮度平均值與閾值對應表 .....	18
表 3.1	閾值對應表 .....	30
表 3.2	原色亮度閾值重建插補法綠色閾值對應表 .....	31
表 3.3	原色亮度閾值重建插補法紅色閾值對應表 .....	31
表 3.4	原色亮度閾值重建插補法藍色閾值對應表 .....	31
表 3.5	ACSI 權重表 .....	39
表 4.1	傳統插補演算法 PSNR 比較表 .....	52
表 4.2	多閾值演算法 PSNR 比較表 .....	53
表 4.3	SBCI 和 ASCI 初階重建 PSNR 比較表 .....	54
表 4.4	二階重建演算法 PSNR 比較表 .....	54

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

數位相機興起主因在於價格的平民化，及數位影像品質較佳和易於攜帶性；影像的感測主要使用電荷耦合元件(Charge Coupled Device, CCD)[1]或互補性氧化金屬半導體(Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS)[2]，等相關感測器前面加上三片色彩濾光片，來獲得完整彩色像素，因感測元件只感知光線的強度，所以彩色影像的每個像素，需要用三個感測器分別加上紅、綠、藍三原色色彩濾光片，但依此架構模式，會造成數位相機體積變大，且在晶片的使用數目變多，進而製造成本變高。故現今技術為，使用一個感測器，前面加一片濾光片，而此濾光片常使用貝爾模板(Bayer Pattern)[3]陣列方式來排列，通稱色彩濾光陣列(Color Filter Array, CFA)，讓感測器每一像素點，僅獲得三種原色(紅、綠、藍)之一的光強度，再運用彩色插補的重建插補演算法，獲得欠缺的其它二原色，產生完整的彩色影像，類似圖 1.1 的示意圖。

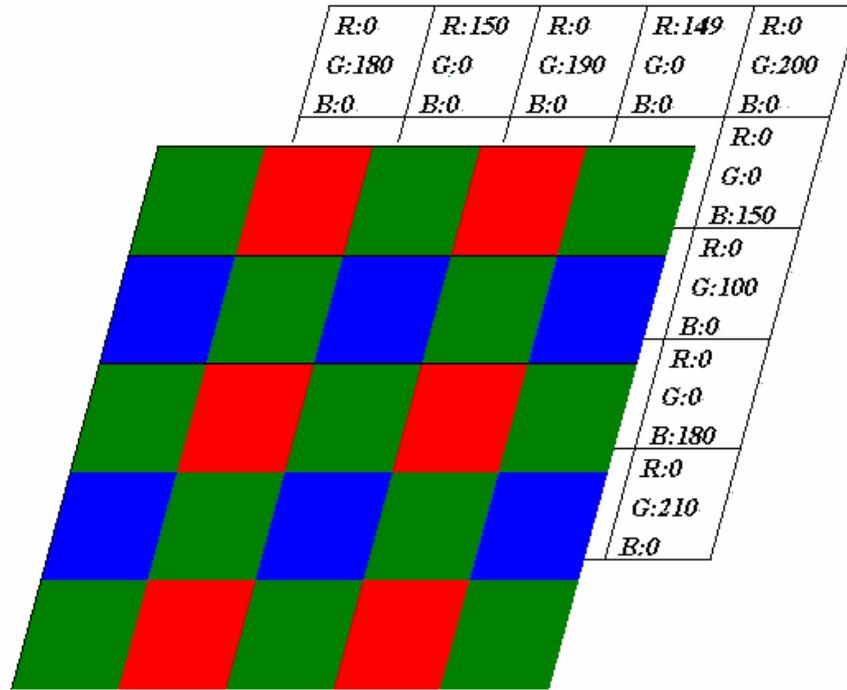


圖1.1 感測器加濾光片示意圖

因此採用重建演算法後，整個全彩成像流程就會如圖 1.2，光線經由色彩陣列片進入影像感測器，此光訊號被轉換為電子訊號，再使用演算法重建所有原色，並儲存於緩衝區，之後利用影像處理晶片，對影像資料做電子雜訊去除、色彩校正、白平衡等相關處理，將數位影像做顯示或儲存的動作。

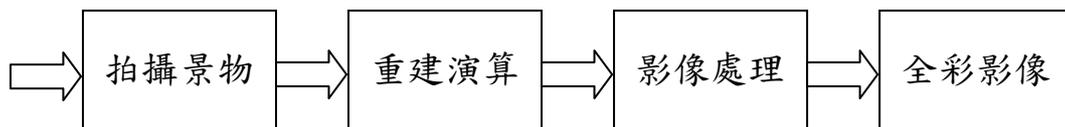


圖1.2 全彩圖片成像流程圖

## 1.2 研究動機與目的

### 1.2.1 研究動機

重建插補演算法，是位於數位相機獲得拍攝物，建構成全彩影像前重要的一環，如果此步驟造成重建影像色彩錯誤及邊跡模糊，將會降低後端晶片處理成像的品質；其重建模式，為感測器利用濾光片，讀取顏色強度，後依序編定之參考位置像素點，經由重建演算得到各像素的三原色。圖1.3是感測器透過色彩陣列片，所讀取圖片示意圖。



圖1.3 感測器讀取圖

現今許多重建插補演算法，在重建感測器所欠缺的像素原色時，都利用鄰近區域的像素，來判斷重建點是否屬於邊跡的像素，並帶入

其適合的公式以重建原色。若邊跡點的偵測不準確，可能導致重建圖的邊跡呈雜點拉鍊狀，像是圖1.4中圈選區的情形。



圖1.4 重建插補圖

## 1.2.2 研究目的

重建法在數位相機影像成像時的重要性，在上一節，利用實際圖像呈敘。而現今的演算法，利用鄰近區域像素點，建構出特徵模式，是否屬於邊跡，來分析重建點，並運算適當重建公式，已是項非常成熟之技術，但在降低色彩錯誤及圖片拉鍊效應，仍需要持續研究。本論文對此研究方向，提出新的特徵模式、閾值，做邊跡點的判斷，並加入現行消除色彩誤差的技術，做二階重建，提升重建影像的品質。

## 1.3 章節概要

本論文主體架構共分為五個章節，各章節的編排與概要說明如下：

第一章 緒論：描述研究背景、動機與目的。

第二章 文獻回顧：此章節主要介紹以往重建技術，及現行多閾值重建插補法的介紹，利用不同重建方法給予分類，和加入現行消除色彩誤差的方法。

第三章 本研究所提出的重建演算：利用多閾值、各色閾值、區域閾

值帶出不同權重，及加入頻率域模式，使邊跡特徵更為明顯，

再進行二次重建，消除色彩誤差，以提升重建影像的品質。

第四章 實驗結果：詳述本研究所提出的各種重建演算法的實驗結果。

第五章 結論與未來展望：此章節針對所提出的演算方法，提出未來值得進一步研究的方向。



## 第二章 重建插補演算法研究

應用於數位相機的彩色影像重建插補法，主要為建構感測器所欠缺的像素點原色，因為透過彩色陣列濾光片，單一像素點只能獲單一原色亮度值，故經由此演算法，計算補足所欠缺其它二原色。而近十年來，數位相機的盛行，相關演算法紛紛陸續被提出，在這些演算法中，利用邊跡檢測當分水嶺，分類成可適性和非可適性演算法。

非可適性重建插補演算法，對欠缺像素原色，採用固定公式運算，直至全彩影像成形，故可知其較簡易，運算速度快、但是其成像品質較低。常見的演算法為雙線性插補法(bilinear interpolation)[4]、色彩差異插補法(color difference interpolation)[5]、中值濾波法(median filtering method) [6]等。

可適性重建插補演算法，特性為針對待重建像素原色點，先進行檢測，再採用相關聯運算式，因此在運算速度會較慢，但是成像品質較佳。常見的演算法為邊跡方向偵測插補法(edge directed interpolation, EDI)[7]、二階修正線性插補法(linear interpolation with second order correction) [8]等。

## 2.1 非可適性演算法

非可適性內插法是簡單又有效率的演算法，採用一定的重建模式，重建像素點欠缺原色。由於運算方式較為固定、速度快，在變化性不大的重建點，有不錯的效果，但在影像邊跡的重建點時，容易產生色彩雜亂及拉鍊效應，會形成模糊的現象。

### 2.1.1 雙線性重建插補法

雙線性重建插補法，是許多重建演算的基礎法則之一；其特性為使用矩陣內鄰近像素相同原色的平均值，重建欠缺該原色的像素，參照圖2.1重建第5像像素欠缺像素原色為例：

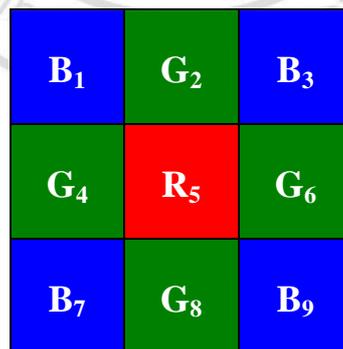


圖2.1 雙線性重建插補圖

步驟1. 像素點 $R_5$ 已有紅原色，欠缺綠、藍原色。

步驟2. 綠原色 $G'_5$ 的重建插補公式

$$G'_5 = (G_2 + G_4 + G_6 + G_8)/4 \quad (2-1)$$

步驟3. 藍原色 $B'_5$ 的重建插補公式

$$B'_5 = (B_1 + B_3 + B_7 + B_9)/4 \quad (2-2)$$

### 2.1.2 彩色差異重建插補法

一種利用色彩比例為重建插補原則的演算法，作者pei[5]認為三原色內，有其比例關係，給定二種原色定義分別為，紅色差值參數( $KR = G - R$ )、藍色差值參數( $KB = G - B$ )。在重建時，利用上述差值參數及雙線性概念重建插補所欠缺的二原色，我們對圖2.2的第7像素重建綠原色 $G'_7$ ，紅原色 $R'_3$ 、 $R'_6$ 、 $R'_7$ 作重建插補步驟如下述：

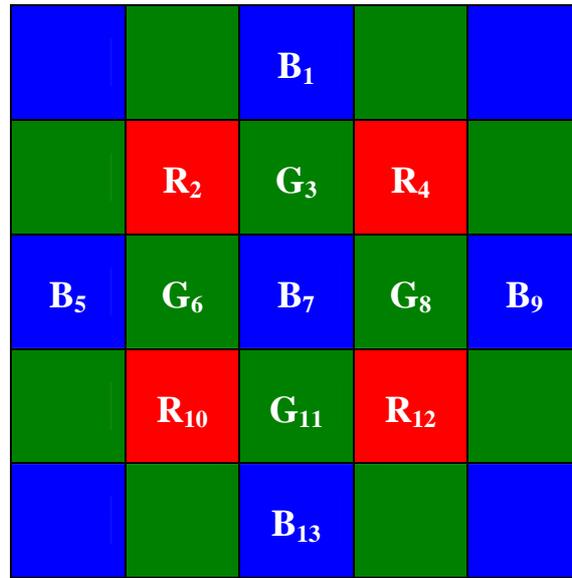


圖2.2 彩色差異重建插補圖

步驟1. 像素點 $B_7$ 要重建綠原色 $G'_7$ 先建構出所需KB值：

$$KB'_3 = G_3 - (B_1 + B_7) / 2 \quad (2-3)$$

$$KB'_6 = G_6 - (B_5 + B_7) / 2 \quad (2-4)$$

$$KB'_8 = G_8 - (B_7 + B_9) / 2 \quad (2-5)$$

$$KB'_{11} = G_{11} - (B_7 + R_{11}) / 2 \quad (2-6)$$

步驟2. 重建綠原色 $G'_7$ ，採上述藍色差值參數(KB)及雙線性概念：

$$G'_7 = B_7 + (KB'_3 + KB'_6 + KB'_8 + KB'_{11}) / 4 \quad (2-7)$$

步驟3. 當所有綠原色插補完，以圖2.2為例，先重建紅原色 $R'_3$ 、 $R'_6$ 、

$R'_7$ ，必須使用紅色差值參數KR(作法如公式(2-3)到(2-6))：

$$R'_3 = G_3 - (KR'_2 + KR'_4) / 2 \quad (2-8)$$

$$R'_6 = G_6 - (KR'_2 + KR'_{10}) / 2 \quad (2-9)$$

$$R'_7 = G'_7 - (KR'_2 + KR'_4 + KR'_{10} + KR'_{12}) / 4 \quad (2-10)$$

## 2.2 可適性演算法

可適性演算法需先判斷重建點是否在邊跡上，並據以選擇適合插補計算法，因此重建點較不會有拉鍊效應，但是判斷錯誤後，常見的演算法為邊跡方向偵測插補法(edge directed interpolation ,EDI) [7]、二階修正線性插補法(linear interpolation with second order correction)[8]等。

### 2.2.1 邊跡方向偵測重建插補法

主要概念是利用重建原色的像素之鄰近同原色的像素值，計算水平、垂直梯度，比較兩種梯度，該重建點依梯度較小的方向插補運算。將所有像素的欠缺綠原色重建完成後，欠缺的紅、藍原色，仍依方向性梯度的判斷、重建。圖2.3是整張影像的部份3×3的Bayer Pattern，利用此插補法(EDI)，可重建第5像素的綠原色( $G'_5$ )及第2、4、5的紅原色( $R'_2$ 、 $R'_4$ 、 $R'_5$ )其詳細演算如下：

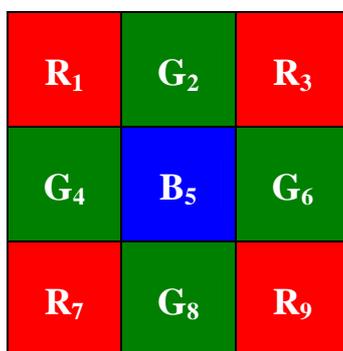


圖2.3 邊跡方向偵測插補圖

步驟1. 首先重建第5像素欠缺的綠原色時，先行建立水平梯度

$\Delta H$ 、垂直梯度 $\Delta V$ ：

$$\text{水平梯度 } \Delta H = |G_4 - G_6| \quad (2-11)$$

$$\text{垂直梯度 } \Delta V = |G_2 - G_8| \quad (2-12)$$

步驟2. 依梯度較小的方向採用對應的插補公式：

$$G'_5 = \begin{cases} (G_2 + G_8)/2, & \text{when } \Delta V < \Delta H \\ (G_4 + G_6)/2, & \text{when } \Delta H < \Delta V \\ (G_2 + G_4 + G_6 + G_8)/4, & \text{other} \end{cases} \quad (2-13)$$

步驟3. 完成整張影像的所有綠原色重建插補後，圖2.3的第2、4、5像素的紅原色 $R'_2$ 、 $R'_4$ 、 $R'_5$ ，採雙線性加上彩色差異插補方法重建(欠缺藍原色也按此步驟)：

$$R'_2 = G_2 - (G'_1 - R_1 + G'_3 - R_3) / 2 \quad (2-14)$$

$$R'_4 = G_4 - (G'_1 - R_1 + G'_7 - R_7) / 2 \quad (2-15)$$

$$R'_5 = G_5 - (G_2 - R'_2 + G_4 - R'_4 + G_6 - R'_6 + G_8 - R'_8) / 4 \quad (2-16)$$

### 2.2.2 二階修正線性重建插補法

此重建插補法是由Hamilton [8]提出，此法和前述EDI的主要差異在於判斷像素的重建原色所歸屬的邊跡(edge)方向時，需加入其它原色的資訊，以圖2.4為例，重建第7像素的綠原色 $G'_7$ 前，會參考綠原色 $G_3$ 、 $G_6$ 、 $G_8$ 、 $G_{11}$ 及藍原色 $B_1$ 、 $B_5$ 、 $B_7$ 、 $B_9$ 、 $B_{13}$ 等原色的資訊。詳細演算步驟如下述：

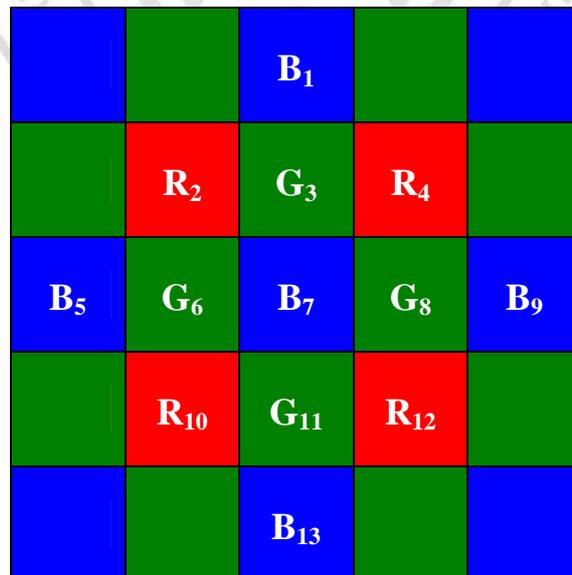


圖2.4 二階修正線性插補法插補圖

步驟1. 重建第7像素的欠缺綠原色 $G'_7$ ，先計算水平、垂直梯度。此

梯度參考資訊會增加鄰近像素的藍原色，公式如下述：

$$\text{水平梯度} \quad \Delta H = |G_6 - G_8| + |2B_7 - B_5 - B_9| \quad (2-17)$$

$$\text{垂直梯度} \quad \Delta V = |G_3 - G_{11}| + |2B_7 - B_1 - B_{13}| \quad (2-18)$$

步驟2. 比較前述兩種梯度值，依比較結果選擇相對應的重建公式：

$$G'_7 = \begin{cases} (G_6 + G_8) / 2 + (2B_7 - B_5 - B_9) / 4, & \text{when } \Delta H < \Delta V \\ (G_3 + G_{11}) / 2 + (2B_7 - B_1 - B_{13}) / 4, & \text{when } \Delta V < \Delta H \\ (G_3 + G_6 + G_8 + G_{11}) / 4 \\ \quad + (4B_7 - B_1 - B_5 - B_9 - B_{13}) / 8, & \text{other} \end{cases} \quad (2-19)$$

步驟3. 重建整張影像所有像素的欠缺綠原色後，依圖2.4的第3、6

像素紅原色 $R'_3$ 、 $R'_6$ 依下式重建：

$$R'_3 = (R_2 + R_4) / 2 + (2G_3 - G'_2 - G'_4) / 4 \quad (2-20)$$

$$R'_6 = (R_2 + R_{10}) / 2 + (2G_6 - G'_2 - G'_{10}) / 4 \quad (2-21)$$

步驟4. 重建第7像素的欠缺紅原色 $R'_7$ 時，需先計算左斜、右斜梯

度，並以比較結果採用對應之公式：

$$\text{左斜梯度} \quad \Delta L = |R_2 - R_{12}| + |2G'_7 - G'_2 - G'_{12}| \quad (2-22)$$

$$\text{右斜梯度} \quad \Delta R = |R_4 - R_{10}| + |2G'_7 - G'_4 - G'_{10}| \quad (2-23)$$

$$R'_7 = \begin{cases} (R_2 + R_{12})/2 + (2G'_7 - G'_2 - G'_{12})/4, & \text{when } \Delta L < \Delta R \\ (R_4 + R_{10})/2 + (2G'_7 - G'_4 - G'_{10})/4, & \text{when } \Delta R < \Delta L \\ (R_2 + R_4 + R_{10} + R_{12})/4 + \\ \quad (4G'_7 - G'_2 - G'_4 - G'_{10} - G'_{12})/8, & \text{other} \end{cases} \quad (2-24)$$

### 2.3 多閾值可適性演算法

可適性重建插補演算法中，在像素的欠缺原色重建時，會先計算鄰近像素的梯度，並判定該像素原色的歸屬方向，再對該像素進行重建插補，避免重建像素點帶入錯誤資訊點，而降低影像品質，因此在分類重建像素方向，是此等重建演算法的首要工作。上二節已敘明重建像素原色的歸屬方向，主要依據方向梯度，如果兩種梯度差異大，可以輕易判斷出來，然而在差異小，的確容易造成無法分類情形，所以後續的研究提出可適性重建演算法，會加入判斷閾值 T，以期能增進影像的重建品質。

傳統可適性內插法，綠原色的重建，依靠水平、垂直梯度，當做

邊跡判斷，Yang[9]提出多閾值內插演算法(Multy Threshold Interpolation, MTI)，利用多重閾值分類，如增強方向分類器判斷邊跡的能力。在判斷方向時，MTI 演算法會依據每次重建時，計算該遮罩像素之綠原色，再去選擇對應之閾值。若鄰近像素的原色差異小於所設定的閾值，再採用相應之公式，以計算該像素的原色重建值。

### 2.3.1 綠原色重建演算

以重建圖 2.5 第 5 像素的綠原色  $G'_5$  為例，本節所介紹的 MTI 演算法仍採用第 2.2.1 節 EDI 的公式(2-11)至(2-13)重建欠缺綠原色。

### 2.3.2 紅、藍原色重建演算

完成重建整張影像的綠原色後，MTI 依綠原色的平均值，當成重建紅、藍兩原色邊跡判斷參考值。整體而言，判斷紅、藍原色所歸屬的邊跡(edge)的閾值，是由綠原色的平均值而定，並依據此選擇不同的插補紅、藍兩原色公式重建，以圖 2.5 說明重建第 2、4、5 像素的藍原色  $B'_2$ 、 $B'_4$ 、 $B'_5$  如下述步驟：

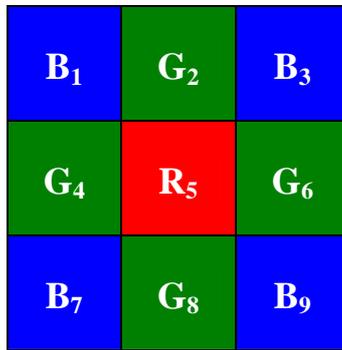


圖 2.5 多閾值重建插補圖

步驟1. 計算綠原色的平均值(簡稱亮度值 F):

$$F = (G_2 + G_4 + G_6 + G_8) / 9 \quad (2-25)$$

步驟2. 依亮度值與閾值對應表(表 2.1)，選擇對應之閾值：

表 2.1： MTI 亮度平均值與閾值對應表

亮度值 (F)	3 以下	4-6	7-10	11-19	20 以上
閾值 (T)	50	40	20	15	8

步驟3. 依水平梯度(BT<sub>2</sub>)、垂直梯度(BT<sub>4</sub>)及表 2.1 的閾值選擇相對

應的重建公式如下：

$$BT_2 = | B_1 - B_3 | \quad (2-26)$$

$$BT_4 = | B_1 - B_7 | \quad (2-27)$$

$$B'_2 = \begin{cases} (B_1 + B_3)/2, & \text{when } BT_2 < T \\ (B_1 + B_3)/2 + (2G_2 - B_1 - B_3)/4, & \text{other} \end{cases} \quad (2-28)$$

$$B'_4 = \begin{cases} (B_1 + B_7)/2, & \text{when } BT_4 < T \\ (B_1 + B_7)/2 + (2G_2 - B_1 - B_7)/4, & \text{other} \end{cases} \quad (2-29)$$

步驟4. 計算藍原色左、右斜梯度：

$$\text{藍原色左斜梯度} \quad \Delta LB = |B_1 - B_9| \quad (2-30)$$

$$\text{藍原色右斜梯度} \quad \Delta RB = |B_3 - B_7| \quad (2-31)$$

若 $\Delta LB$ 、 $\Delta RB$ 都小於表 2.1 的閾值(仍依亮度值 F 而定)則由

下式(2-32)計算第 5 像素的藍原色  $B'_5$ ，否則跳到步驟 5：

$$B'_5 = \begin{cases} (B_1 + B_9)/2, & \text{when } \Delta LB < \Delta RB \\ (B_3 + B_7)/2, & \text{when } \Delta RB < \Delta LB \end{cases} \quad (2-32)$$

步驟5. 計算藍綠雙原色左、右斜梯度：

$$\text{藍綠雙原色左斜梯度} \quad \Delta NB = |B_1 - B_9| + |2G'_5 - G'_1 - G'_9| \quad (2-33)$$

$$\text{藍綠雙原色右斜梯度} \quad \Delta PB = |B_3 - B_7| + |2G'_5 - G'_3 - G'_7| \quad (2-34)$$

$$B'_5 = \begin{cases} (B_1 + B_9)/2 + (2G'_5 - G'_1 - G'_9)/4, & \text{when } \Delta NB < \Delta PB \\ (B_3 + B_7)/2 + (2G'_5 - G'_3 - G'_7)/4, & \text{when } \Delta PB < \Delta NB \\ (B_1 + B_3 + B_7 + B_9)/4 + \\ (4G'_5 - G'_1 - G'_3 - G'_7 - G'_9)/8, & \text{other} \end{cases} \quad (2-35)$$

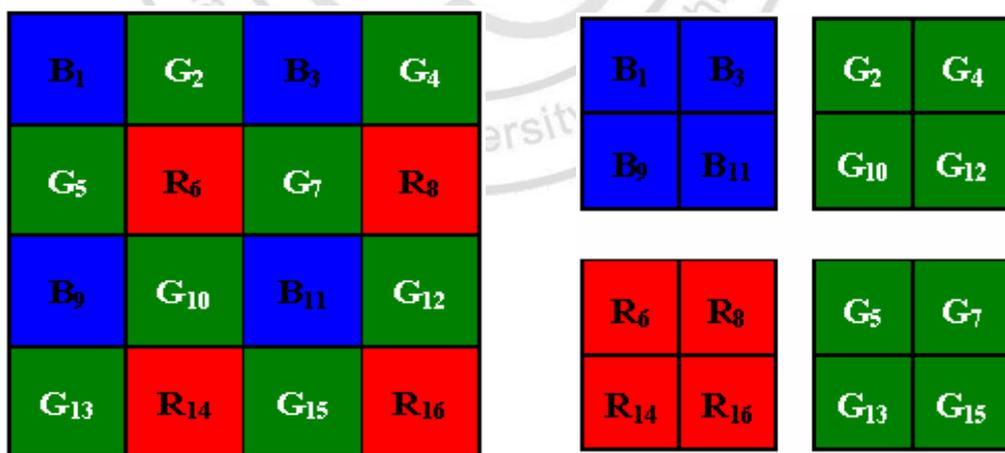
## 2.4 次頻帶關聯重建插補法

方向性和邊跡探測，是重建插補法的關鍵技術，故利用不同空間領域去明顯表彰其特點，例如交替投影式內插法(alternating projections interpolation) [10]，像最近常用在影像壓縮、特徵檢示等，會應用到小波轉換模式，為將資訊依其重要性，保留在不同的子頻帶中。以灰階影像而言，在低頻影像部分是人眼較能明顯查覺接受的資訊，而高頻影像部分則保存著人眼較不易察覺的資訊。小波轉換基本上，是將原始影像(M×N)，經過水平分解，取用低頻影像，這部份的特徵影像為原本的(M×N)/2，之後為垂直分解，變成只有(M×N)/4。

### 2.4.1 空間域轉換為頻率域

蘇教授等[11]利用小波轉換在次頻帶 HL、LH 分別會保留垂直、水平邊跡的特性，提出二維離散小波轉換(two dimensional discrete wavelet transform, 2D-DWT)，是將光感測器讀取的各個像素之原色值由空間域轉為頻率域。我們利用下述圖解，講解其轉換過程：

1. 感測器所讀取的空間影像如圖 2.6(a)，再進行分割，如圖 2.6(b)。
2. 取出所需像素點，如圖 2.7(a)，再進行水平轉換如圖 2.7 (b)。
3. 對圖 2.7(b)垂直轉換得圖 2.8，得四張為原始影像大小各四分之一的特徵影像，分別為 LL、LH、HL、HH，等四個次頻帶的特徵圖。



(a)感測器貝爾模板圖

(b)分割成所需大小

圖 2.6 小波轉換示意圖

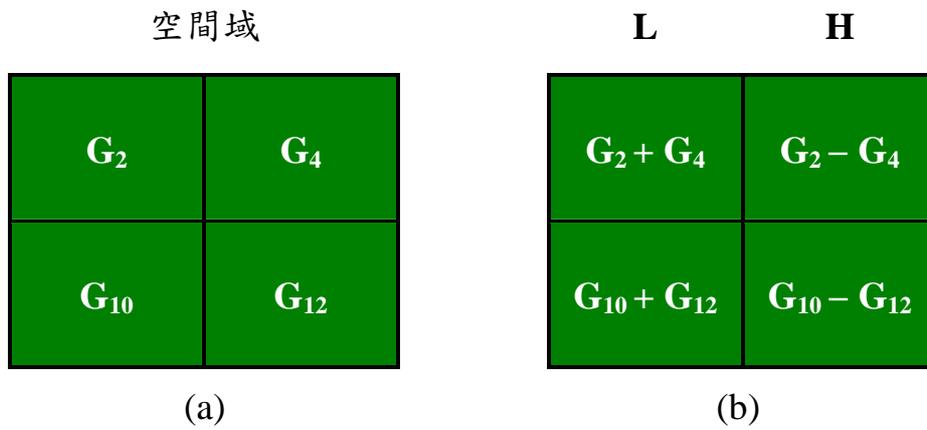


圖 2.7 小波水平轉換圖

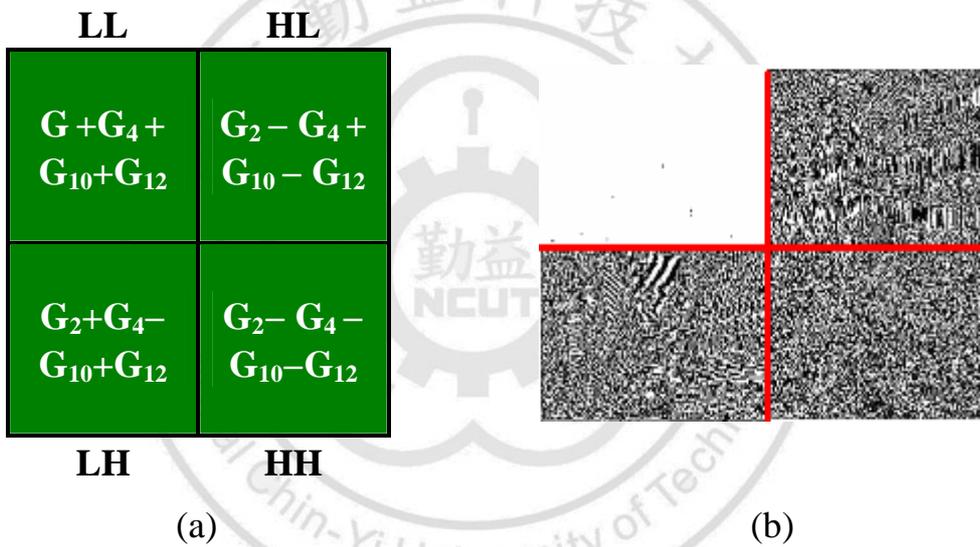


圖 2.8 小波垂直轉換圖

### 2.4.2 初階綠原色重建

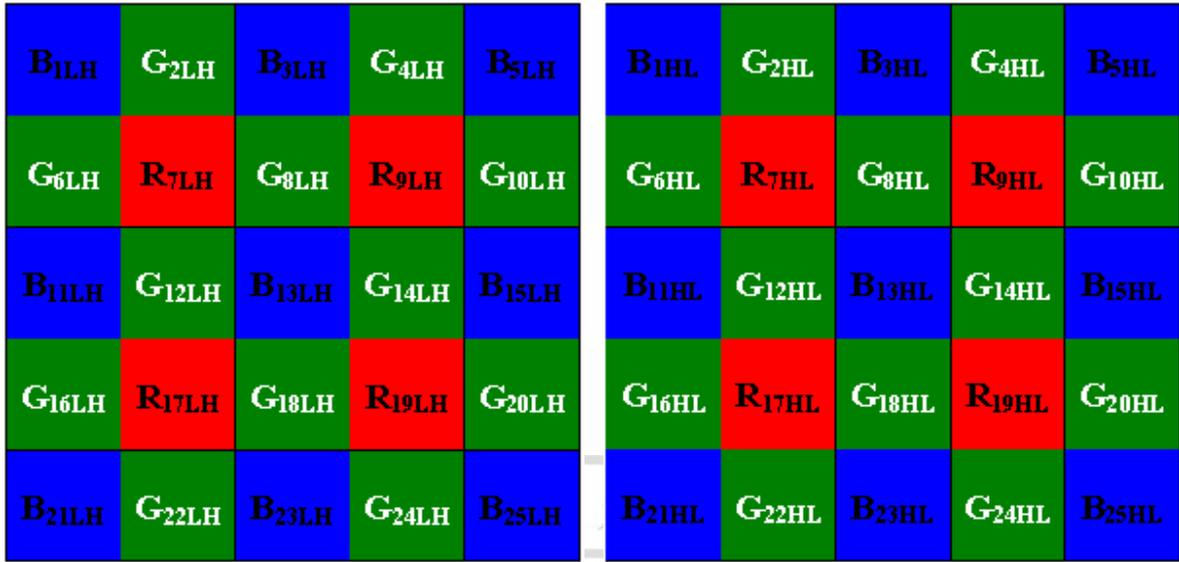
依據前述二維小波轉換的基本概念，我們在演算法中將原始空間影像拆解成二張綠色及紅、藍色各一張(亦即拆解成四張單一色彩影

像)，然後進行空間域轉換為頻率域的作業程序。

B <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>
G <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	G <sub>10</sub>
B <sub>11</sub>	G <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	G <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>
G <sub>16</sub>	R <sub>17</sub>	G <sub>18</sub>	R <sub>19</sub>	G <sub>20</sub>
B <sub>21</sub>	G <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	G <sub>24</sub>	B <sub>25</sub>

圖 2.9 次頻帶關聯插補重建圖

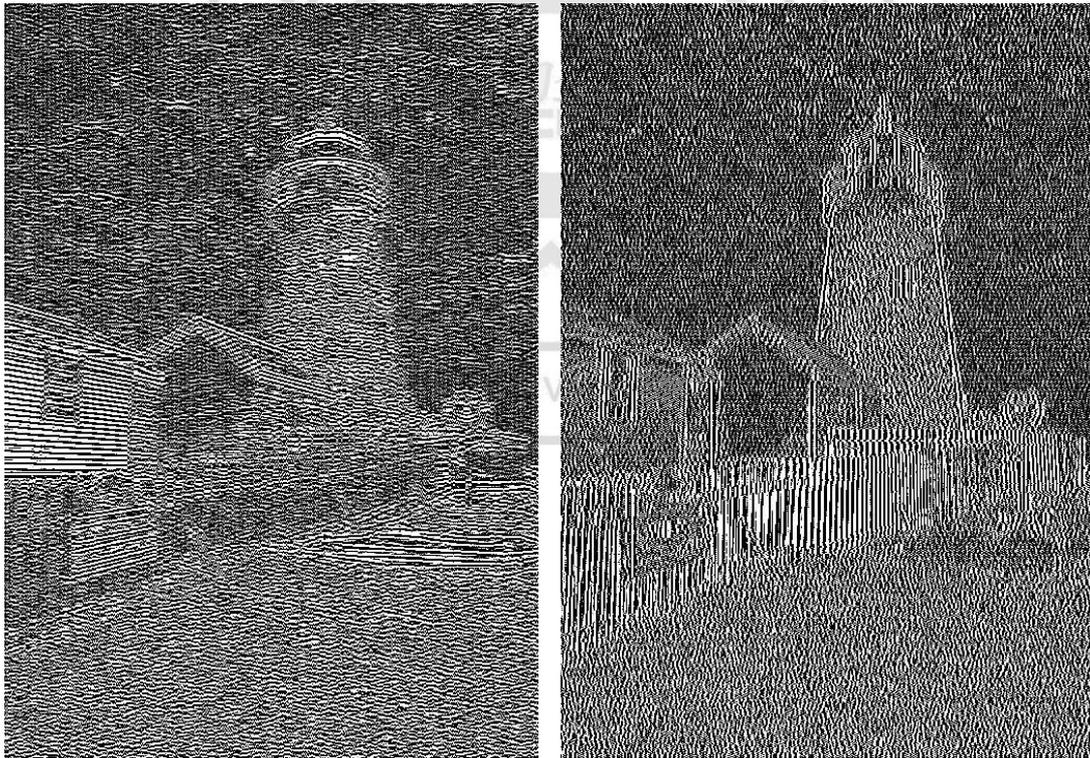
以圖 2.9 為例就是將 G<sub>2</sub>、G<sub>4</sub>、G<sub>12</sub>、G<sub>14</sub>、G<sub>22</sub>、G<sub>24</sub> 等像素組成一張綠色影像 image-g0，將 G<sub>6</sub>、G<sub>8</sub>、G<sub>10</sub>、G<sub>16</sub>、G<sub>18</sub>、G<sub>20</sub> 等像素組成 image-g1 等兩張綠色影像，將 R<sub>7</sub>、R<sub>9</sub>、R<sub>17</sub>、R<sub>19</sub> 組成 image-r，將 B<sub>1</sub>、B<sub>3</sub>、B<sub>5</sub>、B<sub>11</sub>、B<sub>13</sub>、B<sub>15</sub>、B<sub>21</sub>、B<sub>23</sub>、B<sub>25</sub> 組成 image-b 各一張紅、藍色影像，以圖 2.9 拆解出的 image-g0 中的 G<sub>2</sub>、G<sub>4</sub>、G<sub>12</sub>、G<sub>14</sub> 四像素為例  $G_{2LH} = (G_2 + G_4) - (G_{12} + G_{14})$  和  $G_{2HL} = (G_2 - G_4) + (G_{12} - G_{14})$ ，並將 G<sub>2LH</sub> 及 G<sub>2HL</sub> 分別置於第 2 個像素的位置如圖 2.10 所示。依此運算，其影像呈現，如圖 2.11。



(a) 水平特徵

(b) 垂直特徵

圖 2.10 頻率域圖



(a) LH 頻帶影像凸顯水平特徵

(b) HL 頻帶影像凸顯垂直特徵

圖 2.11 頻率域實際圖

蘇教授等利用上述 2D-DWT 及得到 LH 頻帶及 HL 頻帶的貝爾模  
板之水平邊跡與垂直邊跡的特徵，藉以判定重建點是否落在邊跡內，  
並據以帶入不同的重建公式，且稱此為次頻帶關聯性重建插補演算法  
(Effective Demosaicing Using Subband Correlation interpolation,  
SBCI)[11]的演算方法，其初階綠原色重建過程如下：

步驟1. 以重建圖 2.9 的  $G'_{13}$ (在第 13 像素的綠原色)為例，SBCI 利  
用圖 2.10(a)(b)的資訊，當做重建  $G'_{13}$  的邊跡判斷。如符合  
水平或垂直邊跡的判斷式，便利用雙線性演算法重建  $G'_{13}$ ，  
如下式敘述：

$$G'_{13} = \begin{cases} (G_{12} + G_{14})/2, & \text{when} \\ |G_{12HL}| > TH \text{ and } |G_{14HL}| > TH \\ \text{and } |G_{12LH}| < TL \text{ and } |G_{14LH}| < TL \\ (G_8 + G_{18})/2, & \text{when} \\ |G_{8LH}| > TH \text{ and } |G_{18LH}| > TH \\ \text{and } |G_{8HL}| < TL \text{ and } |G_{18HL}| < TL \end{cases} \quad (2-36)$$

上式的  $TH=30$  及  $TL=4$ ，若  $G'_{13}$  同時滿足垂直邊跡的條件  
則  $G'_{13}=(G_{12}+G_{14})/2$ 。同理  $G'_{13}$  同時滿足水平邊跡的條件則

$$G'_{13}=(G_8+G_{18})/2。$$

步驟2. 當公式(2-36)條件都不成立時，代表垂直邊跡或水平邊跡的強度較不強烈。SBCI 定義了第二種垂直或水平邊跡的綜合判斷準則，並分別給予強權重  $\alpha=0.87$ ，弱權重  $(1-\alpha)$  後引用利用二階修正演算法計算重建值。以重建圖 2.9 的  $G'_{13}$  為例，演算公式如下：

$$\text{水平綠色梯度 } GH = |G_{12HL}| + |B_{13HL}| + |G_{14HL}| \quad (2-37)$$

$$\text{垂直綠色梯度 } GV = |G_{8LH}| + |B_{13LH}| + |G_{18LH}| \quad (2-38)$$

$$G'_{13} = \begin{cases} \text{if } GH < (GV-T) \\ \quad \text{then } \alpha IH(G'_{13}) + (1-\alpha) IV(G'_{13}) \\ \text{elseif } GV < (GH-T) \\ \quad \text{then } \alpha IV(G'_{13}) + (1-\alpha) IH(G'_{13}) \quad (2-39) \\ \text{else} \\ \quad \text{then } (IH(G'_{13}) + IV(G'_{13})) / 2 \end{cases}$$

公式(2-39)中的 IV 及 IH，分別是由二階修正插補法的重建插補計算方法，在此範例分別指的是：

$$\text{水平插補} \quad IV(G'_{13})=(G_8+G_{18})/2+(2B_{13}-B_3-B_{23})/4 \quad (2-40)$$

$$\text{垂直插補} \quad IH(G'_{13})=(G_{12}+G_{14})/2+(2B_{13}-B_{11}-B_{15})/4 \quad (2-41)$$

上述的閾值  $T=10$ 、權重  $\alpha=0.87$ 。由於 SBCI 主要是綜合判斷欲重建的像素原色是否在垂直或水平邊跡，再給定兩固定的權重值。本文提出權重值會隨著垂直、水平邊跡的強度不同而分別賦予不同的權重值，並依此重建像素之原色，經實驗證明較符合實際影像。下一章節時對其紅、藍原色重建法有詳細的敘述。

### 第三章 本文提出重建演算法

近期影像重建研究方法中，判定需重建的像素是否歸屬邊跡是很關鍵的技術，濾光片顏色依 Bayer Pattern 設置的，例如圖 3.1(a)是為真實影像示意圖，圖 3.1(b)為感測器讀取數據，採用第二章 2.2.1 節邊跡偵測演算法的重建綠原色公式，建構出水平梯度為 15，垂直梯度為 10，若僅比較水平、垂直梯度的差異，可以分辨此像素歸屬垂直邊跡，因此會採用垂直邊跡插補算法，重建中心點數值為 245，如圖 3.1(c)所呈現，可以看出單純用兩方向梯度做比較，容易有判斷錯誤的情形發生：

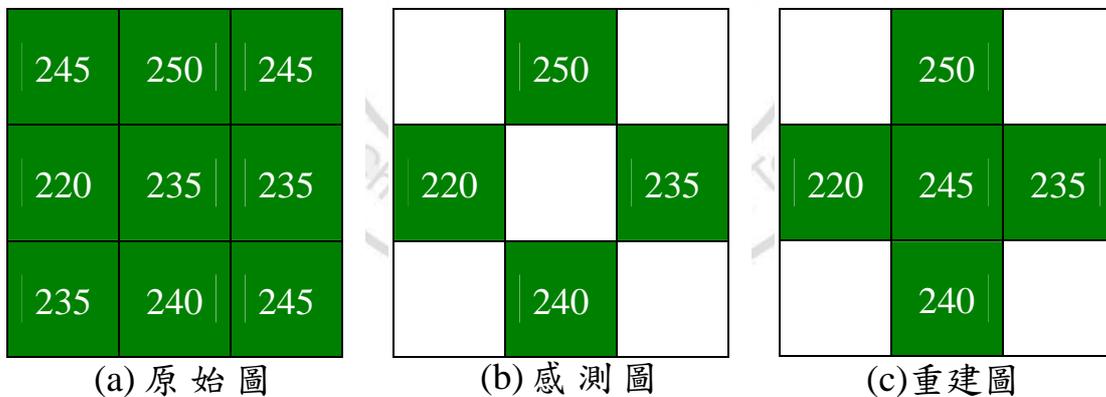


圖 3.1 邊跡計算圖

由上述圖例，可以知道方向分類判斷失準時，會導致插補錯誤數據。因此有許多演算法，提出各種閾值以加強邊跡檢測閾值，或是利用影像轉換，使邊跡更容易被探測，並據以選定合適之插補公式。

為了增強邊跡偵測能力，分別對 MTI 進行理論設定閾值，是本章 3.1.1 的應用；3.1.2 節提出原色亮度多閾值重建插補，是依照美國國家電視制式委員會(NTSC)[12]，對亮度三原色的比例分配，主要為加強綠原色邊跡偵測能力；在第二章時，我們已對 SBCI 演算法作詳細重建說明，獲知影像經 2D-DWT 轉換後，明顯加強特徵像素，因此在第二節，提出加入對邊跡探測後，能夠分類方向的區域亮度概念，讓插補公式依照重建點的環境，做準確像素亮度插補。

### 3.1 本文提出的多閾值重建演算法

影像平均亮度較高的環境下，依據 Mose[13]的觀念，邊跡和週圍的像素值，其差異需較高，人眼才能辨別，本文依此原理修正 MTI 的亮度和閾值的對應表。此外依美國國家電視制式委員會(NTSC)提出的亮度(Luminance)公式  $L=0.299R+0.587G+0.114B$  可以得知，R、G、B 在亮度的權值也不同，我們提出不同顏色的邊跡判別，其平均亮度不同，閾值也隨之予以變動。

#### 3.1.1 依 Mose 理論設定閾值

本節提出的權值觀念，主要依據 Mose[13]提出的理論，人眼視覺對比(Observable Contrast)和環境亮度成正比，依此基本觀念，本節將 MTI 的閾值表修正如表 3.1，並選綠原色的平均值當作亮度值(F)。換言之，當環境亮度愈高時，判斷邊跡的閾值也愈高。接著重建紅、藍兩原色時，依據表 3.1 決定閾值再代入 MTI 的公式。

表 3.1 閾值對應表

亮度值 (F)	3 以下	4-6	7-10	11-19	20 以上
閾值 (T)	8	15	20	40	50

由實驗結果表 4.2，可以證明其 PSNR 在紅、藍重建後的像素，較原來 MTI 提昇約為 0.6db。

### 3.1.2 原色亮度多閾值重建插補法

前一節已驗證可應用 Mose 的理論在判斷邊跡的閾值。延伸此概念，本節提出各原分別設定閾值的重建演算法，在第五章的實驗結果顯示可進一步提升影像重建品質。

按照 NTSC 的亮度公式，紅、綠、藍(R、G、B)三原色的權重不同。

其關係式為  $L=0.299R+0.587G+0.114B$ ，因此若以綠色的權重閾值為參考，可以得出紅色比重為綠色的 0.51，而在藍色的比重為綠色的 0.19，將前一節的閾值表(表 3.1)微幅修正後得綠色閾值表(表 3.2)，並依上述的比例，分別制定紅、藍兩原色的閾值表(表 3.3、表 3.4)，此演算法的流程圖如圖 3.2，詳述如下：

表 3.2 原色亮度閾值重建插補法綠色閾值對應表

亮度值 (GF)	4 以下	5-7	8-11	12-21	22 以上
閾值 (GT)	9	16	22	42	50

表 3.3 原色亮度閾值重建插補法紅色閾值對應表

亮度值 (RF)	2 以下	3-3.9	4-5	6-10	11 以上
閾值 (RT)	5	8	11	21	25

表 3.4 原色亮度閾值重建插補法藍色閾值對應表

亮度值 (BF)	0.9 以下	1-1.9	2-2.9	3-3.9	4 以上
閾值 (BT)	2	3	4	8	10

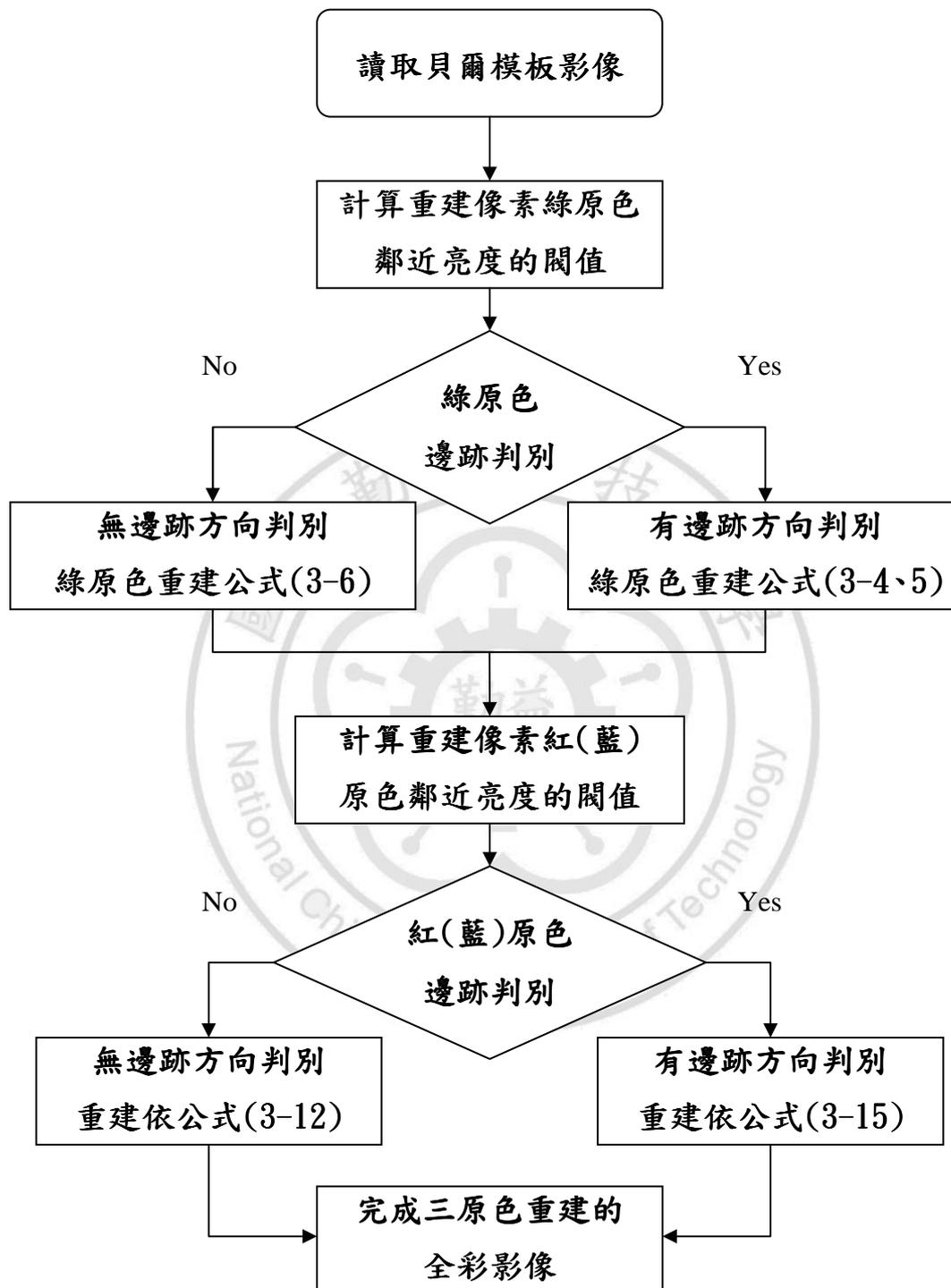


圖 3.2 原色亮度閾值演算法的流程圖

我們以圖 3.3 為例，進行重建第 5 像素的綠、紅原色( $G'_5$ 、 $R'_5$ )步驟

如下：

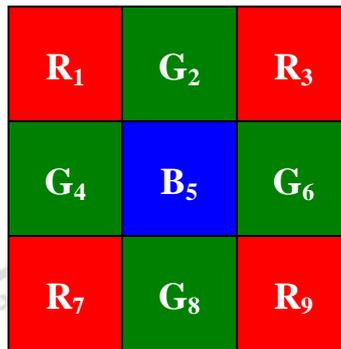


圖 3.3 原色亮度多閾值重建圖

步驟1. 計算第 5 像素為中心的綠原色水平梯度( $GH$ )、垂直梯度( $GV$ )

及綠原色亮度( $GF$ ):

$$\text{綠原色水平梯度 } GH = |G_4 - G_6| \quad (3-1)$$

$$\text{綠原色垂直梯度 } GV = |G_2 - G_8| \quad (3-2)$$

$$\text{綠色亮度值 } GF = (GH + GV) / 9 \quad (3-3)$$

步驟2. 由  $GF$  值查表 3.2 得綠原色閾值  $GT$ 。

步驟3. 依據上述步驟所得  $GH$ 、 $GV$ 、 $GT$ ，判定代入公式計算第 5

像素的綠原色  $G'_5$  如下：

If  $GH < GT$  and  $GV < GT$

$$G'_5 = \begin{cases} (G_4 + G_6)/2, & \text{when } GH < GV \\ (G_2 + G_8)/2, & \text{when } GV < GH \end{cases} \quad (3-4)$$

else if  $GH < GT$  or  $GV < GT$

$$G'_5 = \begin{cases} (G_4 + G_6)/2, & \text{when } GH < GT \\ (G_2 + G_8)/2, & \text{when } GV < GT \end{cases} \quad (3-5)$$

else

$$G'_5 = (G_2 + G_4 + G_4 + G_4) / 4 \quad (3-6)$$

步驟4. 計算第 5 像素為中心的紅原色水平梯度 RH、垂直梯度 RV 及紅原色亮度 RF：

$$\text{紅原色水平梯度 } RH = |(R_1 + R_7)/2 - (R_3 + R_9)/2| \quad (3-7)$$

$$\text{紅原色垂直梯度 } RV = |(R_1 + R_3)/2 - (R_7 + R_9)/2| \quad (3-8)$$

$$\text{紅原色邊跡亮度值 } RF = (RH + RV) / 9 \quad (3-9)$$

步驟5. 依 RF 值查表 3.3 得紅原色閾值表 RT。

步驟6. 計算紅原色在左、右斜梯度：

$$\text{紅原色左斜梯度 } \Delta Lr = |R_1 - R_9| \quad (3-10)$$

$$\text{紅原色右斜梯度 } \Delta Rr = |R_3 - R_7| \quad (3-11)$$

若 $\Delta Lr$ 、 $\Delta Rr$  都小於表 3.3 的閾值由下式(3-12)計算第 5 像素的紅原色  $R'_5$ ，否則進行步驟 7：

$$R'_5 = \begin{cases} (R_1 + R_9)/2, & \text{when } \Delta Lr < \Delta Rr \\ (R_3 + R_7)/2, & \text{when } \Delta Rr < \Delta Lr \end{cases} \quad (3-12)$$

步驟7. 計算紅綠雙原色左、右斜梯度：

$$\text{紅綠雙原色左斜梯度 } \Delta NR = |R_1 - R_9| + |2G'_5 - G'_1 - G'_9| \quad (3-13)$$

$$\text{紅綠雙原色右斜梯度 } \Delta PR = |R_3 - R_7| + |2G'_5 - G'_3 - G'_7| \quad (3-14)$$

$$R'_5 = \begin{cases} (R_1 + R_9)/2 + (2G'_5 - G'_1 - G'_9)/4, & \text{when } \Delta NR < \Delta PR \\ (R_3 + R_7)/2 + (2G'_5 - G'_3 - G'_7)/4, & \text{when } \Delta PR < \Delta NR \\ (R_1 + R_3 + R_7 + R_9)/4 + (4G'_5 - G'_1 - G'_3 - G'_7 - G'_9)/8, & \text{other} \end{cases} \quad (3-15)$$

### 3.2 本文提出的自適性次頻帶關聯重建法

第三章第二節所介紹的 2D-DWT 可將垂直，水平邊跡保留在 HL 及 LH 頻帶。我們在此頻帶分析垂直、水平邊跡強度間的強弱關係，並給據予不同的權值表(表 3.5)，提出自適性次頻帶關聯內插法(Adaptive Subband Correlation Interpolation, ASCI)，在重建像素的其他兩原色

(紅、藍)採用彩色差異重建法。完成了上述綠、紅、藍三原色的初階重建後，為了提升重建影像品質，參考連續逼近插補演算法[14]、有效加權邊跡與色彩相關內插演算法 [15]、次頻帶關聯插補法 SBCI 等，本文所提出的 ASCII 採用中值濾波重建法和彩色差異插補法當作二階重建的演算公式，將所有經初階重建的像素原色值再進行第二輪的重建，上述步驟如圖 3.4 之系統流程。



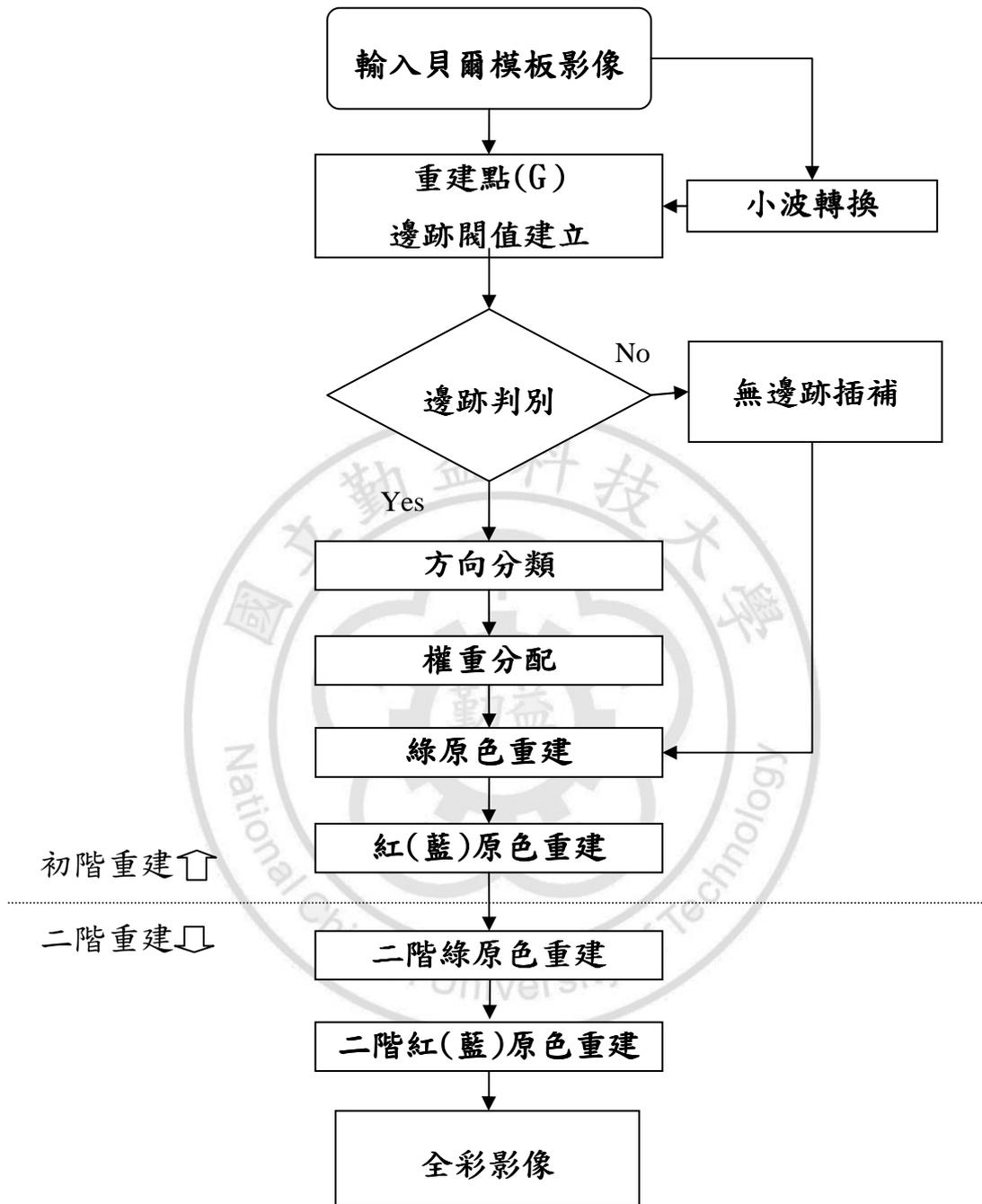


圖 3.4 自適應次頻帶關聯重建法的流程圖

### 3.2.1 初階重建綠原色

首先利用 2D-DWT 將貝爾模板轉換成四個頻帶(LL, LH, HL, HH)的貝爾模板。結合原始貝爾模板，LH 及 HL 頻帶模板的資訊重建所有像素的綠原色，參考第二章圖 2.10，以圖 3.5 為例說明重建第 13 像素的綠原色  $G'_{13}$  及紅原色的步驟如下：

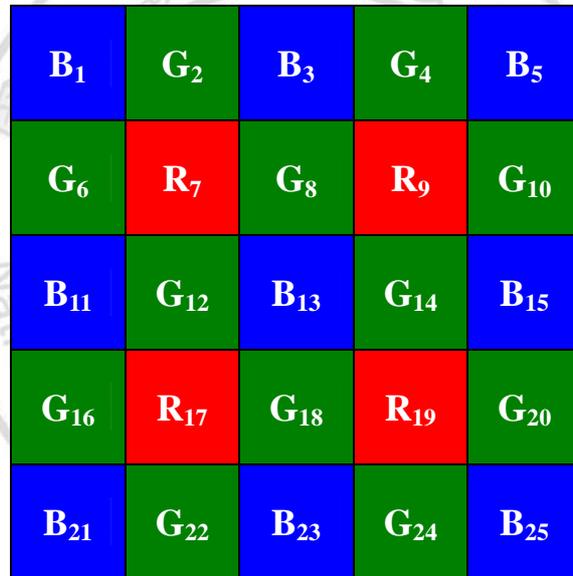


圖 3.5 自適性次頻帶關聯重建法插補圖

- 步驟1. 利用公式(2-37)及(2-38)計算 HL 與 LH 頻帶，以第 13 像素為中心的水平、垂直邊跡強度 GH、GV。
- 步驟2. 依 GH、GV 計算邊跡強度差 DA、和值 DT。

$$\text{邊跡強度差值 } DA = | GH - GV | \quad (3-16)$$

$$\text{邊跡強度和值 } DT = | GH + GV | \quad (3-17)$$

步驟3. 再依 DA 與 DT 的值賦予不同的權重  $w$ ，如表 3.5 所示：

表 3.5 ACSI 權重表

條件	$DA \geq 0.75DT$	$DA \geq 0.50DT$	$DA \geq 0.25DT$	$DA \geq 0.20DT$	$DA < 0.20DT$
權重	1	0.9	0.8	0.7	0.6

步驟4. 依據 GH、GV 判定重建綠原色  $G'_{13}$  所代入的公式，其權重值查表 3.5：

$$G'_{13} = \begin{cases} wIH(G'_{13}) + (1-w)IV(G'_{13}), & \text{when } GH < GV \\ wIV(G'_{13}) + (1-w)IH(G'_{13}), & \text{when } GV < GH \\ (IH(G'_{13}) + IV(G'_{13})) / 2, & \text{other} \end{cases} \quad (3-18)$$

公式(3-18)中的 IH 和 IV 已在公式(2-40)與(2-41)定義，在此不再贅述。

### 3.2.2 初階重建紅、藍原色

在初階綠原色重建完成之後，貝爾模板陣列所讀取的紅、藍兩原色各僅佔 25%，其資訊量不如綠原色充足，故不能採用相同的重建演算法。因此重建所有像素之紅、藍原色時採用傳統的彩色差異插補演算法，其計算步驟如下：

步驟1. 先重建  $R'_8$ 、 $R'_{12}$ 、 $R'_{14}$ 、 $R'_{18}$ ，四個紅原色：

$$R'_8 = G_8 - ((G'_7 - R_7) + (G'_9 - R_9)) / 2 \quad (3-19)$$

$$R'_{12} = G_{12} - ((G'_7 - R_7) + (G'_{17} - R_{17})) / 2 \quad (3-20)$$

$$R'_{14} = G_{14} - ((G'_9 - R_9) + (G'_{19} - R_{19})) / 2 \quad (3-21)$$

$$R'_{18} = G_{18} - ((G'_{17} - R_{17}) + (G'_{19} - R_{19})) / 2 \quad (3-22)$$

步驟2. 再利用 8、12、14、18 等像素的原色重建第 13 像素的紅原色，詳如下式所示(藍原色依此類推)：

$$R'_{13} = G_{13} - ((G'_8 - R'_8) + (G'_{12} - R'_{12}) + (G'_{14} - R'_{14}) + (G'_{18} - R'_{18})) / 4 \quad (3-23)$$

### 3.2.3 二階重建

為了得到更佳的影像品質，完成三原色初階重建彩色影像後，將

進行二階重建，即對初階重建三原色，再做一次重建插補，二階重建時，我們採用傳統中值濾波重建法及彩色差異重建演算法分別進行影像綠及紅、藍之二次重建。進行二階重建綠原色時，我們採用 3×3 遮罩的中值濾波重建。以圖 3.5 中以第 13 像素為中心的 3×3 遮罩為例(含第 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 18, 19 像素)，二次重建第 13 像素的綠原色  $G''_{13}$  的公式如下：

$$G''_{13} = B_{13} + \text{median}(G - B). \quad (3-24)$$

上式的  $\text{median}(G-B)$  代表 3×3 遮罩之中值濾波器。完成二次重建所有像素之綠原色之後，採用彩色差異重建演算法對所有像素之紅、藍兩原色進行二階重建。仍以圖 3.5 中以第 13 像素為中心的 3×3 遮罩為例，二階重建第 8, 12, 13, 14, 18 之紅原色  $R''_8$ 、 $R''_{12}$ 、 $R''_{13}$ 、 $R''_{14}$ 、 $R''_{18}$  取代之初階重建紅原色  $R'_8$ 、 $R'_{12}$ 、 $R'_{13}$ 、 $R'_{14}$ 、 $R'_{18}$ ，同時也將初階重建綠原色等以二次重建之綠原色取代，參考公式(3-19)至(3-23)。

## 第四章 實驗結果

為了測試本論文所述之各種重建的效能，先將柯達公司[16]提供的 24 張全彩測試影像(圖 4-1)，拆解成貝爾模板(Bayer Pattern)影像，再進行重建插補測試，每張影像的解析度為 768x512，重建完成的影像會與測試影像，進行實圖和數據比較。

整個實驗流程，第一步將全彩影像轉為貝爾模板影像(圖 4.2)，第二步為分別運用本論文中各種演算法進行重建，第三步計算重建後的影像與測試影像間的 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)值。

實驗所使用的模擬軟體為 MATLAB R20076a，實驗平台為桌上型 PC，Intel Pentium IV 3.0GHz 處理器、2GB 記憶體、Windows XP 作業系統。

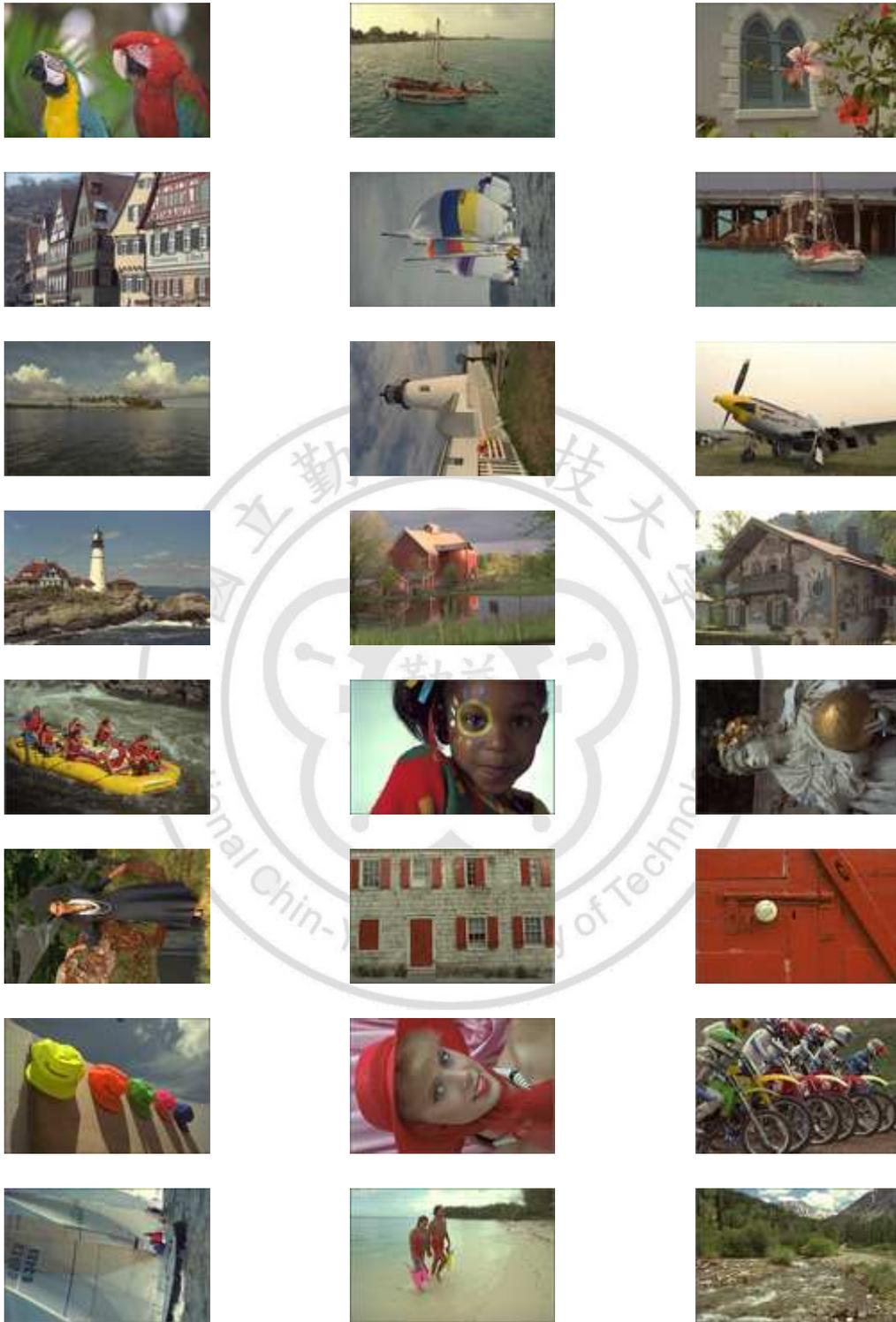


圖4.1 柯達公司24張測試影像(左而右，上而下，編號 image 1-24)



圖4.2 貝爾模板圖樣24張(左而右，上而下，編號 CFA 1-24)

## 4.1 實驗影像的視覺比較

為了測試各種已知原色重建法及本論文所提出的原色重建法的影像重建效果，我們選擇圖4.1中的2張測試影像：image05、image08(局部放大在圖4.3(a)及圖4.4(a))，檢視重建效果。以圖4.3(a)為例，本文所提的原色亮度多閾值重建結果(圖4.3(h))及自適性次頻帶重建結果(圖4.3(j))都可獲得清晰的影像。但是重建具有直條紋(圖4.4(a))的影像時，本文所提出的原色亮度重建結果(圖4.4(h))顯示條紋上的雜點偏多，其重建品質顯然低於傳統二階修正重建法，但是在和多閾值重建法的結果差異不大。然而由(圖4.4(j))顯示本文所提出的自適性次頻帶重建結果優於其他重建法。



(a) 測試影像



(b) 雙線性重建影像



(c) 彩色差異重建影像



(d) 邊跡偵測重建影像



(e)二階修正重建影像



(f)多閾值重建影像



(g)依Mose理論設定

多閾值重建影像



(h)本文所提出之原色亮度

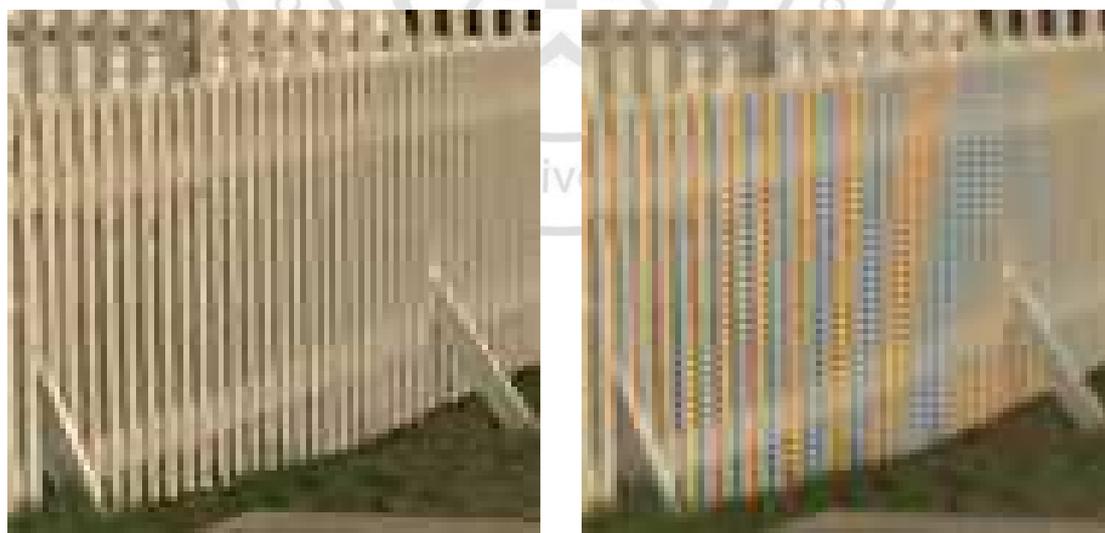
多閾值重建影像



(i)次頻帶關聯重建影像

(j)本文提出之自適性次頻帶  
重建影像

圖4.3 第一組視覺比較重建影像



(a)測試影像

(b)雙線性重建影像



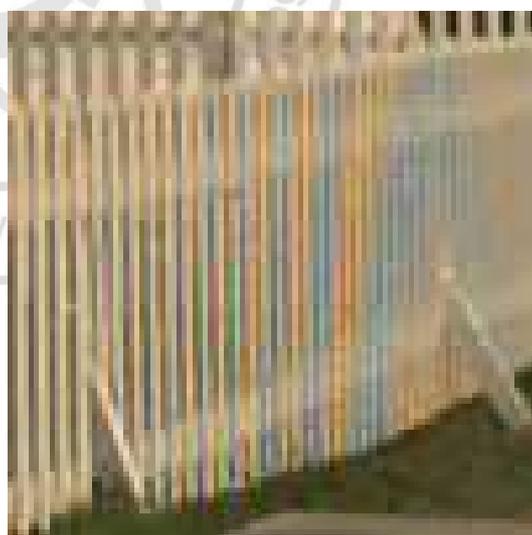
(c)彩色差異重建影像



(d)邊跡偵測重建影像



(e)二階修正重建影像



(f)多閾值重建影像



(g)依Mose理論設定  
多閾值重建影像



(h)本文所提出之原色亮度  
多閾值重建影像



(i)次頻帶關聯重建影像



(j)本文提出之自適性次頻帶  
重建影像

圖4.4 第二組視覺比較重建影像

## 4.2 實驗影像的數據比較

為了比較本文所提出的三種插補演算法和其他演算法的效能。我們採用典型的 PSNR 評估重建影像的誤差值(單位為 dB)。

$$MSE_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x(i,j) - y(i,j))^2}{M \times N} \quad (4-1)$$

$$PSNR_{(x,y)} = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{255^2}{MSE(x,y)} \right] \quad (4-2)$$

在式子(4-1、4-2)中的  $M$  和  $N$  分別是影像的長、寬，而  $x$  為測試影像亮度值， $y$  為重建插補演算法影像亮度值，數值 255 為亮度最大值。

我們會將實驗數據分成三組，第一組為傳統重建插補演算法比較(表 4.1)，第二組為多閾值重建插補法，和本文提出依 Mose 理論設定多閾值重建、原色亮度多閾值重建插補法，三種演算比較(表 4.2)，第三組為 ASCI 及列舉前述文 SBCI，同時列舉 2006 年 C. Y. Su 所提的有效加權邊跡與色彩相關重建插補演算法(Highly Effective Iterative Demosaicing Using Weighted-Edge And Color-Difference Interpolations, HEID)及 2007 年的彩色內插使用小波分類重建插補演算法(Color Interpolation Using Wavelet-Based Classifiers, IWBC)。

表 4.1 傳統插補演算法 PSNR 比較表

原色	雙線性	彩色差異	邊跡偵測	二階修正
R	29.31	31.41	29.99	<b>31.54</b>
G	33.59	<b>39.47</b>	33.93	38.77
B	29.21	31.43	29.96	<b>31.52</b>
平均	30.71	<b>34.10</b>	31.29	33.94

為了驗證 Mose 的理論是否也適合原色重建，我們僅將 MTI 的單一綠色強度平均值與閾值的對應關係表由反比改為正比。對 24 張測試影像進行實驗。紅原色影像的重建 PSNR 值提升了 0.58dB(由 30.78 dB 提升到 31.30dB)，藍原色影像的重建 PSNR 值提升了 0.53dB (由 30.62dB 提升到 31.15dB)。R、G、B 三原色影像的重建 PSNR 值平均值提升了 0.55dB (MTI 與 Mose 閾值對綠原色的重建相同，故重建 PSNR 值相同)。

原色亮度重建法，是為了驗證 NTSC 所制定的公式，R、G、B 三原色對亮度各有不同權值是否也可類推至各原色重建閾值。我們採用本文所提出的重建演算法，是依表 3.2 至表 3.5 的閾值對應表重建影像。由表 4.2 的實驗結果顯示，紅原色影像的重建 PSNR 值提升了 1.03 dB(由 30.78 dB 提升到 31.81 dB)，藍原色影像的重建 PSNR 值提升了

1.37 dB(由 30.62 dB 提升到 31.99 dB)。 $R$ 、 $G$ 、 $B$  三原色影像的重建 PSNR 平均值提升了 0.81dB。

表 4.2 多閾值演算法 PSNR 比較表

原色	MTI	Mose	原色亮度
R	30.78	31.30	<b>31.81</b>
G	33.90	33.90	<b>33.96</b>
B	30.62	31.15	<b>31.99</b>
平均	31.77	32.12	<b>32.58</b>

本文的 ASCII 及 SBCI 在初階重建貝爾模板的原色後，都會再使用傳統的中值濾波重建法及彩色差異重建演算法進行二階重建。為了比較本文所提出的 ASCII 與 SBCI 僅進行初階重建效能，我們分別將紅、綠、藍三原色的初階重建後的 PSNR 值並列於表 4.3。由此表顯示，本文所提出的 ASCII 在進行初階重建後其平均 PSNR 值比 SBCI 提升 0.2dB。進一步地，ASCII 及 SBCI 同樣都採用中值濾波重建法及彩色差異重建演算法進行二次重建後，其紅、綠、藍三原色的二階重建後的 PSNR 值並列於表 4.4。由此表顯示，無論 ASCII 或 SBCI 的平均 PSNR

值分別比初階重建的 PSNR 平均值提升 1.81dB 或 1.87dB。由此實驗證明，二階重建可提升重建之 PSNR 值。

表 4.3 SBCI 和 ASCI 初階重建 PSNR 比較表

原色	SBCI	ASCI
R	38.04	<b>38.23</b>
G	40.40	<b>40.61</b>
B	38.12	<b>38.33</b>
平均	38.86	<b>39.06</b>

表 4.4 二階重建演算法 PSNR 比較表

原色	HEID	IWBC	SBCI	ASCI
R	38.61	38.75	39.40	<b>39.52</b>
G	42.27	42.48	43.12	<b>43.28</b>
B	38.78	38.93	39.58	<b>39.80</b>
平均	39.89	40.05	40.74	<b>40.87</b>

## 第五章 結論及未來展望

本文研究針對消費型數位相機的感光元件，搭配上彩色濾鏡陣列 (Bayer Pattern) 所拍攝的影像，欠缺原色需由插補法重建完成，但是不適當插補法，可能產生雜色與拉鍊效應的重建錯誤情形，因此提出基底都是由邊跡特徵的多閾值色彩內插演算法。此三種方法，第一、二種依亮度為閾值當依據，使其像素邊跡點重建，更為適合原色。第三種是使用區域亮度，自我產生適合的區域閾值，讓邊跡方向更容易被偵測，並加強方向權重機制，提升欠缺像素點插補的正確度。

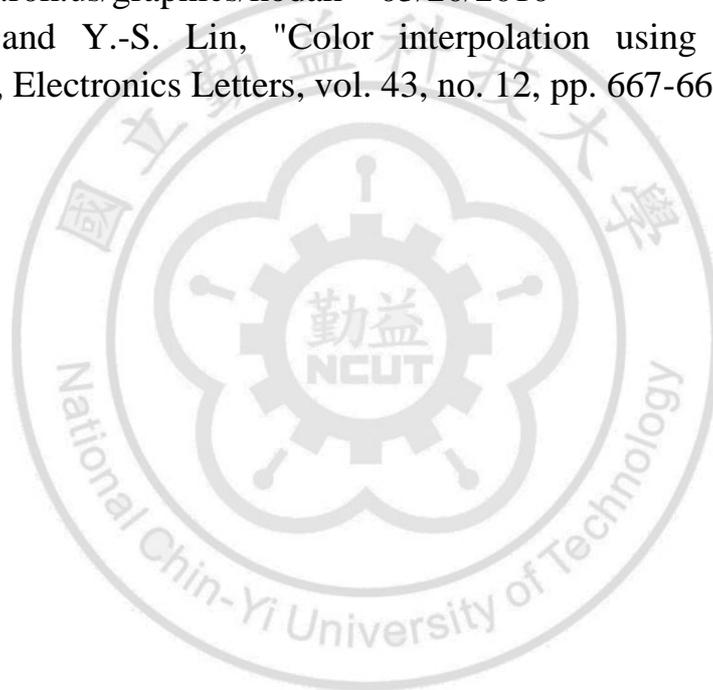
從實驗結果，本文的三種插補重建演算法，藉由PSNR，當成評估工具，可以看出比其它演算法，都有改善的效果。並且提出實際圖片，利用視覺對影像品質，進行重建影像品質的比較，重建圖片具有一定的改善。

未來工作追求更好的影像品質，更需要加強在邊跡及平滑區域的偵測方式，若能及早提出適合的插補公式，可以減少雜色及拉鍊邊跡，其相關的問題，可以利用改善方向性機制，重建更符合原始的影像。

## 參考文獻

- [1] <http://wikipedia.org>
- [2] <http://blog.dcview.com.tw/>
- [3] B. E. Bayer, Color Imaging Array, United States Patent, 3971065, 1976.
- [4] H. S. Hou and H. C. Andrews, “Cubic splines for image interpolation and digital filtering”, IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing, Vol. 26, pp. 508–517, 1978.
- [5] J. E. Jr Adams, “Design of practical color filter array interpolation algorithms for digital cameras”, in Proc. SPIE. Real-Time Imaging II, Vol.3028, pp.117-125, 1997.
- [6] S.-C. Pei and I.-K. Tam, “Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation”, IEEE Trans. Circuits Systems Video Technol., vol. 13, no. 6, pp. 503-513, Jun. 2003.
- [7] J. F. Jr. Hamilton, and J. E. Adams, “Adaptive Color Plane Interpolation in Single Sensor Color Electronic Camera”, United States Patent, 5629734, 1997.
- [8] J. F. Hamilton Jr. and J. E. Adams, “Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera”, U.S. Patent 5 629 734, May 1997.
- [9] H. Z. Yang and Y. Q. Chieng, “A low computational complexity demosaicing method for bayer pattern ccd”, Journal of taiyuan university of technology , Vol. 38, no. 3,. 2007 .
- [10] B.K. Gunturk, Y. Altunbasak, and R.M. Mersereau, “Color plane interpolation using alternating projections”, IEEE Trans. Image Processing, vol. 11, no. 9, pp.997–1013, Sept. 2002.
- [11] C.-Y. Su and W.-C. Kao, “Effective Demosaicing Using Subband Correlation”, IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 55, no. 1, pp. 199-204, Feb 2009.
- [12] <http://zh.wikipedia.org/wiki/YUV> 2010/3/2
- [13] R. Arthur and Jr. Weeks, “Fundamentals of Electronic Image Processing”, pp.20-21, 1998.

- [14]E. Chang, S. Cheung and D. Pan, "Color filter array recovery using a threshold-based variable number of gradients", in Proc. SPIE. Sensors, Cameras, and Applications for Digital Photography, vol.3650, pp.36-43, 1999.
- [15]X. Li, "Demosaicing by successive approximation", IEEE Trans. Image Process., vol. 14, no. 3, pp. 370-379, March 2005.
- [16]C.-Y. Su, "Highly effective iterative demosaicing using weighted-edge and color-difference interpolation", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 52, no. 2, pp. 639-645, May 2006.
- [17]<http://www.r0k.us/graphics/kodak> – 03/20/2010
- [18]C.-Y. Su and Y.-S. Lin, "Color interpolation using wavelet-based classifiers", Electronics Letters, vol. 43, no. 12, pp. 667-669, June 2007.



## 附錄

### 雙線性重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	35.63	39.16	35.26
2	27.71	32.11	27.88
3	33.62	37.48	33.21
4	23.51	28.37	23.46
5	32.57	36.80	32.62
6	29.32	33.32	29.29
7	31.36	35.75	31.21
8	28.16	32.85	28.12
9	31.16	35.30	29.37
10	28.71	32.58	28.55
11	30.90	34.46	30.26
12	26.97	30.19	26.20
13	27.36	31.91	28.06
14	29.46	34.55	29.67
15	31.12	34.57	31.13
16	27.18	30.45	26.82
17	24.97	29.52	24.91
18	30.27	36.04	31.33
19	31.19	36.83	32.49
20	32.33	36.38	31.03
21	25.36	29.31	25.66
22	31.28	35.26	29.96
23	30.50	36.40	31.64
24	22.88	26.54	22.99
小計	29.31	33.59	29.21
總和平均	30.71		

### 彩色差異重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	35.86	44.95	35.67
2	32.02	38.09	31.52
3	34.47	43.13	34.30
4	26.42	34.00	26.24
5	34.58	42.69	34.30
6	31.97	39.18	32.26
7	35.49	41.21	35.08
8	31.67	38.20	31.31
9	33.28	41.22	30.63
10	32.08	38.46	31.73
11	32.80	39.80	32.43
12	29.72	36.40	28.74
13	28.88	37.81	29.69
14	29.99	40.29	31.34
15	32.89	40.63	32.75
16	29.62	36.07	29.62
17	27.70	35.68	28.53
18	31.21	41.04	33.41
19	32.07	42.87	33.57
20	32.96	41.87	31.92
21	27.10	36.84	27.56
22	32.78	42.15	31.23
23	31.91	42.10	34.13
24	26.27	32.70	26.38
小計	31.41	39.47	31.43
總和平均	34.10		

邊跡方向偵測重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	35.05	39.36	34.86
2	29.59	32.10	29.43
3	33.80	38.27	33.51
4	24.87	29.68	24.90
5	33.43	37.72	33.33
6	30.23	33.37	30.32
7	33.14	35.60	33.01
8	30.59	34.42	30.44
9	32.49	36.04	29.75
10	29.80	32.46	29.68
11	31.02	34.48	30.93
12	27.18	29.68	26.72
13	27.84	32.19	28.23
14	28.82	35.36	30.09
15	31.57	34.70	31.03
16	27.41	29.99	27.18
17	26.05	29.87	26.73
18	30.61	36.15	32.16
19	31.59	37.51	32.68
20	31.95	36.34	30.89
21	25.89	29.87	26.20
22	32.18	36.02	30.45
23	30.99	37.15	32.85
24	23.64	25.99	23.71
小計	29.99	33.93	29.96
總和平均	31.29		

### 二階修正重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	36.95	44.66	35.95
2	31.29	37.31	31.59
3	35.07	43.30	34.01
4	27.06	34.38	27.14
5	34.95	42.77	33.73
6	32.22	38.32	31.93
7	34.45	40.84	34.82
8	31.51	39.18	31.40
9	31.44	40.31	30.88
10	31.54	37.32	31.56
11	33.06	39.09	32.91
12	29.99	34.05	29.03
13	29.24	37.32	30.74
14	30.54	39.30	31.53
15	33.61	39.47	32.75
16	28.91	34.36	29.63
17	28.17	34.81	28.64
18	30.85	40.93	33.33
19	32.31	42.15	34.15
20	33.23	40.66	31.59
21	28.22	35.72	29.16
22	34.31	41.14	31.46
23	32.10	42.36	32.50
24	25.97	30.63	26.01
小計	31.54	38.77	31.52
總和平均	33.94		

### 多閾值重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	36.96	39.33	36.58
2	28.49	32.06	28.61
3	34.90	38.23	34.59
4	25.31	29.64	25.25
5	33.92	37.68	33.84
6	30.17	33.33	30.17
7	31.55	35.56	31.50
8	29.66	34.44	29.48
9	33.06	36.08	32.80
10	29.71	32.45	29.49
11	31.62	34.45	31.07
12	27.92	29.68	27.02
13	29.30	32.15	29.41
14	32.07	35.32	32.19
15	32.65	34.65	32.09
16	28.06	30.02	27.71
17	26.45	29.83	26.21
18	32.29	36.11	32.64
19	34.13	37.47	34.04
20	33.00	36.30	33.29
21	27.58	29.83	27.44
22	32.71	35.98	32.51
23	33.19	37.11	32.90
24	24.05	25.95	23.95
小計	30.78	33.90	30.62
總和平均	31.77		

依 Mose 理論閾值重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	37.30	39.33	36.97
2	29.26	32.06	29.31
3	35.71	38.23	35.41
4	25.96	29.64	25.88
5	34.75	37.68	34.70
6	30.76	33.33	30.77
7	32.63	35.56	32.59
8	30.80	34.44	30.60
9	33.43	36.08	33.17
10	30.19	32.45	29.97
11	32.23	34.45	31.67
12	27.99	29.68	27.03
13	29.69	32.15	29.82
14	32.36	35.32	32.48
15	32.94	34.65	32.36
16	28.25	30.02	27.83
17	27.06	29.83	26.91
18	32.97	36.11	33.41
19	34.78	37.47	34.70
20	33.53	36.30	33.96
21	27.62	29.83	27.56
22	32.91	35.98	32.76
23	33.90	37.11	33.80
24	24.04	25.95	23.90
小計	31.30	33.90	31.15
總和平均	32.12		

原色亮度多閾值重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	37.06	39.26	37.99
2	29.72	32.25	30.03
3	36.41	38.02	36.35
4	26.36	29.69	26.54
5	35.22	37.62	35.55
6	31.31	33.49	31.62
7	33.14	35.73	33.34
8	31.20	34.40	31.35
9	33.87	35.83	33.89
10	30.69	32.69	30.73
11	32.80	34.62	32.44
12	28.59	29.94	27.74
13	30.23	32.17	30.74
14	32.81	35.44	33.18
15	33.53	34.72	33.26
16	28.81	30.25	28.59
17	27.56	30.09	27.60
18	33.45	36.24	34.33
19	35.44	37.35	35.73
20	34.09	36.37	34.86
21	28.41	29.60	28.74
22	33.74	35.79	33.90
23	34.36	37.08	34.61
24	24.58	26.28	24.65
小計	31.81	33.96	31.99
總和平均	32.58		

### 次頻帶關聯重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	42.45	47.09	43.31
2	40.88	43.86	39.70
3	42.87	45.97	41.24
4	36.35	40.22	36.81
5	43.83	47.07	43.13
6	39.90	43.71	40.93
7	44.06	46.86	42.83
8	40.93	43.75	40.05
9	41.89	44.19	40.14
10	40.45	43.05	39.49
11	39.23	42.28	38.70
12	36.73	39.17	35.17
13	35.26	39.81	36.02
14	36.19	42.31	40.08
15	41.51	43.84	41.13
16	35.87	38.83	36.72
17	37.19	40.76	37.81
18	37.24	43.54	41.29
19	41.29	44.99	40.98
20	36.63	44.17	42.37
21	36.98	40.72	36.55
22	40.93	45.37	41.62
23	42.01	46.46	42.53
24	34.91	37.13	33.57
小計	39.40	43.13	39.67
總和平均	40.73		

自適應次頻帶重建插補演算法

影像編號	R	G	B
1	42.52	47.19	43.37
2	41.03	44.07	39.83
3	42.92	46.05	41.30
4	36.64	40.57	37.13
5	43.90	47.15	43.18
6	40.08	43.94	41.13
7	44.21	47.02	42.93
8	41.31	44.07	40.40
9	41.96	44.26	40.17
10	40.58	43.23	39.61
11	39.29	42.40	38.80
12	36.88	39.37	35.27
13	35.34	39.92	36.09
14	36.22	42.36	40.14
15	41.61	43.94	41.21
16	35.97	38.98	36.86
17	37.41	41.04	38.04
18	37.35	43.72	41.49
19	41.36	45.07	41.04
20	36.65	44.21	42.43
21	37.10	40.87	36.63
22	40.97	45.39	41.68
23	42.13	46.60	42.64
24	35.14	37.39	33.75
小計	39.52	43.28	39.80
總和平均	40.87		

