

一种基于人类视觉系统的去块效应算法

许志良^{***} 谢胜利^{*}

^{*}(华南理工大学电子与信息学院 广州 510641)

^{**}(江西师范大学物理与通信电子学院 南昌 330027)

摘要: 基于块离散余弦变换的图像和视频压缩主要缺点就是在低比特率时会在块边界出现明显的方块效应。本文提出一种充分利用人类视觉特性,在图像的平滑区和纹理区分别采用一维 DCT 域滤波和空间域滤波的去块效应算法。实验结果表明该算法既能有效地去除方块效应又能保护图像的边缘信息。

关键词: 块离散余弦变换 方块效应 人类视觉系统 斜率均方差

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)11-1717-005

A Deblocking Algorithm Based on HVS

Xu Zhi-liang^{**} Xie Sheng-li^{*}

^{*}(College of Electron. & Info. Eng., South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641, China)

^{**}(College of Phys. and Electron. Comm. Eng., Jiangxi Normal Univ., Nanchang 330027, China)

Abstract A major drawback related to the Block-based Discrete Cosine Transform(BDCT) for image and video compression is that the decoded images, especially at very low bit rates, exhibit highly noticeable blocking artifact near the block boundaries. In this paper, a deblocking algorithm based on Human Visual System (HVS) is proposed. For smooth regions, one dimension DCT domains filter is applied to reduce the blocking artifacts, but for texture regions a spatial filter is used. The experimental results show that the proposed algorithm reduces the blocking artifacts effectively and preserves the original edges faithfully.

Key words Block-based discrete cosine transform, Blocking artifacts, Human visual system, MSDS

1 引言

基于分块的离散余弦变换(BDCT)具有压缩率高,计算复杂度低,易于实现等优点而被当前大多数的国际图像、视频压缩标准采用为核心的压缩算法,例如 JPEG, MPEG, H.261, H.263 等。BDCT 是以块(例如 8×8)为单元进行单独量化和编码的,没有考虑像素在相邻块中的相关性,所以在低比特率编码时由于粗糙量化使得相邻块的 DCT 系数取样落在不同的量化区间时就会在块边界上产生方块效应,且比特率越低时方块效应越严重。

减少块效应的算法有很多,因后处理是在解码端进行的,可以与现有的压缩标准完全兼容,因此成了去方块效应的主流。典型的后处理算法有基于块边界的空间域滤波技术^[1, 2]和基于凸集投影(POCS)理论迭代算法^[3]以及基于统计学的最大后验概率(MAP)算法^[4]。早期的空间域滤波算法中,

Reeve和Lim^[1]对块边界的像素应用 3×3 的低通滤波器滤波。这种简单的空间移不变滤波器没有考虑图像的局部特征会使滤波后的图像过度模糊。为了减少因滤波而带来的模糊, Lee, Kim, 和Park^[2]提出把图像分成平缓区和纹理区,对平缓区采用自适应的空间滤波器对其块边界滤波。因为人类视觉对低频区域的方块效应比高频区域的方块效应更加敏感,所以纹理区域不进行滤波处理。基于POCS理论^[3],把原始图像的每一种先验知识都定义成闭凸集,把解码图像往这些闭凸集的交集上投影,通过反复迭代使得恢复图像尽可能的接近原始图像。Stevenson^[4]基于统计学原理提出应用MAP算法去除方块效应。POCS 和MAP有较好的去块效应性能,但是它们的计算复杂度太高。Zeng^[5]首次提出方块效应可用阶梯函数来表示,并提出一种在DCT域去块效应的算法。他对一些图像块的DCT系数应用零掩(Zero-masking)

技术进行去除方块效应,这种方法简单,但是会导致高频信息丢失严重,且会产生新的方块效应。Liu^[6]提出一种在DCT域基于人类视觉系统(HVS)特性的块效应盲测量方法,把图像块边界分成3类,对每类边界分别应用不同的DCT域滤波方法去除块效应。但是这种算法处理后的图像主观质量不好,且运行时间偏长。Luo^[7]应用相邻块之间DCT系数的相关性提出一种在平滑区采用二维DCT系数加权滤波,边缘区用Sigma空间滤波器的快速去块效应算法取得了很好的主观质量效果。但是这种算法没有对是否存在块效应进行判断。本文利用人类视觉对方块效应有活动性掩盖和亮度掩盖的特性定义了一个块效应可见度函数,在此基础上提出一种应用一维的DCT系数加权滤波和Sigma空间滤波相结合的去块效应算法。实验结果表明在去块效应能力和保护边缘信息上都比Liu^[6]和Luo^[7]提出的方法优越。

2 基于人类视觉特性的块效应可见度函数

设 a, b 是两个 8×8 的存在方块效应的水平相邻块,均值分别为不相等的 u_a 和 u_b 。由块 a 的右边4列和块 b 的左边4列组成一个新的 8×8 块 c ,见图1。

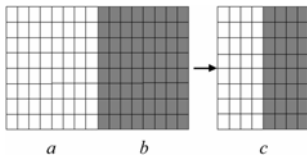


图1 由水平相邻块组成新块的示意图

本文采用Lakhani和Zhong^[8]定义的斜率均方差MSDS来衡量块效应的大小。图1所示的两个水平相邻块之间的块效应大小MSDS的计算见式(1):

$$\text{MSDS} = \sum_{m=0}^7 [d_1(m) - d_2(m)]^2 \quad (1)$$

其中 $d_1(m)$ 是块 a 与块 b 边界处的亮度斜率, $d_2(m)$ 是块 a 和块 b 靠近边界的亮度斜率均值,见如下两式:

$$d_1(m) = c(m, 4) - c(m, 3) \quad (2)$$

$$d_2(m) = \frac{c(m, 5) - c(m, 4)}{2} + \frac{c(m, 3) - c(m, 2)}{2} \quad (3)$$

上两式中的 $c(i, j)$ 代表该处像素的亮度值。同理可以计算出垂直相邻两个块的MSDS。

在大部分的应用中,观察者是图像、视频信息的终端消费者,所以在衡量块效应大小时应该充分考虑人类视觉系统的特性。在前人的研究中发现局部空间活动性和亮度对方块效应具有掩盖性^[9,10]。在纹理丰富区域,方块效应可见度比较小;在局部背景亮度大的区域,方块效应可见度也比较小。

2.1 活动性掩盖

由图1可知块 a 与块 b 相邻的边界包含在块 c 的中间,以块 c 作为块边界的局部区域。局部空间的活动性对方块效应有掩盖作用,且方块效应呈现在垂直和水平两个方向。局部区域的背景在这两个方向的活动性越大对方块效应的掩盖就越强,为此Coudoux和Gazalet^[10]定义了水平和垂直方向的活动性函数,见式(4)和式(5)。其中 A_h, A_v 分别代表块 c 在水平和垂直方向的活动性, $W(u, v)$ 是空间频率的加权因子, $T(u, v)$ 是块 c 的二维DCT系数。

$$A_h = \sum_{u=0}^7 u \sum_{v=0}^7 W(u, v) |T(u, v)| \quad (4)$$

$$A_v = \sum_{v=0}^7 v \sum_{u=0}^7 W(u, v) |T(u, v)| \quad (5)$$

$W(u, v)$ 这个加权因子大小取决于人眼对空间频率的灵敏度。

Neill^[11]提出了一个灵敏度曲线函数:

$$S(f_r) = (0.2 + 0.45f_r) \exp(-0.18f_r) \quad (6)$$

其中 $f_r = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。Coudoux和Gazalet^[10]给出了一个Neill's曲线的空间频率加权因子表,见表1。对于垂直方向的块效应,水平活动性对块效应的掩盖性是主要的,这样对于垂直边界的总活动性 A_{total}^v 见式(7),其中 $\alpha = 0.8$ 。

表1 Neill's 曲线的空间频率加权因子表

1024	1268	1392	1420	1358	1239	1096	934
1268	1346	1394	1383	1310	1190	1052	896
1392	1394	1397	1357	1272	1151	1017	867
1420	1383	1357	1297	1205	1087	960	820
1358	1310	1272	1205	1115	1005	888	760
1239	1190	1151	1087	1005	906	803	689
1096	1052	1017	960	888	803	713	616
934	896	867	820	760	689	616	534

$$A_{\text{total}}^v = A_h + \alpha A_v \quad (7)$$

同样对水平方向的块效应,总的活动性 A_{total}^h 见式(8):

$$A_{\text{total}}^h = A_v + \alpha A_h \quad (8)$$

由此可以定义空间频率活动性对水平方向块效应的掩盖函数 M_h ,见式(9)。

$$M_h = (1 + A_{\text{total}}^h)^{-1} \quad (9)$$

同理也可以定义空间频率活动性对垂直方向块效应的掩盖

函数 M_v 。

2.2 亮度掩盖

过去的研究发现块效应的边界所处的局部背景亮度对方块效应有掩盖效应,亮度越大,方块效应可见度越低。

Karunasekra和Kingsbury^[9]定义了一个亮度掩盖函数 M_l :

$$M_l = \left(1 + \left(\frac{b}{b_0} \right)^r \right)^{-1} \quad (10)$$

式(10)中的 b_0 , r 是常数,分别为 150 和 2。 b 是局部图像亮度,取 $b=(1/8)C(0,0)$, $C(0,0)$ 是 c 块的第一个 DCT 系数。

2.3 块效应可见度函数

由 2.1 节和 2.2 节所述知道空间频率活动性对水平方向块效应的掩盖函数 M_h 越小,方块效应可见度越低;亮度掩盖函数 M_l 越小,方块效应可见度也越低,所以定义水平方向块效应可见度函数 η_h , 见式(11), 同理也可以定义垂直方向的块效应可见度函数 η_v 。

$$\eta_h = \text{MSDS} \cdot M_h \cdot M_l = \frac{\text{MSDS}}{(1 + A_{\text{total}}^h)(1 + (b/b_0)^r)} \quad (11)$$

3 块效应去除算法

由于方块效应出现在水平和垂直两个方向,在去块效应上两者没有本质区别,本文提出的水平方向去块效应算法对垂直方向也适用。当块 c 的 η_h 小于某个给定的门限值 T_1 时,称该块的水平方向方块效应不可见,无需要对其进行去块效应处理。当块 c 的 η_h 大于等于门限值 T_1 时,对块 c 的每一行进行边缘检测,同时满足以下两个条件的行称为平滑行,否则称之为边缘行。

$$|c(m, n+1) - c(m, n)| \leq |c(m, 4) - c(m, 3)| \quad (12)$$

$$|c(m, 4) - c(m, 3)| \leq 2QP \quad (13)$$

其中 $m=0,1,\dots,7$; $n=0,1,\dots,6$; QP 是量化参数^[12], 本文取 $QP=16$ 。

3.1 平滑行的块效应消除

假设块 c 的第 m 行是平滑行。则可知它是由块 a 的第 m 行右边 4 个像素和块 b 的第 m 行左边 4 个系数构成,见式(14)。

$$c_m(n) = \begin{cases} a_m(n+4), & 0 \leq n \leq 3 \\ b_m(n-4), & 4 \leq n \leq 7 \end{cases} \quad (14)$$

令 A, B, C 分别为块 a, b, c 的第 m 行的一维 DCT 系数,见式(15)。

$$\left. \begin{aligned} A_m(l) &= \beta(l) \sum_{n=0}^7 a_m(n) \cos \left[\frac{(2n+1)l\pi}{16} \right] \\ B_m(l) &= \beta(l) \sum_{n=0}^7 b_m(n) \cos \left[\frac{(2n+1)l\pi}{16} \right] \\ C_m(l) &= \beta(l) \sum_{n=0}^7 c_m(n) \cos \left[\frac{(2n+1)l\pi}{16} \right] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

其中

$$\beta(l) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{8}}, & l=0 \\ \frac{1}{2}, & l=1,2,\dots,7 \end{cases}$$

当 $a_m(n), b_m(n)$ 分别为不相等的常数 T_a 和 T_b 时,由式(14), (15)可以得到

$$C_m(l) = \beta(l) \left(\sum_{n=0}^7 T_a \cos \left[\frac{(2n+1)l\pi}{16} \right] + \sum_{n=4}^7 (T_b - T_a) \cos \left[\frac{(2n+1)l\pi}{16} \right] \right), \quad 0 \leq l \leq 7\alpha \quad (16)$$

由式(16)可知 $l=2,4,6$ 时 $C_m(l)=0$, 所以方块效应主要是由 $l=0,1,3,5,7$ 项引起的,故可以通过修改这些项的值来去除方块效应。本文采用类似于Luo^[7]的方法,通过 $A_m(l), B_m(l), C_m(l)$ 的对应项加权来修改 $C_m(l)$ 的值,见式(17):

$$\left. \begin{aligned} C_m(l) &= 0.6C_m(l) + 0.2[A_m(l) + B_m(l)], & l=0,1 \\ C_m(l) &= 0.5C_m(l) + 0.25[A_m(l) + B_m(l)], & l=3,5,7 \\ C_m(l) &= C_m(l), & l=2,4,6 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

以本文提出的块效应可见度函数若判断出某个块的块效应可见,则对该块以行为单位进行判断,如果发现某行有边缘存在则只对该行单独用 Sigma 滤波,但是该块中的其它行仍然采用一维 DCT 系数加权去除块效应。而在二维 DCT 系数加权中如果某个块中有边缘,则对整个块用 Sigma 滤波。所以一维 DCT 系数加权比以块为单位进行 DCT 系数加权在去块效应上要强。

3.2 边缘行的块效应消除

对于边缘行的块效应,为了有效地保护图像的边缘信息,对块边界的像素点应用简单的空间 Sigma 滤波器滤波。

Sigma 滤波器的门限值本文取 16。

4 实验结果

4.1 主观质量评价

对 512×512 的Lena和Peppers图像采用JPEG编码,其比特率分别为 0.218bpp 和 0.188bpp,并且依次列出了采用Liu^[6], Luo^[7]及本文算法($T_1=0.0005$)处理之后的图像。为了更好地比较,本文只截取图像的一部分,见图 2 和图 3。其中:(a)是没有进行后处理的JPEG解码图像;(b)是用Liu方法处理后的重建图像;(c)是用Luo方法处理后的重建图像;(d)是本文算法处理后的重建图像。由图 2 和图 3 可以看出经Liu方法处理后的图像仍然有比较明显的块效应,并且图像比较模糊,边缘信息丢失较严重。从图像上看Luo和本文算法处理后的块效应已经不可见,但是本文在处理后的图像在高频部分比

Luo要清晰。



图2 各种算法对 0.218bpp, JPEG 编码下的 Lena 后处理图

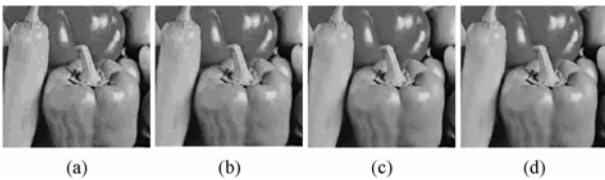


图3 各种算法对 0.188bpp, JPEG 编码下的 Peppers 后处理

4.2 客观质量评价

为了在客观上测量和评估本文算法去除方块效应的性能,常用的PSNR因为它涉及到整幅图像的每个像素点而不是块边界的一些像素点,所以不能用作唯一的衡量标准。本文采用Lakhani 和Zhong^[8]定义的斜率均方差MSDS和PSNR两者结合起来对去块效应算法进行评价。

每个 8×8 的图像块 f 周围有4个相邻的块。 e, s, w, n 代表与 f 块相邻的东南西北四个图像块。 $\varepsilon_e, \varepsilon_s, \varepsilon_w, \varepsilon_n$ 分别是块 f 与相邻块之间的MSDS,其大小用式(1)式(3)计算。MSDS₁为总块效应大小,见式(18):

$$\text{MSDS}_1 = \varepsilon_w + \varepsilon_e + \varepsilon_s + \varepsilon_n \quad (18)$$

根据式(18)可以计算出整幅图像的平均方块效应大小。表2是Lena和Peppers在不同编码比特率下应用不同后处理方法得到的平均每块图像的MSDS₁。A代表没有经过后处理JPEG解码结果;B代表用Liu算法处理后的结果;C代表用Luo算法处理后的结果;D代表本文算法处理后的结果。Lena和Peppers在不同编码比特率下应用不同后处理方法的PSNR见表3。表2可以看出Liu算法对Peppers图像处理后的MSDS₁比Luo的小,由表3看出它的PSNR也比Luo的小,所以Liu的算法不能很好地保护边缘信息。本文算法处理后图像的MSDS₁比Liu和Luo的都小,但是PSNR比Liu和Luo的都大。通过主观质量和客观质量评价可以看出本文的算法能够很好地去除方块效应,同时又能有效地保护图像的边缘信息。本文算法在运行时间上与Luo的相当,比Liu的要小。

表2 不同比特率下各种算法的MSDS₁

原始图像	比特率	A	B	C	D
Lena 512*512 MSDS ₁ =1270	0.218	4522	2904	2708	2145
	0.270	3390	2528	2239	1692
Peppers 512*512 MSDS ₁ =1490	0.188	3545	2336	2373	2209
	0.23	3117	2182	2211	2045
原始图像	比特率	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
Lena 512*512	0.218	29.92	30.01	30.20	30.42
	0.270	31.65	31.30	31.37	31.77
Peppers 512*512	0.188	29.60	29.61	29.90	29.95
	0.230	30.87	30.81	31.07	31.15

5 结束语

本文利用人类视觉对方块效应有活动性掩盖和亮度掩盖的特性定义了一个块效应可见度函数,在此基础上提出一种应用一维的DCT系数加权滤波和Sigma空间滤波相结合的去块效应算法。实验结果证明该算法在去除方块效和保护边缘信息上都有优越的性能。

参考文献

- [1] Reezve H, Lim J. Reduction of blocking effect in image coding [C]. in Proc. ICASSP'83, Boston, 1983, 8: 1212 - 1215.
- [2] Lee Y L, Kim H C, Park H W. Blocking effect reduction of JPEG images by signal adaptive filtering [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*. 1998, 7(2): 229 - 234.
- [3] Yang Y, Galatsanos N P, Katsaggelos A K. Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images [J]. *IEEE Trans. on Circuits Sys. Video Technol*, 1993, 3(6): 421 - 432.
- [4] Stevenson R L. Reduction of coding artifacts in transform image coding [C]. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Minneapolis, 1993, 5: 401 - 404.
- [5] Zeng B. Reduction of blocking effect in DCT-coded images using zero-masking techniques [J]. *Signal Processing*, 1999, 79(2): 205 - 211.
- [6] Liu S Z, Bovik A C. Efficient DCT-domain blind measurement and reduction of blocking artifacts [J]. *IEEE Trans. on Circuits*

- Syst. Video Technol.*, 2002, 12 (12): 1139 – 1149.
- [7] Luo Y, Ward R K. Removing the blocking artifacts of block-based DCT compressed images [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2003, 12(7): 838 – 842.
- [8] Lakhani G , Zhong N. Derivation of prediction equations for blocking effect reduction [J]. *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, 1999, 9(3): 415 – 418.
- [9] Karunaseker S A, Kingsbury N G. A distortion measure for blocking artifacts in image based on human visual sensitivity [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, 4(6): 713 – 724.
- [10] Coudoux F X, Gzalet M , Corlay P. Reduction of blocking effect in DCT-coded images based on a visual perception criterion [J]. *Signal Processing : Image Commun.*, 1998, 11(3): 179 – 186.
- [11] Nill N B. A visual model weighted cosine transform for image compression and enhancement [J]. *IEEE Trans. on Commun.* 1985, 33(6): 551 – 556.
- [12] Gao W F, Mermer C, Kim Y. A De-blocking algorithm and a blockiness metric for highly compressed images [J]. *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, 2002, 12(12): 1150 – 1159.
- 许志良: 男, 1974年生, 讲师, 在职博士生, 从事图像无线传输方面的研究工作.
- 谢胜利: 男, 1958年生, 教授, 博士生导师, IEEE高级会员, 曾获国家杰出青年科学基金和教育部跨世纪优秀人才基金, 在非线性系统控制理论与应用、自适应信号处理等邻域的国内外学术刊物上发表70多篇论文. 感兴趣的领域为: 非线性系统学习控制理论、自适应信号处理、盲信号分离和图像处理等.