

高藏量之邊緣吻合預測之可逆式資訊隱藏法

李金鳳
朝陽科技大學資訊管
理系副教授
lcf@cyut.edu.tw

蔡蕙如
朝陽科技大學資訊管
理系碩士生
s9814624@cyut.edu.tw

摘要

隨著科技日益發達，傳遞訊息的方式也層出不窮，例如：機密訊息可以隱藏在影像裡並送出且不被任何人察覺。本篇提出一種基於鄰近像素值的預測並結合直方圖位移法之可逆式資訊隱藏技術。本篇方法用了兩個相鄰的像素值做預測，這方法源自於 Chang 和 Tseng 學者於 2004 年所提出的方法，但是 Chang 和 Tseng 學者的方法是一項不可逆的技術，因此本方法改善 Chang 和 Tseng 學者的方法使之成為一項可逆式資訊隱藏技術。此外，本方法運用直方圖位移操作法，在不劇烈影響影像失真下，提升本方法的藏量。本論文實驗影像中，平均嵌入量達 1.10bpp 時，其 PSNR 值可維持在 42.11dB 左右，故本方法的藏量及視覺品質皆有極佳的表現。

關鍵詞：邊緣吻合、預測、直方圖位移。

1. 前言

迄今，在資訊安全領域裡，影像隱藏技術已是相當重要的一環應用。影像隱藏研究領域當中空間域的方法是直接在像素上做資訊的藏匿，故不需要花費太多的電腦運算時間，複雜度相較於其他領域如頻率域等也較為簡便。一般而言，眾所皆知的資訊隱藏法為 Least Significant Bit, (LSB)[12]，此方法只需將像素值轉成二進制表示式後，讓不是 0 就是 1 的機密訊息直接取代最右邊的位元即可達到資訊隱藏的效果。但是 LSB 的藏密方式其實並不安全，主要是偽裝影像會被偵測出不尋常的特徵值[7]，進而被判定有藏入機密訊息，所以陸陸續續有學者提出各式各樣的方法取代 LSB 方法[3, 2, 11]。以上藏匿法皆無

法還原影像到沒被破壞的原始模樣，故稱為不可逆式資訊隱藏技術。因此不可逆資訊隱藏技術並不適用在醫療或是軍事的影像上，一些重要的醫療影像或是軍事影像皆須要讓影像還原至初始狀態以利辨識，所以可逆式影像隱藏技術漸漸受到重視也因此應運而生。可逆式隱藏技術為了讓影像得以還原因此必須記錄額外資訊，而這些額外資訊成為嵌入訊息的一部份，故藏量往往不如不可逆式影像隱藏技術。圖像在嵌入訊息的同時相對地也對圖像造成某種程度的破壞，要如何在影像的藏量及品質上做取捨，使影像品質及藏量都能達到一個好的平衡點是評斷一項影像隱藏技術的標的。

不可逆式影像隱藏技術中大致上都擁有 1bpp 以上的藏量[3, 1]，除了上述提過的 LSB 技術之外，2004 年 Chang 和 Tseng 學者所提出的技術也是相當具有代表性[1]。此為早期利用鄰近邊緣來預測像素值的技術，以原始像素及預測像素的差值來推測原始像素落於邊緣區塊或是平滑區塊，並針對不同區塊嵌入不等量的機密訊息。以人類視覺系統的角度來看，平滑區塊若經大幅修改易容易被發覺影像遭到竄改，因此平滑區塊能嵌入的機密訊息量有限；複雜區塊大幅修改後，影像失真程度較不易被肉眼察覺，故可嵌入較多的機密訊息，由此可得知 Chang 和 Tseng 學者的技術較擅長處理複雜影像，如“Baboon”的嵌入量可高達 2bpp，而視覺品質也可維持在 33.53dB，屬於人類視覺品質可容忍的範圍內。

除了不可逆式影像隱藏技術外，從 2003 年開始 Tian 學者[9]提出可逆式影像隱藏技術，可逆式影像隱藏技術訴求可將偽裝影像的機密訊息取出外，還能將偽裝

影像還原至原始影像，適用於醫學、軍事影像。可逆式影像隱藏技術除了早期的 Tian 學者提出的差值擴張法外，另一相當著名的技術為 2006 年 Ni 學者提出的直方圖位移法[15]，此方法的宗旨為將所有的像素值進行統計，將機密訊息嵌入眾數之中，此方法的特色為偽裝影像將擁有相當高的 PSNR 值，無論是平滑影像“Lena”或是如“Baboon”這種較複雜的影像都能有 48dB 左右的 PSNR 值，雖然影像保優越的視覺品質，但是藏量卻只有 0.2bpp 左右，終究無法藏入大量資訊。

本篇將提出一種可逆式資訊隱藏技術，並進行兩層的訊息嵌入以獲取高藏量。首先，先是利用鄰近的像素值進行預測，預測出與原始像素值相似的預測像素值後，對原始與預測像素值間相減的差值進行第一層的嵌入，由於本方法為一個可逆式資訊隱藏技術，因此本方法在第一層嵌入的同時把可以還原的依據記錄下來，並將這些可以還原的依據進行第二層的機密訊息嵌入，以獲取較高的資訊負載量。由於本方法是對額外資訊進行第二層次的嵌入，因此嵌入過程並不會直接傷害到影像本體，故本方法的影像品質仍可維持在相當優良的水準。目前影像隱藏技術裡，目前技術對於平滑影像的處理皆較優於對複雜影像的處理[4, 10, 15]，本方法在平滑影像上的處理雖也是優於複雜影像，但是複雜影像能獲得的藏量及影像品質仍不差。由於第一層嵌入時須記錄的額外資訊具有一定的相似性，表示這些值將都相當集中，因此若採用直方圖位移操作作為第二層的嵌入將十分有助於藏量的提升，且直方圖位移操作的修改幅度並不大，因此這些經第二層嵌入的額外資訊仍能獲得適當的壓縮，最後這些被高度壓縮過後的數據，本方法是以 1LSB 的方式嵌入至中介影像上，故本方法的失真程度並不會太劇烈，而本實驗數據也顯示出平均 PSNR 值約為 42.3dB 左右，具有相當不錯的品質。以“Peppers”與“F1”兩影像來說，藏量的表現皆優於 2004 年 Chang 和 Tseng 學者所提的不可逆資訊方法，兩影像幾乎能藏 1.37bpp。可逆

式影像隱藏技術為了使影像得以還原，藏密過程中勢必額外記錄一些額外訊息，為了不讓傳送收方時有傳輸上的負擔，本方法將額外訊息嵌入至中介影像中，以降低傳輸負擔。

本方法的結構如下，章節 2 將回顧 Chang 和 Tseng 學者所提的邊緣吻合法，其中 2.1 小節為機密訊息的嵌入，2.2 小節為機密訊息的取出。於章節 3 當中將由兩個小節來介紹本篇論文所提出的方法，分別為 3.1 小節本方法的嵌入程序及 3.2 小節本方法的機密訊息取出程序及影像還原，章節 4 為本實驗的研究結果，最後第 5 章節則是本實驗的結論。

2. 文獻探討

在 2004 年 Chang 和 Tseng 學者[1]提出了邊緣吻合方法〈Sided Match〉，主要概念是來自 Kim 的 SMVQ[13]。Chang 和 Tseng 學者以兩兩相鄰的像素會非常相像的特性進行資訊的嵌入，此方法採用原始像素中鄰近的上及左邊緣像素值做為參考依據，預測出相似的像素值，將預測像素值與原始像素值相減求其差異值後並嵌入機密訊息。由於差異值可推測出該像素值是落入影像邊緣區或是平滑區，因此可發現 Chang 和 Tseng 學者的方法在邊緣區可藏入較多的訊息，以下為 Chang 和 Tseng 學者所提的方法。最上及最左邊的像素值為此方法的保留區塊，不做任何訊息的嵌入，嵌入訊息則從第二列第二行的像素開始以 Z 字型的方向進行機密資訊的嵌入。

2.1 訊息嵌入

假設有一個 2×2 的影像區塊如圖 1 所示，灰色部分為不做嵌入的區塊，其像素值 $I_{i,j}$ 為欲嵌入之像素值， $I_{i,j}$ 最鄰近的上邊緣像素值及左邊緣像素值分別為 $I_{i-1,j}$ 及 $I_{i,j-1}$ ， $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ 為機密訊息且 $s_i \in \{01\}$ 。首先，先求出兩像素值間之平均值也就是利用兩鄰近像素預測出來的值

	$I_{i-1,j} = 130$
$I_{i,j-1} = 140$	$I_{i,j} = 110$

圖 1 原始像素之灰階值

	$I'_{i-1,j} = 130$
$I'_{i,j-1} = 140$	$I'_{i,j} = 107$

圖 2 偽裝像素之灰階值

$\hat{I}_{i,j}$ ，將預測值減去原本的像素值 $I_{i,j}$ ，即可求得第一個絕對差異值 d ，意即

$$\hat{I}_{i,j} = \left\lfloor \frac{I_{i-1,j} + I_{i,j-1}}{2} \right\rfloor, \quad d = \left| \hat{I}_{i,j} - I_{i,j} \right|。$$

從絕對差異值 d 可以觀察出當差異值越大時，該像素值 $I_{i,j}$ 可能落於邊緣的區塊；

相反的，差異值越小則表示像素值 $I_{i,j}$ 可能落於較平滑的區塊。接著計算 $I_{i,j}$ 能嵌入多少位元個數。以 $I_{i,j}$ 為例， $I_{i,j}$ 與預測像素值

$\hat{I}_{i,j}$ 之絕對差異值 d 可用 $k = \lfloor \log_2 d \rfloor$ 個串流位元來表示 $I_{i,j}$ 可嵌入的資訊含量，表示可將 k 個位元的機密訊息藏入絕對差值 d 中。再令 $dec(S)$ 表示機密訊息 S 的十進制數值。機密訊息 S 嵌入後的新差值為 $d' = 2^k + dec(S)$ 。將預測出來的像素值扣除新差值則可求得偽裝像素值

$$I'_{i,j} = \left\lfloor \frac{(I_{i-1,j} + I_{i,j-1})}{2} \right\rfloor - d'。$$

以下將由範例一來說明 Chang 和 Tseng 學者使用此方法將機密資訊進行嵌入的步驟，針對一張掩護影像除了第一列與第一行不藏訊息之外，將影像切成大小為 2×2 的重疊區塊，以 Z 字型的方式逐步嵌入訊息到區塊中。

範例一：假設有一 2×2 的原始像素如圖 1，要藏機密訊息的像素值為 $I_{i,j} = 110$ ， $I_{i,j}$ 鄰近的上邊緣為 $I_{i-1,j} = 130$ ，而左邊緣則為 $I_{i,j-1} = 140$ ，機密訊息為 $S = 1100$ 。

先計算出 $I_{i,j}$ 的絕對差值為 $d = |(130 + 104) / 2 - 110| = 25$ 。接著看 $I_{i,j}$ 可藏入多少個機密訊息，算法為 $k = \lfloor \log_2 25 \rfloor = 4$ ，由此得知在 $I_{i,j}$ 像素值裡可以嵌入 4 個 bits 的

機密訊息為 $dec(S) = 1100_2 = 12$ 。藉此現在可求出新的差異值 $d' = 2^4 + 12 = 28$ 。最後這步驟則為計算 $I_{i,j}$ 的偽裝像素為 $I'_{i,j} = (130 + 140) / 2 - 28 = 107$ 。而且 $I'_{i-1,j} = I_{i-1,j}$ 及 $I'_{i,j-1} = I_{i,j-1}$ ，意即 $I_{i,j}$ 之上方及左方像素值皆保持不變。

2.2 訊息取出與影像還原

上述為 Chang 和 Tseng 學者的嵌入步驟，在此要介紹取出的步驟，取出時相當簡單，程序與做法跟嵌入時差不多，一樣是以 Z 字型掃描方式對機密訊息做取出，先利用偽裝像素 $I'_{i,j}$ 的上邊緣與左邊緣像素值做預測，預測像素值為

$$\hat{I}_{i,j} = \left\lfloor \frac{I'_{i-1,j} + I'_{i,j-1}}{2} \right\rfloor，$$

並計算偽裝像素值 $I'_{i,j}$ 與預測像素值 $\hat{I}_{i,j}$ 之差值 d' ，透過絕對差值來求得當時嵌入幾個串流位元為 $k = \lfloor \log_2 d' \rfloor$ ，也是 $I'_{i,j}$ 與 $\hat{I}_{i,j}$ 間的參數。新差異值 $d' = 2^k + dec(S)$ ，where $|S| = k$ ，意即原始像素值 $I_{i,j}$ 修改為偽裝像素值 $I'_{i,j}$ 時，其修改範圍不超過兩倍的 2^k 。故取出機密訊息時只需讓新差異值 d' 扣除 2^k 即可還原至當時所嵌入的訊息，即 $S = d' - 2^k$ 。取出範例本篇則以範例二進行說明：

範例二：假設有一張 2×2 的偽裝影像如圖 2。現在要取出偽裝像素 $I'_{i,j}$ 裡的機密訊息，而 $I'_{i,j}$ 鄰近的上邊緣與左邊緣的像素值分別為 $I'_{i-1,j} = 130$ 及 $I'_{i,j-1} = 140$ 。

首先，計算出 $I'_{i,j}$ 的差異值 $d' = \left\lfloor \frac{(130 + 140)}{2} \right\rfloor - 107 = 28$ 第二步開始

利用差值 $d'=28$ 算出 $I'_{i,j}$ 的資訊含量，算法為 $k = \lfloor \log_2 28 \rfloor = 4$ 嵌入前對差值所作的清空動作，也就是將末 4 個位元設為 0。接著，新的差值 d' 是將機密訊息填入末 k 個位置裡面，由 $d' = 2^k - dec(S)$ 表示之，故只需將新差值扣除當時嵌入的 k 個串流位元，該 k 個位元皆不為 0，最後所剩餘的值則為當時所嵌入之機密訊息，此例當時所嵌入之機密訊息為 $dec(S) = 28 - 2^4 = 12 = (1100)_2$ 。

介紹至此，從 Chang 和 Tseng 學者的方法當中可以觀察出，求取偽裝像素值 $I'_{i,j}$ 的新差異值 d' 時，其實是取代原始絕對差值 d ，原始絕對差值則不保存，當機密訊息還原時只能還原到新差異值 d' ，所以只能將機密訊息還原而原始影像卻無法恢復至無修改狀態，故此方法為一個不可逆之影像隱藏方法。

3. 本文方法

由於可逆式資訊隱藏法適用於醫療或軍事影像等等，故為近年來相當熱門的研究議題[6, 8, 14]，然而要如何藏在藏量及影像品質間取得一個最佳的平衡點也是每個可逆式隱藏法須思量的方向。

本研究基於鄰近邊緣的預測，提出一項可逆式資訊隱藏法，另外也利用額外資訊具相似的特性，對這些額外資訊進行第二層的訊息嵌入，來提升本方法之資訊負載量並讓影像維持在優質的視覺品質內。因此，本方法平均每張影像藏量達 1.10bpp 左右的同時，影像品質仍能維持在 42dB 左右的高視覺品質。為了詳細介紹本篇方法的嵌入動作並達成正確的取出及影像還原的部分，故將在章節 3.1 及章節 3.2 做詳述。

3.1 訊息嵌入

假設有一原始影像 I 及一串機密訊息 S 。嵌入步驟則分為兩大階段，第一個嵌入階段是將機密訊息嵌入在同差值位元長

度的位元串流上並產生一張中介影像，為了讓影像得以還原並增加影像傳輸上的安全性及藏量，第二個嵌入階段則對差值進行的處理與記錄，並以直方圖位移的方式將機密訊息進行第二次嵌入，為了進行更詳盡的說明，以下為嵌入步驟：

步驟一：利用兩相鄰邊緣作預測，於是可先利用公式 1 計算像素值 $I_{i,j}$ 的預測像素值 $\hat{I}_{i,j}$ 。

$$\hat{I}_{i,j} = \left\lfloor \frac{I_{i,j-1} + I_{i-1,j}}{2} \right\rfloor \quad \text{公式 1}$$

步驟二：讓像素值與預測像素值相減後取絕對差值 d ，如公式 2 所示。

$$d = |I_{i,j} - \hat{I}_{i,j}| \quad \text{公式 2}$$

步驟三：此步驟為求得 $I_{i,j}$ 能嵌入多少個機密訊息之串流位元，故透過絕對差值 d 來計算 k ， k 為像素值 $I_{i,j}$ 能嵌入的機密訊息之串流位元，計算方式如公式 3 所示。

$$k = \lfloor \log_2 d \rfloor \quad \text{公式 3}$$

步驟四：機密訊息 S 的集合為 $S = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_{i+k-1}\}$ 。將 k 單位為一組的機密訊息 S 直接取代原始二進制差值位元之 k 個單位，轉成十進制後則會產生一個新差值 d' ，此外也可依照公式 4 進行運算， $dec(S)$ 為 k 單位為一組的機密訊息 S 之十進制表示式。

$$d' = 2^k + dec(S) \quad \text{公式 4}$$

步驟五：利用預測像素值 $\hat{I}_{i,j}$ 及新差值 d' 以公式 5 的方式計算中介像素值 $t_{i,j}$ 。重複執行步驟一至步驟五可完成一張大小為 $M \times M$ 的中介影像 T ，同時也結束第一層的嵌入動作。

$$t_{i,j} = \begin{cases} \hat{I}_{i,j} + d', & \text{if } I_{i,j} \geq \hat{I}_{i,j}, \\ \hat{I}_{i,j} - d', & \text{if } I_{i,j} < \hat{I}_{i,j}. \end{cases} \quad \text{公式 5}$$

步驟六：將所有第一層被取代的絕對差值位元轉成十進制在此定義為近似差 \bar{d} 。統計所有近似差 \bar{d} 個數，

出現最多次的 \bar{d} 定義為峰值 ρ ，完全沒出現過的 \bar{d} 則定義為零值 0 。令峰值 ρ 左右的直方組分別為 H_+ 與 H_- 。

步驟七：根據公式 6 決定最佳位移方向 δ 。

$$\delta = \begin{cases} 1, & H_+ \leq H_- \\ -1, & H_+ > H_- \end{cases} \quad \text{公式 6}$$

步驟八：為讓未來能準確取出機密訊息並還原近似差 \bar{d} ，故須根據公式 7 對近似差 \bar{d} 進行位移並產生新的近似差 \bar{d}' 。

$$\bar{d}' = \begin{cases} \hat{d}+1, & \text{if } \delta = -1, \\ \hat{d}-1, & \text{if } \delta = 1, \end{cases} \quad \text{公式 7}$$

步驟九：根據公式 8 進行第二層訊息嵌入，並產生新的近似差 \bar{d}' 。

$$\bar{d}' = \hat{d} + s \times \delta \quad \text{for } \hat{d} = \rho \quad \text{公式 8}$$

步驟十：取出中介影像 T 中的每個中介像素值 $t_{i,j}$ 之最不重要位元，形成一張 Bit Map 後並定義為 $BM = LSB(T)$ 將 BM 以算數編碼法壓縮後轉成二進制以形成 CCD_1 。將新的近似差 \bar{d}' 壓縮並轉成二進制後會形成 CCD_2 。將兩壓縮碼結合形成一串壓縮碼 $CCD = CCD_1 \parallel CCD_2$ 。

步驟十一：將壓縮碼 CCD 以 1LSB 的方式嵌入至中介影像 T 當中便得以完成整張影像的嵌入並形成偽裝影像 I' 。

為了更深入了解本篇所提的方法，以下由範例三詳細說明本篇方法的嵌入步驟。

範例三：假設有一 512×512 的原始影像如

範例四：圖 3 所示，欲嵌入之機密訊息為 $S = 11001000010$ ，第一行第一列不作任何嵌入動作，而嵌入程序則從 $I_{1,1}$ 開始。

利用相鄰邊緣並藉由公式 1 預測出 $I_{1,1}$ 的預測像素值 $\hat{I}_{1,1} = (130 + 140) / 2 = 135$ 。接

著透過公式 2 計算出原始像素值 $I_{1,1}$ 及 $\hat{I}_{1,1}$ 間的絕對差異值 $d = |135 - 110| = |25|$ 。計算此絕對差異值能負載的資訊量 $k = \lfloor \log_2 25 \rfloor = 4$ ，取出 4 個單位的機密訊息為一組並取代原始差值中的 4 個位元以得一個新的差值 $d' = 2^4 + 12 = 28$ 。再來就能憑藉公式 5 求出中介像素值 $t_{i,j} = \hat{I}_{1,1} - d'$ ，故 $I_{1,1}$ 的中介像素值 $t_{1,1}$ 為 107。接下來的像素值只須遵循步驟一至五便能求得其餘像素值，其細節如表 1 及表 2 所示。

圖 3 原始影像之灰階值

表 1 範例一嵌入流程之細節

座標	$I_{i,j}$	$\hat{I}_{i,j}$	d	k	$d' = 2^k + dec(S)$
1,1	110	135	25	4	$d' = 2^4 + dec(1100)_2 = 28$
1,2	125	104	21	4	$d' = 2^4 + dec(1000)_2 = 24$

表 2 中介像素值的生成

座標	$t_{i,j}$
1,1	107
1,2	128

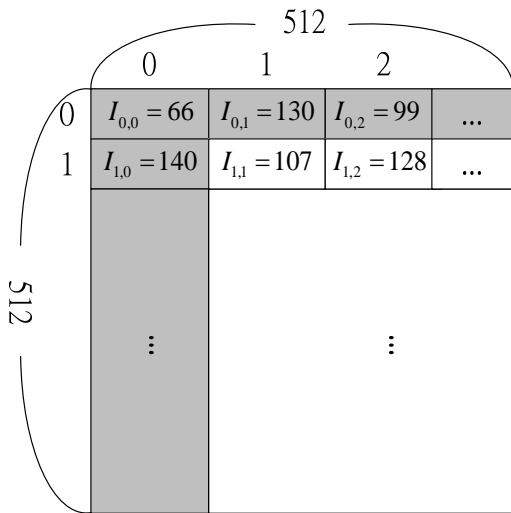


圖 4 中介影像 T 之灰階值

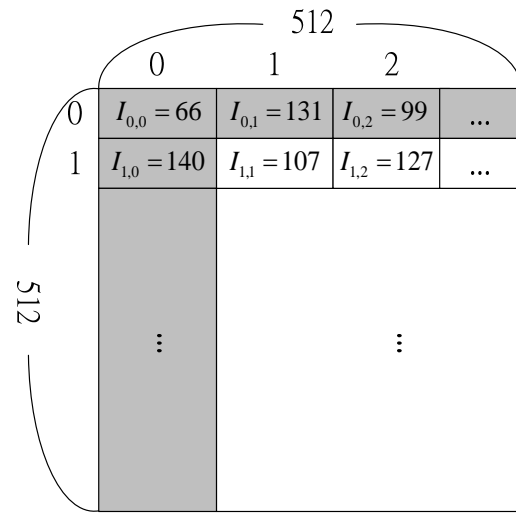


圖 5 偽裝影像 I' 之灰階像素值

將第一層嵌入時被取代的位元轉成十進制，將這些近似差 \bar{d} 統計後定義出峰值 ρ 、零值 o 與最佳位移方向 δ 後便能進行第二層之嵌入，假設此例之近似差為 $\bar{d} = (16, 3, 16, 16)$ ，第二層之嵌入過程可見表 3。

將中介影像裡之中介像素值之 1LSB 值取出並壓縮轉二進制形成 CCD_1 。將所有經修改過之近似差壓縮並轉成二進制形成 CCD_2 。將兩壓縮碼結合並以 1LSB 的方式嵌入至中介影像中可得如圖 5 之偽裝影像 I' (假設 $CCD = 011\dots$)。

表 3 近似差進行第二層嵌入之細節

座標	\bar{d}	s	$\bar{d}' = \bar{d} + s\delta$
1,1	16	0	16
1,2	3	-	-
2,1	16	1	17
2,2	16	0	16

3.2 訊息取出與影像還原

首先，合法授權收方會先取得一張偽裝影像 I' 、壓縮碼的大小及峰值 ρ 與最佳位移方向 δ 。接著，以下為訊息取出與影像還原的步驟：

步驟一：透過壓縮碼大小從偽裝影像 I' 中取得壓縮碼 CCD 。並將壓縮碼 CCD 中的前段壓縮碼 CCD_1 轉成浮點數並解壓縮還原回 BM ，並將 BM 以 1LSB 的方式嵌入至偽裝像素值 $I'_{i,j}$ 中以還原回中介影像 T 。(以一張影像大小為 512×512 的影像來看，本研究是直接以 87bits 記錄 CCD_1 ，故每張大小為 512×512 影像的壓縮碼 CCD 前 87bits 皆為 CCD_1 。)

步驟二：將 CCD_2 轉十進制後並解壓縮，透過收到之峰值 ρ 取回所有第二層嵌入之機密訊息，當 $\bar{d}' = \rho$ 時可取出 $s = 0$ ；反之，若 $\bar{d}' = \rho + \delta$ 則可取出 $s = 1$ 並還原近似差 $\bar{d} = \rho + \delta$ ，也可依公式 9 進行機密訊息之取出。

$$s = \begin{cases} 0, & \beta = \rho, \\ 1, & \beta = \rho + d. \end{cases} \quad \text{公式 9}$$

步驟三：利用最佳位移方向 δ 還原進似差 \bar{d} ，還原公式參照公式 10。

$$\bar{d} = \begin{cases} \bar{d}', & \text{if } \bar{d}' \times \delta \leq \rho \times \delta, \\ \bar{d}' + \delta, & \text{if } \bar{d}' \times \delta > \rho \times \delta. \end{cases} \quad \text{公式 10}$$

步驟四：藉由中介影像計算預測像素值

$$\hat{I}_{i,j} = \left\lfloor \frac{(t_{i-1,j} + t_{i,j-1})}{2} \right\rfloor。計算中介與預測像素值間之絕對差值 $d' = |\hat{I}_{i,j} - t_{i,j}|。$$$

步驟五：計算該絕對差值當時所乘載的資訊量 $k = \lfloor \log_2 d' \rfloor$ 。取出第一層機密訊息 $S = d' - 2^k$ 。

步驟六：將近似差加上 2^k 後即可利用公式 11 還原像素值。

$$I_{i,j} = \begin{cases} \hat{I}_{i,j} + d, & \text{if } t_{i,j} \geq \hat{I}_{i,j}, \\ \hat{I}_{i,j} - d, & \text{if } t_{i,j} < \hat{I}_{i,j}. \end{cases} \quad \text{公式 11}$$

為了更詳細介紹本篇方法的訊息取出及影像還原，以下將由範例四描述之。

範例五：承範例三的 512×512 偽裝影像 S 如圖 5 所示。

合法授權之收方可藉由壓縮碼大小、峰值 ρ 與最佳位移方向 δ 將機密訊息取出並還原影像。首先，取出壓縮碼後將 CCD_1 轉浮點數後並解壓縮以 1LSB 的方式嵌入至偽裝影像中以還原中介影像。接著將 CCD_2 轉十進制並解壓縮還原至經修改過之近似差 \bar{d}' ，掃描近似差並與峰值 ρ 與最佳位移方向 δ 進行比對取得第二層嵌入之機密訊息 $S = 010$ ，並還原原始近似差 \bar{d} 。接著進行第一層訊息之取出，取出方式則先利用鄰近像素值進行預測，計算出中介與預測像素值間之絕對差值，並透過此絕對差值計算當時嵌入之資訊量為 $k = 4$ ，接著取出機密訊息 $S_{num} = 28 - 2^4 = 12 = (1100)_2$ ，並與第一個加上 2^k 的近似差還原像素值，還原方式可參照公式 11。機密訊息的取出直到所對應之近似差配對完為止。

4. 實驗結果

本章節將說明並分析實驗結果，本實驗的測試掩護影像大小皆為 512×512 的灰

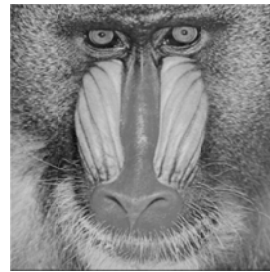
階圖如圖 6 所示，實驗中所採用的影像分別有 (a) Baboon、(b) Lena、(c) F1、(d) F16、(e) Goldhill、(f) Peppers、(g) Barbara、(h) Sailboat、(i) Tiffany 及 (j) Boats 十張圖。本實驗是以 PSNR 值來計算本方法的影像品質，PSNR 計算公式為

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2 \times (M \times M)}{\sum (I_{i,j} - I'_{i,j})^2} \right) \text{dB},$$

$M \times M$ 為影像大小，而 I 及 I' 分別是原始像素值及偽裝像素值。藏量在表 4 中 Payload 以 (bit per pixel, bpp) 來表示本方法的藏量，一個像素可以藏入一個位元它的資訊負載量則為 1bpp。

從表 4 中的實驗影像可看出，平均每張影像在 1.10bpp 的時候，影像的 PSNR 值仍能維持在 42.30 的優良品質。

除此之外，表 4 也呈現出藏量最佳的影像為“Peppers”與“Tiffany”兩影像，主要是由於次兩張影像利用鄰近的相素質預測出的影像與原始影像間的差值十分集中才能擁有較優越的藏量。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

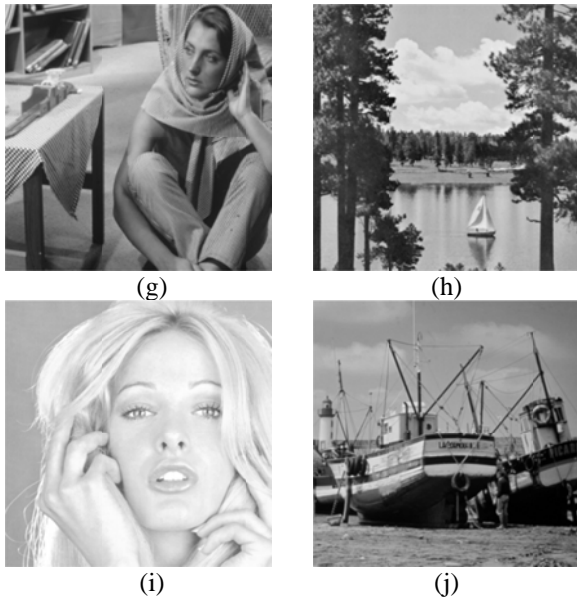


圖 6 實驗用圖(a)Baboon、(b)Lena、(c)F1、(d)F16、(e) Goldhill、(f)Peppers、(g)Barbara、(h) Sailboat、(i) Tiffany 及(j)Boats

一般來說不可逆式的方法的特色為具有相當高的藏量，因此本方法也與 Chang 及 Tseng 學者的方法[1]進行比較，為讓額外資訊能順利受到壓縮，因此本方法對藏量進行控制，在額外資訊能壓縮的範圍內對這些影像進行適量的嵌入，然而，從

表 5 也可以發現“Peppers”與“F1”兩張影像雖是 Chang 及 Tseng 學者方法[1]中藏量最低的兩張影像，但在本方法的處理下不但是本方法最高藏量的兩張影像甚至都還優於 Chang 及 Tseng 學者的方法[1]。

本方法的藏量之所以會高出許多，主要是因為“Peppers”與“F1”兩影像的差值的量大且十分集中，因此相當利於第二層的嵌入，因此能獲得較高的藏量。雖然其餘影像的藏量不如 Chang 及 Tseng 學者的方法[1]，以平均值來看當藏量在 1.14bpp 左右時，本方法之影像品質仍能維持在 41.72 的優良品質下，且本方法的影像品質幾乎優於 Chang 及 Tseng 學者的方法[1]0.67dB。

本研究將額外資訊也就是近似差進行統計，從圖 7 可發現近似差幾乎皆集中在 0，因此本研究認為該近似差能當作載體並進行第二層的嵌入。從圖 7 也能發現當近似差越是集中表示第二層能嵌入的資訊量會越大。由於“Peppers”與“F1”是本研究藏

表 4 影像大小為 512x512 下本方法之藏量及影像品質

Image	Bit rate (bpp/pixel)	Capacity(bits)	PSNR(dB)
Peppers	1.4	367300	43.45
Tiffany	1.37	359705	44.23
F1	1.32	346203	42.98
F16	1.26	329852	41.64
Boats	1.13	297266	41.78
Lena	1.05	275916	42.58
Goldhill	1.01	264921	44
Sailboat	0.93	244527	42.55
Barbara	0.85	222934	41.37
Baboon	0.66	173218	36.48
Average	1.10	288184	42.11

表 5 本方法與 Chang 與 Tseng 學者方法的比較

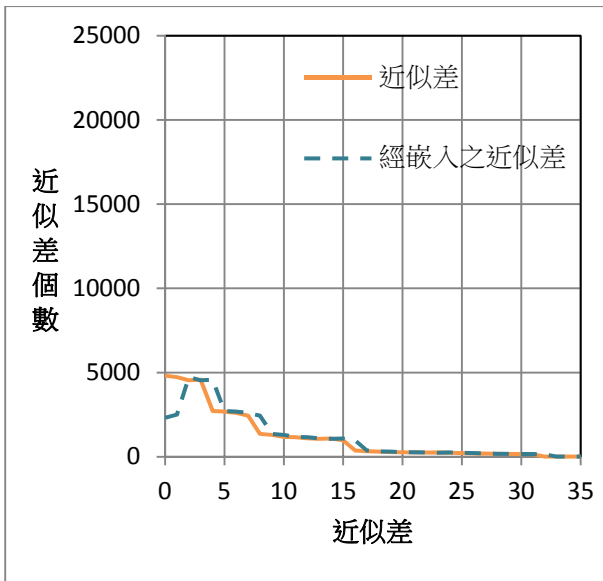
Image	Bit rate(bpp/pixel)		Image PSNR(dB)	
	[1]	Proposed	[1]	Proposed
Baboon	2.52	0.66	33.53	36.48
Boats	1.58	1.13	41.45	41.78
Lena	1.48	1.05	41.22	42.58
F16	1.44	1.26	41.88	41.64
Peppers	1.35	1.4	43.33	43.45
F1	1.24	1.32	44.9	42.98
Average	1.60	1.14	41.05	41.49

量最高的兩張影像，對應到圖 7 也可觀察出這兩張影像的近似差都相當集中且量大，故能在第二層嵌入獲得很好的發揮。嵌入過後的近似差與原始近似差仍相當接近，故仍能被壓縮在適當的範圍內。

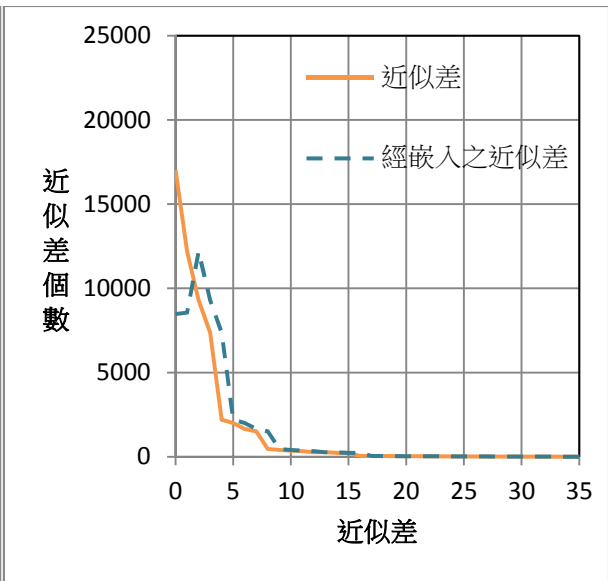
除此之外，本方法也與近期的 Lee 及 Tsai 學者[5]的影像隱藏法進行比較，該方法也是利用邊緣進行預測，在藏量控制下的 Lee 及 Tsai 學者[5]之方法，從平均值當中可看出本方法藏量多 Lee 及 Tsai 學者一萬多 Bits，相當於多了 0.06bpp，而 PSNR 值還能維持在 42.11dB 左右，視覺品質幾乎與 Lee 及 Tsai 學者[5]之方法無異，視覺品質上的呈現可謂是相當良好，詳情見表 6。因為本方多了第二層的嵌入才能在藏量上有較佳的表現，且因為第二層的嵌入是直接執行在額外資訊上，因此不會修改到影像本體，故本方法才能擁有如此優越的影像品質效果，平均每張影像仍可維持在 42.11dB 左右，這樣的影像品質人類視覺系統幾乎分辨不出影像有任何程度上的失真。

表 6 本方法與 Lee 及 Tsai 學者方法的比較

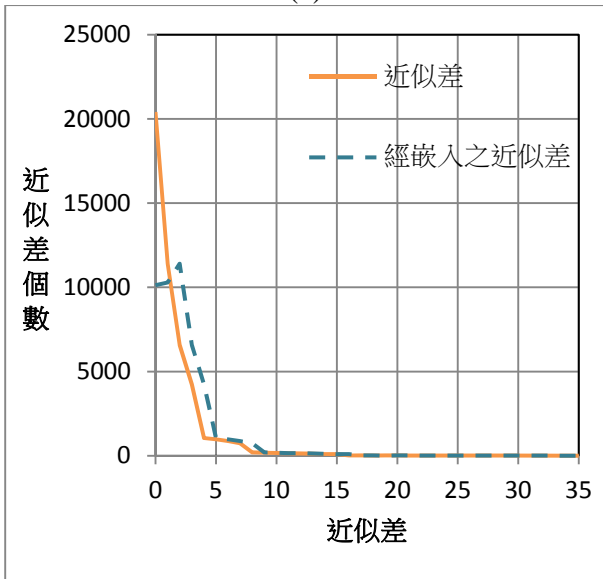
Image	Capacity (bits)			Bit rate(bpp/pixel)			PSNR (dB)	
	[5]	Proposed	Gain	[5]	Proposed	Gain	[5]	Proposed
Peppers	352793	367300	14507	1.35	1.4	0.05	43.37	43.45
Tiffany	344893	359705	14812	1.32	1.37	0.05	44.16	44.23
F1	325791	346203	20412	1.19	1.32	0.13	41.66	42.98
F16	312801	329852	17051	1.24	1.26	0.02	42.97	41.64
Boats	281627	297266	15639	1.07	1.13	0.06	41.82	41.78
Lena	258882	275916	17034	0.99	1.05	0.06	42.67	42.58
Goldhill	244879	264921	20042	0.93	1.01	0.08	44.51	44
Sailboat	229567	244527	14960	0.88	0.93	0.05	41.96	42.55
Barbara	203934	222934	19000	0.78	0.85	0.07	41.65	41.37
Baboon	164801	173218	8417	0.63	0.66	0.03	38.61	36.48
Average	271997	288184	16187	1.04	1.10	0.06	42.34	42.11



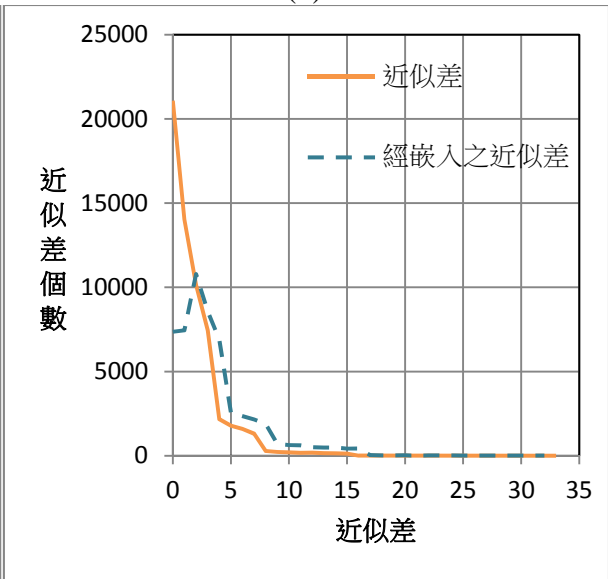
(a)



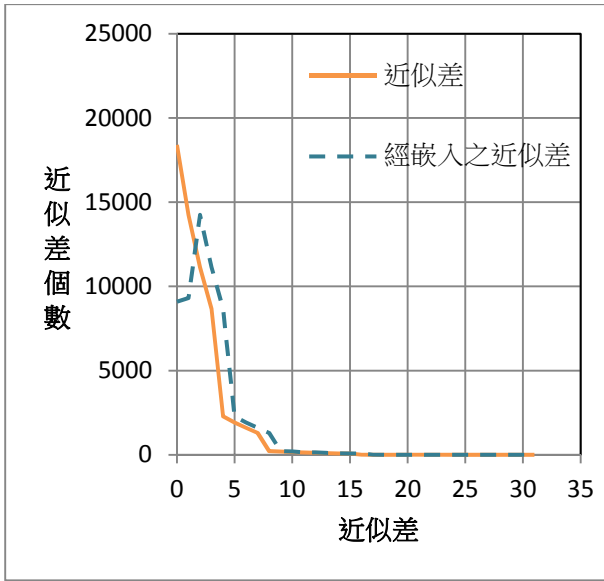
(b)



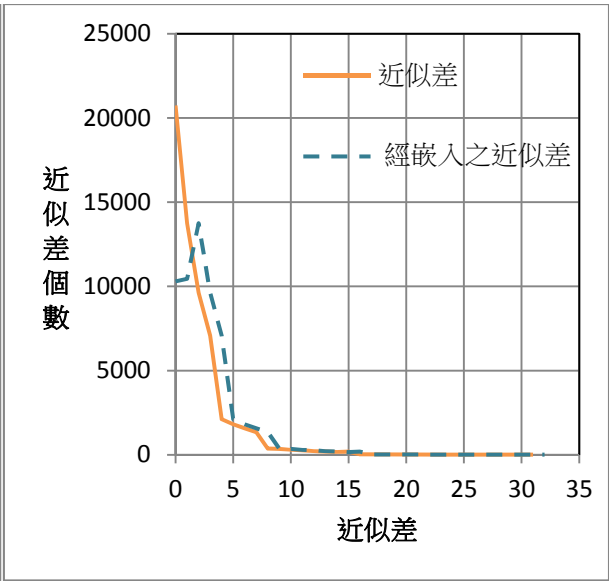
(c)



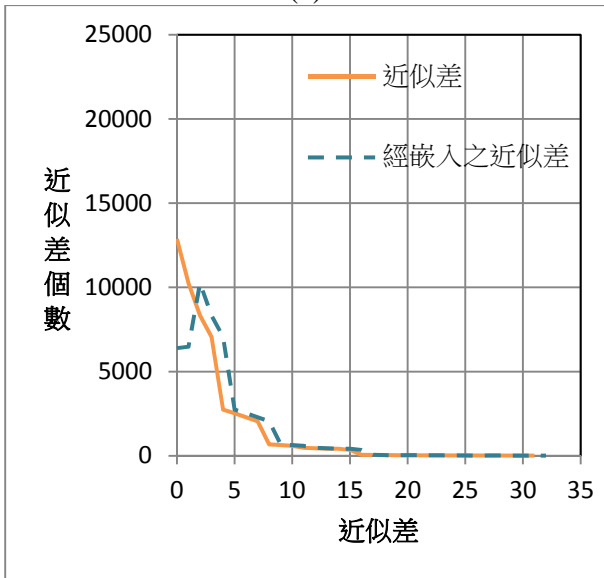
(d)



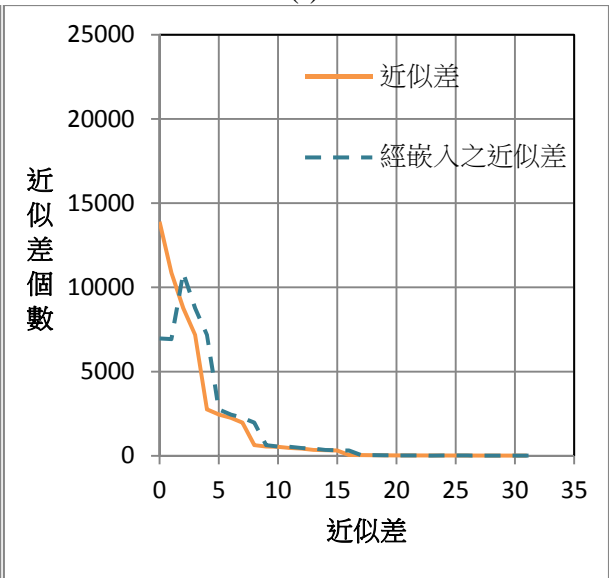
(e)



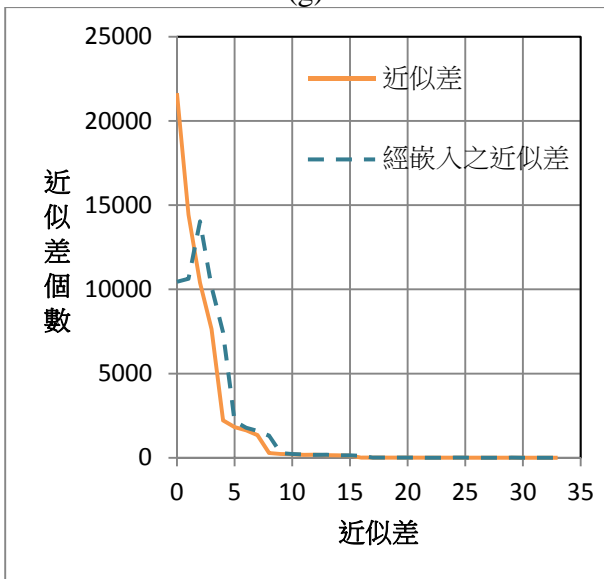
(f)



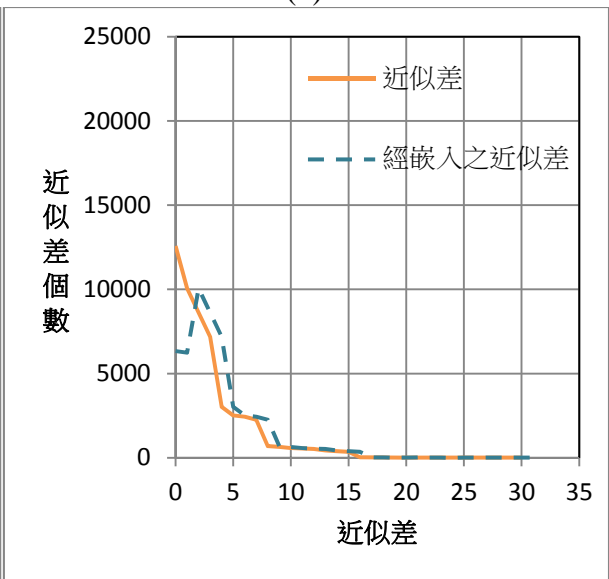
(g)



(h)



(i)



(j)

圖 7 各實驗影像之近似差分佈與嵌入過後之近似差分佈(a)Baboon、(b)Lena、(c)F1、(d)F16、(e) Goldhill、(f)Peppers、(g)Barbara、(h) Sailboat、(i) Tiffany 及(j)Boats

5. 結論

由於本方法對影像進行了雙層的嵌入，因此在藏量上能保持一定的優勢。此外，本方法考慮到額外資訊因具有一定的相似性，並利用此特性進行直方圖位移操作的嵌入，以此作為本方法第二層的嵌入。由實驗中也可看出本方法進行雙層嵌入不但能獲取較高的藏量，且影像品質幾乎絲毫不受影響。

藏量雖提升但影像品質卻不受影響，主要是因為本方法將訊息嵌入在額外資訊上，對額外資訊進行修因此不會造成影像主體有太大的失真，且本方法是採直方圖位移操作對額外資訊進行小幅度的修改，因此經修改後的額外資訊仍能保持一定的相似性，故這些額外資訊仍能壓縮到一張影像足以負荷的量，最後再以 1LSB 的方式再次嵌入至中介影像中。

參考文獻

- [1] C. C. Chang and H. W. Tseng, "A steganographic method for digital images using side match," *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, pp. 1431-1437, 2004.
- [2] 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, pp. 1583-1595, 2003.
- [3] C. C. Chang, C. Y. Lin, and Y. Z. Wang, "New Image Steganographic Methods Using Run-Length Approach," *Information Sciences*, vol. 176, pp. 3393-3408, 2006.
- [4] C. C. Lin, W. L. Tai, and C.C. Chang, "Multilevel reversible data hiding based on histogram modification of difference images," *Pattern Recognition*, vol. 41, pp. 3582-3591, 2008.
- [5] C. F. Lee and H. J. Tsai, "A Reversible Data Hiding Scheme for Digital Images Using LAU-Side Match Prediction," *Conference on The Sixth International Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2010.
- [6] C. N. Lin, D. J. Buehrer, C. C. Chang, and T. C. Lu, "Using quad smoothness to efficiently control capacity-distortion of reversible data hiding," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, pp. 1805-1812, 2010.
- [7] J. Fridrich, M. Goljan, and D. Rui, "Detecting LSB steganography in color, and gray-scale images," *IEEE Multimedia*, vol. 8, pp. 22-28, 2001.
- [8] H. W. Tseng and C. P. Hsieh, "Prediction-based reversible data hiding," *Information Sciences*, vol. 179, pp. 2460-2469, 2009.
- [9] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 890-896, 2003.
- [10] J. Y. Hsiao, K. F. Chan, and J. M. Chang, "Block-based reversible data embedding," *Signal Processing*, vol. 89, pp. 556-569, 2009.
- [11] J. Mielikainen, "LSB Matching Revisited," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 13, pp. 285-287, 2006.
- [12] R. Z. Wang, C. F. Lin, and J. C. Lin, "Image hiding by optimal LSB substitution and genetic algorithm," *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 671-683, 2001.
- [13] T. Kim, "Side match and overlap match vector quantizers for images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 1, pp. 170-185, 1992.
- [14] W. Hong and T. S. Chen, "A local variance-controlled reversible data hiding method using prediction and histogram-shifting," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, pp. 2653-2663, 2010.
- [15] Z. Ni, Y. Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 16, pp. 354-362, 2006.