

一种对 DCT 编码图象的后处理算法

林国辉 李学明 全子一

(北京邮电大学22# 博971,北京 100876)

摘要 首先分析了“块效应”的形成原因、表现形式和测量方法,然后提出了一种自适应“块”边界平均方法并针对“块效应”在图象域的不同位置采用非线性空间移变滤波去除“块效应”。

关键词 DCT 变换 边缘提取 块效应 自适应“块”边界平均

0 概述

变换编码在图象压缩中应用十分广泛,DCT 变换以其“准最佳变换”的特性被 MPEG, H. 261, JPEG 等国际标准所采纳。由于 DCT 是基于“块”的变换,每“块”的变换系数分别进行量化,这样如果量化较粗糙,我们比较单一的重建“块”与原“块”,可能看不出有什么差别,但如果对比整幅重建图象与原图象,在重建图象“块”的边界处会出现不连续的情况,即所谓的“块效应”,造成图象主观质量下降。

传统的消除“块效应”方法是通过将相邻的“块”重叠,并用一特定的窗口加权来去除“块”间的不连续。但这种方法运算量太大,且效果也不是太理想。另一种较有效的方法是设计一低通滤波器来去除“块效应”^[1,2],但简单的线性移不变滤波器在消除“块效应”的同时损伤了图象的细节。另一种非线性方法是利用中值滤波^[3,4],这种方法在某些应用中效果较好,如有颗粒噪声的场合,但由于“块效应”噪声的特殊性,这种方法在消除“块效应”方面效果不大。J. D. McDonnel, R. N. Shonten 在1994年提出了一种基于边缘提取的后处理算法^[5],但在他的算法中需要在 DCT 变换域中计算,不利于后处理的硬件实现,本文将先用自适应“块”边界平均方法做一预处理,然后在边缘提取的基础上,采用相对简单但有效的方法来消除“块效应”。

1 理论

1.1 “块效应”的形成原因

在采用基于 DCT 变换的压缩编码中,首先将图象分割为 8×8 的象素块,然后对每块进行 DCT 变换为64个 DCT 系数。变换后的 DCT 系数 $I[u, v]$ 由下式表示

$$I[u, v] = \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 i_{x,y} C_{x,u} C_{y,v}, \quad u, v = 0, \dots, 7 \quad (1)$$

$$\text{其中 } C_{x,u} = a_u \cos(\pi u [2x+1]/16) \quad (2)$$

$$\text{且 } a_u = \begin{cases} \sqrt{1/2}, & u=0 \\ \sqrt{2/8}, & u>0 \end{cases}$$

以 JPEG 为例,系数矩阵将由一 8×8 窗口加权后量化,表示为 $Iw[u, v] = W[u, v] \times I[u, v]$, 经过量化后的系数可表示为加权后的系数与量化噪声之和

$$\hat{i}[u, v] = Iw[u, v] + e[u, v] \quad (3)$$

在反量化之前先要进行反加权,得到的重建系数为

$$\hat{i}[u, v] = I[u, v] + e[u, v]/W[u, v] \quad (4)$$

这样,经过反 DCT 后,量化噪声 $e[u, v]/W[u, v]$ 将分散在图象域整个“块”之内,由于不同的“块”分别处理,即迭加了不同的量化噪声,在“块”的边界处将出现不连续,即所谓的“块效应”。见下式

$$\hat{i}[x, y] = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 I[u, v] C_{u,x} C_{v,y} + \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 \frac{e[u, v]}{w[u, v]} C_{u,x} C_{v,y} \quad (5)$$

1.2 “块效应”的表现

上文已提到“块效应”的出现是由量化噪声所引起,但在图象域内随着图象内容的不同,“块效应”有着不同的表现^[5]。所以,对于有效的后处理算法,区分不同的噪声并相应用不同的方法处理十分重要。

梯形噪声(Staircase noise):在图象的强边缘处出现,在低码率下,DCT的很多高阶系数被量化为零,结果与强边缘有关的高频分量在变换域内不能被完全体现。又因为每个“块”被分别处理,不能保证穿过“块”边界的强边缘的连续性,导致在图象边缘处出现的锯齿状噪声,我们称这种噪声为“梯形噪声”。

格形噪声(Grid noise):多在图象的平坦区域出现;在变换域内DC分量体现了该“块”的平均亮度,而这个分量包含了该“块”的大部分能量,所以在平坦区域亮度的变化很小,但在平坦区域如果有亮度的递增或递减,可能会导致DC分量越过相邻量化级的判决门限,造成在重建图象中块边界处出现亮度突变,表现为在平坦区域内出现的“片”状轮廓效应,我们称这种噪声为“格形噪声”。

纹理噪声(Texture noise):多出现于图象的纹理区域,比如有很多随机方向的边缘的区域,是“梯形噪声”与“格形噪声”的综合,由于人眼的“掩蔽效应”,这部分噪声主观感觉不明显。

1.3 “块效应”的度量^[6]

有一种比较传统的简单测量方法是这样的:假定 i_1 与 i_2 是位于不同“块”的相邻像素,由于压缩前的图象中 i_1 与 i_2 有很大的相关性,但经过压缩后由于量化的原因,它们之间的相关性大大减弱,我们用所有这些像素的差的平方和表示“块效应”的严重程度。

$$E_c = \sum (i_1 - i_2)^2 \tag{6}$$

我们用相同的方法计算在同一块内的像素而得到的 E_d 作为原图象 E_c 的估计值,如果估计值小于 E_c 则表示有较严重的“块效应”,我们将做块边界的平均。

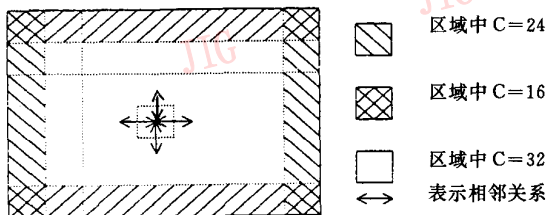
2 算法

2.1 自适应“块”边界平均

首先对每一块计算 E_c 与 E_d 估值,并用像素数

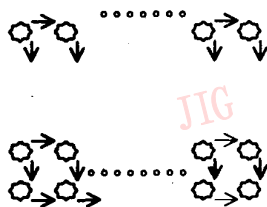
平均:

$$E_c = \sum_{\text{块边界}} (i_1 - i_2)^2 / C, C \text{ 随“块”在图象中的位置不同而不同,如下图。}$$



$$E_d = \sum_{\text{块内}} (i_1 - i_2)^2 / (14 + 49 \times 2) \tag{7}$$

对于 E_d ,在块内计算 $i_1 - i_2$ 的顺序是自左至右,自上而下,对每一像素只计算与上方和左方的像素之差,如下图所示。



如果 $E_c > E_d$,则根据(1) $a \in [0, 1]$;

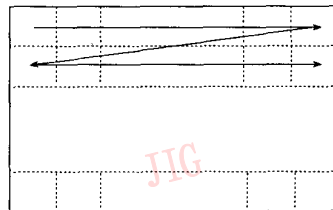
(2) $\lim_{E_d/E_c \rightarrow 0} a = 0.5$; (3) $\lim_{E_d/E_c \rightarrow 1} a = 1$ 构造自适应系数

$$a = 0.5 + 0.5 \sqrt{E_d/E_c} \tag{8}$$

然后用平均后的 i_3, i_4 分别代替 i_1, i_2 ,如下式

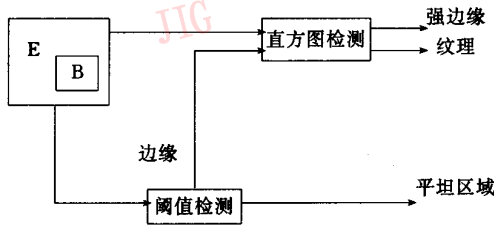
$$i_3 = ai_1 + (1-a)i_2, \quad i_4 = ai_2 + (1-a)i_1 \tag{9}$$

如果按下图的处理顺序,则对每一“块”,可只计算“块”左边和上边界的像素。



2.2 基于边缘检测的平滑

经过第一步的“块”边界平均后,在块内会出现不连续的情况,为进一步平滑图象同时又要保持图象的细节不受损伤,我们采用边缘提取算法将图象分为不同的区域,并针对不同的区域采用不同的滤波算法。框图如下。



分辨边缘与平坦区域的算法如下：

(1) 设置计数器 K , i 初值为 0, 用 $x_{i,j}$ 表示在 8×8 块内的第 (i, j) 个像素, x_a 表示二者的平均。

(2) 设 T 为预置的阈值。对于所有的水平相邻像素, 执行如下计算：

$$\Delta x_{i,j} = x_{i+1,j} - x_{i,j} \quad x_a = \frac{x_{i+1,j} + x_{i,j}}{2}$$

其中 $i=1, \dots, 7; j=1, \dots, 8$

$$de = \Delta x_{i,j} / x_a$$

如果 $de > T$, 将 K 加 1, 如果 $de < -T$ 将 K 减 1。

(3) 对于所有的垂直像素, 执行如下计算：

$$\Delta x_{i,j} = x_{i,j+1} - x_{i,j} \quad x_a = \frac{x_{i,j+1} + x_{i,j}}{2}$$

其中 $i=1, \dots, 8; j=1, \dots, 7$

$$de = \Delta x_{i,j} / x_a$$

如果 $de > T$, 将 L 加 1, 如果 $de < -T$ 将 L 减 1。

(4) 令 m 为预设的阈值, 它表示边缘段的最小长度, 如果 K 与 L 的绝对值都小于 m , 则该块所在区域为平坦区域, 否则为有边缘的区域。这样如果出现相邻或邻近像素交替急剧变化的区域, 用此算法将会把它判别为平坦区域, 但由于这种区域像素间相关性很小, 在基于 DCT 的压缩处理后, 会产生明显的“块效应”, 利用后文所述的针对平坦区域的滤波处理方法, 也可在一定程度上减轻“块效应”, 但怎样识别和更好地处理这一区域还有待研究。在本文的实验中, $m=4, T=0.05$ 。

如果块所在区域内为有边缘的区域, 则在该块周围的 E 区域内计算直方图^[2]以分辨该区域是否纹理区域, 典型的强边缘区域的直方图将有 2 个明显的峰值, 由于纹理区区域的空间状态较复杂, 一般最多只有一个明显的峰值。具体算法如下。

将亮度 p 的直方图用 $H(p)$ 表示(未归一化), ps 与 pe 分别表示 E 内的最小亮度和最大亮度, 在 ps 与 pe 之间的像素用算式 $P(p) = (p - ps) / (pe - ps)$, $ps < p < pe$ 归一化。这样在 ps 与 pe 之间的象

素转化为新的水平轴 $P(p)$, 得到下式

$$S_q = (1 / \sum_{ps}^{pe} H(P)) (\sum_{p=ps}^{pe} [P(p) - \bar{p}]^2 H(p))$$

其中

$$\bar{p} = \frac{\sum_{p=ps}^{pe} P(p) H(p)}{\sum_{ps}^{pe} H(p)}$$

如果 $S_q > T$ 则认为该区域为强边缘区域, 其中 T 为预设的阈值, 在本文实验中, B 为 8×8 的“块”, E 为 B 周围的 24×24 的“块”, $T=0.01$ 。

到此为止, 我们已分辨出了平坦区域、强边缘区域及纹理区域。我们将针对不同的区域采取不同的滤波器平滑图象。对于平坦区域来说, 由于高频成分很少, 我们采取简单的 3×3 平均滤波来滤除格状噪声。见下式

$$Y(k) = \frac{\sum_{i,j \in W} x_{i,j}(k)}{9}$$

其中 W 为以 $x(k)$ 为中心的 3×3 窗口；

对于含有强边缘的区域, 我们采用 5×5 的中值滤波器来滤除梯形噪声, 由于中值滤波器对于边缘有很好的保持作用, 所以对图象细节损伤不大。对于含纹理的区域, 由于人眼的掩蔽效应, 纹理噪声在这里并不明显, 如果滤波器特性不好反而会损伤图象细节, 所以对该区域, 我们不加处理。

3 模拟结果

为了检验本文算法的性能, 我们采取了主观评测法。模拟采用了 512×512 及 256 灰度级的 Lena 图象, 用类似于 JPEG 的算法压缩^[5], 然后对原图象, 解压缩后的图象, 简单的 3×3 平均滤波后处理图象和用本文提出的后处理图象质量进行比较。然后我们对这 4 类图象的 PSNR(峰值信噪比)、 E_c (上文中提出的块效应测量方法)进行了比较, 结果如下。

图象类别	PSNR(dB)	E_c
原图象		6 320 935
解压缩图象	31.066 184	25 055 581
3×3 平均滤波后处理	30.996 778	4 461 162
本文提出的后处理	31.266 612	5 666 886



(a)原图象

(b)有“块效应”的图象

(c)3×3平均滤波

(d)本文提出的后处理

4 结论

从模拟的结果来看,解压缩后的图象“块效应”非常明显,经过3×3平均滤波处理后,“块效应”减弱,清晰度下降较大,峰值信噪比有所下降;经过本文提出的后处理计算后,“块效应”不明显,基本没有降低清晰度,峰值信噪比稍有提高。

参考文献

- 1 Reeve H, Lim J S. Reduction of blocking effects in image coding. *Opt. Eng.*, 1984, 23(1): 34~37.
- 2 Tzou K-H. Post-filtering of transform-coded images. in *Applications of Digital Image Process.* XI Proc. SPIE, 1988, 974: 121~126.
- 3 Pratt W K. *Digital Image Processing.* New York: Wiley, 1978.
- 4 Rosenfeld A, Kak A C. *Digital Picture Processing.* New York:

Academic, 1982, 1.

- 5 McDonnell J D, Shorten R N, Fagan A D. An Edge Classification Based Approach to the Post-processing of Transform Encoder Images. in *IEEE Transactions On Signal Processing*, 1994, 34(5): 329~332.
- 6 Horng R S. A Fast DCT Block Smoothing Algorithm. *SPIE*, 1995, 2501: 28~38
- 7 *Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images, Part 1: Requirement and Guidelines*, ISO/IEC JTC1 Committee Draft 10918-1, February 1991.



李学明 1997年毕业于北京邮电大学,获工学博士学位,现为北方交通大学信息研究所博士后,主要研究方向包括 ATM 网络上的宽带业务,Internet 上的多媒体信息传送。



林国辉 男,1991年进北京邮电大学图象传输与处理专业;1995年攻读硕士学位,研究方向:图象与声音的压缩编码和传输。1997年免试提前攻读博士学位,现正致力于2MB 数字电视解码器和 STB 的研究。

全子一 北京邮电大学教授,博士生导师,研究模拟电视编解码系统,MAC 制电视卫星传输,数字电视(包括 HDTV)的信源与信道编解码, VOD 系统中 STB 终端。曾获国家及部级科技进步奖4项,发表论著30余篇。

A Post-Processing Algorithm of DCT-coded Images

Lin Guohui, Li Xueming, Quan Ziyi

(Beijing Univ. of Posts and Telecomms, Beijing 100876)

Abstract “Block effect” prevalent in transform encoder images becomes increasingly objectionable as the required bit rate is reduced. The perceptual effect of this coding noise is highly dependent on the local behavior of the signal upon which it is superimposed, this coding noise can be divided three parts: Staircase noise, Grid noise, Texture noise. At first, we analyze why and how the “block effect” appears, and the measure of the “block effect”. Then, we propose a processing algorithm named “adaptive block boundary average” and a computationally-efficient edge classifier which is the basis of a non-linear shift variant post-processing algorithm incorporating average filter and median filter.

Keywords DCT transform, Edge classifier, Block effect, Adaptive block boundary average