

基于 HVS 及偏微分方程的去块效应算法

米伟哲

(哈尔滨工程大学 工程训练中心, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 提出一种新的去块效应算法. 该算法结合 P-M 扩散与相干增强扩散各自的优点去除块效应, 并在此基础上考虑了人类视觉系统特性在去块效应方面的作用. 实验结果表明: 该算法既能够有效去除块效应, 又能很好地保护图像的边缘信息.

关键词: 块效应; 相干增强扩散; P-M 扩散; 人类视觉系统

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0213-03

An HVS and Partial Differential Equations Based Image Deblocking Algorithm

MI Wei-zhe

(Engineering Training Center, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: An new deblocking algorithm was proposed. This algorithm based on HVS, which builds a weight model combining coherence diffusion and P-M diffusion. The experimental results show that the proposed algorithm reduces the blocking artifacts effectively and preserves the original edges.

Key words: blocking artifacts; coherence enhancing diffusion; P-M diffusion; HVS

1 引言

基于块的离散余弦变换(BDCT)已被广泛应用于图像和视频压缩,但在压缩率要求较高、码流比特率较低的情况下,DCT系数的量化会导致在解码图像中出现块与块之间的不连续性,也就是所谓的“块效应”.这种块效应严重影响了解码图像的视觉质量,因而去块效应算法得到了深入研究.其中后处理技术是在解码端进行的,而且与现有的压缩标准完全兼容,因而成为了去块效应的主流技术.典型的后处理算法有基于块边界的空间域滤波技术和基于凸集投影(POCS)理论的迭代算法等^[1-6].POCS^[1]去块效应性能较好,但是计算复杂度太高.偏微分方程(PDE)在平滑噪声的同时,可以使边缘得到保持,所以PDE在去块效应方面也得到了广泛的重视.其中最典型的是Perona和Mali^[2]提出的各向异性扩散方程(P-M扩散方程),把图像处理过程解释为扩

散过程.文献[3]提出一种P-M扩散与相干增强扩散的加权组合模型,虽然减少了块效应,但图像的主观效果并不好.文中提出一种基于人类视觉系统特性的P-M扩散与相干增强扩散结合的加权组合模型,边缘部分侧重相干增强扩散,其余部分侧重P-M扩散.实验结果表明:本算法能够有效地去除块效应,同时又能有效保护图像的边缘纹理信息,主观质量均有所提高,性能优于原算法.

2 P-M 扩散与相干增强扩散的加权模型

令 $f_0: R^2 \rightarrow R$ 表示一个灰度图像,其中 $f_0(x, y)$ 为灰度值,则在 t 时刻,对 $f_0(x, y)$ 的去噪相当于求解如下偏微分方程:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = F(f(x, y, t)) \quad (1)$$

$f(x, y, t)$ 表示 t 时刻的图像, F 表示该算法的算子, P-M 模型表示为:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \text{div}[c(|\nabla f|) \cdot \nabla f] \quad (2)$$

其中, $c(|\nabla f|) = K^2/(|\nabla f|^2 + K^2)$, K 为可调参数.

P-M 可以减少块效应, 但 P-M 模型的解是不唯一的, 不能很好地消除边缘上的块效应噪声, 而 J. Weickert 提出的相干增强模型很好地处理了边缘处的噪声, 文献[3]建立了一个统一的 PDE 模型, 该模型在图像的边缘部分侧重相干增强扩散抑制 P-M 扩散, 非边缘部分即较平坦区域侧重 P-M 扩散抑制相干增强扩散.

$$\frac{\partial f}{\partial t} = o_1(x, y) \text{div}[c(|\nabla f|) \nabla f] + o_2(x, y) \text{div}[D(J_\rho(\nabla f_\sigma)) \nabla f] \quad (3)$$

$$\text{div}[c(|\nabla f|) \nabla f] = \frac{\beta^2}{\beta^2 + |\nabla f|^2} (f_{\eta\eta} + \frac{\beta^2 - |\nabla f|^2}{\beta^2 + |\nabla f|^2} f_{\xi\xi}) \quad (4)$$

其中, $\beta \leq |\nabla f|$, $f_{\eta\eta}$ 和 $f_{\xi\xi}$ 计算如下:

$$f_{\xi\xi} = \frac{f_{xx}f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_y^2}{f_x^2 + f_y^2} \quad (5)$$

$$f_{\eta\eta} = \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{f_x^2 + f_y^2} \quad (6)$$

$D(J_\rho)$ 称为扩散张量, 与结构张量有相同的特征值, ρ 反映纹理结构特征.

$$J_\rho(\nabla f_\sigma) = K_\rho * (\nabla f_\sigma \nabla f_\sigma^\perp) \quad (7)$$

式中, $f_\sigma = f(t, g) * K_\sigma$, K_σ 为高斯光滑核, σ 反映噪声大小相关性.

J_ρ 的两个正交特征向量与相应的特征值分别为 v_1, v_2 和 f_1, f_2 , 取扩散张量 $D(J_\rho)$ 的特征值为:

$$\lambda_1 = \alpha \quad (8)$$

$$\lambda_2 = \begin{cases} \alpha & f_1 = f_2 \\ \alpha + (1 - \alpha) \exp\left(\frac{-1}{(f_1 - f_2)^{2m}}\right) & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

其中, 扩散率 $\alpha \in (0, 1)$, 保证了扩散张量的正定性, m 为可调参数.

权函数选取如下:

$$o_1(x, y) = \frac{k^2}{k^2 + |\nabla f|^2} \quad (10)$$

$$o_2(x, y) = \frac{|\nabla f|^2}{k^2 + |\nabla f|^2} \quad (11)$$

3 人类视觉系统的特性

人类视觉系统在图像处理中扮演着非常重要的

角色, 因为所有图像最终会受到人类视觉系统的观察和了解. 因此在图像处理过程中应该考虑视觉心理与心理物理学的作用. 研究发现, 人类视觉系统具有明显的活动性掩盖性和亮度掩盖性^[4]. 在纹理丰富区域, 块效应可见度比较小, 即活动性掩盖特性; 在局部背景亮度大的区域, 方块效应可见度也比较小, 即亮度掩盖特性.

3.1 活动性掩盖

大量的实验结果表明, 人眼对平滑区域的块效应非常敏感, 而对图像的边缘和纹理区域的块效应却难以觉察, 这就是视觉的活动性掩盖效应. 基于人类视觉的这一特性, Anderson 等人^[5] 定义了图像的活动性掩盖函数:

$$M_d(i, j) = (1 + \alpha M(i, j))^{-1} \quad (12)$$

其中, α 是一个正比例因子, 可以根据实际情况进行调节; $M(i, j)$ 为局部方差反映 (i, j) 点像素所在的局部区域活动性, 计算如下:

$$M(i, j) = \sigma_d^2(i, j) = \frac{1}{(2p+1)^2} \sum_{m=i-p}^{m=i+p} \sum_{n=j-p}^{n=j+p} [f_d(m, n) - E_d(i, j)]^2 \quad (13)$$

其中, $E_d(i, j)$ 是 (i, j) 点像素在 $(2p+1)(2p+1)$ 区域内的均值, 计算如下:

$$E_d(i, j) = \frac{1}{(2p+1)^2} \sum_{m=i-p}^{m=i+p} \sum_{n=j-p}^{n=j+p} f_d(m, n) \quad (14)$$

$M_d(i, j)$ 的最大值为 1, $M_d(i, j)$ 越小, 说明该像素点所在的局部区域含有的边缘信息或纹理信息越丰富, 该处的块效应可见度就越低; 相反该处的块效应可见度就越高.

3.2 亮度掩盖

块效应的边界所处的局部背景亮度对块效应有掩盖效应. 亮度越大, 块效应可见度越低. Karunasekera^[6] 定义 (i, j) 位置的一个亮度掩盖函数:

$$L_d(i, j) = (1 + (\frac{E_d(i, j)}{b_0})^r)^{-1} \quad (15)$$

其中, $E_d(i, j)$ 同式(14), b_0, r 是常数, 分别为 150 和 2.

如果在去块效应的算法中反映人类视觉系统的特性, 有助于在去除块效应的同时保护图像的边缘信息. 下面将根据这些特性改进文献[3]提出的去块效应算法.

4 改进算法

图像的最终接受者是人, 那么图像视觉效果和

人类视觉系统有着紧密联系,原算法没有考虑人类视觉系统的影响,为了有效去除块效应和保护边缘信息,文中选择新的权重函数,提出一种改进的P-M扩散和相干增强扩散两者结合的方法,权重函数如下:

$$o_1(x, y) = \frac{\tau^2}{\tau^2 + |\nabla f| M(x, y) L_d(x, y)} \quad (16)$$

$$o_1(x, y) = \frac{|\nabla f| M(x, y) L_d(x, y)}{\tau^2 + |\nabla f| M(x, y) L_d(x, y)} \quad (17)$$

其中, $M(x, y)$ 计算如式(13), $L_d(x, y)$ 计算如式(15), τ 为可调参数。

在图像的边缘区域内, τ 确定时, 由于图像梯度幅值 $|\nabla f|$ 较大, 相应的局部方差也较大, 亮度掩盖函数越大, 式(17) 越大, 即边缘部分鼓励相干增强扩散抑制P-M扩散, 从而有助于保留图像的细节; 反之, 在图像的平坦区域内, 由于图像梯度幅值 $|\nabla f|$ 较小, 相应的局部方差较小, 亮度掩盖函数越小, 式(16) 越大, 非边缘部分即较平坦区域鼓励P-M扩散抑制相干增强扩散。

τ 的取值很关键, 经过对不同的图像进行实验, 发现 $\tau = |\nabla f|$ 时结果是最优的。

5 实验结果

算法实现的硬件平台: CPU为Intel 1.73 GHz, 内存为1 GB. 软件为MATLAB. 式(4)在具体实现时采用Perona和Malik^[2]提出的偏微分数值解法. 为了评估本文算法去块效应的性能, 采用PSNR以及平均斜率均方差MSDS两者综合对去块效应算法进行评价. MSDS的计算采用文献[7]的方法. 平均MSDS表示整幅图像两个块边界水平和垂直邻接块的MSDS平均值. 表1和表2分别是Lenna和Peppers在不同编码比特率下应用不同方法得到的PSNR和图像的平均MSDS. A代表JPEG解码图像的结果; B代表P-M算法^[2]去块效应的结果, 其中 $k = 40, \lambda = 0.25$; C代表用文献[3]算法的结果, 其中 $\sigma = 0.6, k = 40, \beta = \nabla f, \alpha = 0.001, m = 1, \lambda = 0.25$; D代表文中算法的结果, 其中 $\sigma = 0.6, \tau = \nabla f, p = 1, \beta = \nabla f, \alpha = 0.001, m = 1, \lambda = 0.25$.

可以看出, 文中算法处理后的图像PSNR有所提高, 平均MSDS较小。

表1 不同比特率下各种算法的PSNR

原始图像	比特率 /bpp	PSNR/dB			
		A	B	C	D
Lenna	0.1699	25.80	26.49	27.07	27.29
512×512	0.2665	27.24	28.14	29.00	29.24
Peppers	0.2104	28.03	28.81	29.06	29.33
512×512	0.2741	31.36	32.29	32.24	32.36

表2 不同比特率下各种算法的平均MSDS

原始图像	比特率 /bpp	平均MSDS			
		A	B	C	D
Lenna	0.1699	6999	1753	459	381
512×512	0.2665	4238	1322	218	189
Peppers	0.2104	5207	1414	524	396
512×512	0.2741	2205	570	237	194

对Lenna和Peppers在0.2655比特率下应用不同方法可得到局部图像. 由图像可以看出, 三种算法都能减少块效应, P-M模型处理后的图像边缘区域的块效应仍然可见, 加权模型有所改观, 而文中算法处理后的图像块效应不可见, 且边缘信息也保护得很好, 视觉效果较好^[8-9].

6 结束语

文中结合人类视觉系统特性, 提出了一种改进的P-M扩散与相干增强扩散加权的去块效应方法, 利用了P-M扩散与相干增强扩散各自的优点. 通过实验可以看出, 文中方法处理的图像具有较好的视觉效果, 该算法在去除块效应和保护边缘信息有着良好的性能. 但是对改进的权重函数中常数如何合理的选取, 有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] Zou J J, Yan H. A deblocking method for BDCT compressed images based on adaptive projections[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(3): 430-435.
- [2] Perona P, Malik J. Scalspace and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell., 1990, 12(7): 629-639.
- [3] 谢华英, 周海银, 谢美华. P-M扩散与相干增强扩散相结合的抑制噪声方法[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(2): 158-163.

(下转第220页)

造成网络额外开销过大,使得系统实际可获得的吞吐量不高.文中研究了 IEEE 802.11n 所采用的帧聚合机制,仿真研究表明了这种帧聚合机制能有效降低网络开销,提高系统吞吐量,改善信道利用率.此外,文中还研究了自适应的帧聚合机制,理论推导并分析了不同子帧帧长在不同信道条件下的吞吐量性能表现,以及不同重传次数与系统吞吐量的关系,仿真表明这种自适应机制可根据信道状况通过动态选择子帧帧长和重传次数来优化系统性能.

参考文献:

- [1] IEEE std 802.11n D6.0. Part11: wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications: enhancements for higher throughput[S].2008.
- [2] Xiao Y, Rosdahl J. Throughput and delay limits of IEEE 802.11[J]. IEEE Communication Letters, 2002, 6(8): 355-357.
- [3] IEEE Std. 802.11a. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: high-speed PHY in the 5 GHz band[S]. 1999, reaffirmed 2003.
- [4] IEEE Std. 802.11g WG. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: further high data rate extension in the 2.4 GHz band [S]. 2003.
- [5] Dionysios, Skordoulis, Qiang Li, et al. IEEE 802.11n MAC frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput WLANs[J]. IEEE Wireless Communications, 2008, 15(1): 40-47.
- [6] Boris Ginzburg, Alex Kesselman. Performance analysis of A-MPDU and A-MSDU aggregation in IEEE 802.11n [S]. IEEE Sarnoff Symposium, 2007: 1-5.
- [7] Schwartz M. Telecommunication networks: protocols, modeling, and analysis[M]. Boston: Addison-Wesley, 2005.

作者简介:

郑海峰 男,(1978-),硕士,讲师.研究方向为无线通信技术、多媒体通信技术、无线网络接入技术.

陈国泰 男,(1975-),博士研究生,讲师.研究方向为信号处理、信源信道编码、无线通信技术.

林金发 男,(1982-),硕士研究生.研究方向为无线通信技术、多媒体通信技术、无线网络接入技术.

余 轮 男,(1952-),硕士,教授,博士生导师.研究方向为信号处理、多媒体通信、计算机网络技术.

(上接第 215 页)

- [4] 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): 179-86.
- [5] Anderson G L, Netravali A N. Image restoration based on a subjective criterion[J]. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 1976, SMC-6(12): 845-853.
- [6] Karunaseker S A, Kingsbury N G. A distortion measure or blocking artifacts in image based on human visual sensitivity[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1995, 4(6): 713-724.
- [7] Gopal Lakhani, Norman Zhong. Derivation of prediction equations for blocking effect reduction[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 1999, 9(3): 415-418.
- [8] 雷超阳, 廖海洲, 周训斌. 采用一种新的滤波方法去除图像噪声[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(1): 162-165.
- [9] 武英. 一种图像椒盐噪声自适应滤除方法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(1): 148-150.

作者简介:

米伟哲 女,(1966-),高级工程师.研究方向为现代通信技术与自动控制理论.