

# 植基於直方圖位移技術的可逆式資訊隱藏法之探究

李金鳳

朝陽科技大學資訊管理系

副教授

e-mail:lcf@cyut.edu.tw

陳凱琴

朝陽科技大學資訊管理系

碩士班

e-mail:s9914614@cyut.edu.tw

## 摘要

網際網路已成為人們的必備工具，在網際網路上傳遞數位資料過程中，可能有非法的第三者攔截進行破壞，因此，要如何確保在傳遞過程中的安全，衍然成為一個重要的研究議題。為了達到有效保護資訊的目的，近幾年來有很多學者致力於資訊隱藏的議題。在資訊隱藏中大致可以區分為可逆式資訊隱藏與不可逆式資訊隱藏，本文針對近年在可逆式資訊隱藏中較新穎的直方圖位移法進行全面性的探討。探討的重點針對直方圖位移法的技術、藏量、走訪方法、視覺影像品質、資訊負載量、及溢位問題等進行比較。

**關鍵詞:** 資訊隱藏、可逆式資訊隱藏、直方圖位移

## Abstract

The Internet has become an indispensable media nowadays. When the digitalized information has been transmitted via the Internet, the third party may be unauthorized intercept and destruct. Therefore, how to ensure the security in the transmission process has become important issue. To achieve the effective protection of information, in recent years, many scholars dedicated to the subject of information hiding. In general, the data hiding can be divided into the reversible data hiding and the irreversible data hiding. This paper conducts a comprehensive study of the reversible data hiding based on the novel histogram shifting. This study focuses on the issues of embedding capacity, pixel traversal manner, visual image quality, and problems of overflow and underflow from a comparison perspective.

**Keywords:** Data Hiding; Reversible Data Hiding; Histogram Shifting

## 1. 前言

資訊隱藏(Data Hiding)是將不可讓外人得知的重要機密訊息藏到原始影像(Cover-Image)中，而藏有機密訊息的影像稱為偽裝影像(Stego-Image)，偽裝影像在網際網路上傳遞過

程中，可能有非法的第三者攔截進行破壞，再將破壞後的影像傳給接收方，即使接收方收到影像後也無法還原影像，因此可以將影像做加密的動作，再傳給接收方，避免讓第三者得知機密訊息而遭到修改、劫取、割裂、篡改等，進而達到有效保護資訊的目的[1]。現今的資訊隱藏技術是將機密的訊息或文件隱藏在影像、聲音、視訊、執行檔或文字等之中，而這些隱藏的訊息的偽裝影像與原來的影像非常相似，所以一般人的視覺是看不出來的，必需要有傳送方的金鑰，才能解開取出機密訊息。資訊隱藏的技術隨著數位時代的資訊技術的快速進步，在網際網路上是個不可或缺的必備工具，每天都有許多被隱藏的資訊透過網際網路廣泛的傳送與散布。

一個好的資訊隱藏技術必需滿足安全性(Security)、不可察覺性(Imperceptivity)、高資訊負載量(Payload)之三點要求[1]。所謂的安全性(Security)是指除了合法的參與者之外，擁有金鑰者之外，其他人沒有辦法從隱蔽媒體(Stego-Media)中取出的機密資訊。而所謂不可察覺性(Imperceptivity)是指隱蔽媒體藏入機密訊息後不能失真太多，即偽裝媒體的品質必須在一定的水準之上，以免引起不法者的懷疑。所謂的高資訊負載量(Payload)是指在一定的偽裝媒體品質要求前提下，盡可能提高資料的隱藏量，以提高資料傳送的利用率。

目前在資訊隱藏技術領域中有兩個主要的研究方向，分別為不可逆式資訊隱藏(Irreversible Data Hiding)技術與可逆式資訊隱藏(Reversible Data Hiding)技術。不可逆式資訊隱藏技術又可稱為「失真資訊隱藏技術」。此類方法當掩蔽影像(Cover Image)嵌入機密訊息後，即使是日後接收方取出先前所嵌入的機密訊息，也無法完全無失真的還原原始影像之內容，這種方法最大的優點是擁有極高的資訊嵌入量，對於在乎高訊息攜帶量及高資訊傳輸率的需求者，此種方法可帶來極高的效益。常見的方法是取代不重要位元(Least Significant Bit, LSB)[2,3]，它將要藏入的機密訊息直接取代原始影像像素值中較不重要的位元，取出資料時只要將每個像素取出 LSB，就可以得知藏入的

資料。後續有許多學者提出不同的改良方法，在2006年Mielikainen學者提出一個LSB匹配隱藏法(LSB Matching)[4]，讓藏入時修改的像素量減少，以提高偵測難度並擁有更高的視覺影像品質。Lee與Chen學者提出一種利用模數函數[5]，達到高藏量與高影像品質並具有安全性之可逆式資訊隱藏。可逆式資訊隱藏技術又可稱為「無失真資訊隱藏技術」。當所藏入的機密訊息取出之後，可逆式資訊隱藏技術有能力將數位影像內容完整的恢復到原始不失真的狀態。近幾年也廣泛被應用，例：學校傳遞公文過程中，為了防止被竄改及辨別此公文的真偽，可透過學校校徽藏入一些文字或機密訊息進行資訊隱藏。可逆式資訊隱藏技術在嵌入機密訊息時多半會產生額外的資訊，以便將來可以輔助機密訊息取出，因此，近幾年有許多學者紛紛投入此研究如何提升可逆式資訊隱藏資訊嵌入量與降低額外資訊的議題。

可逆資訊隱藏方法可以分成三個主要的隱藏技術，分別是差異擴張法(Difference Expansion)、直方圖位移法(Histogram Shifting)、預測運算法(Prediction Manipulation)。第一種「差異擴張法」是利用鄰近像素值具有相似的特性，計算出兩像素之間的差值，將差值擴大兩倍使其差成為偶數，再將機密資訊嵌入至兩倍差值之中。雖然「差異擴張法」的平均資訊負載量為0.5bpp (bit per pixel)，然而此方法必須記錄一些額外的資訊以做為還原原始影像之指引，方能達到可逆式資訊隱藏之效果，所以實際嵌入的機密訊息(Pure Payload)含量小於0.5bpp；第二種「直方圖位移法」是利用直方圖所呈現出的像素統計值，透過位移尖峰像素值的位置來進行可逆式資訊隱藏的目的，由於像素的位移量只有正負1，故偽裝影像可保有極高品質；然而其實際嵌入的藏量相當低；第三種「預測運算法」利用多種預測函數的方法，將原始影像的像素值先進行預測函數後再以直方圖輸出，因此直方圖中便可產生出更高的尖峰點，讓藏量增加，其中直方圖法方法較簡單且隱藏效果佳，所以有許多學者們的關注。

目前，有很多學者提出可逆式資訊隱藏技術，常見的可逆式資訊隱藏，目前已有2003年Tian學者提出之可逆式差異擴張法[6]、2004年Alatter學者提出以向量取代像素配對的無失真資訊隱藏技術[7]、2006年Yip等學者提出以利用預測函資訊隱藏方法[8]、Lee等學者提出不需Location map的預測法可逆式資訊隱藏[9]及

2006年Ni等學者提出以直方圖位移資訊隱藏技術[10]，本文針對植基於直方圖位移之可逆式資訊隱藏技術研究，是為了改善2006年Ni等學者所提出的直方圖修改法，針對像素直方圖進行修改，以便將機密資訊藏入像素值中的資訊隱藏技術。Ni學者的直方圖位移技術是空間域裡可以讓影像達到可逆資訊隱藏的最早方法，這種方法最大優點是擁有相當好的視覺影像品質，因它像素的位移量不多，然而其缺點是資訊藏量並不高，約只有1bpp，但此法也需額外記錄資訊。

目前常見的可逆式資訊隱藏法之視覺品質與資訊負載量的比較，其中視覺品質是以峰值訊雜比(Peak Signal to Noise Ratio; PSNR)來辨別影像品質的好壞，PSNR越大，代表影像失真的程度越少；反之，PSNR越小，影像失真程度就越大。資訊負載量會去記錄影像本身額外的資訊，像Tian學者必須記錄藏入的資訊位置(Location Map)；Ni學者從直方圖中找到尖峰點(Peak Point)是指在直方圖裡找到出現次數最多的像素值；零點(Zero Point)為直方圖裡出現次數最少的像素值；Tian學者是利用鄰近像素值，計算出兩像素之間的差值，將差值兩倍擴張使差值成為偶數，再將機密資訊嵌入至兩倍差值之中。後續Alatter學者提出利用可逆式整數轉換函式(Reversible Integer Transform Function)來改善Tian學者的可逆式隱藏法。假設有一個向量(Vector)裡包含四個像素，計算權重平均值(Weighted Averages)，接著在向量內藏入三個位元到三個像素值與平均值的差值中；Yip學者會設門檻值以確保資訊藏入後，偽裝像素不會有溢位的情況產生，當像素值可以藏入機密訊息時，則會利用一對一對映射對照表(Bijective Mirror Mapping; BMM)進行位移。表1將上述常見的可逆式資訊隱藏法針對PSNR、Payload、溢位問題進行整理比較。由表1可得知，常見可逆式資訊隱藏法皆有溢位的問題。處理溢位的問題，以Ni學者的直方圖位移方法較為簡單，是利用統計影像中的像素值分佈情形，並將影像中像素值所出現的次數繪製成一張直方圖，也因像素值變化程度不大，因此影像品質保有較佳平均影像品質，約有48.70dB，但藏量低，其最大資訊負載量也較小，約只有0.20bpp。

為了達到提高資訊的藏量這個目的，目前學界提出的直方圖位移的可逆資訊隱藏技術，約有以下數種。第一種方法利用螺旋的方式掃描影像，用順時針或逆時針從外邊的原始

影像向內部嵌入機密訊息，主要是為了達到更大藏量與視覺影像品質有不錯的表現，而此方法可以減少額外資訊。第二種方法是利用像素差異值繪製出直方圖，將機密訊息藏入像素差異值的尖峰點，並可以多層次嵌入機密訊息。第三種方法是將影像分成區塊影像，分別繪製出直方圖，並可以達到多層次的資訊隱藏，以及增加藏量，產生良好的影像視覺品質，解決溢位的問題。第四種方法則是利用交錯式預測方法，提高直方圖的資訊的藏量，此方法可以充分利用每一個像素值，並藏入機密訊息的偽

裝影像，每個像素值的改變量均小於或等於1，保持與原始影像的相似度。第五種方法是利用九宮格預測方法，利用周邊所有像素值來預測，面對高複雜度影像可以產生較高的資訊負載量，而偽裝影像的品質上也沒有遭受很大的破壞。以上這些方法無論在藏量或是影像品質都明顯的優於Ni學者所提出的方法。因此將於第二節針對直方圖位移之可逆式資訊隱藏方法詳細的探討，第三節介紹基於改善直方圖之可逆式資訊隱藏技術，最後，第四節為結論。

表 1 常見可逆式資訊隱藏法之 PSNR、Payload 及溢位問題比較表

| 比較方法       | 特點                                                         | PSNR (dB) | Payload (bpp) | 溢位問題 |
|------------|------------------------------------------------------------|-----------|---------------|------|
| Tian[6]    | 每一位元的訊息藏到二個相鄰的像素之間的兩倍差值中，可達到更大藏量及影像品質有不錯的表現，必須記錄額外資訊。      | 36.15     | 0.50          | Yes  |
| Alatter[7] | 利用可逆式整數轉換函式藏資料，達到更大藏量及保有不錯的影像品質，但必須記錄額外資訊。                 | 35.80     | 0.75          | Yes  |
| Yip[8]     | 利用預測函數的方法，將原始影像的像素值先做預測函數後再以直方圖輸出，因此直方圖中便可產生出更高的尖峰點，讓藏量增加。 | 35.24     | 0.30          | No   |
| Ni[10]     | 訊息藏在峰值，像素位移量不多，可達到相當優異的影像品質，但藏量太低。                         | 48.70     | 0.20          | Yes  |

## 2. 植基於直方圖位移資訊隱藏技術

Ni 等學者在 2006 年提出利用像素直方圖位移法(Histogram Shifting)，提出一個能夠達成可逆式資訊隱藏的技術。首先，先分析及統計灰階影像的像素分佈情形，並且將像素出現次數繪製一張直方圖。接著，從直方圖中找到出現次數最多的像素點，稱為尖峰點(Peak Point,  $p$ )，和出現次數為零的像素值，稱為零點(Zero Point,  $z$ )，其嵌入機密訊息的演算法步驟：

Step1: 原始影像  $I$  產生直方圖  $H(x)$ ，像素值  $x \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ 。

Step2: 在直方圖  $H(x)$ ，找到一個尖峰  $p$  和零點  $z$ ，其中  $p, z \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ 。

Step3: 位移尖峰點  $p$  和零點  $z$  之間的所有像素值  $x$ ，如下：

- (a) 如果  $p > z$  表示尖峰點位於零點之右方，則  $x = x - 1$ ； $x \in [z+1, p-1]$  表示在  $p$  左方的像素值皆向左位移一個位置。
- (b) 如果  $p < z$  表示尖峰點在零點之左方，則  $x = x + 1$ ； $x \in [p+1, z-1]$  表示在  $p$  右方的像素值皆向右位移一個位置。

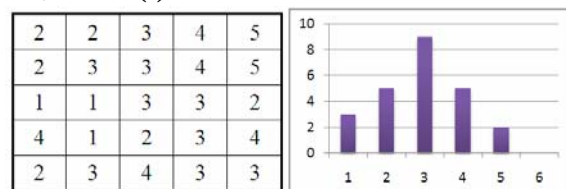
Step4: 將機密訊息藏入尖峰點  $p$  的像素中：

- (a) 如果藏入位元為 0，像素值  $p$  保持不變。
- (b) 如果藏入位元為 1，像素值為  $(p+1)$  或

$(p-1)$  端看  $p$  在  $z$  之左方或右方而定。

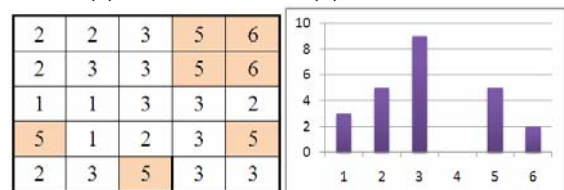
Step5: 輸出偽裝影像、尖峰點  $p$  和零點  $z$ 。

以圖 2.1 為例來說明嵌入機密訊息，將圖 2.1(a) 進行直方圖統計，直方圖顯示在圖 2.1(b)，根據圖 2.1(b) 可得知  $p = 3$  和  $z = 6$ ，因  $p < z$  之後把像素值為 4 或 5 的像素值加 1，可得到位移後的影像如圖 2.1(c) 所示，位移後影像直方圖顯示在圖 2.1(d)。假設要藏入的機密資訊  $s = 010111001$ 。當  $p$  為 3 時，假設要藏入 0，則該像素保持不變；反之，若要藏入 1 時，把該像素做加 1 變成 4。最後可以得到偽裝影像如圖 2.1(e) 所示，偽裝影像直方圖則顯示在圖 2.1(f)。



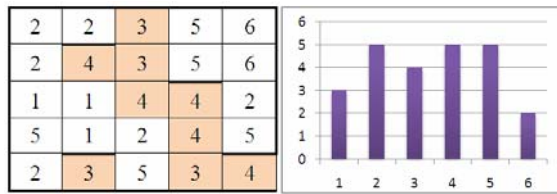
(a) 隱蔽影像

(b) 隱蔽影像直方圖



(c) 位移後影像

(d) 位移後影像直方圖



(e)偽裝影像 (f)偽裝影像直方圖  
圖 2.1 Ni 等學者所提方法之嵌入過程

Ni 等學者的方法在資訊取出的過程中，需要額外記錄尖峰點與零點的值。其取出機密訊息並還原原始影像的演算法步驟：

Step1:傳送方必須告訴接收方的資訊為尖峰點與零點，接收方才能取出機密資訊。

Step2:利用  $p$  及其鄰居的像素值取出機密訊息：

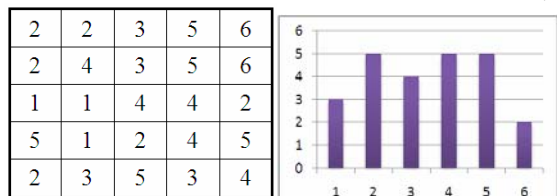
- (a) 若遇到  $p$  值則取出機密位元 0，保持  $p$  不變
- (b) 若  $p > z$  且遇到  $(p-1)$  值，則取出機密位元 1，並將  $(p-1)$  值加 1，改回原來的  $p$  值。
- (c) 若  $p < z$  且遇到  $(p+1)$  值，則取出機密位元 1，並將  $(p+1)$  值減 1，改回原來的  $p$  值。

Step3:位移所有位在尖峰點  $p$  和零點  $z$  之間的值，如下：

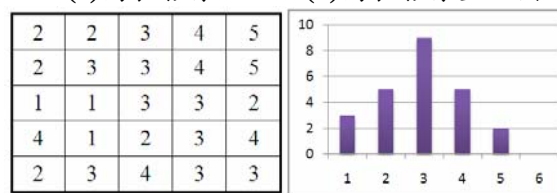
- (a) 如果  $p > z$ ，則  $x = x + 1$ ；因為  $x \in [z-1, p+1]$  表示在  $p$  左方的像素值皆向右位移一個位置。
- (b) 如果  $p < z$ ，則  $x = x - 1$ ；因為  $x \in [p-1, z+1]$  表示在  $p$  右方的像素值皆向左位移一個位置。

Step4:取出機密訊息和還原原始影像。

以圖 2.2 為例來說明取出與還原，傳送方必須告訴接收方  $p=3$  和  $z=6$ ，接收方才能找出機密資訊藏入的位置，其中  $p$  表示藏入的訊息為 0，而  $p+1$  表示藏入的訊息為 1，就可以從圖 2.2(a)取出機密訊息  $s = 010111001$ ，接著將零點  $z$  將偽裝像素還原回原始的值，如圖 2.2(c)。



(a)偽裝影像 (b)偽裝影像直方圖



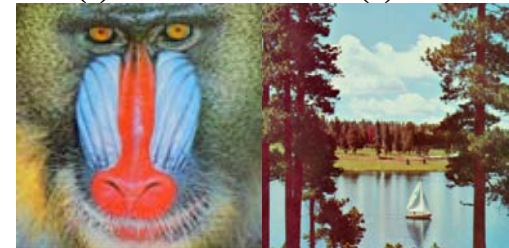
(c)還原後影像 (d)還原後影像直方圖

圖 2.2 Ni 等學者所提方法之取出過程

針對 Ni 學者直方圖位移法來衡量影像在平滑區域或是複雜區域之影像品質及藏量進行比較。如圖 2.3 所示圖(a)為 Lena 與圖(b) 為 F16 皆屬平滑影像；另外，Baboon 與 Sailboat 分別為圖(c)與圖(d)為複雜影像。針對平滑與複雜區域比較，結果可以由表 2 得知，不論平滑影像還是複雜影像在影像品質上都保有 48dB 以上，影像品質也很平穩。相較 Tian 學者與 Alatter 學者方法上就沒有那麼好的影像品質，影像品質也沒那麼穩定，而藏量部分，其中 F16 藏量特別高，是因影像中的像素值變化不大，用直方圖統計後就會得到比較高的尖峰點，所以能藏入的訊息相對變多，然而可以發現 Ni 學者並沒有充分得利用像素其有鄰近性之特質，所以後續有許多學者提出改善的方法，像 Hong 學者利用螺旋式走訪，提升影像品質與藏量，Tai 等學者和 Yang 等學者利用鄰近像素差值來提升影像品質與藏量。



(a) Lena (b) F16



(c) Baboon (d) Sailboat

圖 2.3 以 512x512 之影像

表 2 影像平滑與複雜區域之比較

|      | 影像       | PSNR(dB) | Capacity(bits) |
|------|----------|----------|----------------|
| 平滑區域 | Lena     | 48.2     | 5,460          |
|      | F16      | 48.3     | 16,171         |
| 複雜區域 | Baboon   | 48.2     | 5,421          |
|      | Sailboat | 48.2     | 7,301          |

### 3. 植基於直方圖位移資訊隱藏技術之變形

本節將介紹五個改善直方圖位移資訊隱藏的方法：分別為 2008 年 Hong 等學者提出以高品質基於直方圖位移嵌入技術之可逆資訊隱藏技術[11]、2009 年 Tai 等學者提出以植基於直方圖修正的像素差異之可逆資訊隱藏技術

[12]、2010 年 Yoo 等學者提出以高容量可逆資訊隱藏利用直方圖修改區塊影像之技術[13]、2010 年 Yang 和 Tsai 提出之植基於交錯式預測法之可逆資訊隱藏技術[14]及 2010 年 Yang 等學者提出以植基於九宮格預測法之可逆資訊隱藏技術[15]。

### 3.1 Hong 等學者提出高品質基於直方圖位移嵌入技術之可逆資訊隱藏技術

Hong 等學者提出一個修改 Ni 等學者之直方圖位移法的資訊隱藏方法。因 Ni 等學者將機密訊息藏在尖峰點，而像素位移量不多，可達到相當優異的影像品質，但藏量太低。Hong 等學者提出一種採用螺旋的方式掃描影像，用順時針或逆時針從外邊的原始影像向內部嵌入機密訊息以減少影像的破壞程序保有偽裝影像的良好影像，但必需記錄額外的資訊利於還原影像，以下為 Hong 等學者提出方法嵌入過程：

Step1:輸入原始影像  $I$ ，用順時針或逆時針從外邊的原始影像向內部掃描，如圖 3.1 所示，假設已掃描完所有像素值時，用直方圖  $H_i(x)$  統計某一像素值出現次數的直方圖， $x \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ ， $i$  為影像中像素值的所在位置，因此  $i = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ ， $n$  為影像中像素值的總數。

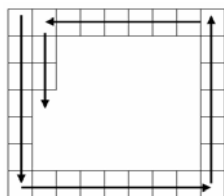


圖 3.1 Hong 等學者提出方法掃描影像方法

Step2:計算出一次可藏入的位元數  $k$ ，如公式(1)所示， $p$  為尖峰點，而  $z$  為零點。

$$k = H_i(p) - H_i(z) \times \lceil \log_2 n \rceil \quad \text{公式(1)}$$

Step3:  $L_z$  是記錄  $z$  在原始影像中的座標位置，是為了要讓影像還原，所以在此必須記錄額外資訊。

Step4:進行位移，在  $H_i(x)$ ，假設當  $p < z$ ， $x \in [p+1, z-1]$ ，計算  $x = x+1$ ，也就是將在  $p$  與  $z$  之間的像素值皆向右位移一個位置；反之，當  $p > z$ ，則針對  $x \in [z+1, p-1]$  進行  $x = x-1$ ，表示在  $p$  左方的像素值皆向左位移一個位置。

Step5:位移完之後，接著進行機密訊息的嵌

入，若機密訊息  $s=0$  時，像素值  $p$  保持不變，反之，若機密訊息  $s=1$  時，像素值  $(p+1)$ 。

Step6:記錄  $p, z$  和  $n$  來取出機密訊息及還原影像，並將額外資訊  $L_z$  傳送給接收方。

以圖 3.2 為例來說明嵌入過程，將圖 3.2(a)進行直方圖統計，直方圖顯示在圖 3.2(b)，根據圖 3.2(b)可得知  $p=1, z=5$  在直方圖中出現的次數，因此可得到  $H(1)=5, H(5)=1$  接著代入公式(1)計算出機密訊息可藏入多少位元，因此可得  $k=1$ ，然而為了要讓影像還原，所以必須記錄額外資訊，得到  $L_z = (2, 2)$ ，接著將像素值為  $x \in [2, 4]$  之間的像素值向右位移一個單位，因此從圖 3.2(c)得到經位移過後的直方圖，如圖 3.2(d)所示。位移完後緊接著為機密訊息  $s=10101$  的嵌入，當  $p$  為 1 時，假設要藏入 0，則該像素值保持不變；反之，若要藏入 1 時，把該像素值加 1 變成 2。最後可以得到偽裝影像如圖 3.2(e)所示，偽裝影像直方圖則顯示在圖 3.2(f)。

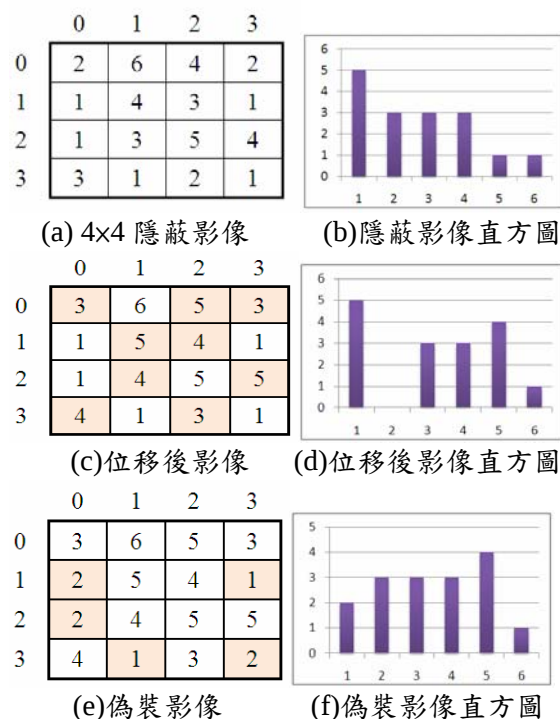


圖 3.2 Hong 等學者所提方法之嵌入過程

### 3.2 Tai 等學者提出植基於直方圖修正的像素差值之可逆資訊隱藏技術

Tai 等學者利用直方圖位移方法為基礎，並將機密訊息嵌入到像素差值裡，利用直方圖統計像素差值會使統計量更為集中，所以能夠有效提升藏入量，而 Tai 等學者主要是要解決

Ni 等學者直方圖位移方法在於多次藏入時產生多個尖峰點的額外資訊的問題，因此 Tai 等學者利用二元樹(Binary Tree)結構來解決。以下為 Tai 等學者提出方法嵌入過程：

以圖 3.3 來說明二元樹結構的概念，主要是要解決在進行多次藏入時多個尖峰點的問題。二元樹中的每個元素皆代表一個尖峰點，在藏入機密訊息時，須先給定一個階層  $L$ ，此階層  $L$  也代表了二元樹階層。在嵌入的過程中，像素差值落在  $2^L - 1$  內則代表該差值可以用來嵌入機密訊息。根據圖 3.3 顯示出當階層  $L$  設定越小時，可作為嵌入的差值選擇也越少；反之，階層  $L$  越大，可嵌入的差值選擇越多，也就代表可藏入的機密訊息越大。

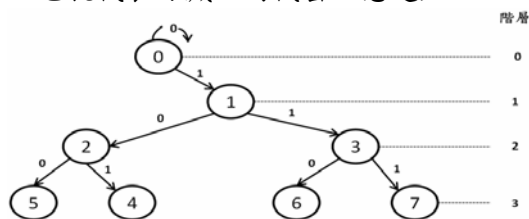


圖 3.3 二元樹結構圖

Step1: 以水平式掃描原始影像  $I$ ，計算出鄰近的像素值  $x_{i-1}$  和  $x_i$  的像素差值  $d_i$ ，如公式(2)所示， $x_i$  為像素值  $0 \leq x_i \leq 255$ ， $i$  為影像中像素值的所在位置，因此  $i = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ ， $n$  為影像中像素值的總數。

$$d_i = \begin{cases} x_i, & \text{if } i = 0, \\ |x_{i-1} - x_i|, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad \text{公式(2)}$$

Step2: 確定二元樹階層  $L$ ，當二元樹階層  $L$  為 0 時，則可作為藏入機密訊息的差值為 0，若隨著階層  $L$  設定的提高，假設  $L$  設定為 3 時，則代表可作為藏入機密訊息的差值為 0 到 7。

Step3: 依公式(3)判斷並產生偽裝像素值  $x'$ ，若  $i = 0$  時，則像素值  $x_i$  不作改變；當  $d_i \geq 2^L$  時，若  $x_i \geq x_{i-1}$  時，將像素值向右位移  $2^L$  個單位，則  $x_i + 2^L$ ；反之，若  $x_i < x_{i-1}$  時，將像素值向左位移  $2^L$  個單位，則  $x_i - 2^L$ 。

$$x'_i = \begin{cases} x_i, & \text{if } i = 0 \\ x_i + 2^L, & \text{if } d_i \geq 2^L \text{ and } x_i \geq x_{i-1} \\ x_i - 2^L, & \text{if } d_i \geq 2^L \text{ and } x_i < x_{i-1} \end{cases} \quad \text{公式(3)}$$

Step4: 當  $d_i < 2^L$  時，代表可以用來嵌入機密訊息為  $s$ ， $s \in \{0, 1\}$ ，當機密訊息  $s = 0$  時，屬於尖峰點的差值不變，所以像素值也不需修

改，當機密訊息  $s = 1$  時，則讓屬於尖峰點上的差值，位移到 Step3 差值經位移後所空出的位置中，相對也進行  $x_i$  的修改，讓經修改過的  $x_i$  與  $x_{i-1}$  間的差值能符合因經過機密訊息嵌入而位移的差值，故當  $x_i \geq x_{i-1}$  時，則  $x_i + (d_i + 1)$ ，反之， $x_i < x_{i-1}$  時，則  $x_i - (d_i + 1)$ ，如下公式(4)所示，最後產一張偽裝影像  $I'$ 。

$$x'_i = \begin{cases} x_i + (d_i + s), & \text{if } x_i \geq x_{i-1} \\ x_i - (d_i + s), & \text{if } x_i < x_{i-1} \end{cases} \quad \text{公式(4)}$$

假設二元樹階層  $L = 3$ ，以圖 3.5(a)為例來說明嵌入機密訊息的過程，一對相鄰的像素值 (15,16) 先利用公式(2)計算出差值  $d_i$ ，因此會得到  $d_1 = 1$ ，當  $d_i < 2^L$  時，利用公式(4)進行判斷，可得到  $x_i \geq x_{i-1}$ ，因此產生偽裝像素值  $x'_1 = 18$ ，接著看下一對相鄰的像素值 (16,14) 也是利用公式(2)計算出差值  $d_i$  因此會得到  $d_2 = 2$ ，利用公式(4)進行判斷，會得到  $x_i < x_{i-1}$ ，在此產生偽裝影像值  $x'_2 = 11$ ，依序類推，此外，當  $d_i \geq 2^L$  時，因影像以水平方式掃描，一對相鄰的像素值 (14,22)，利用公式(2)計算出差值  $d_i$ ，因此會得到  $d_3 = 8$ ，超出差值 0~7 可藏得範圍，此時要利用公式(3)判斷，會得到  $x_i \geq x_{i-1}$ ，產生偽裝影像值  $x'_3 = 22 + 2^3 = 30$ ，最後產一張偽裝影像，如圖 3.5(b)。

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 15 | 16 | 14 | 22 |
| 30 | 26 | 24 | 21 |

(a) 4x2 之原始影像

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 15 | 18 | 11 | 30 |
| 35 | 29 | 28 | 23 |

(b) 4x2 之偽裝影像

圖 3.5 Tai 等學者嵌入的過程

### 3.3 Yoo 等學者提出高容量可逆資訊隱藏利用直方圖修改區塊影像之技術

Yoo 等學者提出基於 Ni 等學者直方圖位移修改區塊影像之資訊隱藏技術，主要是為了解決溢位的問題，因此 Yoo 等學者利用 JBIG 無失真壓縮來解決，達到多次嵌入機密訊息並增加藏量，產生良好的影像視覺品質。以下為 Yoo 等學者提出方法嵌入過程：

以圖 3.6 來說明 JBIG 無失真壓縮的概念，主要是要解決溢位的問題。如果影像中存在像素值 0 和 255，嵌入資料是由 A、B、C 和 D

所組成，A 是八位元(bit)所組成，是要確定壓縮文件長度中的資訊位置，利用  $\lfloor \text{JBIG file size (byte)} / 256 \rfloor + 1$ ，計算出 A，B 是用來表示 JBIG 壓縮實際大小的壓縮文件，如果 A 為 1 位元組(byte)，代表 B 需要用 1 位元組來表示實際大小的壓縮文件。如果 A 為 2 位元組，代表 B 需要用 2 位元組來表示實際大小的壓縮文件。以一個例子來說明，嵌入資料的結構描述如下：如果資訊位置輸入影像的存在和大小的壓縮文件中的資訊位置是 260 位元組，則該 A 是  $00000010_2$  和 B 是  $1111111_2$  與  $00000101_2$ 。下一個 C 和 D 分別是壓縮比資訊位置和純資訊負載量。如果 A 為 0，就不需要 B 和 C。因此，所有的下一個位元組是純資訊負載量的資料。

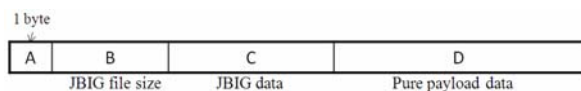


圖 3.6 JBIG 無失真壓縮結構圖

Step1: 檢查原始影像  $I$  是否有下限(Lower Bound) 0 和上限(Upper Bound) 255 的像素值，如這些像素值存在，建立資訊位置(Location Map)並壓縮它，資訊位置是用來記錄溢位的像素值，則這些像素值不存在，直接跳到 Step3。

Step2: 如影像中有溢位像素值 0 和 255，修改像素值後分別為 1 和 254，避免溢位的問題。

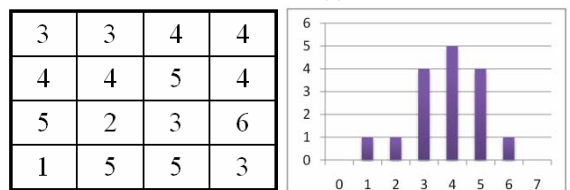
Step3: 將  $I$  分割成不重疊  $4 \times 4$  區塊影像，分別用直方圖  $H(x)$  統計每個區塊影像的分佈情形，並找到兩個尖峰點  $p$  和  $p+1$ 。

Step4: 進行位移兩個尖峰點  $p$  和  $p+1$ ，若遇到  $p$ ，將左邊的像素值皆向左位移一個單位；若遇到  $p+1$ ，將右邊的像素值皆向右位移一個單位。

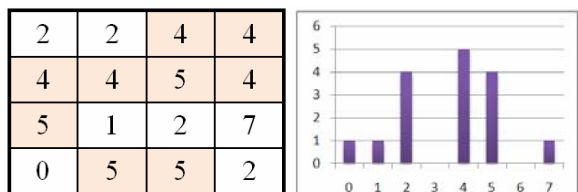
Step5: 當遇到  $p$  和  $p+1$  時，代表可以用來嵌入機密訊息為  $s$ ， $s \in \{0,1\}$ ，當機密訊息  $s=0$  時，像素值不需修改，當機密訊息  $s=1$  時，若遇到  $p$ ，將機密訊息嵌入到經 Step4 位移後所空出的左邊位置中，相對也進行  $x$  的修改；若遇到  $p+1$ ，將機密訊息嵌入到經 Step4 位移後所空出的右邊位置中，並對  $x+1$  做修改，最後得到偽裝影像  $I'$ 。

以圖 3.7 為例來說明嵌入機密訊息的過程，將影像切割成  $4 \times 4$  影像區塊，圖 3.7(a)所示，進行直方圖統計，可得知兩個尖峰點  $p=4$  和  $p+1=5$ ，如圖 3.7(b)所示，接著進行位移，

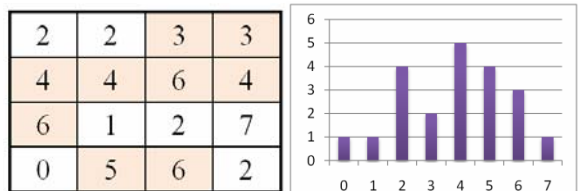
將兩個尖峰點將左右相鄰像素值做位移，因怕嵌入機密訊息時混淆，因此，可得到經位移後所空出的位置的影像如圖 3.7(c)所示，位移後區塊影像直方圖顯示在圖 3.7(d)。假設要藏入的機密資訊  $s=110010101$ 。當  $p=4$  要嵌入機密訊息  $s=1$  時，把該像素值做減 1 變成 3，因有兩個尖峰點，所以要做反方向的藏入機密訊息；反之，若  $p+1=5$  要嵌入機密訊息  $s=1$  時，把該像素值做加 1 變成 6，若嵌入機密訊息  $s=0$  時，則該像素值保持不變。最後可以得到偽裝影像區塊如圖 3.7(e)所示，偽裝影像區塊直方圖則顯示在圖 3.7(f)。



(a) 隱蔽影像區塊 (b) 隱蔽影像區塊直方圖



(c) 位移後影像區塊 (d) 位移後影像區塊直方圖



(e) 偽裝影像區塊 (f) 偽裝影像直方圖

圖 3.7 Yoo 等學者所提出的嵌入過程

### 3.4 Yang 和 Tsai 提出之植基於交錯式預測法之可逆資訊隱藏技術

Yang 和 Tsai 提出採用交錯預測的方法，充分利用每個像素值來進行預測，以達到更正確的預測效果，最後，擁有更大的藏量並有良好的影像品質，因此，Yang 和 Tsai 利用偶數列預測奇數列，再利用奇數列預測偶數列，以下為 Yang 和 Tsai 提出方法嵌入過程：

Step1: 輸入原始影像  $I$ ， $I = \{x_{0,0}, x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{511,511}\}$ ， $x_{i,j}$  為像素值  $0 \leq x_{i,j} \leq 512$ ， $i, j$  為影像中像素值的所在位置，因此  $i, j = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ ， $n$  為影像中像素值的總數。

Step2: 使用原始影像中奇數列像素值做預測， $d_{i,j}$  為預測誤差值，計算方法如公式(5)所示：

$$d_{i,j} = \begin{cases} x_{i,j} - x_{i,j+1}, & j=1; \\ x_{i,j} - \left\lfloor \frac{x_{i,j-1} + x_{i,j+1}}{2} \right\rfloor, & j=3,5,\dots,511. \end{cases} \quad \text{公式(5)}$$

Step3: 利用誤差直方圖  $H(d_{i,j})$  統計奇數列的預測誤差值,  $d_{i,j} \in [-255, 255]$ 。

Step4: 從誤差直方圖  $H(d_{i,j})$  中, 找到兩對尖峰點和零點分別為  $(p_1, z_1)$  和  $(p_2, z_2)$ 。

Step5: 位移尖峰點和零點之間的值

(a) 將在  $p_1$  與  $z_1$  之間的像素值皆向右位移一個位置。

(b) 將在  $p_2$  與  $z_2$  之間的像素值皆向左位移一個位置。

Step6 當預測誤差值  $d_{i,j}$  為  $p_1$  和  $p_2$  的像素值時, 代表可以用來嵌入機密訊息  $s$ ,  $s \in \{0,1\}$ 。

(a) 當嵌入機密訊息  $s=0$  時, 像素誤差值保持不變。

(b) 當嵌入機密訊息  $s=1$  時, 若像素誤差值為  $p_1$ , 則加 1; 若像素誤差值為  $p_2$ , 則減 1。

Step7: 利用像素值的奇數列預測誤差值做反預測, 其中  $x_{i,j}$  為原始影像、 $d'_{i,j}$  為已嵌入機密訊息的像素值, 如公式(6)所示:

$$x'_{i,j} = \begin{cases} d'_{i,j} + x_{i,j+1}, & j=1; \\ d'_{i,j} - \left\lfloor \frac{x_{i,j-1} + x_{i,j+1}}{2} \right\rfloor, & j=3,5,\dots,511. \end{cases} \quad \text{公式(6)}$$

Step8: 接著奇數列改成偶數列, 重複步驟 2-7, 產生偶數列得兩對尖峰點  $p$  和零點  $z$ , 針對偶數列嵌入機密訊息。

Step9: 輸出偽裝影像  $I'$ 。

以圖 3.8 為例來說明嵌入機密訊息。假設有一原始影像  $I$ ,  $I = \{x_{0,0}, x_{0,1}, \dots, x_{0,4}, x_{1,0}, x_{1,1}, \dots, x_{4,4}\}$ , 其大小 5×5 的灰階影像, 如圖 3.8 (a) 所示。針對原始影像中奇數列的像素值做預測編碼, 其  $x_{i,j}$  為原始像素值, 例如  $d_{0,0} = x_{0,0} - x_{0,1} = 2 - 2 = 0$ ;  $I_{0,1}=2$  為偶數列的像素值, 不處理;

$$d_{0,2} = x_{0,2} - \left\lfloor \frac{x_{0,1} + x_{0,3}}{2} \right\rfloor = 3 - \left\lfloor \frac{2+4}{2} \right\rfloor = 0, \text{ 以}$$

此類推, 結果如圖 3.8 (b) 所示。接著將奇數列預測誤差值以直方圖輸出, 如圖 3.8 (c) 所示。然後找出兩點尖峰點與零點, 分別是

$(p_1, z_1) = (0, 2)$  和  $(p_2, z_2) = (-1, -2)$ 。位移後, 其值如圖 3.8 (d) 與圖 3.8 (e) 所示。接著利用預測誤差值為  $p_1$  或  $p_2$  來藏入訊息。假設機密訊息為  $s=01110011001_{(2)}$ , 藏入後其值如圖 3.8(f) 與圖 3.8 (g) 所示。最後, 將每個預測差值做反預測的運算, 例如:

$$I'_{0,0} = d'_{0,0} + x_{0,1} = 0 + 2 = 2; \\ I'_{0,2} = d'_{0,2} - \left\lfloor \frac{x_{0,1} + x_{0,3}}{2} \right\rfloor = -1 + \left\lfloor \frac{2+4}{2} \right\rfloor = 2, \text{ 以}$$

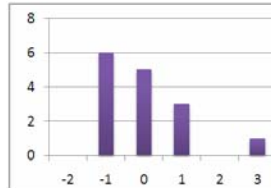
此類推, 即可得到圖 3.8 (h) 的結果, 此時完成奇數列的嵌入動作。由上述的嵌入動作可以得知, 奇數列的像素值其改變量皆小於或等於 1。接著偶數列的像素值做預測編碼, 步驟與奇數列嵌入過程一樣, 此針對偶數列嵌入機密訊息。

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | 3 | 4 | 3 | 3 |

(a) 隱蔽影像

|    |   |    |   |    |
|----|---|----|---|----|
| 0  | 2 | -1 | 4 | 1  |
| -1 | 3 | -1 | 5 | 0  |
| 0  | 1 | 0  | 3 | -1 |
| 3  | 1 | -1 | 3 | 1  |
| -1 | 3 | 1  | 3 | 0  |

(b) 奇數行預測誤差值



(c) 奇數行預測誤差值之直方圖

|    |   |    |   |    |
|----|---|----|---|----|
| 0  | 2 | -1 | 4 | 2  |
| -1 | 3 | -1 | 5 | 0  |
| 0  | 1 | 0  | 3 | -1 |
| 3  | 1 | -1 | 3 | 2  |
| -1 | 3 | 2  | 3 | 0  |

(d) 奇數行預測誤差值位移後的值



(e) 位移後奇數行預測誤差值之直方圖

|    |   |    |   |    |
|----|---|----|---|----|
| 0  | 2 | -1 | 4 | 2  |
| -2 | 3 | -1 | 5 | 0  |
| 1  | 1 | 1  | 3 | -1 |
| 3  | 1 | -2 | 3 | 2  |
| -2 | 3 | 2  | 3 | 1  |

(f) 奇數行藏入機密訊息的值



(g) 奇數行藏入機密訊息之直方圖

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 4 | 7 |
| 0 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 3 | 6 |
| 0 | 3 | 6 | 3 | 4 |

(h) 奇數行藏入訊息後的影像

圖 3.8 Yang 和 Tsai 學者所提出方法之奇數行嵌入過程

此外 Yang 和 Tsai 也提出另一種棋盤式交錯方式, 如圖 3.9 所示, 利用上下左右的四個像素值來進行預測, 且此方法試圖讓原始影像

與偽裝影像之間的差值保持在正負 1。

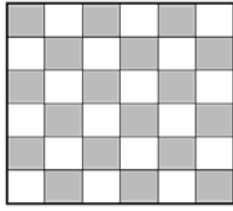


圖 3.9 棋盤式交錯方式

在第一階段，白色像素值進行處理，並預測其鄰近的黑色像素值，然後，在第二階段，黑色像素值進行處理，並預測其鄰近的白色像素值，預測誤差值的計算方法是像素值相鄰像素值平均值之差異。如果像素值  $x_{i,j}$  利用到四個相鄰像素值，其預測誤差值  $d_{i,j}$  是計算方法如公式(7)所示：

$$d_{i,j} = x_{i,j} - \left\lfloor \frac{x_{i-1,j} + x_{i+1,j} + x_{i,j-1} + x_{i,j+1}}{4} \right\rfloor \quad \text{公式(7)}$$

### 3.5 Yang 等學者提出以植基於九宮格預測法之可逆資訊隱藏技術

Yang 和 Tsai 提出利用九宮格預測方法，基於直方圖之可逆資訊隱藏技術，以預測一張可以取出隱藏的資訊並且完整的恢復原始影像，將影像的像素值和預測值之誤差，進行機密訊息的嵌入，可以提高嵌入藏量和有良好的影像品質，以下為 Yang 等學者嵌入過程：

|           |           |           |           |           |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_{0,0}$ | $x_{0,1}$ | $x_{0,2}$ | $x_{0,3}$ | $x_{0,4}$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ |
| $x_{1,0}$ | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ |
| $x_{2,0}$ | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ |
| $x_{3,0}$ | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ |
| $x_{4,0}$ | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ | $C_2$ | $C_1$ |

圖 3.10 5x5 原始影像與四個類別  $C_1, C_2, C_3, C_4$

Step1: 輸入原始影像  $I$ ， $I = \{x_{0,0}, x_{0,1}, \dots, x_{511,511}\}$ ，將原始影像分割為

$C_1, C_2, C_3, C_4$  四個類別，如圖 3.10 所示。

Step2: 針對以下 Steps 3-8 做處理，每個像素值  $x_{i,j}$  落在某個區塊中所對應到  $C_k$  類別，其  $k = 1 \sim 4$ ， $x_{i,j} \in C_k$ ，計算該點預測值，並計算出預測誤差值  $d_{i,j}$ ，計算方法如公式(8)：

$$d_{i,j} = x_{i,j} - \text{mean}(\text{neighboring pixels of } x_{i,j}) \quad \text{公式(8)}$$

Step3: 所有預測誤差值  $d_{i,j}$  產生直方圖  $H(d_{i,j})$ ，其  $x \in [-255, 255]$ 。

Step4: 針對每個類別  $k$ ，從  $H(d)$  找到兩對尖峰點和零點分別為  $(p_1, z_1)$  和  $(p_2, z_2)$ ，並令

$$p_1 > p_2。$$

Step5: 令  $d'_{i,j}$  為新的預測誤差值：

(a) 符合  $d_{i,j} \in [p_1 + 1, z_1 - 1]$ ，則將

$$d'_{i,j} = d_{i,j} + 1。$$

(b) 符合  $d_{i,j} \in [z_2 + 1, p_2 - 1]$ ，則將

$$d'_{i,j} = d_{i,j} - 1。$$

Step6: 當預測誤差值  $d_{i,j}$  等於  $p_1$  和  $p_2$  時，代表可以用來嵌入機密訊息  $s \in \{0, 1\}$ ，可得到新的預測誤差值  $d'_{i,j}$ ：

(a) 當嵌入機密訊息  $s = 0$  時， $d_{i,j} = d'_{i,j}$ 。

(b) 當嵌入機密訊息  $s = 1$  時，則

$$d'_{i,j} = \begin{cases} d_{i,j} + 1, & d_{i,j} = p_1, \\ d_{i,j} - 1, & d_{i,j} = p_2. \end{cases}$$

Step7: 求偽裝像素值  $x'_{i,j}$ ，該為公式(9)所示：

$$x'_{i,j} = d'_{i,j} + \text{mean}(\text{neighboring pixels of } x_{i,j}) \quad \text{公式(9)}$$

Step8: 輸出偽裝影像  $I'$ ，求得八組尖峰點和零點  $(p_{k,1}, z_{k,1})$  和  $(p_{k,2}, z_{k,2})$ ， $k = 1, 2, 3, 4$ 。

圖 3.11 為例來說明嵌入機密訊息過程中。假設有一原始影像  $I$ ，其為  $5 \times 5$  原始影像大小， $I = \{x_{0,0}, x_{0,1}, \dots, x_{5,5}\}$ ，如圖 3.11 (a) 所示，將原始影像分割為  $C_1, C_2, C_3, C_4$  四個類別，例：

$C_1 = \{x_{0,0}, x_{0,2}, x_{0,4}, x_{2,0}, x_{2,2}, x_{2,4}, x_{4,0}, x_{4,2}, x_{4,4}\}$ ，依序  $C_1, C_2, C_3, C_4$  進行處理，本例針對  $C_1$  進行說明，首先，利用公式(8)，計算出預測誤差值  $d_{i,j}$ ，而  $d_{i,j}$  有三種情形：

$$(a) d_{0,0} = x_{0,0} - \left\lfloor \frac{x_{0,1} + x_{1,0} + x_{1,1}}{3} \right\rfloor = 6 - 6 = 0$$

$$(b) d_{0,2} = x_{0,2} - \left\lfloor \frac{x_{0,1} + x_{0,3} + x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3}}{5} \right\rfloor = 6 - 5 = 1$$

$$(c) d_{2,2} = x_{2,2} - \left\lfloor \frac{x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{2,1} + x_{2,3} + x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3}}{8} \right\rfloor = 4 - 5 = -1$$

預測誤差值結果，如圖 3.11(b) 所示，從預測誤差直方圖中找到兩對尖峰點和零點分別為  $(p_{1,1}, z_{1,1}) = (1, 3)$  和  $(p_{1,2}, z_{1,2}) = (0, -2)$ ，如

圖 3.11 (c)所示，接著進行位移，將兩個尖峰點將左右相鄰預測誤差值做位移，因怕嵌入機密訊息時混淆，位移後，可得到經位移後所空出的位置的影像，如圖 3.11(d)所示，位移後預測誤差直方圖顯示在圖 3.11(e)。接著進行嵌入機密訊息  $s$ ，假設機密訊息  $s = 0111001_{(2)}$ ，當遇到  $p_{1,1}, p_{1,2}$  時，代表可以用來嵌入機密訊息，當機密訊息  $s = 1$  時，若  $p_{1,1} = 1$ ，將機密訊息嵌入到經位移後所空出的右邊位置中把誤差像素值  $d_{1,1} + 1$ ，因有兩個尖峰點，所以要做反方向的藏入機密訊息；反之，若  $p_{1,2} = 0$ ，將機密訊息嵌入到經位移後所空出的左邊位置中，並對誤差像素值  $d_{1,2} - 1$  做修改。若嵌入機密訊息  $s = 0$  時，則誤差像素值保持不變，如圖 3.11(f)與圖 3.11(g)所示。最後，利用公式(9)計算出偽裝像素值  $x'_{i,j}$ ，就可得到偽裝影像  $x'_{i,j}$ ，如圖 3.11(h)所示。

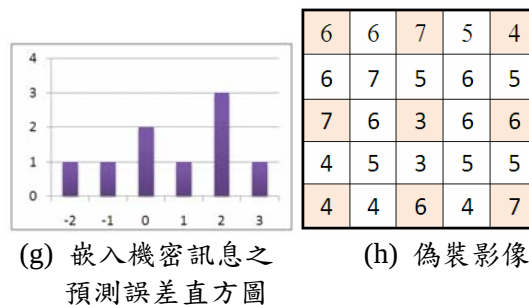
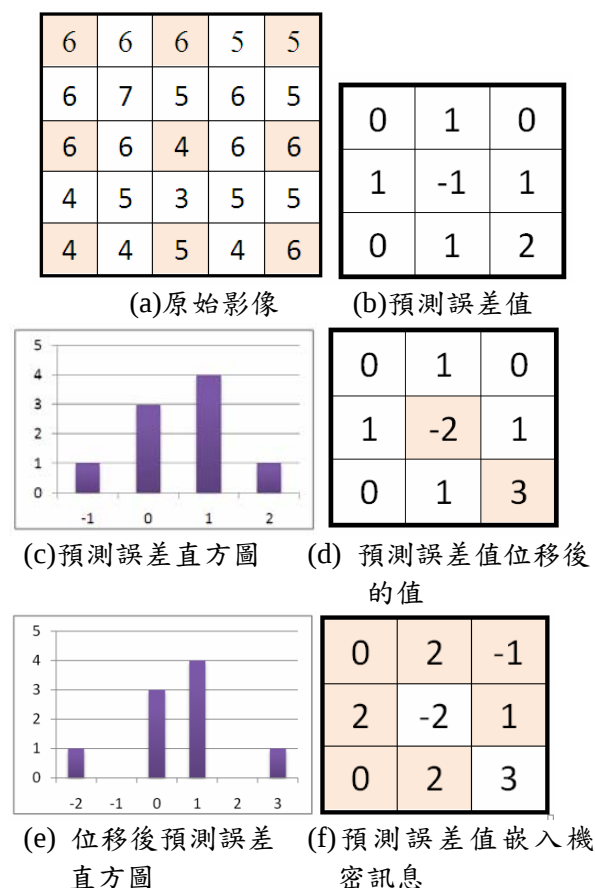


圖 3.11 Yang 等學者提出的方法嵌入過程

Yang 和 Tsai 提出的方法能藏入大量的資訊而不會導致嚴重影像失真程度。在單層的藏入下，可將影像品質保持在大於 48 dB 且具有最大嵌入量。此外，在多層嵌入下，也能夠成功地增加直方圖的資訊隱藏方法之嵌入量並且保持良好的影像品質。

### 3.6 植基於直方圖之可逆式資訊隱藏技術比較

近幾年來，有許多學者針對植基於直方圖之可逆式資訊隱藏更進一步的探討，為了讓直方圖能產生更高的尖峰點，使藏量增加，至今已有許多學者提出植基於直方圖各種走訪方法，在這裡整理出針對各方法的特質進行比較，如表 3 所示。

已提出植基於直方圖走訪方法，可分為第一種「鋸齒式」是利用直方圖統計影像中的所有像素值，可達到相當良好的影像品質都有 48dB 以上。第二種「螺旋式」是用順時針或逆時針從外邊的原始影像向內部掃描影像，在嵌入機密訊息時，以減少對影像造成過多的破壞，保有良好的影像品質上至少都有 48 dB 以上，並可以減少額外資訊，並提高藏量和影像品質。第三種「水平式」走訪方式與鋸齒式相反，主要目的能有效減少額外資訊，增加藏量與良好的視覺品質。第四種「交錯預測」是讓每個像素都有被預測到的機會，然後將預測誤差值轉換為直方圖，以創造出更高的尖峰點，讓隱藏的資訊量大幅的提昇。並且，對於每一個像素而言，其在原始影像和偽裝影像中的誤差值，也都能維持在正負 1 以內，因此，視覺影像至少都有 48 dB 以上。第五種「棋盤式」是棋盤式預測編碼法的技術，與交錯預測走訪方式一樣，讓每個像素都有被預測到的機會，並且提高預測的準確度。將預測誤差值轉換為直方圖，可以創造更高的尖峰點，讓隱藏的資訊量大幅的提昇。此外，對於每一個像素而言，在原始影像和偽裝影像中的誤差值，都能

維持在正負 1 以內。第六種「九宮格預測」利用所有像素和預測值之間的預測誤差，能提供良好的嵌入藏量而不明顯失真；在單層的嵌入，影像品質仍然有大於 48dB。此外，在多層次的嵌入情況下，也能保持影像品質良好。

植基於直方圖之可逆式資訊隱藏技術比較，針對各方法的特點、藏量(Capacity)、視覺影像品質(PSNR)及溢位等問題進行相關比較如表 4 所示。從表 4 可以看到，Yang 等學者的交錯式、棋盤式與九宮格是利用鄰近像素差值來藏入機密訊息，可得良好的影像品質，都

有 48.8dB 以上。以藏量來說，是 Yang 和 Tsai 學者利用棋盤預測的方法最好，可以達到更大的藏量，但也必須記錄額外資訊來取出機密訊息及影像的還原，但在這五種方法中，Yoo 等學者提出基於直方圖修改區塊影像，不同於其他學者利用鄰近像素差值來提升嵌入藏量，Yoo 等學者是針對每個區塊影像找到兩個尖峰點來進行嵌入機密訊息，就能提高嵌入藏量，視覺影像品質保持 48dB 以上，並解決溢位問題。

表 3 植基於直方圖之走訪方法比較表

| 比較<br>方法 | 學者提出的方法                   | 特質                                                      |
|----------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
| 鋸齒式      | Ni[8]、Yoo, Lee & Suh[11]  | 利用直方圖統計原始影像中的所有像素值，將機密訊息嵌入到尖峰點。                         |
| 螺旋式      | Hong, Shiu & Chen[9]      | 掃描影像採用順時針或逆時針從外邊的原始影像向內部掃描，嵌入機密訊息時，以減少影像造成過多破壞。         |
| 水平式      | Tai, Yeh & Chang[10]      | 與「鋸齒式」走訪方式相反。                                           |
| 交錯預測     | Yang & Tsai[12]           | 讓每個像素都有被預測到的機會，此方法可大幅的提昇資訊嵌入量，並維持良好的影像品質。               |
| 棋盤式      | Yang & Tsai[12]           | 與交錯預測走訪方式一樣，讓每個像素都有被預測到的機會，將機密訊息藏到預測差值並提高預測準確度，增加藏量。    |
| 九宮格預測    | Yang, Hsu, Wu, & Wang[13] | 是利用原始像素值與預測值之間的預測誤差值嵌入機密訊息，讓預測誤差值趨近於 0，因此偽裝影像與原始影像非常相近。 |

表 4 植基於直方圖之可逆式資訊隱藏技術比較表

| 比較<br>方法             | 特點                                                                                          | 直<br>方<br>圖 | 誤<br>差<br>圖 | 走<br>訪<br>方<br>式 | Capacity | PSNR<br>(dB) | Payload<br>(bpp) | 溢<br>位<br>問<br>題 | 區<br>塊<br>化 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|------------------|----------|--------------|------------------|------------------|-------------|
| Ni[8]                | 利用統計影像中的像素值所產生出的直方圖，由於像素的位移量不多，可達到相當良好的影像品質，但藏量太低。                                          | ✓           |             | 鋸齒式              | 8,588    | 48.23        | 0.13             | Yes              | No          |
| Hong, Shiu & Chen[9] | 透過螺旋的方式從外邊的原始影像向內部嵌入，達到更大藏量及視覺影像品質都有不錯的表現，並可以減少額外資訊。                                        | ✓           |             | 螺旋式              | 9,562    | 48.24        | 0.04             | No               | Yes         |
| Tai, Yeh & Chang[10] | 將機密訊息嵌入像素差異值，達到多層嵌入，所以有相當高的藏量，由於藏量與影像品質是成反比的關係，雖然藏量可以隨著自己的喜好嵌入，另外，此方法對額外訊息做 Run-Length 的壓縮。 |             | ✓           | 水平式              | 25,770   | 48.35        | 0.10             | No               | No          |
| Yoo, Lee & Suh[11]   | 基於直方圖修改區塊影像，提高嵌入藏量，同時影像視覺品質保持低失真的狀態，解決溢位問題。                                                 | ✓           |             | 鋸齒式              | 71,209   | 48.76        | 0.27             | No               | Yes         |
| Yang & Tsai[12]      | 採用交錯預測的方法，主要是加強了基於直方圖的藏量，充分利用更多的像素值來進行預測已達到更正確的                                             |             | ✓           | 交錯式              | 70,812   | 48.77        | 0.27             | No               | Yes         |

|                           |                                                                                   |   |     |        |       |      |    |     |  |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---|-----|--------|-------|------|----|-----|--|
|                           | 預測效果，最後，不但擁有更大的藏量，也保持住好的影像品質。                                                     |   |     |        |       |      |    |     |  |
| Yang & Tsai[12]           | 採用棋盤的方法，充分使用每個像素值，讓每個像素值都可以被預測的機會，讓預測誤差值趨近於 0，因此偽裝影像與原始影像非常相近，並提高預測準確性，但需記錄額外的資訊。 | ✓ | 棋盤式 | 75,276 | 48.82 | 0.29 | No | Yes |  |
| Yang, Hsu, Wu, & Wang[13] | 採用九宮格預測方法，直方圖的建立是利用所有的像素值和預測值之誤差並提高準確性，但區塊化與誤差圖須記錄額外資訊。                           | ✓ | 九宮格 | 74,911 | 48.82 | 0.29 | No | Yes |  |

#### 4. 結論

在過去可逆式資訊隱藏技術嵌入量低，並在嵌入機密資訊時，會產生額外資訊來輔助機密訊息的取出及影像的還原，而基於改善直方圖位移之可逆式資訊隱藏技術，可以改善這些問題，降低記錄額外資訊，達到高機密資訊嵌入量與良好的偽裝影像品質，而基於改善直方圖位移之可逆式資訊隱藏技術探討的這五種方法中，以藏量來說，是 Yang 和 Tsai 學者之利用棋盤預測的方法最好，可以達到更大的藏量，也有良好的影像品質，但也必須記錄額外資訊來取出機密訊息及影像的還原，但在這五種方法中，以 Yoo 等學者提出以基於直方圖修改區塊影像，就達到提高嵌入藏量，同時影像視覺品質保持低失真的狀態，解決溢位問題。因此，這些方法比過去可逆式資訊隱藏技術較為優異。

#### 參考文獻

- [1] 呂慈純、陸哲明、張真誠，*多媒體安全技術*，台北市：全華圖書股份有限公司，2007。
- [2] R.Z. Wang, C.F. Lin, and J.C. Lin, "Image Hiding by Optimal LSB Substitution and Genetic Algorithm," *Pattern Recognition*, vol. 34, no. 3, pp. 671-683, 2001.
- [3] C.C. Chang, J.Y. Hsiao, and C.S. Chan, "Finding Optimal Least-Significant-Bit Substitution in Image Hiding by Dynamic Programming Strategy," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 7, pp. 1583-1595, 2003.
- [4] J. Mielikainen, "LSB Matching Revisited," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 13, no. 5, pp. 285-287, 2006.
- [5] C.F. Lee and H.L. Chen, "A Novel Data Hiding Scheme Based on Modulus Function," *Journal of Systems and Software*, Volume 83, Issue 5, Pages 832-843, May 2010.
- [6] J. Tian, "Reversible Data Embedding Using a Difference Expansion," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 890-896, 2003.
- [7] A. M. Alattar, "Reversible Watermark Using the Difference Expansion of a Generalized Integer Transform," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 8, pp. 1147-1156, 2004.
- [8] S.K. Yip, O.C. Au, H.M. Wong, and C.W. Ho, "Generalized Lossless Data Hiding by Multiple Predictors," *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Island of Kos, pp. 1426-1429, 2006.
- [9] C.F. Lee and H.L. Chen, and H.K. Tso, "Embedding Capacity Raising in Reversible Data Hiding Based on Prediction of Difference Expansion," *Journal of Systems and Software*, Volume 83, Issue 10, pp. 1864-1872, October 2010.
- [10] Zhicheng Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, and Wei Su, "Reversible Data Hiding," *Proceedings of IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 2, pp. II-912-II-915, 2003.
- [11] W. Hong, C.W. Shiu, and T.S. Chen, "A High Quality Histogram Shifting Based Embedding Technique for Reversible Data Hiding," *Proceedings of Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Kaohsiung, vol. 3, pp. 183-187, 2008.
- [12] W.L. Tai, C.M. Yeh, and C.C. Chang, "Reversible Data Hiding Based on Histogram Modification of Pixel Differences," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 6, pp. 906-910, 2009.
- [13] H.M. Yoo, S.K. Lee, and J.W. Suh, "High Capacity Reversible Data Hiding Using the Histogram Modification of Block Image," *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Paris, pp. 1137 - 1140, 2010.
- [14] C.H. Yang and M.H. Tsai, "Improving Histogram-Based Reversible Data Hiding by Interleaving Predictions," *Institution of Engineering and Technology of Image Processing*, vol. 4, no. 4, pp. 223-224, 2010.
- [15] C.H. Yang, F.H. Hsu, Mi.H. Wu, and Shih-Jeng Wang, "Improving Histogram-based Reversible Data Hiding By Tictactoe midlet Predictions," *Proceedings of The Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC 2010)*, Shenzhen, China, 2010.