

SPIHT 技術在影像壓縮教學平台上之應用

董俊良 莊嘉怡 邱博廉 鄧舜文

國立勤益技術學院 資訊管理系

E-mail : cltung@chinyi.ncit.edu.tw

摘要

隨著網際網路和無線通訊的快速發長，影像被廣泛地應用在各種多媒體服務中，影像的壓縮和可靠傳輸於是成為一個重要的研究課題。近年來，雖然說網路通訊以及資料儲存設備技術也有顯著的進步，然而隨著資訊化普及，使用者的需求一直都遠大於網路及儲存空間所能提供之服務。因此資料在傳輸或儲存前要先經過壓縮，才能在有限的頻寬之下取得服務的品質保證。在 1996 年由 Amir Said 和 William A. Pearlman [1]所提出的 SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) 演算法，被認為是最簡單有效的構想。而本論文的主要目的是分析影像的品質經由小波轉換，SPIHT 演算法後的位元串流之特性。實驗的結果顯示，我們所提出的 SPIHT 演算法，不管是在影像的高位元率壓縮或是低位元率壓縮均可以達到相當高的峰值訊號雜訊比 (PSNR)，最重要的是主觀視覺評估上也都可以獲得令人滿意的結果。此外，本篇論文所設計的可調式影像壓縮測試教學平台，提供給研究人員一個整合式的影像轉換與壓縮測試環境，本測試教學平台以向量量化編碼 (Vector Transform, VQ) 與階層式集合分割影像壓縮技術 (Set Partition in Hierarchical Trees, SPIHT) 為主要的二種壓縮方法，並提供了多種頻率域影像轉換方法，例如離散餘弦轉換 (Discrete Cosine Transformation, DCT)、哈達碼轉換 (Hadamard Transform, HT) 與離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform, DWT)，讓研究人員快速分析不同的影像轉換方法在壓縮及還原之後的差異。

關鍵詞：階層式集合分割影像壓縮技術、小波轉換、向量量化編碼、離散餘弦轉換、哈達碼轉換

一、前言

在現今網路盛行的時代，許多人都有使用網路瀏覽器的經驗，如果只是單獨傳輸文字資料，則其傳輸時間較短；反之，若是夾雜著影像的資料，則傳輸時間較長。假設文字資料量遠小於影像資料量，則其等待的時間約略與影像大小成正比。為了要讓現有的系統能夠減少處理大量數位資料所需的時間和空間需求，我們必須要以更精簡的方式來表達大量的資料。這些特別的儲存與傳遞方法，就是資料壓縮[8]。而我們通常為了降低影像資料的傳輸量，一般都使用影像壓縮技術來降低之。在數位影像的傳輸與儲存的應用上，低位元（low bit rate）壓縮方法是必要的。

目前已有許多的影像壓縮技術被提出，而本篇論文所討論的則是以 1996 由 Said 和 Pearlman [1]所提出的 SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) 演算法為基礎，進而產生的演算法，因為我們知道 SPIHT 演算法是一漸進式編碼演算法。我們知道此類演算法的優點在於能夠依照資料的重要程度來安排編碼資料在位元流中的位置。反映在實用面上的優點，就是在進行編碼時，可以在任意時刻停止，而解碼器仍可就已編碼資料解碼。或是利用同一段編碼後的位元流，可以提供不同解析度的解碼影像。

本篇論文分為四個章節，第一章為前言，第二章為 SPIHT 漸進式編碼演算法，第三章為實驗結果，第四章為結論。

二、SPIHT 漸進式編碼演算法

本章將做 SPIHT 漸進式演算法的簡介與重要觀念說明。完整的 SPIHT 漸進式演算法是由許多階段所共同完成的，如圖 2-1 所示，其主要分成下列幾個部分：

- (1) DWT (Discrete Wavelet Transform)：將一般影像從空間域 (Spatial Domain) 轉成頻率域 (Frequency Domain)，利用離散小波轉換 (DWT) 去除原始影像中資料冗餘，然後利用 SPIHT 演算法依據係數的特性完成編碼。
- (2) SPIHT：將 DWT 轉換後之係數輸入，由編碼器做處理並產生相對應符號輸出。
- (3) Entropy coding：將 SPIHT 所產生的符號透過 Entropy coding 壓縮，產生其位元流 (bit stream)。
- (4) ISPIHT：SPIHT 的解碼運算，將 SPIHT 之符號解碼還原成位元平面 (bit-plane)。
- (5) IDWT (Inverse Discrete Wavelet Transform)：DWT 的反向運算，將轉換後的係數 (頻率域) 轉成一般影像 (空間域)。

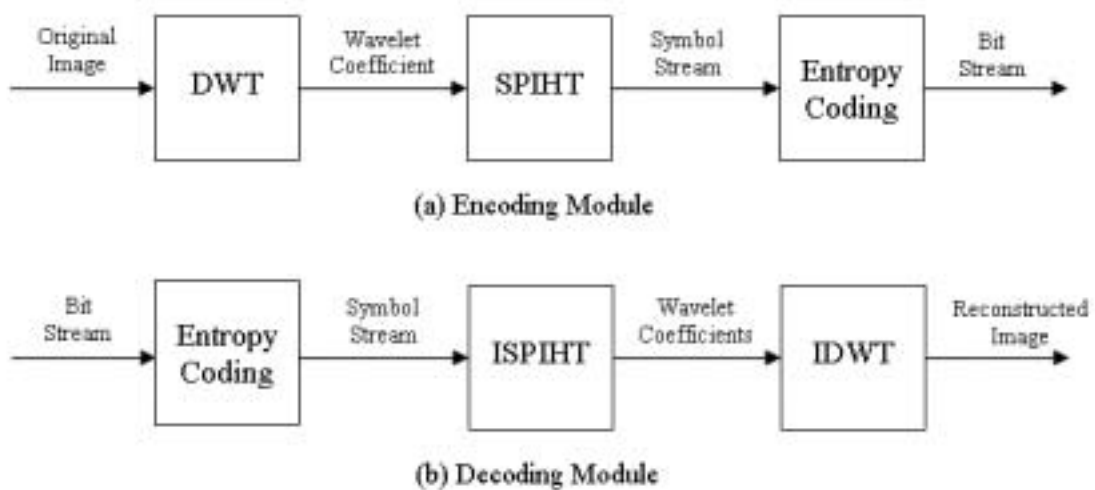


圖 2-1 SPIHT 演算法之流程

由 Said 和 Pearlman 於 1996 年在 IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology 上所提之論文所提出的階層式集合分割影像壓縮技術(Set Partition in Hierarchical Trees, SPIHT)[8,9]，是一種利用離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform, DWT)加上樹狀結構(Tree structure)為基礎，並改良 EZW 演算法而來，它小幅度修改了 EZW 中的樹狀結構（如圖 2-2、圖 2-3）允許零樹符號表示更多的組合，所以它是一種既快速又有效率的漸進式和嵌入式的影像壓縮演算法。然而，對於某些除了具有大量低頻信號外，也同時擁有高頻信號的影像，SPIHT 的編碼壓縮效率都會顯得低落。這是因為這樣類型的影像，並無法透過離散小波轉換的處理，徹底地將影像中的能量做有效率的集中，以符合 SPIHT 的編碼特性。

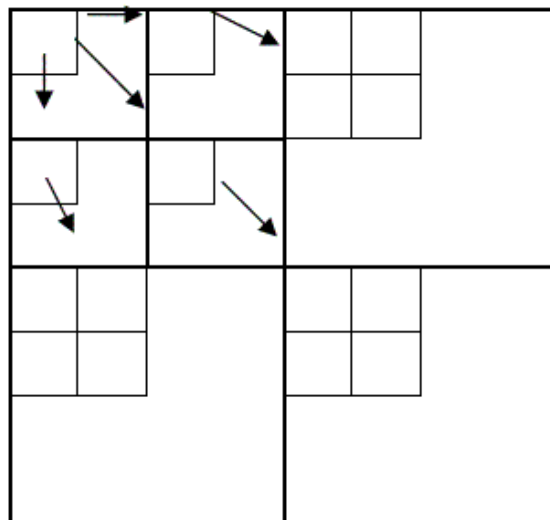


圖 2-2 EZW 的零樹架構

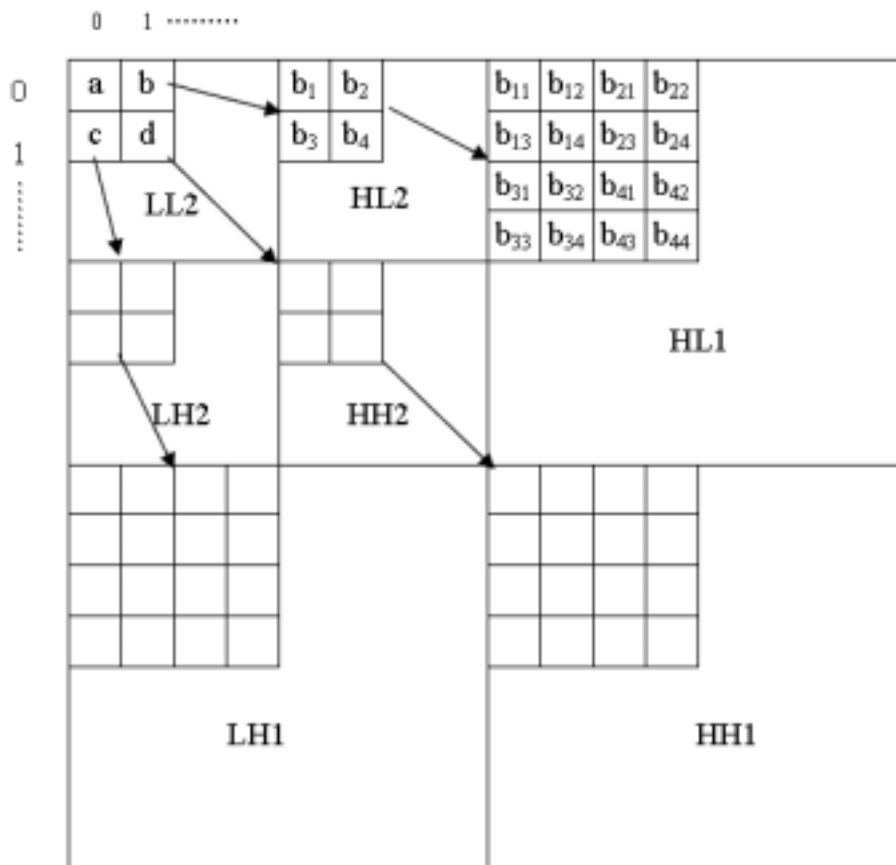


圖 2-3 SPIHT 的零樹架構

SPIHT 演算法具有漸進式量化 (Successive Approximation Quantization) 觀念，所謂漸進量化是由排序 (Sort) 與精煉化 (Refinement) 這兩部分所組成，簡單的說，排序是找出係數集合 (coefficient set) 中大於臨界值的係數；而精確化則是將之前排序過程中所找出的全部重要係數 (significance coefficient) 做精煉化，即傳送該係數次要位元。SPIHT 擁有嵌入 (Embedded) 的傳輸功能，即每一次動作的有效係數皆依值的大小排列，並以較大的值優先傳送的方式。因此無論傳送的位元流 (bit stream) 在何處被截斷，都可保證解碼端收到的訊息皆是主要的部份。因此在編碼端只需以一種速率傳送資料，而可供給任何速率的接收端。

SPIHT 演算法使用方向樹來傳送位置訊息如圖 2-4 所示，影像經小波分解後，在相同方位的不同頻帶上都具有自我相似性 (Self similarity) 的特性；即在金字塔型 (pyramid) 階層式的架構下，因為愈上層愈是低頻之故，其下層的係數值都是比上層的係數值較小；而小波分解後每個次頻帶的分佈便是屬於這種架構，如圖 2-7 所示，以 Scan Order 這種方式來儲存並傳送我們離散小波轉換後的影像。Scan Order 儲存方法是由低頻先儲存，再儲存中頻，最後才是高頻；因為低頻是影像最重要的地方，中頻及高頻是用來加強低頻的，所以這種儲存方式會讓傳輸的影像由模糊到清楚；如此一來，即使連線突然中斷，我們也可以依模糊的影像判斷是否要重新連線。

Scan Order 的做法就是，將離散小波轉換所得到的頻帶以 Z 字形的順序一一儲存；

儲存的順序如圖 2-5 所示，從最重要的低頻 (LL3) 到中頻 (HL3、LH3)，一直到最不重要的高頻 (HH1)。而頻帶內的每個係數，我們也是依 Z 字形儲存。如圖 2-6 所示，我們依照 [1,1][1,2][2,1][2,2]...[4,4] 的順序儲存，因此利用此特性發展出這一叫方向樹的係數值掃描順序，如此則可以節省傳送位置訊息的位元數目。

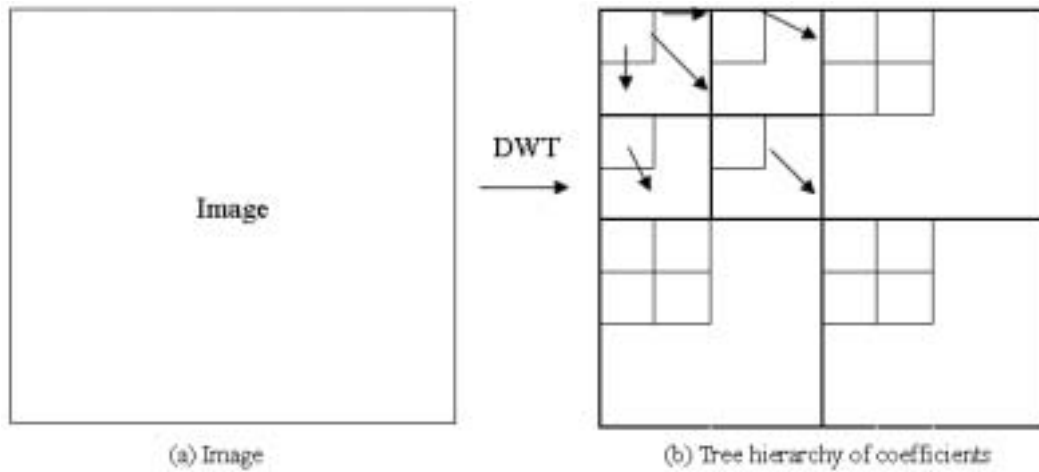


圖 2-4 影像與祖孫樹階層關係

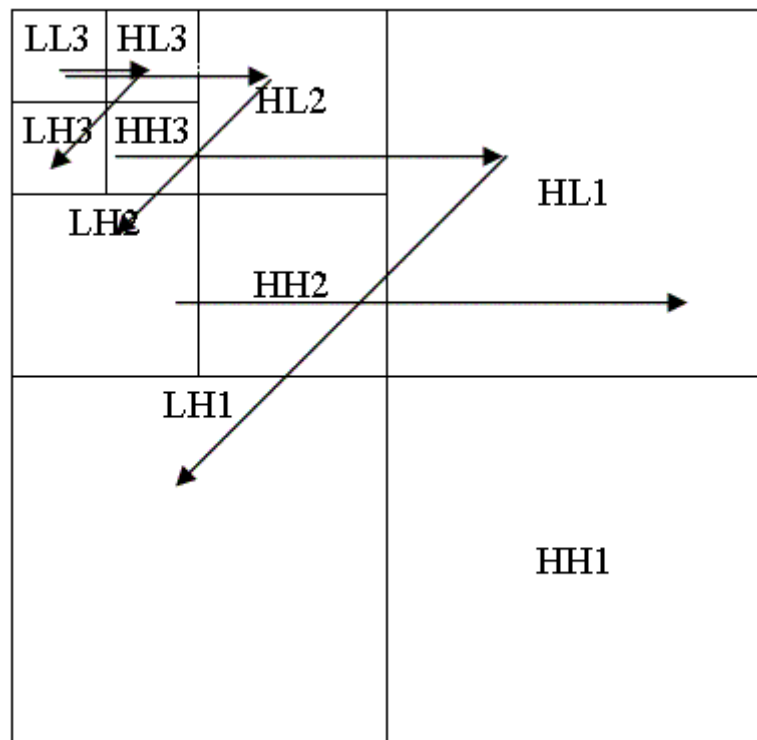


圖 2-5 Scan Order 儲存頻帶示意圖

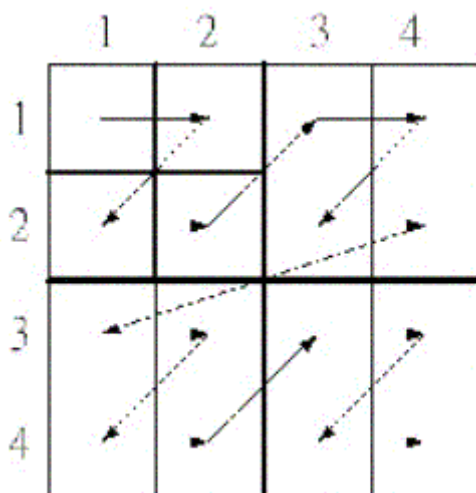


圖 2-6：Scan Order 儲存係數順序示意圖

SPIHT 利用小波轉換後建立如圖 2-4 所示之父-子次頻帶 (subband) 關係，在圖中箭頭從父-次頻帶 (parent subband) 指向子-次頻帶 (child subband)，最低頻在左上角；最高頻在右下角。接著依照圖 2-7 所示之掃描順序，先從低頻帶 (LL3) 開始，然後依 HL3、LH3、HH3 頻帶，接著繼續從 HL2、LH2、HH2 頻帶掃描，最後再從 HL1、LH1、HH1 頻帶依序掃描。一般來說影像中較重要的資訊大多在低頻 (LL) 部分，其次為高低頻 (HL) 或低高頻 (LH)，而高高頻 (HH) 則重要的資訊較少，即邊緣部分，利用這樣掃描的順序可以將對於影像中有重要的資訊先做編碼，優先傳送。

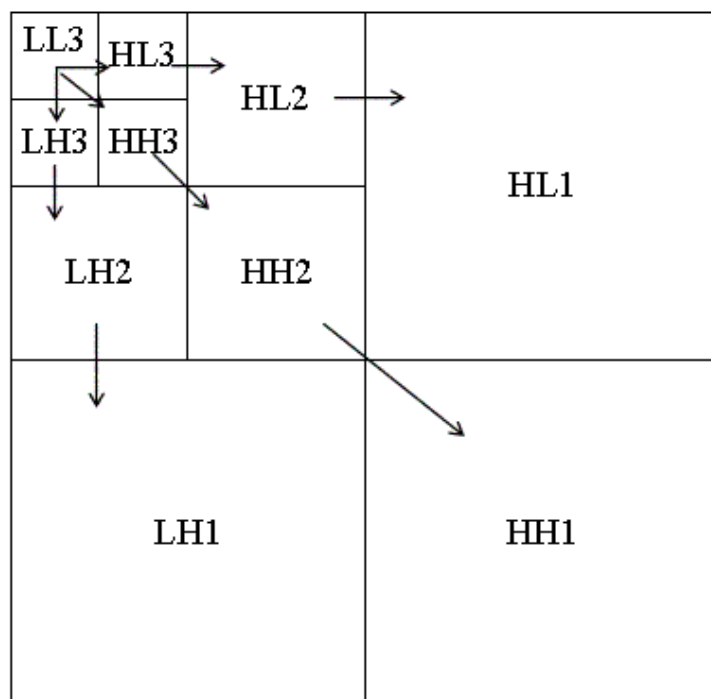


圖 2-7 父-子次頻帶之關係

我們知道此類演算法的優點在於能夠依照資料的重要性來安排編碼資料在位元流中的位置。反映在實用面上的優點，就是在進行編碼時，可以在任意時刻停止，而解碼器仍可就已編碼資料解碼。或是利用同一段編碼後的位元流，可以提供不同解析度的解碼影像。

在 SPIHT 演算法中能達到上述效果主要是利用了三個觀念：(1) 是對小波係數依照大小作部份排序，(2) 是有順序的傳送修正位元值，(3) 是利用經由小波轉換後的影像係數在不同頻帶上具有空間上的相關性。SPIHT 演算法即是引用了上述的觀念，並提出一套有效尋找重要係數及傳送修正位元的方法，使其無論在速度或壓縮率上都有傑出的表現。

SPIHT 演算法使用三種串列分別為：

- (1) List of Insignificant Pixels (LIP)：SPIHT 定義之不重要係數的串列；SPIHT 從這個串列裡面一個個取出其存放的係數判斷是否為重要係數。如果取出的係數是重要係數，SPIHT 就將其移出 LIP，放置到 LSP 中；若是不重要係數，則其不須移出 LIP 串列。
- (2) List of Insignificant Sets (LIS)：未處理係數的串列集合，當檢查完某係數之後，就將此係數的子孫樹節點們暫存於此集合中。
- (3) List of Significant Pixels (LSP)：SPIHT 定義之重要係數的串列，將搜尋到的重要係數存放在此串列中。

另外 SPIHT 演算法也將樹分成兩種型態，其分別為：

- (1) 型態 A：包含此係數的所有子孫節點的集合。如：A(0,1)表示包含(0,1)的所有子孫節點，即為圖 2-3 中的 $b_1, \dots, b_4, b_{11}, \dots, b_{44}$ 等係數。
- (2) 型態 B：表示包含此係數的孫係數節點，但未包含係數節點本身與其子係數節點的集合。如：B(0,1)表示不包含(0,1)這個係數節點與其子係數節點，但卻含有(0,1)的所有孫係數節點，即為圖 2-3 中的 b_{11}, \dots, b_{44} 等係數。

SPIHT 編碼演算法的步驟：

- (1) 計算臨界值並初始化：

$$(a) N = \lfloor \log_2(\max(C_{ij})) \rfloor \quad \text{Eq. (1)}$$

(C_{ij} ：矩陣中係數值最大者)。

- (b) LIP 設定為所有根節點的係數。
- (c) LIS 設定低頻子頻帶所有節點 (型態 A)。
- (d) LSP 設定為空集合。

- (2) 排序動作：

- (a) 檢查在 LIP 中所有係數是否為重要的。
 - (i) 若是重要的，則輸出 1，並緊接著輸出符號位元，然後將此係數的座標值，

搬入 LSP 中。

(ii) 若不是重要的，則輸出 0。

(3) 檢查在 LIS 中所有的項目 (entry)，並判斷其子孫 (descendant) 節點的係數是否有重要的。

(a) 型態 A 的樹：

(i) 若是重要的，則輸出 1，並繼續對子節點編碼。

若子節點是重要的，則輸出 1 及符號位元，並加入至 LSP 中。

若子節點是非重要的，則輸出 0，並加入至 LIP 的尾端。

若子節點還有孫節點，則將樹搬移至 LIP 的尾端，並設為型態 B。

若子節點無孫節點，則將樹從 LIS 中移除。

(ii) 若是非重要的，則輸出 0。

(b) 型態 B 的樹：

(i) 若是重要的，則輸出 1，並將每個子節點之樹加入至 LIS 的尾端並且設定為型態 A，原本父節點之樹也從 LIS 移除之。

(ii) 若是非重要的，則輸出 0。

(4) 精煉化動作：

(a) 在第一個排序動作結束時，將不會執行精確化的動作。

(b) 在 LSP 中除了目前動作所新加入的係數之外，其他每一個係數值之第 n 個 MSB，當作精確化位元。

(5) 量化刻度更新 (Quantization step update)：








(a) 降低臨界值 $1/2$ 。

(b) 重複步驟 2 至 4。

三、實驗結果

本文所使用的實驗平台為 Pentium 41.8GHz 處理器、128MB 記憶體、作業系統為 Windows 2000 Professional、程式撰寫工具為 MATLAB 5.1。本文所做測試之離散小波轉換為三階轉換，一般離散小波轉換做三階轉換即可獲得我們需要的轉換品質，因此本實驗採三階轉換作為 DWT 轉換配合 SPIHT 壓縮的方法進行研究。SPIHT 壓縮法，通常以離散小波轉換後的影像資料來做資料的壓縮，且使用三階離散小波轉換後的資料，配合此壓縮法，即可獲得的 PSNR 值約為 25 左右的影像還原品質。本實驗使用七張不同的灰階影像 (影像大小為 256×256 的灰階影像，如表<1>所示) 進行小波轉換，並且將所獲得的小波係數傳送到採用 SPIHT 演算法的影像壓縮教學平台 [9,10]。然後利用 SPIHT 的位元配置及挑選重要位元的特性進行第二階段的壓縮與還原。實驗後所得到的 PSNR 值與壓縮時間(單位 hr)，如表<2>所示。

表<1> 本實驗所使用之圖片

Baboon	Barbala	Boy & Girl	F16	Girl	Lena	Pepper
						

表<2> 經 SPIHT 壓縮後之 PSNR 值

影像	Lena	Barbarla	Boy & Girl	F16	Girl	Baboon	Pepper
壓縮時間	6.10	6.15	5.92	6.23	6.14	5.92	6.20
PSNR	24.3096	25.4082	25.4562	24.314	25.5102	24.3216	24.2150

本實驗針對 DWT 三階轉換作及 SPIHT 壓縮法進行研究，並且將所獲得的成果移植至可調式影像壓縮測試教學平台[9,10]，提供給研究人員一個整合式的影像壓縮測試環境。圖 3-1 為可調式影像壓縮測試教學平台的系統主畫面。



圖 3-1 系統主畫面

系統主畫面說明：

1、「使用者自定」設定區：

- (a) 「來源圖檔」設定：設定處理來源的影像
- (b) 「區塊大小」設定：設定處理區塊的大小
- (c) 「預覽圖檔」功能：可預覽由「來源圖檔」設定中所選定的來源圖檔

2、「頻率轉換方法」設定區：

(a) 「轉換型態」設定：設定轉換的型態

3、「向量量化」相關設定區：

- (a) 「編碼簿產生器」設定：設定碼簿訓練方法
- (b) 「編碼簿大小」設定：設定碼簿大小，即碼向量數量（其值愈小，速度愈快）
- (c) 「門檻值」設定：設定訓練門檻值（其值愈大，速度愈快）

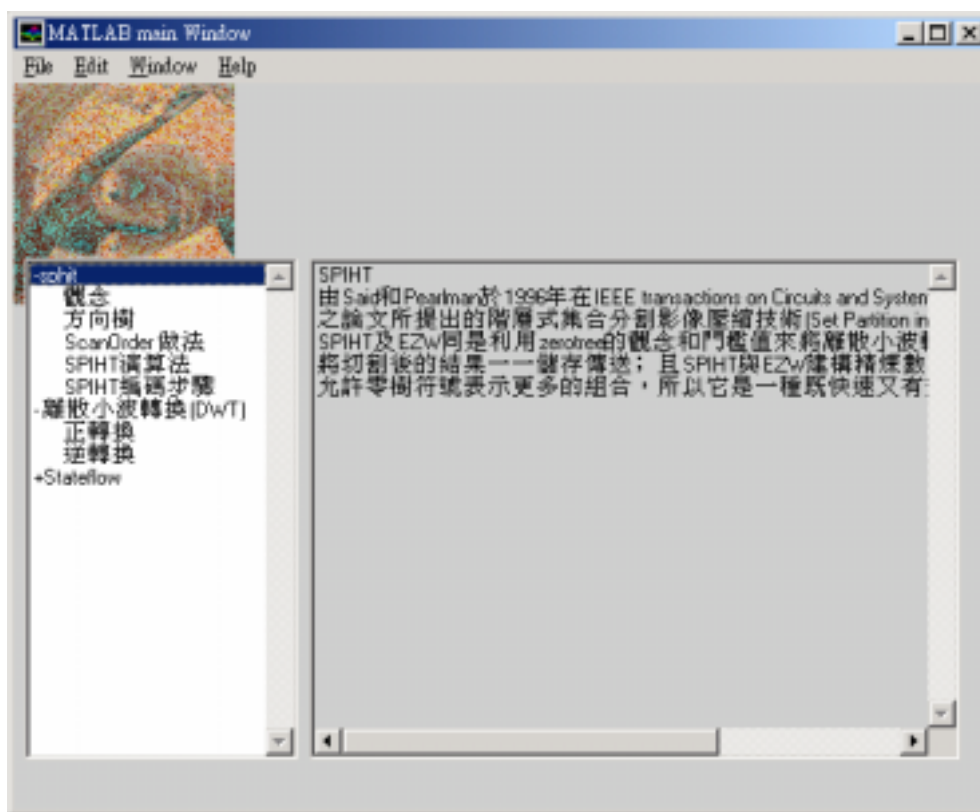


圖 3-2 系統說明檔

系統說明檔畫面說明：

1、「系統說明檔」設定區：

- (a) 「spiht」說明：說明有關「階層式集合分割影像壓縮技術」(Set Partition in Hierarchical Trees, SPIHT)的內容，包括觀念、方向樹、ScanOrder 做法、SPIHT 演算法、SPIHT 編碼步驟。
- (b) 「DWT」說明：說明有關「離散小波轉換」(Discrete Wavelet Transform,DWT)的內容，包括正轉換與逆轉換。



圖 3-3 DCT 與 VQ 的影像壓縮設定

DCT 與 VQ 的影像壓縮設定畫面說明

1、「使用者自定」設定區：

- (a) 「來源圖檔」設定：選擇 LENA 圖檔。
- (b) 「區塊大小」設定：設定大小為 16×16 。
- (c) 「預覽圖檔」功能：可預覽由「來源圖檔」設定中所選定的來源圖檔。

2、「頻率轉換方法」設定區：

- (a) 「轉換型態」設定：設定轉換的型態為 DCT (離散餘弦轉換)。

3、「向量量化」設定區：

- (a) 「編碼簿產生器」設定：選擇 LBG 演算法
- (b) 「編碼簿大小」設定：設定為 243。
- (c) 「門檻值」設定：設定為 0.04。



圖 3-4 DCT 與 VQ 的程序輸出畫面

DCT 與 VQ 的程序輸出畫面畫面說明

- 1、「處理結果」：顯示該處理程序之所有資訊
- 2、處理結果顯示區：顯示所有處理結果
- 3、結果影像顯示區：顯示還原後之影像
- 4、「處理時間」：顯示處理之時間
- 5、PSNR：顯示還原影像之 PSNR
- 6、「壓縮率」：顯示壓縮率



圖 3-5 DWT 的程序輸出畫面

DWT 的程序輸出畫面畫面說明：

1. DWT Image：經 DWT 轉換後所得到的程序輸出畫面

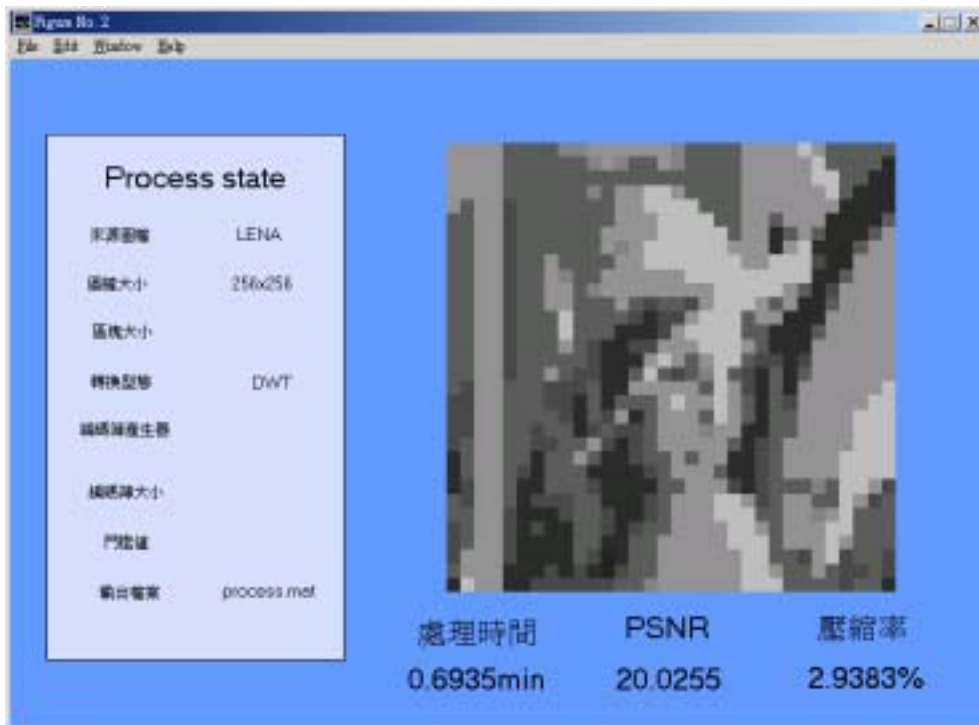


圖 3-6 DWT 與 SPIHT 的程序輸出畫面

DWT 與 SPIHT 的程序輸出畫面畫面說明

- 1、「處理結果」：顯示該處理程序之所有資訊
- 2、處理結果顯示區：顯示所有處理結果
- 3、結果影像顯示區：顯示還原後之影像
- 4、「處理時間」：顯示處理之時間
- 5、PSNR：顯示還原影像之 PSNR
- 6、「壓縮率」：顯示壓縮率

四、結論

影像轉換與壓縮這方面的研究領域，隨著人們的資訊傳遞需求，愈來愈多人從事研究與探討，近年來由於小波理論的成熟發展，已經成功的應用在影像壓縮技術上，因此如何結合位元率-失真理論以達到編碼之最佳化，已成為今日重要的課題。在本實驗中，自行以 MATLAB 程式來撰寫，主要目的是希望藉由 MATLAB 快速簡單的「陣列」特性來定義出複雜且不規則的重要區域，並測試目前常見的頻率域轉換與壓縮的速度。實驗結果，可以看出離散小波轉換的轉換速度相當快，如能結合 SPIHT 則可以有效地在網路系統中漸進式傳送重要資料。

本文所使用的可調式影像壓縮測試教學平台，目前僅能用來處理灰階影像，對於彩色影像的處理尚未支援。因此，希望未來能針對以下所提出的數點作為改進的方向：(1) 將彩色影像分解為各原色所組成的單色影像，並進行編碼。(2) 配合人類視覺模型，將彩色影像分解為亮度、色差訊號；並對色差訊號作次取樣的動作，以增加壓縮率。(3) 利用 SVM 的分類與迴歸技術加快 VQ 的 Codebook 訓練。

參考文獻

- [1] A. Said and W. A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," *IEEE trans. Circuits Syst. Video Tech.*, vol.6, pp. 243-250, June 1996.
- [2] B. A. Banister and T. R. Fischer, "Quantization Performance in SPIHT and Related Wavelet Image Compression Algorithms," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 6, No. 5, pp. 97-99, May 1999.
- [3] A. Jarvi, J. Lehtien and O. Nevalainen, "Variable quality image compression system based on SPIHT," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 14, No. 9, Jul. 1999, pp. 683 -696.
- [4] M. Craizer, E. A. B. D. Silva and E. G. Ramos, "Convergent algorithms for successive approximation vector quantisation with applications to wavelet image compression," *IEE Proceedings-Vision Image and Signal Processing*, Vol. 146, No. 3, Jun. 1999, pp. 159 -164.

- [5] M. Accame and F. Granelli, "Hierarchical progressive image coding controlled by a region based approach," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 45, No.1, Feb. 1999, pp. 13 –20.
- [6] 陳同孝, 張真誠, 黃國峰, *數位影像處理技術*, 松崗, 2001.
- [7] 劉晉吉, "漸進式零樹編碼系統之研究與架構設計," 國立雲林科技大學電子與資訊工程研究所碩士班, 碩士論文, 2000.
- [8] 戴顯全, *資料壓縮*, 松崗, 1998.
- [9] 董俊良, 莊嘉怡, 陳柏輝 "植基於小波轉換之影像壓縮整合平台", *勤益學報*, Vol.20, pp.359-373, 勤益技術學院, 2002
- [10] 董俊良, 曹文瑜, 廖文忠, 楊惠貞, 陳柏輝, "植基於頻率域轉換之影像壓縮整合平台", *勤益學報*, Vol.19, pp.173-183, 勤益技術學院, 2001

