

一种基于图象小波极值表示的减少方块效应的算法

蔡汉添 袁江

(华南理工大学电子与通信工程系, 广州 510641)

摘要 针对低比特率 JPEG 压缩图象会产生严重的方块效应问题和根据后处理技术可有效地减少方块效应的认识, 提出了一种新的基于图象小波极值描述的后处理算法. 该算法根据解压缩图象方块效应在一级和二级小波变换系数中的极值特性, 对位于图象背景区、平滑边缘区及阶梯状边缘区的方块边界的小波极值分别加以处理. 实验结果表明, 该算法能有效地减少方块效应, 且能改善译码图象的信噪比和主观视觉质量.

关键词 方块效应 后处理 小波变换极值表示

中图法分类号: TN919.81 TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)01-0026-05

An Algorithm for Reduction of Blocking Effects Based on Image Representation Using Wavelet Transform Extreme

CAI Han-tian, YUAN Jiang

(Dept. Of Electronic & Communication Eng., South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641)

Abstract Low bit rate JPEG compressed images demonstrate serious blocking effect. Post-processing is an effective way to reduce the artifact blocking effects. A post-processing algorithm based on image wavelet extreme representation is studied in this paper. It is noted that in the wavelet domain, blocking effect can display the artifact wavelet transform modulus maxima at block boundaries. To take account of reducing blocking effects and maintaining original image edges, the maxima corresponding to block boundaries in the different region of image are processed in different ways. Experimental results show that the proposed method can significantly reduce blocking artifacts and improve PSNR and visual quality.

Keywords Blocking effect, Postprocessing, Wavelet transform extreme representation

0 引言

目前应用广泛的图象压缩 JPEG 和 MPEG 国际标准主要采用基于分块 DCT 变换编码, 但其在低比特率压缩时会产生严重的方块效应, 产生这种方块效应的主要原因是由于分块编码时没有考虑到块间的相关性, 而低比特率压缩时的粗量化过程在各方块内引入了高频量化误差, 因此造成块的边缘不连续性.

各国学者对减少方块效应的算法已进行了不少研究, 特别是近年来由于 JPEG 和 MPEG 应用越来

越广泛, 因此基于分块 DCT 编码的后处理技术研究已成为一个热门课题. 现有的后处理方法主要包括各种结合边缘检测算法和增强的空间滤波算法^[1~3], 如基于凸集投影(POCS)的迭代算法^[4]、约束最小平方算法(CLS)^[5]和图象最大后验概率(MAP)估计^[6]等. 虽然这些方法一般都可以达到减少方块效应的效果, 但是, 由于简单的低通滤波会导致对图象边缘和纹理的过度平滑, 而基于各种图象估计的迭代算法则有计算量过大的缺点, 因此寻找更为有效的去除低比特率压缩图象方块效应的后处理技术仍然是不少学者感兴趣的课题.

由于小波变换在图象噪声平滑和边沿检测的应

用中表现出良好的特性,因此小波域的后处理技术的研究已引起学者们的兴趣.本文提出了一种基于图象小波变换极值表示的去方块效应的算法.该算法主要通过通过对由方块效应所引入的小波变换极大值点进行分类和采用不同的处理方法来去除方块效应.

1 基于小波极值表示的去方块算法

信号小波变换极值描述是信号的一种精确和稳定的描述,与信号小波变换极大值描述相类似,这些描述,一方面能提供信号的奇异性信息^[7,8];另一方面,由于信号小波极值描述同时含有小波变换模极大值和极小值的信息^[7],并且表示为几个凸集约束,因此其重构算法更为简单有效,且其重构图象的质量也稍好.虽然低比特率 JPEG 图象的方块效应具有明显的结构化特性,它使图象小波变换系数在方块边界位置表现为模极大值,然而对于不同的图象区域,方块效应所产生的模极大值具有不同的特性.为此,文献^[8]把方块边界所处位置的图象区分为背景区域,平滑边缘区域和阶梯状边缘区域等 3 个不同的区域,然后针对不同的区域,对方块边界位置的极大值点进行不同的处理,从而实现在减小方块效应的同时尽可能地保留原图象的边沿和纹理细节,并提高图象的视觉质量.

1.1 图象小波极值表示及其重构

大家知道,信号 $f(k)$ 的 J 级二进离散小波变换为 $\{(W_{2^j}f)_{1 \leq j \leq J}, S_{2^j}f\}$, 其中, $W_{2^j}f$ 为小波变换系数, $S_{2^j}f$ 为 J 级低频分量. 令 $M_a W_{2^j}f, M_i W_{2^j}f$ 分别表示 $W_{2^j}f$ 的局部极大值和极小值的位置, $MW_{2^j}f$ 表示局部极值点的值, 则信号的小波变换极值表示的定义如下

$$E_e f = \{M_a W_{2^j}f, M_i W_{2^j}f, MW_{2^j}f, S_{2^j}f, j = 1, 2, \dots, J\} \quad (1)$$

文献^[9]给出了一种由小波极值来重构原信号的交替凸集投影算法;其定义图象的离散二进小波变换为 $\{(W_{2^j}^h f)_{1 \leq j \leq J}, (W_{2^j}^v f)_{1 \leq j \leq J}, S_{2^j}f\}$, 其中, $W_{2^j}^h$ 和 $W_{2^j}^v$ 分别为水平和垂直方向的高频成份; $S_{2^j}f$ 为低频成份. 信号小波变换极值表示及其重构算法容易推广到二维图象的情况.

在去方块效应的算法中,由于在对图象小波系数的极值进行处理时,需要去除某些方块边界的模极大值点,这样就破坏了以上重构算法所要求的单调性,因此在这里需对原重构算法进行必要的修正,即在去

除一个模极大值后,比较位于其左右两边的模极小值点,去除模较小的一个,这样就可以保证其单调性.

2.2 图象区域的分类

由于 JPEG 图象的高频量化噪声主要表现在图象第一级小波分解的高频成份中,并且有明显的结构特性,因此本文的图象区域分类也就在第一级小波分解的高频分量中实现.在文献^[8]中方块边界点所位于的图象区域被分为背景区域、平滑边缘区域和阶梯边缘区域等 3 类.

设图象尺寸是 $N \times N$; 图象编码分块大小为 $M \times M$; $x(n)$ ($n=1, 2, \dots, N$) 为图象第一级小波变换 $(W_{2^1}^i f)$ ($i=1, 2$) 的任意一行或一列. 定义块边界位于 $n=mM$ ($m=1, 2, \dots, N/M-1$) 处, 分类算法如下

$$\text{当 } |x(mM)| < T_1 \text{ 时, 如果 } \frac{|x(mM)|}{|x(mM+1)|} \geq T_2$$

且 $\frac{|x(mM)|}{|x(mM-1)|} \geq T_2$, 则方块边界点处于图象背景区域, 否则, 方块边界点处于图象平滑边缘区域;

当 $|x(mM)| \geq T_1$ 时, 则方块边界点处于图象阶梯边缘区域.

上式中的 T_1 为幅度阈值, 而 T_2 为小波变换绝对值的比阈值. 由于阈值的大小必须随方块效应的严重程度而变化, 即阈值的选择与方块效应的严重程度有关, 因此阈值必须随着图象本身及压缩率的变化而变化.

假设编码信号为 $f(n)$, 原信号为 $f_b(n)$ 、量化噪声为 $e(n)$, 则有

$$f(n) = f_b(n) + e(n) \quad (2)$$

在这里, 采用位于方块边缘的方块分量 $e(mM)$ 的小波变换 $W_{2^1}e(mM)$ 的方差来作为测量方块效应严重程度的度量值. 该方差 σ^2 由下式确定

$$\sigma^2 = \text{var}[W_{2^1}e(mM)] = \text{var}[W_{2^1}f(mM)] - \text{var}\left[W_{2^1}f\left(mM - \frac{M}{2}\right)\right] \quad (3)$$

其中, $\text{var}[\cdot]$ 为求方差运算.

本文选择阈值 T_1, T_2 为 $T_1 = 2T_2 = c\sigma$. 其中, c 为比例常数, 选为 5.5^[8].

通过上述算法,即可分别对水平和垂直的方块边界点所处的图象区域进行分类.

2.3 去方块算法

由于方块效应表现为明显的结构化特性,且它使图象小波系数在方块边界位置表现为模极大值,因而本文在以下算法中仅仅对模极大值进行处理.

而在重构时,则根据凸集交替投影算法的要求,采用既包括模极大值,也包括模极小值的极值重构算法。

实验表明,由于位于背景区域的方块分量在两级小波分解后表现出明显的极值特性,因此应去除两级小波变换后位于背景区域中方块边界的模极大值点;而由于位于平滑边缘区域的方块分量,在第二级小波系数中表现出的极值特性不明显,因此本文仅去除第一级小波分解后位于平滑边界区域的方块边缘的模极大值点,而不对第二级的极值点进行处理;在阶跃状边缘处,因为方块分量对极值点的影响几乎察觉不到,所以本文不对其进行处理。另外,在实验中还发现,若对第二级小波变换的系数进行边缘增强,可以得到更好的效果,因此本文在这里对第二级小波系数的极值进行了增强处理。同时,由于注意到第二级小波极值点的位置发生了偏移,因此通过比较方块边界位置及其邻域的模值,来去除其中模为最大点的极值。

具体步骤如下:

(1)首先对 JPEG 压缩图象 $f(m, n)$ 进行二级小波变换,所得到的高频分量分别为 $W_{2^1}^{1/2}f$ 、 $W_{2^1}^{2/2}f$ 、 $W_{2^1}^{3/2}f$ 、 $W_{2^1}^{4/2}f$,而得到的低频分量为 $S_{2^2}f$ 。

(2)对第二级小波分量进行增强

$$W_{2^2}^{1/2}(m, n) = 3W_{2^2}^{1/2}(m, n) - W_{2^2}^{1/2}(m, n+1) - W_{2^2}^{1/2}(m, n-1) \quad (4)$$

$$W_{2^2}^{2/2}(m, n) = 3W_{2^2}^{2/2}(m, n) - W_{2^2}^{2/2}(m+1, n) - W_{2^2}^{2/2}(m-1, n) \quad (8)$$

(3)求 $f(m, n)$ 的小波极值表示。

(4)对方块边界点的位置进行区域划分。当方块边界点位于背景部分时,令标志位 $a(i, j) = 1$;当方块边界点位于平滑边界部分时,令标志位 $a(i, j) = -1$;当方块边界点位于阶跃边缘部分时,令标志位

$$a(i, j) = 0.$$

(5)针对不同区域,对方块边界处的极大值进行如下处理:

①第一级小波极值

对背景部分及平滑边界部分方块边界位置的象素点进行如下处理:

当 $|a| = 1, n$ 为 8 的倍数,且 $MW_{2^1}^{1/2}(m, n)$ 为模极大值时,令 $MW_{2^1}^{1/2}(m, n) = 0$;

当 $|a| = 1, m$ 为 8 的倍数,且 $MW_{2^1}^{2/2}(m, n)$ 为模极大值时,令 $MW_{2^1}^{2/2}(m, n) = 0$ 。

②第二级小波极值

仅对背景部分的方块边界位置象素点进行如下处理:

当 $a = 1, n$ 为 8 的倍数,且 $MW_{2^2}^{1/2}(m, j)$ 为模极大值时, $j \in (n-1, n, n+1)$, 如果 $|MW_{2^2}^{1/2}(m, j)| = \max(|MW_{2^2}^{1/2}(m, n-1)|, |MW_{2^2}^{1/2}(m, n)|, |MW_{2^2}^{1/2}(m, n+1)|)$, 则令 $MW_{2^2}^{1/2}(m, j) = 0$;

当 $a = 1, m$ 为 8 的倍数,且 $MW_{2^2}^{2/2}(i, n)$ 为模极大值时, $i \in (m-1, m, m+1)$, 如果 $|MW_{2^2}^{2/2}(i, n)| = \max(|MW_{2^2}^{2/2}(m-1, n)|, |MW_{2^2}^{2/2}(m, n)|, |MW_{2^2}^{2/2}(m+1, n)|)$, 则令 $MW_{2^2}^{2/2}(i, n) = 0$ 。

(6)由剪裁后的极值点重构原图象。

3 实验结果及分析

本文使用 The Independent JPEG Groups JPEG Software 对 Lena (256×256) 原图象进行了压缩仿真试验,其计算机仿真结果如图 1、图 2 所示,其比特率分别为 0.3bit/pixel 和 0.22bit/pixel。图 3 为局部放大图。



(a) 压缩 Lena 图象
(PSNR=28.29 dB)



(b) 采用文献[8]算法处理的结果
(PSNR=28.49 dB)



(c) 采用本文算法处理的结果
(PSNR=28.63 dB)

图 1 比特率为 0.3bit/pixel JPEG 图象的后处理结果



(a) 压缩 Lena 图象
(PSNR=26.84 dB)



(b) 采用文献[8]算法处理的结果
(PSNR=27.26 dB)



(c) 采用本文算法处理的结果
(PSNR=27.45 dB)

图 2 比特率为 0.22bit/pixel JPEG 图象的后处理结果



(a) 局部放大的 0.3bit/pixel JPEG 图象



(b) 将(a)进行后处理的结果



(c) 局部放大的 0.22bit/pixel JPEG 图象



(d) 将(c)进行后处理的结果

图 3 局部放大图

从仿真结果可以看出,经过后处理的图象,其方块效应明显减少了,具有较好的主观视觉效果,并且图象的 PSNR 也得到改善.本文算法的实验结果无论在主观视觉效果和客观信噪比改善上都略优于文献[8]所提算法.初步的研究表明,低比特率压缩图象的小波域后处理技术具有良好的性能,值得进一步进行研究.

参 考 文 献

1 Reeves H C, Lim J S. Reduction of blocky effects in image coding. Optical Engineering, 1984,23(1):34~37.

2 Ramamurthi B, Gersho A. Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images. IEEE Trans . ASSP, 1986,34(5):1258~1268.

3 Sauer K. Enhancement of low bit-rate coded images using edge detection and estimation. Computer Vision Graphics and Image Processing: Graphical Models and Image Processing, 1991, 53(1):52~62.

4 Yang Y, Galatsanos N P, Katsaggelos A. Projection-based spatially adaptive reconstruction of blocky-transform compressed images. IEEE Trans. Image Processing, 1995, 4(7):896~908.

5 Zakhor A. Iterative procedures for reduction of blocking effects

in transform image coding, IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 1992, 2(1): 91~95.

- 6 Ozcelik T, Brailean J C, Katsaggelos A. Image and video compression algorithm based on recovery techniques using mean field annealing. Proc. IEEE, 1995, 83(2): 304~316.
- 7 Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges, IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell, 1992, 14(7): 710~732.
- 8 Nam Chul Kim, Ick Hoon Jang, Dac Ho Kim *et al.* Reduction of blocking artifact in block-coded images using wavelet transform. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(3): 253~257.
- 9 Zoran Cvetkovic, Martin Verrerli. Discrete time wavelet extrema representation: Design and Consistent Reconstruction, IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 43(3).

蔡汉添 华南理工大学电子与通信工程系副教授. 当前主要研究兴趣为信号处理新方法及其应用、图象压缩和图象分析.

袁江 1999年获华南理工大学电子与通信工程系硕士学位. 研究方向为图象通信、图象处理. 现在深圳市华为技术有限公司工作.