

虛擬彩色影像系統使用向量量化影像壓縮 及 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術之研究

林基源 王圳木 楊勝智 林學儀 游志男

國立勤益技術學院電子系

摘要

由於網際網路的興起，對於一些網路上極具機密的文件或影像等具有智慧權的作品，任何人皆可輕易取得，因此為了保護原創作者的著作權，使用資訊隱藏技術(Information hiding) 的數位浮水印(Watermarking) 技術應運而生，並被寄予厚望。傳統資訊隱藏技術受限於無法隱藏大量資訊與隱藏不易的缺憾，所以在使用上通常都局限於國家級機密情報的秘密通訊。近年來資料壓縮技術已大幅進步，語音(Audio)、影像(Image)、視訊(Video) 等數位資料透過電腦的處理已可以輕易的將人類感官系統無法察覺的細微變化分析出來，以便使用者可以輕易地將資訊大量隱藏於各種數位媒體中。本篇論文，旨在結合向量量化(Vector Quantization, VQ)影像壓縮與 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術，以建構一套虛擬彩色影像系統。藉此一彩色影像資訊將可藏匿於另一張彩色影像媒體之中，其中影像媒體稱為偽裝影像(Disguise image)，隱藏的動作稱為嵌入(Embedding)，掩護影像媒體經嵌入影像資訊後變成一張虛擬影像(Virtual image)。由此可達彩色影像資訊本身存在性的隱密，並對網路通訊傳輸安全性提供另一層次的保護。

關鍵詞: 向量量化、Hadamard 轉換、數位浮水印

一、前言

影像壓縮之目的在於減少儲存空間與縮短傳輸所需的時間。一般而言，影像壓縮可概分為無失真影像壓縮法(Lossless image compression)與有失真影像壓縮法(Lossy image compression)二類。在傳統之壓縮技術中，無失真影像壓縮法有 Huffman 編碼法、Shannon-Fano 編碼法、算術編碼法及 LZ-系列編碼法等；而有失真影像壓縮法則有向量量化編碼法、視訊編碼法、階級式編碼法、分頻編碼法、轉換編碼法、方塊截短編碼法、非累贅取樣編碼法、與預測編碼法[1]。

在向量量化(Vector Quantization, VQ)技術中，每一影像向量 $\{\mathbf{X}_i, i=1,2,\dots,n\}$ 與編碼簿(Codebook)中每一編碼向量(Code vector) $\{\hat{\mathbf{X}}_j, j=1,2,\dots,c\}$ 相比較，最接近於原向量 \mathbf{X}_i 之編碼向量將會被選出，即由編碼簿中選出 $\hat{\mathbf{X}}_s$ 使對所有 $j=1,2,\dots,c$ ， $d(\mathbf{X}_i, \hat{\mathbf{X}}_s) \leq d(\mathbf{X}_i, \hat{\mathbf{X}}_j)$ 其中 $d(\mathbf{X}_i, \hat{\mathbf{X}}_j)$ 表原影像向量與編碼向量 $\hat{\mathbf{X}}_j$ 間之平均誤差，若平均誤差收斂至一最小值時，則向量量化器可達最佳化。

又由於網際網路的蓬勃發展，徹底顛覆了人類資訊取得的方式，加上各種資料的數位化，任何人皆可輕易的取得，甚至在未經原創作者的同意而加以修改、複製，甚至出售，如此使得資料擁有者的著作權受到很大的威脅。因此為了保護原創作者的著作權，使用資訊隱藏技術(Information hiding) 的數位浮水印(Watermarking) 技術應運而生。

最近幾年各種不同的數位浮水印方法被提出，一般方法被分類成兩類：空間域 [2-4] 以及轉換域。轉換域常見的方法對影像浮水印是植基於數位餘弦轉換(Discrete Cosine Transform, DCT)技術 [5-9]。為了浮水印資料不被察覺，可選定高頻成分藏匿，但若選定低頻成分則有助於強韌性，致於折衷的做法則選定中頻成分。也由於 JPEG-2000 壓縮標準的提出，一些研究亦集中在小波轉換域之數位浮水印技術 [10-11]。

向量量化技術係將純量量化擴展至更高之維度空間，利用 Shannon[12]資訊理論以編碼向量取代純量而達更高之編碼效能。因此，本篇論文旨在利用向量量化影像壓縮技術將一張原始彩色影像 (Original color image) 壓縮成一組編碼簿(Codebook)及其重建相關之指標(Indices)值，再經由 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術將其隱藏至一張選定之偽裝彩色影像(Disguise color image)中以構成一張虛擬彩色影像(Virtual color image)。因為原始彩色影像與虛擬彩色影像皆具意義(Significant)，因此當虛擬彩色影像透過通訊網路公開傳輸，非法使用者將以為是原始彩色影像而不以為意。由此可達原始彩色影像資訊存在性之隱密，並對網路通訊傳輸安全性提供另一層次的保護。

二、插補向量量化及硬性 C-均值群集技術

(一) 向量量化的定義

來自於實驗的最佳化向量量化器設計，已於 1980 年經由 Linde, Buzo, and Gray[13] 等提出，並且利用群集技術廣泛地研究，目前一般稱此演算法為 LBG 演算法。一個向量量化器可被定義成對映(Mapping)一個 $\ell \times \ell$ -維度 $\mathbf{R}^{\ell \times \ell}$ 的歐基里得空間(Euclidean space) \mathbf{Q} 成一組 $\ell \times \ell$ -維度空間的部份集合 \mathbf{Y} ；亦即， $\mathbf{Q}: \mathbf{R}^{\ell \times \ell} \rightarrow \mathbf{Y}$ ，其中 $\mathbf{Y} = \{\hat{\mathbf{X}}_j, j=1,2,\dots,c\}$ 為編碼向量的集合，並且 c 是有限部份集合 \mathbf{Y} 的樣本向量數。

向量量化器也可以被視為兩個功能的組合:一個編碼器,它觀察輸入樣本向量 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 以及根據最接近鄰居法則經由 $\mathbf{Y}(\hat{\mathbf{x}}_j)$ 中獲得編碼向量的位址,一個解碼器,它使用這編碼位址去取得編碼向量 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 。假如一個誤差測量 $d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_j)$ 代表一個輸入樣本向量 \mathbf{x}_i 經由編碼向量 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 重建的誤差,則最好的對映 \mathbf{Q} (Mapping \mathbf{Q}) 是 $d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_j)$ 為最小。當然,設計一個最佳化向量量化器的目標是去獲得一個由 c 個編碼向量組成的量化器,使得它的平均誤差為最小。也因此,此一平均誤差可定義成

$$D = E[d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_j)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_j) \quad (1)$$

其中 $d(\mathbf{x}_i, \hat{\mathbf{x}}_j)$ 為向量 \mathbf{x}_i 與 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 間之歐基里得(Euclidean)距離平方和,是以當其平均誤差最小時,我們可得到一個最佳的量化器設計。

(二) 硬性 C-均值(Hard C-Mean)群集技術

群集是分類物件(Object)或圖訊(Pattern)之一種過程,在此過程中,同一群集的訓練樣本較不同群集之訓練樣本有較大之相似性,諸如距離、向量等相似性均被作為分類樣本之依據。目前已有相當多的領域應用群集技術,其中包括影像切割、語音辨認、及資料壓縮。

在群集技術應用上,包括了硬性及模糊(軟性)群集演算法,每一演算法均有其特性。根據平方誤差最小的硬性 C-均值演算法[14-15],對群集問題是一種最簡單且最常使用的方法。假設 n_i 是群集 c_j 的訓練樣本數,且 $\hat{\mathbf{x}}_j = \frac{1}{n_i} \sum_{\mathbf{x} \in c_j} \mathbf{x}$ 是群集的平均值(或稱群集中心)。

其目的函數經由 $J_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c |\mathbf{x}_i - \hat{\mathbf{x}}_j|^2$ 來定義,對一已知群集 c_j ,其群集中心 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 是代表所

有訓練樣本 \mathbf{x}_i 與群集中心 $\hat{\mathbf{x}}_j$ 的最小歐基里得距離平方和。因此, J_e 用以度量介於 n 個訓練樣本 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ 至各個群中心的最小平方誤差,並且產生 c 個群集中心 $\hat{\mathbf{x}}_1, \hat{\mathbf{x}}_2, \dots, \hat{\mathbf{x}}_c$ 。硬性 C-均值演算法其計算時間複雜度為 $O(n \times c \times k)$ [15],其中 k 代表使用去更新訓練樣本狀態的迭代數、 n 是訓練樣本數,及 c 為群集的數目。

(三) 向量量化及硬性 C-均值群集演算法

在影像壓縮裡,向量量化是一種重要的技術,其向量的來源有很多方式,例如它可以是黑白影像中一個 $L \times M$ 的矩形,也可以是彩色影像中的 $[R(i,j), G(i,j), B(i,j)]$ 。而向量

量化壓縮中，是把已切割的像素方塊當成訓練樣本向量，而不是個別的純量。亦即，一張維度 $N \times N$ 像素的影像，能夠被切割成 n 個向量(方塊)，並且每一個向量含有 $\ell \times \ell$ ($\ell < N$) 個像素。其中，向量所含像素個數，我們定義為其維度。接著，向量量化再依據期望最小平均誤差規範對映(Maps)所有訓練樣本向量成一組代表性樣本(Class center)或編碼向量(Code vectors)之集合，我們稱之為編碼簿(Codebook)。由於編碼簿的大小與所有可能之 $\ell \times \ell$ 維向量的個數比起來小很多，因此我們可以達到影像壓縮之目的。其結果之位元率為 $(\log_2 N_c) / \ell \times \ell$ 位元/像素，其中 N_c 代表編碼向量的個數， $\ell \times \ell$ 則代表向量之維度。茲將影像壓縮的向量量化映對至硬性 C-均值群集技術上，其敘述如下：

硬性 C-均值向量量化演算法

步驟 1：隨機選擇起始編碼簿 $\hat{\mathbf{X}}_j$ ，其中 $1 \leq j \leq c$ 。

步驟 2：指定每一訓練樣本至分佈的群集，依據最近的鄰居條件，對每一個 i 及 j ，若對

$$\text{所有 } j \text{ 群集 } d(\mathbf{X}_i, \hat{\mathbf{X}}_j) = d_{\min}(\mathbf{X}_i, \hat{\mathbf{X}}_j), \text{ 則 } u_{i,j} = 1, \text{ 否則 } u_{i,j} = 0.$$

步驟 3：依據下式對每一個 j 更新群集中心 (碼向量(Code vector))。

$$\hat{\mathbf{X}}_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{i,j} \mathbf{X}_i}{\sum_{i=1}^n u_{i,j}}$$

步驟 4：檢查收斂行為，若收斂，完成編碼簿設計並停止作業，否則重回步驟 2。

(四)插補向量量化(Interpolative VQ)

在向量量化系統，編碼器(Encoder)的複雜度(Complexity)通常是依使用的編碼簿大小而定。假如編碼簿太大，計算負荷將太高以致於困難去實作(Implementation)。基於此觀點，Tsang 及 Lee 等提出了小的編碼簿插補向量量化(Interpolative VQ)系統[16]。本篇論文中，為了減少大量的隱藏資料，插補技術被採用。其中 $N \times N$ 原始影像首先被次取樣

(Down-sampling)成 $\frac{N \times N}{2}$ 大小影像後再經由硬性 C-均值向量量化演算法去建立編碼簿。

重建影像時，因次取樣所產生的空像素(Empty pixels)再經由取其臨近像素之平均值來插補。如此，插補方式雖增加一些額外工作及犧牲些許重建品質，卻可減少大量的隱藏資料。

三、Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術

在各種受歡迎的影像轉換，Hadamard 轉換(Hadamard transform, HT) [17-18] 計算花

費(Computation overhead)最少，因為 Hadamard 轉換只有 +1 與 -1 之基底向量(Basis vectors)，所以轉換計算中無須乘法運算。對一張 2 維 $N \times N$ 影像的正向(Forward)與反向(Inverse)Hadamard 轉換被定義為：

正向 Hadamard 轉換：

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} f(j, k) (-1)^{\sum_{i=0}^{\ell-1} [b_i(u)b_i(j)+b_i(v)b_i(k)]} \quad (2)$$

反向 Hadamard 轉換：

$$f(j, k) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) (-1)^{\sum_{i=0}^{\ell-1} [b_i(u)b_i(j)+b_i(v)b_i(k)]} \quad (3)$$

其中 $F(u, v)$ 為 Hadamard 轉換係數(Coefficients)， $f(j, k)$ 為 (j, k) 上之灰階值， $N = 2^\ell$ ，並且 $b_i(u)$ 為 u 用二進位形式(Binary form)表示的第 i 位元(Bit)。

本篇論文採同一般數位餘弦轉換域數位浮水印技術步驟[9]，首先將 $N \times N$ 的原始影像(Original image)切成 $(N \times N)/(M \times M)$ 個不重疊方塊(blocks)，其中 $M \times M$ 為方塊大小。例如原始影像為 256×256 ，而方塊切成 4×4 的大小(Size)，如此可把原始影像切成 $(256 \times 256)/(4 \times 4) = 4096$ 個不重疊的方塊，再將各方塊分別經過正向 Hadamard 轉換(Forward HT)轉為頻域(Frequency domain)後再將浮水印(Watermark)資料依照虛擬亂數(Pseudo random number)序列埋入各方塊的選定頻帶(Band)。而頻帶的定義是將最左上角視為 DC 值，其餘視為 AC 值，而 AC 值的頻率依照鋸齒形掃描順序(Zig-Zag)遞增，如圖一所示。

四、虛擬彩色影像系統

本篇論文旨在建構一套虛擬彩色影像系統，其核心技術主要為硬性 C-均值插補向量量化壓縮及 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術。亦即直接對彩色影像 RGB 各平面(Plane)以數位浮水印隱藏技術為基礎，並結合插補向量量化壓縮技術來達成。文中，將欲隱藏之 256×256 原始彩色影像首先經由硬性 C-均值向量量化結合插補技術壓縮成相關編碼簿暨對應重建之指標值(Indices)後，再將此已壓縮影像資訊視為浮水印標記影像並以數位浮水印隱藏技術將其隱藏進一張 256×256 偽裝彩色影像中，嵌入完成後我們即可獲致一張虛擬彩色影像。其中對彩色影像每一個平面(Plane)其相關進行步驟暨流程圖如下及圖二所示。

嵌入原始彩色影像資料步驟

- 步驟一：將 256×256 偽裝彩色影像切割成方塊大小為 4×4，並對所有方塊做正向 Hadamard 轉換至頻率域。
- 步驟二：循序從硬性 C-均值插補向量量化壓縮所得之編碼簿暨重建指標值中引出 (Extract out) 8 個位元。
- 步驟三：依虛擬亂數 (Pseudo random number) 序列所指定的偽裝彩色影像頻率域方塊依次嵌入 (Embedding) 步驟二所引出的 8 位元資料進指定方塊的 8 個低頻係數的第 3 個位元。
- 步驟四：重複步驟二及步驟三，直到所有從硬性 C-均值插補向量量化壓縮所得之編碼簿暨重建指標值所有位元被嵌入偽裝彩色影像頻率域方塊中。
- 步驟五：將嵌入原始彩色影像資料之頻域偽裝彩色影像做逆向 Hadamard 轉換，以獲得虛擬彩色影像 (Virtual color image)。

嵌出原始彩色影像資料步驟

- 步驟一：將虛擬彩色影像切割成方塊大小為 4×4，並對所有方塊做正向 Hadamard 轉換至頻率域。
- 步驟二：依照嵌入之虛擬亂數序列反向取回隱藏的原始彩色影像之編碼簿暨重建指標值。
- 步驟三：重整取回的原始彩色影像之編碼簿暨重建指標值。
- 步驟四：依重整的原始彩色影像之編碼簿暨重建指標值重建原始彩色影像。

五、實驗結果

為評估我們提出的「虛擬彩色影像系統」之效能 (Performance)，本研究群首先分別測試了 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術之效果與硬性 C-均值向量量化彩色影像壓縮技術之效率 (Efficiency)。然後再整合兩者技術並配合插補技術來減少大量隱藏資料以達虛擬彩色影像系統之建構。

(一) 浮水印隱藏效果

為瞭解 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術之效果，本研究群利用一張 256×256 大小之 “Girl” 原始彩色影像，以及嵌入一張 64×64 大小的 “NCIT” 浮水印彩色影像標記後之嵌入彩色影像，並利用平均 (Average) 峰值信號雜訊比 (Peak Signal to Noise Ratio, *PSNR*) 來評估其不可感知性 (Imperceptible) 之效果。其平均 *PSNR* 為

$$PSNR_A = \frac{PSNR_R + PSNR_G + PSNR_B}{3} \quad (4)$$

其中 $PSNR_R$ 、 $PSNR_G$ 及 $PSNR_B$ 分別為彩色影像 RGB 各平面(Plane)之 $PSNR$ 且定義如下

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2} \quad (5)$$

(5)式中， x_{ij} 及 \hat{x}_{ij} 分別為 $N \times N$ 大小原始彩色影像及嵌入彩色影像 RGB 各平面之像素灰階值(Pixel gray levels)，255 則為灰階峰值(Peak gray level)。

實驗 1：不可感知性測試

「不可感知性」即「浮水印」資料嵌入原始彩色影像後，此「浮水印」是無法用人眼察覺出來的。在此我們實驗將一張 64×64 大小的浮水印彩色影像標記嵌入一張 256×256 大小的 "Girl" 原始彩色影像，看看「浮水印」影像資料是否真的為人眼所無法察覺。而實驗結果發現，「浮水印」資料確實無法為人眼所察覺，其平均 $PSNR$ 為 38.638 dB，如圖三所示。

實驗 2：浮水印清晰性測試

「清晰性」(Unambiguous)指的是從嵌入彩色影像中取出的「浮水印」資料依然清晰可辨識。為了實驗「浮水印」資料的清晰性，我們再實驗將一張 64×64 大小的浮水印彩色影像標記嵌入一張 256×256 大小的 "Girl" 原始彩色影像然後再取出，確認「浮水印」標記是否還依然清晰可辨識。經實驗證明「浮水印」依然清晰可辨識。實驗結果如圖四所示。

(二)彩色影像壓縮效率

在向量量化影像壓縮技術中，編碼簿的設計是一個主要的問題。而對本篇論文所採用的硬性 C-均值彩色向量量化編碼簿設計，其效能(Performance)可藉由實際彩色影像 (Real color image) 來實驗測試。實驗過程中，將彩色影像 RGB 平面分別取出，並直接對各平面視同灰階影像利用硬性 C-均值向量量化做編碼簿設計。訓練樣本向量則取自於 256×256 實際彩色影像各平面所切割成的 4×4 非重疊 16-維之向量(方塊)，對這些訓練樣本向量資料分別對映 128 個編碼向量之編碼簿以重建影像。而且其峰值訊號雜訊比對 $N \times N$ 影像則定義同式(4)&式(5)。圖五顯示來自於硬性 C-均值彩色向量量化演算法所建立的 RGB 各平面編碼簿大小為 128 之 "House" 及 "Tree" 原始暨重建彩色影像，其平均 $PSNR$ 分別為 28.725 dB 及 25.164 dB。依照實驗結果可以看出，本篇論文所應用的硬性 C-均值彩色向量量化演算法能夠產生令人滿意的編碼簿設計與重建影像品質。

(三)虛擬彩色影像實驗測試

為了證實本篇論文所提虛擬彩色影像系統之可行性，我們將一張 256×256 大小的

“Tree” 原始彩色影像，首先將其取樣(Down sampling)成 $\frac{256 \times 256}{2}$ 大小影像再經由硬性 C-均值彩色向量量化演算法壓縮成一張由 RGB 各平面編碼簿大小為 128 暨重建指標值所組成的彩色已壓縮影像，並嵌入一張 256×256 大小的 “Girl” 偽裝彩色影像中，然後再嵌出重建暨插補回原來 256×256 大小影像，並利用式(4)&(5)所示之平均峰值信號雜訊比來評估其效能。實驗結果如圖六所示。圖六(a)為原始彩色影像，圖六(b)為偽裝彩色影像，圖六(c)為虛擬彩色影像，及圖六(d)為嵌出暨重建之原始彩色影像，其平均 PSNR 為 24.394 dB。經實驗結果證明本研究群所建構之虛擬彩色影像系統可獲致可接受的嵌出暨重建之影像品質。

六、結論與未來工作

本篇論文中，我們提出的「虛擬彩色影像系統」旨在結合插補向量量化(Vector Quantization, VQ)彩色影像壓縮與 Hadamard 轉換域數位浮水印隱藏技術。藉此，一原始彩色影像將可隱藏於另一張偽裝彩色影像之中，而形成一張虛擬彩色影像。因為原始彩色影像與虛擬彩色影像皆具意義(Significant)，因此非法使用者將直覺以為虛擬彩色影像即為原始彩色影像，由此可達原始彩色影像本身存在性的隱密，並對網路通訊傳輸安全性提供另一層次的保護。由實驗結果顯示，本篇論文所提出之虛擬彩色影像系統可獲致可接受的嵌出暨重建影像品質。然本研究群未來將繼續探究各種效能良好的相關彩色向量量化壓縮技術暨數位浮水印隱藏技術，並結合彩色影像加解密技術以期能建構出效能更佳，更安全的虛擬影像密碼系統。

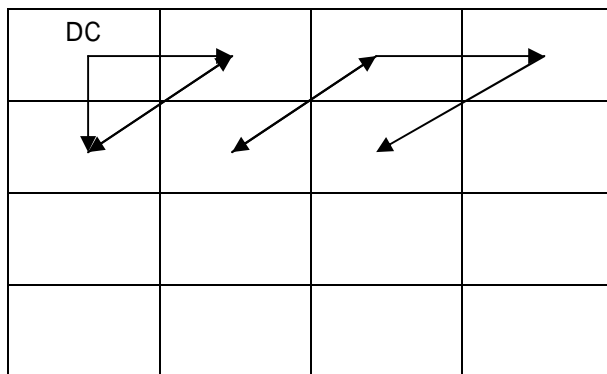
七、誌謝

本論文研究承蒙學校經費補助，得以順利完成，在此致上最大之謝意。

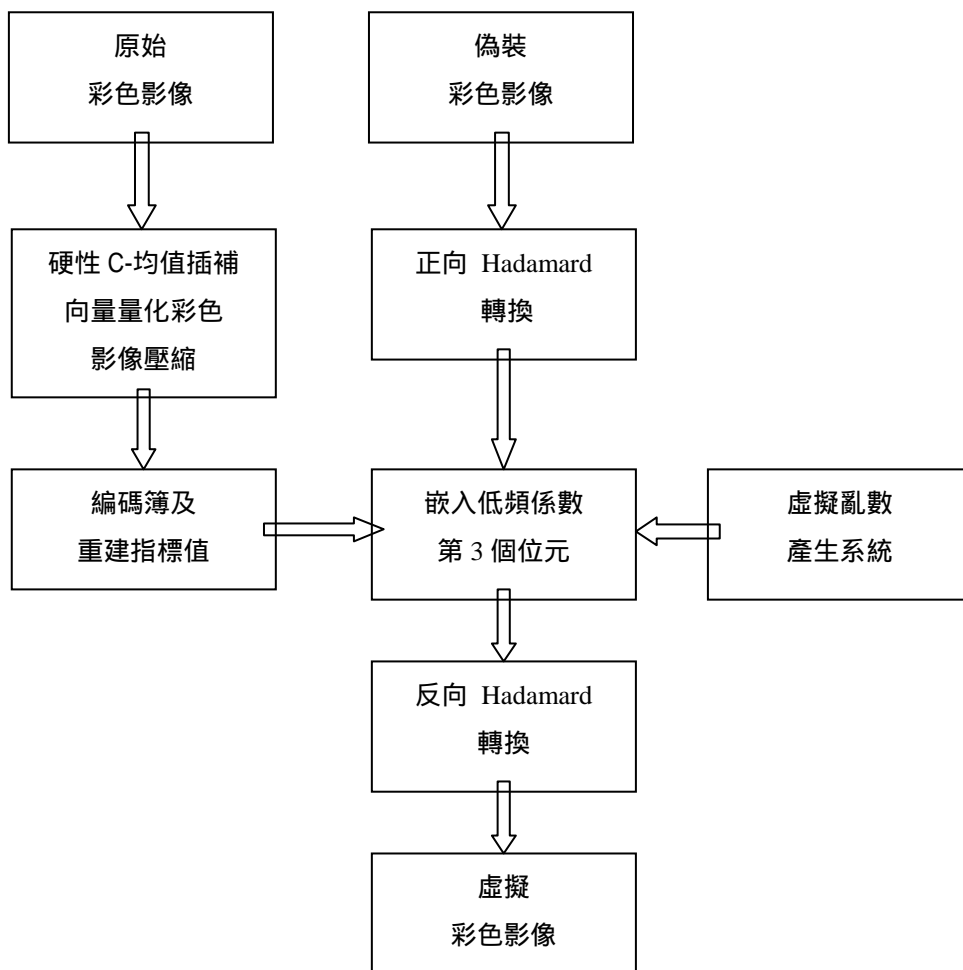
參考文獻

- [1] 戴顯權，1998，資料壓縮，松崗圖書，台北。
- [2] O. Bruydonckx, J. J. Quisquater, and B. Macq, “Spatial Method for Copyright Labeling of Digital Images,” in Proc. *IEEE Nonlinear Signal and Image Processing*, pp. 456-459, 1995.
- [3] W. N. Lie, and L. C. Chang, “Spatial-Domain Image Watermarking by Data Embedding at

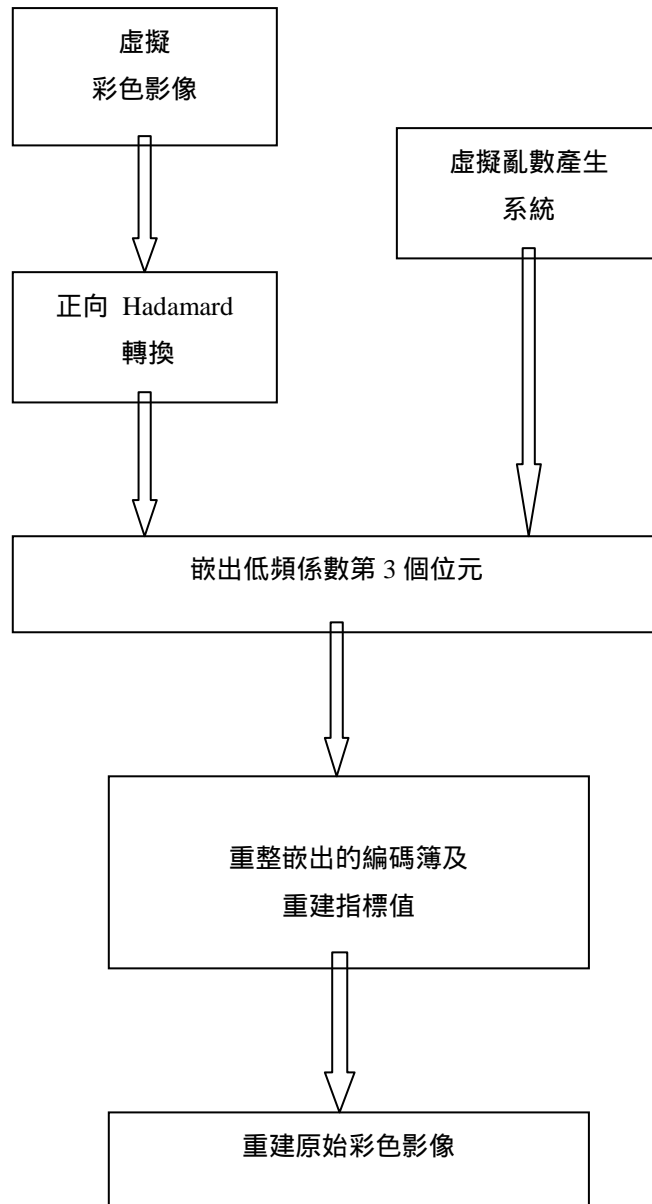
- Adaptive Bit Position,” *IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp. 16-21, 1999.
- [4] S. C. Pei, Y. H. Chen and R. F. Torng, “Digital Image and Video Watermarking Utilizing Just-Noticeable-Distortion Model,” *IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp. 174-182, 1999.
- [5] C. T. Hsu and J. L. Wu, “Hidden Signatures in Images,” *Proc. Of IEEE Int’l. Conf. On Image Processing*, pp. 223-226, 1996.
- [6] C. T. Hsu and J. L. Wu, “Hidden Digital Watermarks in Images,” *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, 1999.
- [7] T. Ogihara, D. Nakamura and N. Yokoya, “Data Embedding into Pictorial with Less Distortion Using Discrete Cosine Transform,” *Proc. of ICPR ’96*, pp. 675-679, 1996.
- [8] W. N. Lie, C. L. Wu, and G. S. Lin, “Robust Image Watermarking On the DCT Domain,” *IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, pp. 9-15, 1999.
- [9] W. Y. Chen and S. Y. Huang, “Digital Watermarking Using DCT Transformation,” *Chin-Yi Journal*, vol. 18, pp. 173-183, 2000.
- [10] W. Y. Chen, and C. H. Chen, “An Novel Image Watermarking Scheme Using Wavelet Transforms and Spread Spectrum,” *IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 2001.
- [11] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson Leighton, and Talal Shamoan, “Secure Spread Watermarking for Multimedia,” *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 6 no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [12] C. E. Shannon, 1948, “A mathematical Theory of the Communication,” *Bell Sys. Tech. J.*, 27 379- 423, 623-656.
- [13] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, 1980, “An algorithm for vector quantizer design,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, pp. 85-94, Jan., 1980.
- [14] L. Bobrowski and J. c. Bezdek, 1991, “ c-Means clustering with the l_1 and l_∞ norms,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet.*, vol. 21, pp. 545-554.
- [15] P. Y. Yin and L. H. Chen, 1994, “ A new non-iterative approach for clustering,” *Pattern Recognition Lett.*, vol. 15, pp.125-133.
- [16] P. W. M. Tsang and W. T. Lee, “Small Codebook Interpolative Vector Quantization System,” *International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA*, pp. 136-139, 1996.
- [17] K. R. Castleman, “Digital Image Processing,” Prentice-Hall, New York, 1996.
- [18] C. K. Chan and L. M. Po, “Image Vector Quantization Using Hadamard Transform Subspace,” *IEEE Region 10 Conference on Computer and Communication Systems*, 1990, pp. 476-480.



圖一、鋸齒波掃描順序



圖二 (a) 嵌入原始彩色影像流程圖

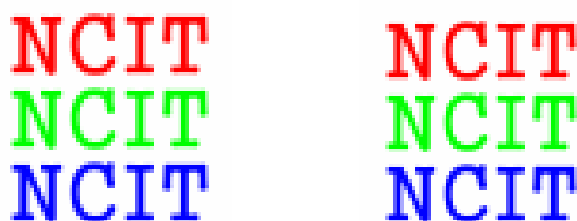


圖二 (b) 嵌出原始彩色影像流程圖

圖二、 虛擬彩色影像系統流程圖



圖三、不可感知性測試；原始彩色影像（左），嵌入彩色影像（右）



圖四、浮水印清晰性測試；原始浮水印影像標記（左），
嵌入後再取出浮水印影像標記（右）



圖五、來自於硬性 C-均值彩色向量量化演算法對 RGB 各平面編碼簿大小為 128 所建立之“House”及“Tree”原始彩色影像(左)，及重建彩色影像(右)，其平均 PSNR 分別為 28.725 dB 及 25.164 dB



圖六 (a) 原始彩色影像



圖六 (b) 偽裝彩色影像



圖六 (c) 虛擬彩色影像



圖六 (d) 嵌出暨重建原始彩色影像

圖六、 虛擬彩色影像系統實驗測試，其平均 $PSNR$ 為 24.394 dB

