

應用灰色多項式內插法於降低影像壓縮之區塊效應

黃任賢
朝陽科技大學
資訊工程系

謝政勳
朝陽科技大學
資訊工程系
chhsieh@cyut.edu.tw

陳培文
南開技術學院
電子工程系

摘要

在本論文中，我們提出一個新的灰色多項式內插法並將其應用在影像壓縮技術中藉此消除 JPEG 在低位元率下所產生的區塊效應。在所提的方法中，我們並不更改 JPEG 裡任何編解碼程序即可在非常低的壓縮位元率下，有效提升主觀上的影像品質。首先，原始影像經過簡單的降低取樣動作成為低解析度的影像，而後進入 JPEG 壓縮標準中得到重建過後的影像。最後，再利用灰色多項式內插法將影像放大，得到最終的重建影像。由模擬結果中顯示，我們所提出方法在低位率下的影像壓縮中能夠有效降低重建影像上的區塊效應，提升影像的視覺品質。

關鍵詞：灰色一次累加生成、多項式內插法、區塊效應、JPEG

1. 前言

由於電腦網路的快速發展與多媒體應用的普及，為了降低數位影像所需的記憶容量與有效地使用網路傳輸頻寬，數位影像壓縮技術便因此誕生。在靜態影像壓縮技術中，Joint Photographers Expert Group (JPEG)[1-2]標準已被廣泛的接受並應用在各個層面。然而，在低位元率(low bit rate)的情況下，JPEG所得到的影像會有非常嚴重的區塊效應產生，嚴重影響影像品質。為了改善JPEG在低位元率(low bit rate)下所產生的區塊效應的問題，許多相關研究方法相繼提出。在[3]中使用低通濾波器的方法，然而會使得重建影像變為模糊。在[4-9]相關的後處理方法中，重建影像中的區塊效應似乎無法有效改善。在小波轉換方法[11-15]中，利用處理過後的小波係數直接透過簡單的反轉換來降低影像的區塊效應問題。基於凸集投影POCS(projection onto convex set)[16-20]的方法中，這些方法雖然能有效提升重建影像的畫質，然而其缺點就是必須花費龐大的時間與運算量。在文獻[21]中，應用內插法減輕在低位元率時的區塊效應，然而其使用之立方雲形線

內插法(cubic convolution spline interpolation)計算複雜度較高，其應用因此受到限制。

因此，在本論文中我們提出一個簡單有效以灰色多項式內插法 (Grey Polynomial Interpolation, GPI)為基礎的影像壓縮技術，藉此降低在低位元率壓縮時的區塊效應，由於這個方法是先將縮小的影像經過JPEG壓縮，再經過 GPI 放大，所以我們稱這個方法為 JPEG-GPI。這個方法的動機主要是根據以下的想法：區塊效應之所以產生的原因主要是以區塊為基礎的編碼器無法提供足夠的位元來維持畫面品質。因此在使用相同的位元率的情況下，如果影像大小縮為原來的四分之一，那麼縮小後的轉換係數應該會有四倍於原始影像的編碼位元數，所以經過壓縮後的縮小影像，其區塊效應也應該較小於原始影像壓縮後的影像。所剩下的問題就是如何將縮小的影像恢復原始的大小，而這個部分則可以由內插技術完成。

本篇論文架構如下：第 2 節為說明一維多項式內插法，第 3 節為描述所提出的灰色多項式內插法，第 4 節為我們所提出的消除區塊效應方法，第 5 節為提出的 JPEG-GPI 與 JPEG 做性能比較，第 6 節為本文的結論。

2. 一維多項式內插法

本小節將對一維多項式內插法 (1-D polynomial interpolator, PI)做一簡要的回顧，詳細的敘述可參考文獻[22]。給定原始資料 $x(k)$ ，一維多項式內插法實行步驟如下：

Step 1. 令 $x(k)$ 具有 L 階多項式的型式，也就是說

$$x(k) = c_L k^L + c_{L-1} k^{L-1} + \cdots + c_1 k + c_0 \quad (1)$$

Step 2. 將 $1 \leq k \leq L+1$ 代入(1)式，可得

$$\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{c} \quad (2)$$

其中 $\mathbf{x}$, $\mathbf{c}$ 與 $\mathbf{V}$ 分別代表 $x(k)$, c_k 與

$$v_{kj} = k^{L-j} \text{ for } 0 \leq j \leq L, 1 \leq k \leq L+1。$$

Step 3. 求解內插值 $\hat{x}(k+1/M)$

$$\hat{x}(k+1/M) = c_L(k+1/M)^L + \dots + c_1(k+1/M) + c_0 \quad (3)$$

其中係數 c_k 為由式(2)求得。

Step 4. 獲得最終的內插值，如下

$$\hat{x}(k+1/M) = \hat{x}(k+1/M) \times M \quad (4)$$

在無損的原則下，其中 M 表示一個放大係數且一般而言視為一個整數。

在一維多項式內插法裡資料間的隨機性是影響其性能的主要原因之一。因此，若能降低資料的隨機性，其性能應可有效的得到改善。

3. 灰色多項式內插法

灰色系統是由鄧聚龍教授於 1982 年所提出的理論，其中又以灰色模型 GM(1,1) 為基礎的應用較為廣泛。在 GM(1,1) 模型中使用灰色生成的方法來降低原始資料數列間的隨機性。而常見的灰生成方法為一次累加生成 (first-order accumulated generating operation, 1-AGO) 與一次反累加生成 (first-order inverse accumulated generating operation, 1-IAGO)，相關描述如下。

給定原始資料 $\{x(k) > 0 \text{ for } 1 \leq k \leq K\}$ ，根據一次累加生成 (first-order accumulated generating operation, 1-AGO) 產生新的資料 $x^{(1)}(k)$ 如下：

$$x^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k x(n) \quad (5)$$

for $1 \leq k \leq K$ ，其中 $x^{(1)}(1) = x(1)$ 。從式(5)中，可以輕易地從 $x^{(1)}(k)$ 裡找回原始資料

$$x(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \quad (6)$$

for $2 \leq k \leq K$ 。這個運算稱為一次反累加生成 (first-order inverse accumulated generating operation, 1-IAGO)。為了說明一次累加生成能有效降低資料的隨機性，我們以圖(一)為例，圖中分別顯示了資料處理前與處理後的情形。結果顯示，原始資料經過 1-AGO 處理後，確實降低了隨機性。

根據上述的觀察，於本小節中，我們將提出一個灰色多項式內插法 (Grey Polynomial Interpolation, GPI) 來改善多項式內插法的性能。由於一次累加生成可有效降低資料間的隨機性，因此在所提的方法中，我們使用一次累加生成的技巧對原始資料進行前處理，藉此降低資料的隨機性。接著使用第 2 節中描述的方式求得內插值。再藉由一次反累加生成後處理

獲得內插值。最後，再使用一個 α 濾波器對內插值做修正。記 $M \times M$ 分別為水平與垂直方向放大倍數為 M 倍，已知大小為 $L \times L$ 且色彩格式為 RGB 三原色所組成的原始影像，經色彩轉換為 YCbCr 格式記為 O ，分別對 YCbCr 色彩格式的每個 channel 經過取樣因子為 M 的降低取樣後，所得到的大小為 $(L/M) \times (L/M)$ 的影像記為 O_M 。在本節裡由於每個色彩 channel 內插做法皆相同，為了方便起見我們只說明 Y channel 的做法，其流程方塊圖如圖 2 所示。灰色多項式內插法實行步驟描述如下：

Step 1. 將影像 O_M 水平掃描線上的資料取 $L+1$ 點為一段，且前一段的第 $L+1$ 點資料設為下一段的第 1 點資料，每一分段的資料記為 $x = \{x(k), 1 \leq k \leq L+1\}$ 。

Step 2. 將 x 經一次累加生成如下：

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x(i) \quad (7)$$

for $1 \leq k \leq L+1$ 。

Step 3. 將 $x^{(1)}(k)$ 代入 (3) 式求得內插值 $\hat{x}^{(1)}(k+1/M)$ 。

Step 4. 經過一次反累加生成求得估計值 $\hat{x}(k+1/M)$

$$\hat{x}(k+1/M) = [\hat{x}^{(1)}(k+1/M) - \hat{x}^{(1)}(k)] \times M \quad (8)$$

Step 5. 經 α 濾波器修正內插估計求得最後結果如下 $\hat{x}(k+1/M)$

$$\hat{x}(k+1/M) = \alpha \hat{x}(k) + (1-\alpha) \hat{x}(k+1/M) \quad (9)$$

其中， $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

Step 6. 依照水平方向內插方法求得垂直方向的內插估計值。

在此值得注意的是，在垂直方向的內插方面，如果沒有原始資料則將水平方法所得的內插值當成原始值計算。

4. 消除區塊效應演算法

基本上，在 JPEG 壓縮過程中首先會將原始影像切割成每個 8×8 互不重複的區塊。每一個區塊會經由三個部份處理：(i) 執行二維 DCT 轉換，(ii) 量化轉換係數，與 (iii) 對量化後的轉換係數進行編碼。

在 JPEG 影像壓縮的方式中，都是使用整張原始影像資料來做處理，為了使壓縮後的影

像能保有一定程度的品質，因此在壓縮效能上也有所限制。若要以低位元率的壓縮方式得到影像，往往所得到的影像品質會有嚴重的區塊效應產生。因此，JPEG 壓縮方式並不適用在低位元率的情況。為了解決上述的問題，我們提出了 JPEG-GPI 方法，其基本想法是先減少輸入的影像資料量，再進行 JPEG 壓縮，藉此達到低位元率傳輸的要求。最後再以 GPI 放大壓縮影像還原成原始影像的大小，其方塊流程如圖(三)所示。在 JPEG-GPI 的方法中，我們透過降低取樣的技巧來減低影像資料量。給定大小為 $N \times N$ 原始影像 O ，經過因子為 M 的降低取樣後，其大小縮為 $(N/M) \times (N/M)$ 的影像，記為 O_M 。所提 JPEG-GPI 方法的實行步驟說明如下：

- Step 1. 將原始影像 O 降低取樣成影像 O_M 。
- Step 2. 將影像 O_M 送入 JPEG 壓縮，得到的重建影像記為 $\hat{O}_M$ 。
- Step 3. 利用 GPI 將重建影像 $\hat{O}_M$ 放大 $M \times M$ 倍，其中 $M \times M$ 表示在水平方向放大 M 倍，在垂直方向放大 M 倍數。

5. 模擬結果

在模擬中，我們使用由 IJG 所發展的 JPEG6b [23] 程式來壓縮輸入影像。至於 GPI 方法，我們則利用 MATLAB 來撰寫，並用於縮小後 JPEG 重建影像的放大。我們將比較 JPEG 與 JPEG-GPI 在不同低位元率下的性能，並從常用的彩色影像圖庫中選出五張影像分別是 Lena、Lake、Peppers、Jet 和 Baboon 大小皆為 512×512 且 RGB 分量之像素為 8-bit。

首先我們將 512×512 的原始影像，降低取樣為 256×256 大小。然後使用 JPEG 進行壓縮，得到重建後的影像再經過 GPI 放大還原成大小為 512×512 的影像，其中所使用的 GPI 內插演算法中的參數，在模擬中分別設為 $\alpha = 0.5$ 、 $L = 2$ 、 $M = 2$ 。我們所採用的客觀性能評估指標為一般常用的 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)，定義如下：

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{L^2} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L [O(i, j) - \hat{O}(i, j)]^2 \quad (11)$$

其中 $O(i, j)$ 與 $\hat{O}(i, j)$ 分別表示原始影像上

(i, j) 位置上的像素與經 GPI 放大後影像 (i, j) 位置上的像素值。位元率 (bit rate, BR) 的計算方式，定義如下：

$$BR = \frac{B_u \times 8}{N \times N} \quad (\text{bit/pixel}) \quad (12)$$

其中 $B_u \times 8$ 表示經 JPEG 壓縮後所得到的總位元數，如圖(三)中的 $\hat{O}_M$ 。在表(一)中記錄了在不同的位元率下所得到重建影像之 PSNR。值得注意的是 PSNR 有時並不能適當的反應主觀的影像品質，所以我們也將人眼的主觀的評判標準納入性能的考量。圖(四)到圖(八)為 JPEG 與 JPEG-GPI 分別對五張影像使用不同位元率下所得到的重建影像，從圖中可明顯的看出我們所提出的方法在影像品質上的確較優於 JPEG。儘管在非常低的位元率 $BR=0.16$ 時，JPEG-GPI 仍然可以有不錯的影像品質，相較之下 JPEG 則會產生非常嚴重的影像失真，這點是 JPEG 所不及的。由以上的模擬結果顯示，我們所提的 JPEG-GPI 的確可以有效的改善 JPEG 在低位元率時所產生的區塊效應，且不論是在主觀與客觀的影像品質評判上 JPEG-GPI 皆勝過 JPEG。

6. 結論

在本論文中，我們提出一個簡單且有效的 JPEG-GPI 壓縮技術來解決重建影像在低位元率下所產生的區塊效應問題。此方法主要是基於我們所提出的一個新的灰色多項式內插法，其對於影像放大能得到不錯的效果。此外，在所提的 JPEG-GPI 中並不需要改變 JPEG 壓縮標準中任何編解碼程序即可有效的提升影像品質。由模擬結果中，說明本論文所提出的 JPEG-GPI 可成功的應用在低位元率影像壓縮技術上。

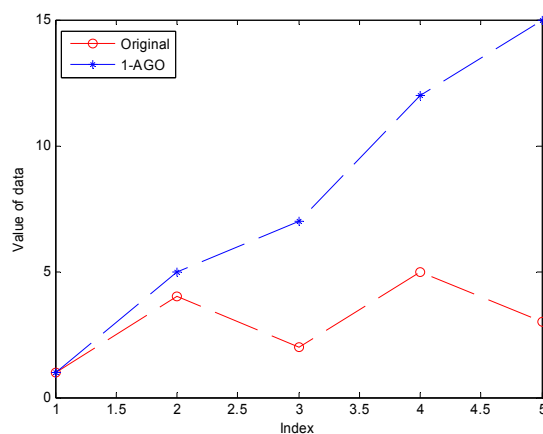
參考文獻

- [1] K. R. Rao and J. J. Hwang, *Techniques and Standards for Image, Video, and Audio Coding*, Prentice Hall, 1996.
- [2] G.K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard," *Communication ACM*, Vol. 34, pp. 30-44, Aug. 1991.
- [3] H. C. Reeve and J. S. Lim, "Reduction of Blocking Effect in Image Coding," *Opt. Eng.*, Vol. 23, pp. 34-37, Jan. 1984.
- [4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear Space-Variant Post-Processing of Block

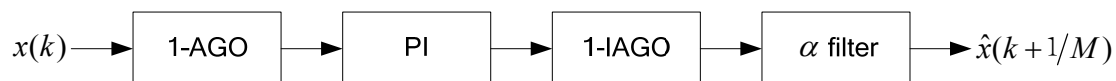
- Coded Images,” *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 34, pp. 1258–1267, Oct. 1986.
- [5] S. D. Kim, J. Yi, H.M. Kim, and J. B. Ra, “A Deblocking Filter with Two Separate Mode in Block-Based Video Coding,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 9, pp. 156–160, Feb. 1999.
 - [6] J. Chou, M. Crouse, and K. Ramchandran, “A Simple Algorithm for Removing Blocking Artifacts in Block-Transformed Coded Images,” in *Proc. ICIP’98*, Vol. 1, pp. 377–380, Oct. 1998.
 - [7] H.W. Park and Y. L. Lee, “A Post-Processing Method for Reducing Quantization Effects in Low Bit-Rate Moving Picture Coding,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 9, pp. 161–171, Feb. 1999.
 - [8] T. Jarske, P. Haavisto, and I. Defee, “Post-Filtering Methods for Reducing Blocking Effects from Coded Images,” *IEEE Trans. on Consumer Electron.*, Vol. 40, No. 3, pp. 521–526, Aug. 1994.
 - [9] Y. F. Hsu and Y. C. Chen, “A New Adaptive Separable Median Filter for Removing Blocking Effects,” *IEEE Trans. on Consumer Electron.*, Vol. 39, No. 3, pp. 510–513, Aug. 1993.
 - [10] S.-W. Hong, Y.-H. Chan, and W.-C. Siu, “The Neural Network Modeled POCS Method for Removing Blocking Effect,” *IEEE International Conference on Neural Network*, Vol. 3, pp. 1422–1425, Nov. 1995.
 - [11] R. A. Gopinath, H. Guo, M. Lang, and J. E. Odegard, “Wavelet-Based Post-Processing of Low Bit Rate Transform Coded Images,” *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 2, pp. 913–917, Nov. 1994.
 - [12] Z. Xiong, M. T. Orchard and, Y. Zhang, “A Deblocking Algorithm for JPEG Compressed Images Using Overcomplete Wavelet Representations,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 7, pp. 433–437, Apr. 1997.
 - [13] Hyuk Choi and Taejeoung Kim, “Blocking-Artifact Reduction in Block-Coded Images Using Wavelet-Based Subband Decomposition,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol 10, No. 5, pp. 801–805, Aug. 2000
 - [14] T. C. Hsung, D. P. K. Lun and, W. C. Siu, “A Deblocking Technique for Block-Transform Compressed Image Using Wavelet Transform Modulus Maxima,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 7, pp. 1488–1496, Oct. 1998.
 - [15] N. C. Kim, I. H. Jang, D. H. Kim and, W. H. Hong, “Reduction of Blocking Artifact in Block-Coded Images Using Wavelet Transform,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 8, pp. 253–257, June 1998.
 - [16] Y. Yang, N. P. Galatsanos and, A. K. Katsaggelos, “Regularized Reconstruction to Reduce Blocking Artifacts of Block Discrete Cosine Transform Compressed Images,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 3, pp. 421–432, Dec. 1993.
 - [17] Y. Yang and N. P. Galatsanos, “Projection-Based Spatially Adaptive Reconstruction of Block-Transform Compressed Images,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 4, pp. 896–908, July 1995.
 - [18] H. Paek, R. C. Kim, and S. U. Lee, “On the POCS-Based Post-Processing Techniques to Reduce the Blocking Artifacts in Transform Coded Images,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 8, pp. 358–367, June 1998.
 - [19] Y. Yang and N. P. Galatsanos, “Removal of Compression Artifacts Using Projections Onto Convex Sets and Line Process Modeling,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, pp. 1345–1357, Oct. 1997.
 - [20] S. H. Park and D. S. Kim, “Theory of Projection onto the Narrow Quantization Constraint Set and its Application,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 8, pp. 1361–1373, Oct. 1999.
 - [21] T. K. Truong, L. J. Wang, I. S. Reed, and W. S. Hsieh, “Image Data Compression Using Cubic Convolution Spline Interpolation,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.9, No. 11, pp. 1988–1995, Nov. 2000.
 - [22] Christopher J. Zarowski, *An introduction to numerical analysis for electrical and computer engineers*, Wiley, 2004.
 - [23] Thomas G. Lane, <ftp://ftp.simtel.net/pub/simtelnet/msdos/graphics/jpegsr6.zip>.

表(一) JPEG與JPEG-GPI在不同位元率下所得到的PSNR

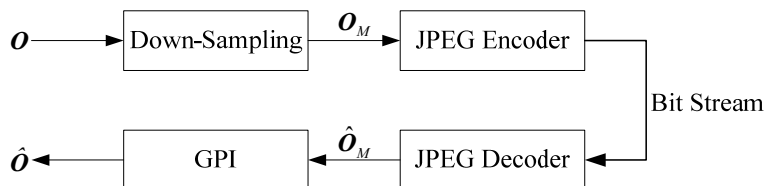
Image	Bit rate	JPEG	JPEG-GPI
Lena	0.16	14.50	27.02
	0.20	23.61	28.00
	0.24	25.70	28.46
Lake	0.16	15.10	22.43
	0.21	19.93	23.25
	0.24	21.22	23.60
Pepper	0.16	14.22	24.47
	0.21	22.40	25.34
	0.23	23.26	25.65
Jet	0.16	17.16	25.04
	0.20	22.36	25.76
	0.24	24.49	26.15
Baboon	0.17	17.06	19.46
	0.21	18.48	19.72
	0.25	19.32	19.96



圖(一) 原始資料與經一次累加生成後之比較圖



圖(二) 灰色多項式內插法之流程圖



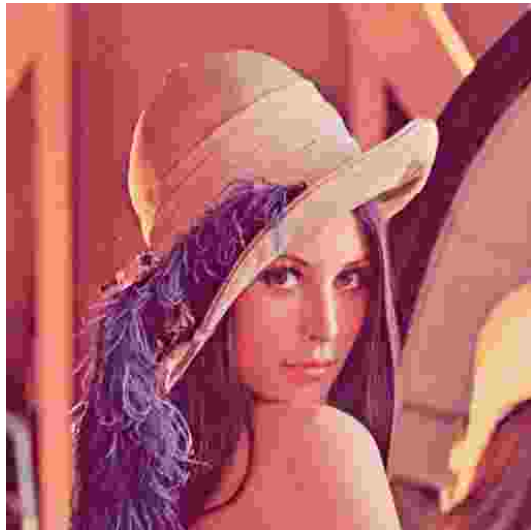
圖(三) JPEG-GPI方塊流程圖



(a)



(b)



(c)



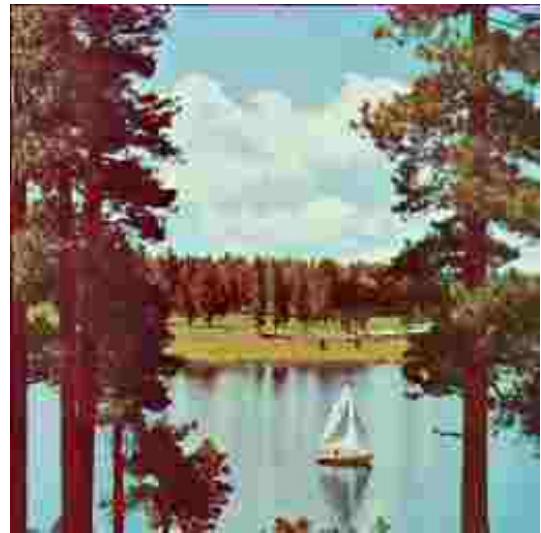
(d)

圖(四)

- (a) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Lena (BR=0.16 bpp, PSNR=14.50 dB)
(b) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Lena (BR=0.16 bpp, PSNR=27.02 dB)
(c) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Lena (BR=0.24 bpp, PSNR=25.70 dB)
(d) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Lena (BR=0.24 bpp, PSNR=28.46 dB)



(a)



(b)



(c)



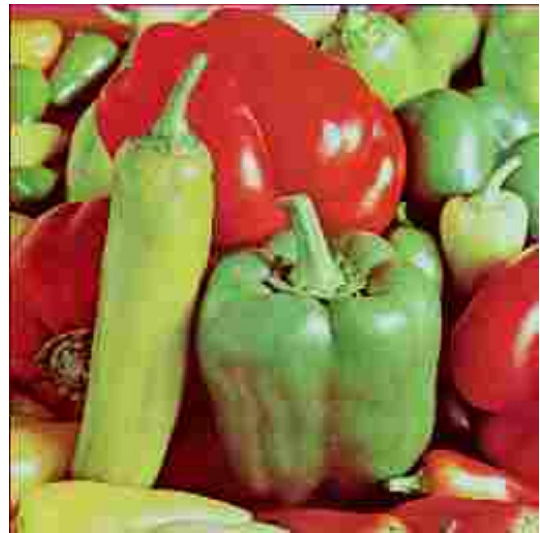
(d)

圖(五)

- (a) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Lake (BR=0.16 bpp, PSNR=15.10 dB)
 (b) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Lake (BR=0.16 bpp, PSNR=22.43 dB)
 (c) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Lake (BR=0.24 bpp, PSNR=21.22 dB)
 (d) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Lake (BR=0.24 bpp, PSNR=23.60 dB)



(a)



(b)



(c)



(d)

圖(六)

- (a) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Peppers (BR=0.16 bpp, PSNR=14.22 dB)
 (b) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Peppers (BR=0.16 bpp, PSNR=24.47 dB)
 (c) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Peppers (BR=0.23 bpp, PSNR=23.26 dB)
 (d) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Peppers (BR=0.23 bpp, PSNR=25.65 dB)



(a)



(b)



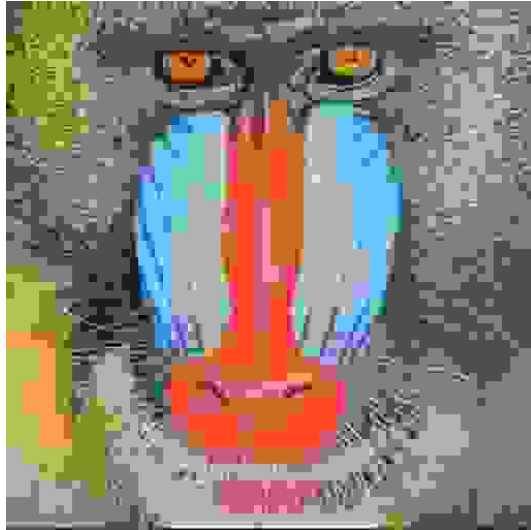
(c)



(d)

圖(七)

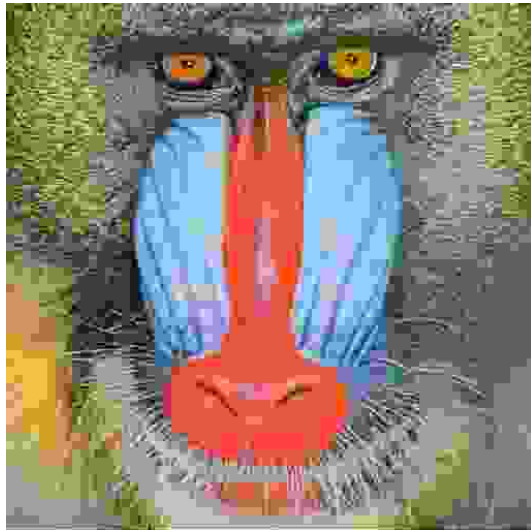
- (a) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Jet (BR=0.16 bpp, PSNR=17.16 dB)
- (b) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Jet (BR=0.16 bpp, PSNR=25.04 dB)
- (c) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Jet (BR=0.24 bpp, PSNR=24.49 dB)
- (d) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Jet (BR=0.24 bpp, PSNR=26.15 dB)



(a)



(b)



(c)



(d)

圖(八)

- (a) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Baboon (BR=0.17 bpp, PSNR=17.06 dB)
 (b) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Baboon (BR=0.17 bpp, PSNR=19.46 dB)
 (c) 經 JPEG 壓縮所得到的重建影像 Baboon (BR=0.21 bpp, PSNR=18.48 dB)
 (d) 經 JPEG-GPI 壓縮所得到的重建影像 Baboon (BR=0.21 bpp, PSNR=19.72 dB)