

影像區塊效應消除之一維後處理法改良與二維延伸

Image Blocking Effects Reduction by 1D Post-Processing and Its 2D Extension

林益弘
E-Hon Lin
中華大學電機系
新竹市東香里
六鄰東香三十號

王賢昌
Shian-Chang Wang
中華大學電機系
新竹市東香里
六鄰東香三十號
m8701529@chu.edu.tw

辛錫進
Hsi-Chin Hsin
中華大學電機系
新竹市東香里
六鄰東香三十號
hsin@chu.edu.tw

摘要

以區塊轉換為基礎的影像壓縮編碼(例如區塊離散餘弦轉換)已經被廣泛地使用,然而在解碼後的影像卻常常會有所謂的區塊效應產生,尤其是在高壓縮比的情況下區塊效應特別明顯,因此,如何消除影響影像品質的區塊效應一直是許多人努力研究的目標。其中以“後處理”的方式消除區塊效應是比較常用且有效的方法之一,因為後處理法是在影像解碼後的後段進行區塊效應的平滑,並不會改變影像編解碼原有的架構,亦不需要記錄額外的資訊。本論文將探討如何利用相鄰區塊間影像資料的關連性,比較其頻域能量的分佈,判斷有無區塊效應的發生;將 Paek 所提出的一維後處理演算法則改良並延伸至二維後處理法。實驗結果顯示本論文所提出的方法可以更準確地偵測區塊效應有無發生,以平滑區塊間不連續的影像資料提高解碼影像的品質。

Abstract

The blockwise processing approach to image coding such as those based on the block discrete cosine transform (BDCT) has been widely used with successful results. However, there are usually undesirable artifacts called the blocking effects in the decoded images. The reduction of such artifacts has been one of the most important tasks for decades. In this paper the 1D post processing using a projection onto the quantization and smoothness constraint sets is studied. Some modifications have been proposed to improve the smoothing performance. The extension to 2D post processing is also developed. Experimental results demonstrate the performance of our methods.

關鍵詞: 影像壓縮編碼 平滑區塊效應 雙線性內差法 區塊離散餘弦轉換 封閉凸面集合投射法

1. 前言

以 BDC 的方式進行壓縮編碼時[1],原始影像被切割成一塊塊不重疊的區塊後獨立進行轉換、量化、編碼,所以解壓縮後的影像在相鄰區塊的邊界處常常會有不連續的現象產生,大大地降低了影像的品質,此即所謂的區塊效應。目前已有許多方法可以改善 BDC 編碼時所產生的區塊效應,這些方法大致可歸納成二大類:第一類為改變轉換法的架構,如利用重疊轉換[2],結合轉換[3]··等,第二類為“後處理技術”的應用,如濾波法[4],POCS(projection onto convex sets)[5,6]··等。第一類的方法因需要各自進行轉換、量化、位元配置編碼,無

法普遍地應用在一般的編解碼系統上,而第二類的方法可以獨立於編解碼系統,不需要更改原有的架構即可適用於現今各種的壓縮編碼標準。

重疊轉換法是將原始影像分割為有少許重疊的區塊,解碼重建時,相鄰區塊之重疊區域影像以平均取樣來降低區塊間的不連續性。結合轉換法是將原始影像區分為二個集合:高相關性集合及低相關性集合。高相關性集合採用無損耗壓縮編碼,而低相關性集合則採用區塊離散餘弦轉換編碼,以減低區塊效應的發生。濾波法是將區塊效應之不連續性視為錯誤的高頻雜訊,以一般的低通濾波器濾除此錯誤的高頻成份,平滑區塊間的區塊效應;使用低通濾波器的同時可能會將影像中原有的高頻資訊一起濾除,使得解碼後的影像變得模糊。POCS 是 Youla 於 1982 年提出的影像復原技術。由於影像資料中大部分相鄰近的像素間存在著某種關連性;相鄰區塊的總頻域特性與各自區塊的頻域特性彼此間也會有某種程度的關連性,此關連性的強弱可視為有無區塊效應發生的指標,若有區塊效應發生,Paek 利用 POCS 理論在一維 DC 頻域下對平滑及量化二個封閉凸面集合做反覆投射以平滑 DC 係數,之後再以逆向離散餘弦轉換還原成水平及垂直方向上較少區塊效應的影像。為了減少計算量並提高偵測的準確度,本篇論文以視窗的方式,加重相鄰區塊邊界附近的影像資料權值,實驗結果顯示區塊效應的偵測與平滑有明顯的改善。上述的一維演算法可以被延伸至二維的處理方式,即解碼影像之大小相同互不重疊的區塊在四分樹的結構下為最低層的子區塊,而相鄰的四個子區塊組合成一個巨區塊,比較巨區塊與子區塊的頻域能量分佈之相異程度可以判斷有無區塊效應發生,此結構下的區塊效應是存在於四個子區塊之間,為一個十字形狀,若有區塊效應發生,吾人可以利用簡單的雙線性內差法平滑此十字形狀的區塊效應,省略二維逆向離散餘弦轉換以減少處理的時間。

2. POCS-based 區塊效應消除後處理法

若將 $N \times N$ 原始影像 $f(x,y)$ 表示為一 Hilbert space 下的 $N^2 \times 1$ 向量,根據 n 個已知性質所定義的 n 個相對封閉凸面集合 C_i 與投射運算子 $P_i; i=1,2,\dots,n$,以疊代的方式在符合 n 個性質的 C 內找到與輸入影像 $f_0(x,y)$ 誤差最小的影像 $f^k(x,y)$,即

$$f^k = T^k f_0 \xrightarrow{k \rightarrow \infty} f^* \quad (1)$$

式中 $T = P_n \cdot P_{n-1} \cdots P_2 \cdot P_1$ 為合成投射運算子,

$$C = \bigcap_{i=1}^n C_i, \quad \|f^* - f_0\| = \min_{g \in C} \|g - f_0\|, \quad \|\cdot\| \text{ 為 Hilbert space}$$

之模距，且 $f^* \in C$ ；此影像 $f^*(x,y)$ 為輸入影像 $f_0(x,y)$ 以 POCS 方式復原的結果。應用 POCS 理論於解碼影像之區塊效應消除時，需要定義適當的封閉凸面集合與投射運算子，文獻[5,6]中定義了量化限制集合(QCS) C_q 與平滑限制集合(SCS) C_s 。原始影像以區塊離散餘弦轉換編碼時，每一個 DC 係數的量化是依據所採用的量化表進行，不同的量化表造成不同的壓縮效果，對解碼端而言，此量化表是必需的參數，利用已知的 DC 係數之量化區間所定義的 QCS，其投射運算子 P_q 是將所有的 DC 量化係數值限制於量化區間內，以圖 1 所示為例， P_q 是屬於截止投射的方式，即區間外所有的量化值一律投射至距離最近的區間邊界值，而區間內的量化值則保留不做處理。相鄰區塊間不連續的影像資料所造成的區塊效應可視為一錯誤的高頻成分，Rosenholtz[5]以低於某截止頻率 f_c 的低頻帶為 SCS，將頻率高於 f_c 的資訊視為錯誤的區塊效應，如圖 2 所示，利用低通濾波的方式平滑區塊效應完成對 SCS 的投射。

Paek[6]將解碼影像 $f_0(x,y)$ 以水平及垂直的方向分割成一維子影像集合，如圖 3 所示，水平方向相鄰的子影像 u 、 v 以及組成的影像資料 w 分別為

$$u(n) = f_0(i, (j-1)N + n); n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

$$v(n) = f_0(i, jN + n); n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$w(n) = \begin{cases} u(n); & 0 \leq n \leq N-1 \\ v(n-N); & N \leq n \leq 2N-1 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $0 \leq i \leq yN - 1$ ， $0 \leq j \leq (x-1)$ 。經由離散餘弦轉換後個別的 DCT 係數 $U(k), V(k)$ ； $0 \leq k \leq N-1$ 與 $W(k)$ ； $0 \leq k \leq N-1$ 有下列的關係式：

$$W(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} [U(\frac{k}{2}) + (-1)^{\frac{k}{2}} V(\frac{k}{2})]; k = 2, 4, 6, \dots \\ \frac{1}{\sqrt{2}} [\alpha(k) \sum_{n=0}^{N-1} [u(n) \cos(\frac{(2n+1)\pi}{4N}) + (-1)^{\frac{k+1}{2}} v(n) \sin(\frac{(2n+1)\pi}{4N})]]; k = 1, 3, 5, \dots \end{cases} \quad (5)$$

式中 $\alpha(0) = \sqrt{\frac{1}{N}}$ ， $\alpha(k) = \sqrt{\frac{2}{N}}$ ； $k \neq 0$ 。依據此關係式，

Paek 提出的截止頻率 f_c 如下：

$$f_c = 2 \cdot \max\{B_w(U), B_w(V)\} + p \quad (6)$$

式中 $B_w(\cdot)$ 為定義頻寬的函數， p 為容許的誤差值，如此，相鄰的一維子影像 u 、 v 之間有無區塊效應發生可依下列的方式判斷之：

$$B_w(W) > f_c \rightarrow \text{有區塊效應} \quad (7)$$

若有區塊效應發生，則將 u 、 v 所組成的 w 以截止頻率為 f_c 的低通濾波器濾除高頻區塊效應成分後，取代原有相鄰的 u 、 v 影像資料以平滑區塊效應。同理，垂直方向相鄰的子影像 u' 、 v' 決定了平滑限制集合的截止頻率 f_c ，配合其組成的影像資料 w' 判斷有無區塊效應發生，以低通濾波的方式平滑有區塊效應的垂直影像資料。

3. Paek 一維後處理法改良

以頻寬的方式比較相鄰區塊組成的總頻域能量分佈與各別區塊之頻域能量分佈的差異程度判斷有無區塊效應發生時，頻寬的定義、頻域的解析度以及 DC 直流係數的大小會影響判斷的準確度；以低通濾波的方式濾

除相鄰區塊子影像的高頻區塊效應時，影像本身的高頻資訊亦會被濾除，導致影像品質的降低。針對這些問題，本論文提出下列數點的改良法：

A. 以 98% 能量定義頻寬：

一般常用的頻寬定義有 -3dB 頻寬，均方根頻寬以及能量百分比頻寬，考量其計算的複雜度，Paek 以 100% 能量定義頻寬，本論文以不同的百分比定義頻寬，實驗結果發現以 98% 能量所定義的頻寬有較佳的表現與較高的穩定性。

B. 以補零的方式提高頻域解析度：

以區塊轉換壓縮編碼，解碼後相鄰區塊的一維子影像 u 、 v 與組成子影像 w 的解析度不夠高，不易觀察其能量分佈的情形，利用補零的方法可以提高頻域解析度，增加判斷有無區塊效應存在的準確性。

C. 去除 DCT 直流係數：

一般的影像資料經由 DC 轉換後，大部分的能量是集中在第一個係數上，即直流平均值，因此，很難觀察到其他頻率的能量分佈，在實際的應用上，可先將一維子影像資料 u 、 v 與 w 減去直流平均值後再進行離散餘弦轉換，如此便可去除集中在第一個 DC 係數的能量，凸顯其他頻率的能量分佈，以利於後續的區塊效應之判別。

D. 視窗的應用：

原始影像以區塊化的方式編解碼時，因區塊化處理導致相鄰的區塊邊界處解碼影像資料不連續而產生區塊效應，因此，利用視窗將區塊效應的偵測以及平滑處理限制於相鄰區塊邊界處的影像資料時，可以增加偵測準確度，而區塊內非邊界處的影像資料不改變的情況下，部分的影像高頻資訊得以保留，獲得較高的解碼影像品質。如圖 4 為例，利用 4 點寬度的視窗，以相鄰一維子影像 u 的後 4 點資料與 v 的前 4 點資料為依據，計算其平滑限制集合的截止頻率 f_c ，再與組成的子影像 w 中相對應的 8 點(第 4~11 點)資料之頻寬比較，判斷有無區塊效應發生，透過低通濾波的方式濾除高頻的區塊效應後，或以不同的視窗寬度取代相鄰子影像 u 、 v 間的部分影像資料，實驗結果顯示，視窗的使用對區塊效應的偵測與消除有明顯的改善。

E. 以線性內差法平滑區塊效應：

解碼影像內經偵測後有區塊效應發生的相鄰區塊 捨去其相鄰邊界處視窗寬度內的影像資料後，根據鄰近未捨去的影像資料在影像空間下以一維線性內差法預估補回空缺位置下的影像資料，平滑其資料的不連續性，減輕區塊效應。因為線性內差法的計算簡單，可以有效的減少平滑區塊效應所需的時間。

4. Paek 一維後處理法延伸 — 二維後處理法

解碼影像內大小相同互不重疊的區塊在四分樹的結構下為最低層的子區塊，而相鄰的四個子區塊組合成一個巨區塊，一組子、巨區塊經由二維 DC 轉換後，比較巨區塊與子區塊之頻域能量分佈的相異程度，可以判定

有無區塊效應發生。有區塊效應的巨區塊，將以視窗的方式去除相鄰子區塊邊界處的影像資料，此時巨區塊中央呈現一個十字形的空缺(圖 5)，利用保留下的影像資料以雙線性內差法預估空缺位置下的資料，取代相鄰子區塊邊界處原有陡峭變化的像素值減輕區塊效應。

A. 二維平滑限制集合：

子影像區塊經過二維離散餘弦轉換後，截止頻率邊界將資訊區分成低頻域成份與高頻域成份，分別以數值“1”與“0”代表低頻域與高頻域而產生二值化頻域能量分佈圖。類似於一維平滑限制集合的定義，四分樹狀結構下相鄰的四個子區塊之二值化頻域能量分佈圖取聯集後，數值為“1”的低頻域定義了組成的巨區塊之二維平滑限制集合。本論文所採用的截止頻率邊界是依據低頻域成份所佔的全部能量百分比。

B. 二維區塊效應偵測：

比較相鄰子區塊以及所組成的巨區塊之頻域能量分佈的差異是判斷有無區塊效應發生的依據，在相同的頻域解析度下，以下列的方式偵測之：

$$\sum_{k=1}^4 (E_k) \text{ exclusive OR } (E) > T_c \Rightarrow \text{有區塊效應} \quad (8)$$

式中 $E_k, k=1, \dots, 4$ 為四個相鄰的子區塊之二值化頻域能量分佈圖， E 為組成的巨區塊之二值化能量分佈圖， exclusive OR 是互斥運算子， T_c 為判斷有無區塊效應之臨界值。在實際的應用下，子、巨區塊的圖素(pixel)點不多，導致 DC 頻域的解析度不夠高，為了增加偵測的準確度，利用補零的技術可以提高頻域解析度，同時亦可調整子、巨區塊的 DC 係數於相同的頻域解析度。以圖 6 為例，子區塊的大小為 8×8 ，補零至 16×1 後 DCT 頻域解析度提高至巨區塊的頻率解析度。

C. 二維區塊效應消除：

雙線性內差是一個用途廣泛且演算簡單的預估法，本論文將有區塊效應的巨區塊之水平及垂直方向上視窗寬度內的影像資料捨去，此時巨區塊中央呈現一個十字形的空缺，利用巨區塊內保留下的影像資料做線性內差，補回空缺之影像資料，平滑十字形區域之不連續的區塊效應。

5. 實驗結果

圖 7(a)是灰階值等化為 0~1 的部份 Lena 影像，利用 JPEG 壓縮解碼後得到圖 7(b)；壓縮比為 32:1，使用的量化表如表 1 所示，圖 7(c)是使用 Paek 一維後處理法所得到的區塊效應平滑結果，圖 7(d)是以 98%的能量定義頻寬函數後得到的平滑結果，圖 7(e)是加上視窗的應用所得到的平滑結果，區塊效應的減輕有顯著的改善，圖 7(f)是以計算較簡單的一維線性內差法平滑有區塊效應之影像資料的結果。圖 8(c)是以本論文所提的二維區塊效應消除後處理法所得到的結果，在處理速度比一維後處理法快約四倍的優點下，二維後處理法似乎是更具應用的價值。表 2 是對應圖 7 與圖 8 平滑區塊效應後與原始影像間的均方根誤差值，比較得知，本論文的一維改良法與二維延伸法對區塊效應的消除有顯著的改善。

6. 結論

原始影像經過區塊化轉換壓縮編碼，產生的區塊效應會降低解碼影像的品質，平滑區塊效應之後處理法可獨立於編解碼系統，且不需要記錄額外的資訊。Paek 以一維的方式定義量化以及平滑限制集合，利用投射的方式消除區塊效應，本篇論文以下列數點改進 Paek 一維後處理法：

1. 以 98%能量定義平滑限制集合之截止頻率有較高的穩定性。
2. 以補零的方式提高頻域解析度，增加區塊效應偵測的準確度。
3. 視窗的應用使得區塊效應偵測的準確度較高，平滑的效果較好。
4. 區塊效應偵測後，在影像空間下，以計算簡單的一維線性內差法平滑區塊效應，處理速度有明顯的改善。

利用二值化的頻域能量分佈定義二維平滑限制集合，配合雙線性內差法的使用，區塊效應的偵測與消除可在二維的處理架構下完成，實驗結果顯示在類似的解碼影像品質下，本論文提出的二維區塊效應消除後處理法在 pentium II -200 Hz 的環境下，比 Paek 一維後處理法快約四倍。

7. 參考文獻

- [1] ISO/IEC/JTC1/SC1/WG8, Joint Photographic Expert Group, JPEG Technical Specification, Revision 8, 1990.
- [2] H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT : Transform coding without blocking effects," IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Processing, vol.37, Feb. 1993.
- [3] Y. Zhang, R. Pickholtz, and M. Loe, "A new approach to reduce the blocking effect of transform coding," IEEE Trans. Commun., vol.41, Feb. 1993.
- [4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Processing, Vol. ASSP-34, Oct. 1986.
- [5] R. Rosenholtz and A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, Mar. 1992.
- [6] Hoon Paek and Rin-Chul Kim, "On the POCS-based postprocessing Technique to reduce the blocking artifacts in transform coded images," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 8, no. 3, Jun. 1998.
- [7] Y. Yang, N.P. Galatsanos, and A.K. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 3, pp. 421-432, Dec. 1993.
- [8] D.C.Youla and H. Webb, "Image restoration by the method of convex projections: Part 1-theory," IEEE Trans. Med. Imaging, vol. M-1. Pp. 81-94, Oct. 1982.

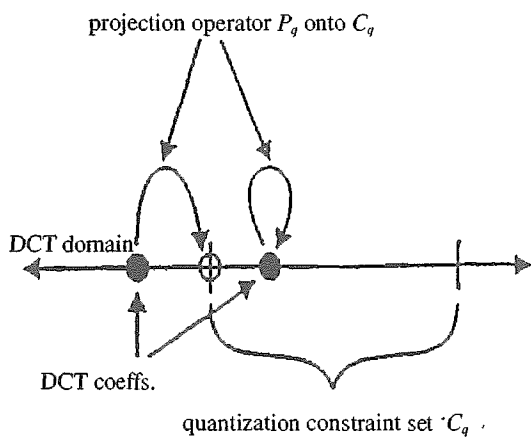


Figure 1. 以 DCT 係數之量化區間定義量化限制集合 C_q 與投射 P_q

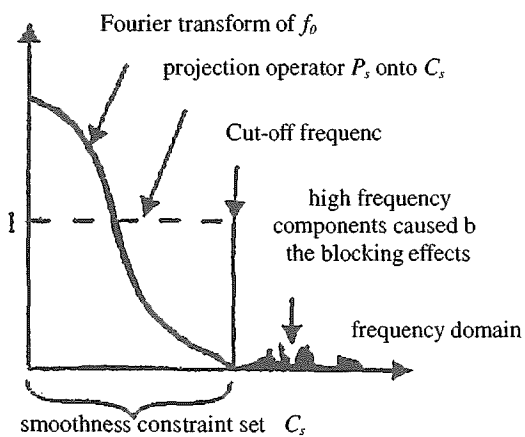


Figure 2. 以低通濾波定義平滑限制集合 C_s 與投射 P_s

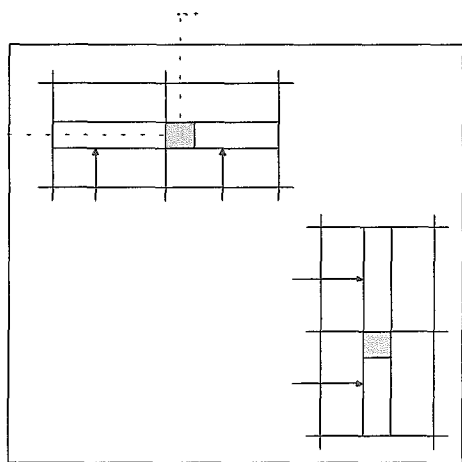


Figure 3. 解碼影像 f_0 之一維子影像分割示意圖

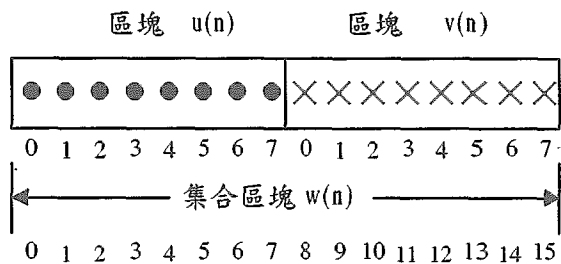


Figure 4. 一維相鄰區塊之像素資料示意圖

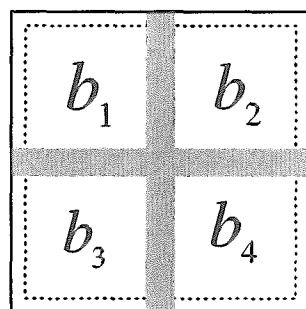
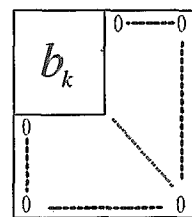
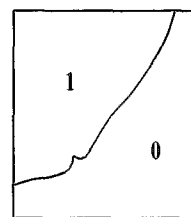


Figure 5. 四分樹狀結構下，陰影部分表示區塊效應發生處



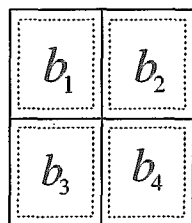
(padding zeros)
 $k=1,2,3,4$

(a) 四個 8×8 相鄰子區塊補零至 16×16

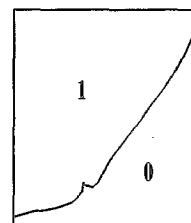


E_k

(b) 子區塊 b_k 之二值頻域能量分佈示意圖



(c) 16×16 巨區塊



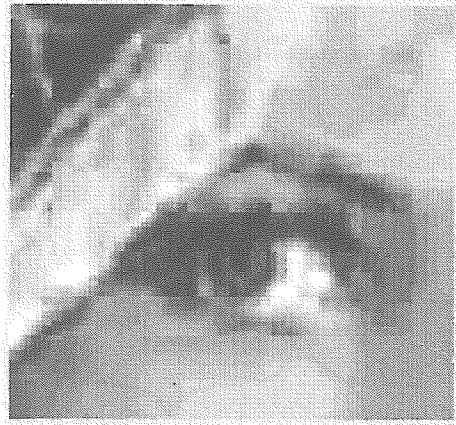
E

(d) 巨區塊之二值化頻域能量分佈示意圖

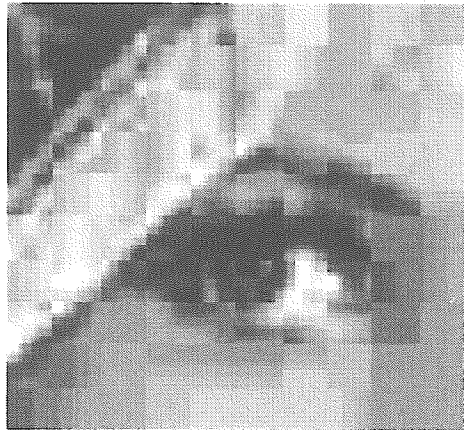
Figure 6. 子、巨區塊之二值化頻域能量分佈示意圖



(a)



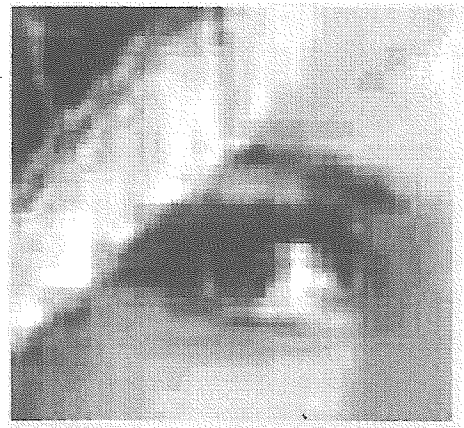
(d)



(b)



(e)



(c)



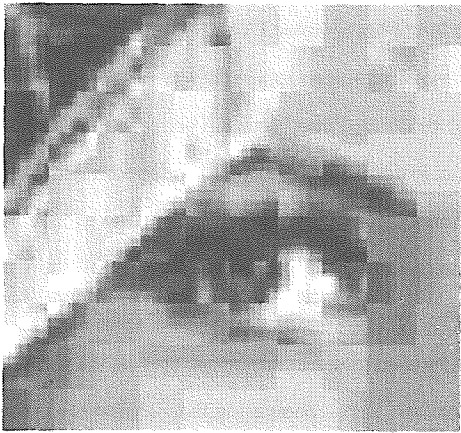
(f)

Figure 7. 一維區塊效應消除後處理法之比較

- (a) 原始影像(灰階值等化為 0-1)
- (b) JPEG解碼影像(有區塊效應, 壓縮比為 32:1)
- (c) 100%能量之頻寬, 無視窗(Pack方法)
- (d) 98%能量之頻寬, 無視窗(改良法)
- (e) 98%能量之頻寬, 偵測視窗寬度為8點, 平滑視窗寬度為4點(改良法)
- (f) 98%能量之頻寬, 偵測視窗寬度為8點, 以一維線性內差法預估2點像素(改良法)。



(a)



(b)



(c)

Figure 8. 二維區塊效應消除後處理法

- (a) 原始影像。
- (b) JPEG解碼影像(有區塊效應，壓縮比為32:1)
- (c) $T_c=90$ ；預估2點像素。

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 85 | 59 | 54 | 85 | 129 | 216 | 255 | 255 |
| 64 | 64 | 75 | 102 | 140 | 255 | 255 | 255 |
| 75 | 70 | 86 | 129 | 216 | 255 | 255 | 255 |
| 75 | 91 | 118 | 156 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| 97 | 118 | 199 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| 129 | 189 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |

表 1. 實驗所使用的 JPEG 壓縮量化表

| Post- processing image | Mean square error |
|-----------------------------------|-------------------|
| 100%能量之頻寬，無視窗 | 2.292 |
| 98%能量之頻寬，無視窗 | 1.367 |
| 98%能量之頻寬，偵測視窗寬度為8點，平滑視窗寬度為4點 | 1.505 |
| 98%能量之頻寬，偵測視窗寬度為8點，以一維線性內差法預估2點像素 | 1.493 |
| 二維區塊效應消除後處理法, $T_c=90$ ；預估2點像素 | 1.512 |

表 2. 與原始影像比較後所得的均方根誤差值