

中图法分类号: TP919.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)02-0197-05

论文索引信息: 王晓玉, 杨付正, 万帅. 有效降低方块效应的 DCT 系数量化方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 197-201

有效降低方块效应的 DCT 系数量化方法

王晓玉¹⁾, 杨付正²⁾, 万帅³⁾

¹⁾(空军工程大学电讯工程学院, 西安 710077) ²⁾(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 西安 710071)

³⁾(西北工业大学电子信息学院, 西安 710129)

摘要: 方块效应是基于块的混合视频编码算法产生的重要特征失真, 严重影响了压缩后视频的主观质量。分析产生方块效应的根本原因, 在此基础上提出一种有效降低方块效应的 DCT 系数量化方法。该方法通过调整量化过程, 减小量化误差在块边界处的变化, 增强相邻块间量化误差的相关性, 从而降低了压缩后视频的方块效应。实验结果表明该方法能够有效降低方块效应, 改善视频帧的主观质量。另外, 该算法计算复杂度较低, 并且与视频压缩标准兼容, 具有实用性。

关键词: 视频编码; 方块效应; 量化

An effective quantization method of DCT coefficients for reducing blocking artifacts

Wang Xiaoyu¹⁾, Yang Fuzheng²⁾, Wan Shuai³⁾

¹⁾(Institute of Telecommunication Engineering, AFEU, Xi'an 710077 China)

²⁾(State Key Laboratory on ISN, Xidian University, Xi'an 710071 China)

³⁾(School of Electronic and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129 China)

Abstract: Blocking artifacts are serious artifacts caused by block-based hybrid video coding, and significantly impair the subjective quality of the compressed video. In this paper, the fundamental reasons of blocking artifacts are explored, based on which an effective quantization method for DCT coefficients for reducing blocking artifacts is proposed. The proposed method adjusts the quantization process to reduce the variation of the quantization error at block edges, which increases the correlation of the quantization error of adjacent blocks and therefore reduces the blocking artifacts of the compressed video. Experimental results have demonstrated the effectiveness of the proposed method in reducing blocking artifacts and improving the subjective quality of video frames. Furthermore, the proposed method is practical in implementation since it has a low computational complexity and is compatible with video coding standards.

Keywords: video coding; blocking artifacts; quantization

0 引言

目前广泛应用的视频压缩标准, 如 JPEG、MPEG-1、MPEG-2、H. 263、H. 264 等, 都采用了基于块的离散余弦变换(B-DCT)算法。B-DCT 算法中,

各个块的变换量化编码过程独立, 会导致相邻块边界的不连续, 这种块边界的不连续称为方块效应(block artifact)。目前已经有多种降低消除方块效应的方法, 通常可分为具有降低方块效应的编码方法和消除方块效应的重构图像后处理。后处理方法主要有不同类型的滤波算法^[1-3]、POCS^[4]和 MAP-

收稿日期: 2009-06-11; 修回日期: 2009-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(60902081, 60902052); 2008 年留学人员科技活动择优资助项目。

第一作者简介: 王晓玉(1978—), 女, 讲师。2010 年获西北工业大学电子信息学院电路与系统专业硕士学位, 主要研究方向为电子信息。E-mail: xiaoxiaowxy@163.com。

MRF^[5]方法。然而由于缺乏原始图像的信息,这些方法都会模糊图像的真实细节或不能消除方块效应。在编码端,文献[6]提出先对不同块中图像数据进行交织,再变换和量化以降低方块效应,而这种方法会降低变换块中像素间的相关性,增强了编码比特数。LOT 算法对相互交叠的块进行变换来避免方块效应,而该算法同样降低了图像编码效率^[7]。这些改变编码方式的算法都与已有的视频压缩编码标准不兼容。另外,DCT 域滤波也可以有效降低方块效应的影响,文献[8]依据 DCT 系数的分布概率调整 DCT 系数的量化值降低图像的方块效应,但对于 DCT 系数服从拉普拉斯分布的假设并不适用于图像中的每个编码块。

然而方块效应产生的根本原因是各个块的变换量化编码过程相互独立,导致各块引入的量化误差大小及其分布特性相互独立,从而会导致相邻块边界的不连续。在分析方块效应形成原因的基础上,对方块效应较为严重的块,根据 DCT 变换性质调整变换系数的量化过程降低其方块效应,从而改善恢复视频的主观质量。

1 DCT 变换

通过 DCT 变换,可以使图像信号的能量主要集中在少数 DCT 系数上,对 DCT 系数进行量化和熵编码可以有效地对图像数据压缩。

8 × 8 块的 DCT 和 IDCT 变换公式分别为

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u) C(v) F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (2)$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u, v = 0 \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式(1)中, $F(u, v)$ 表示 DCT 变换系数,式(2)中, $f(x, y)$ 表示图像块的像素值。

通常, $F(0, 0)$ 称为直流系数,其他的 DCT 系数称为交流系数。可以看到,DCT 和 IDCT 变换都具有线性可加性。另外,DCT 系数中的直流分量正比

于图像块的平均灰度值,高频分量则表明了图像中物体边缘的强度及方向, $F(0, v)$ 系数反映了图像水平方向的变化,而 $F(u, 0)$ 则反映了图像垂直方向的变化。

2 方块效应的形成分析

采用 B-DCT 的压缩算法,图像的失真是由 DCT 系数的量化引起的,典型的 DCT 系数量化和重构算法为

$$F_Q(u, v) = \text{round} \left(\frac{F_D(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad (4)$$

$$F_R = F_Q(u, v) Q(u, v) \quad (5)$$

式中 F_D 表示量化前的 DCT 系数, F_Q 表示量化后的 DCT 系数, F_R 表示重构的 DCT 系数, $Q(u, v)$ 表示量化步长, round 表示四舍五入。

则 DCT 系数的量化误差为

$$d_F(u, v) = F_R(u, v) - F_D(u, v) \quad (6)$$

采用 B-DCT 算法时,图像中所有的块是独立量化,以致相邻块的量化误差互不相关。因此,对于相邻两个块的边界处像素,如果量化误差不连续,则使本来平滑的纹理在块边界处有较大的变化,产生方块效应。下面以 H. 263 视频编码标准为例,介绍 DCT 系数中直流分量 $F(0, 0)$ 的量化对方块效应的影响。

H. 263 编码标准中,DCT 系数的直流分量采用固定的量化步长,其量化及重构公式为

$$F_Q(0, 0) = \text{round} \left(\frac{F_D(0, 0)}{8} \right) \quad (7)$$

$$F_R(0, 0) = F_Q(0, 0) \times 8 \quad (8)$$

假设对于左右相邻的块 f_1 和 f_2 , 有 $F_{f_1, D}(0, 0) = 11, F_{f_2, D}(0, 0) = 12$, 根据式(6)–(8)则有

$$F_{f_1, Q}(0, 0) = 1, F_{f_2, Q}(0, 0) = 2$$

$$F_{f_1, R}(0, 0) = 8, F_{f_2, R}(0, 0) = 16$$

$$d_{f_1, F}(0, 0) = -3, d_{f_2, F}(0, 0) = 4$$

由式(2)可知,直流系数对重构块中每个像素的贡献,即视所有交流系数都为零时重构块像素的值

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times F(0, 0) = 0.125 \times F(0, 0)$$

因此,由于直流系数的量化误差,块 f_1 中像素产生的误差为

$$d_{f_1,f}(x,y) = 0.125 \times (-3) = -0.375$$

块 f_2 中的像素产生的误差为

$$d_{f_2,f}(x,y) = 0.125 \times 4 = 0.5$$

可以看到,块 f_1 和 f_2 产生的误差不连续,导致块 f_1 和 f_2 的像素在边界处误差的变化为 $0.5 - (-0.375) = 0.875$,显然会由此产生方块效应。

如果为了使块边界处的量化误差连续,将上例中的量化系数调整为

$$\hat{F}_{f_1,Q}(0,0) = 1, \hat{F}_{f_2,Q}(0,0) = 1$$

$$\hat{F}_{f_1,R}(0,0) = 8, \hat{F}_{f_2,R}(0,0) = 8$$

因此,由于直流系数的量化误差,块 f_1 、 f_2 中产生的像素误差分别为

$$\hat{d}_{f_1,f}(x,y) = 0.125 \times (-3) = -0.375$$

$$\hat{d}_{f_2,f}(x,y) = 0.125 \times (-4) = -0.5$$

这时,块 f_1 和 f_2 的像素在边界处误差的变化降低为 $-0.5 - (-0.375) = -0.125$,从而有效地降低了方块效应。

3 降低方块效应的具体算法

通过上面具体的例子,可以看到通过调整改变量化误差的不连续,可有效降低方块效应。下面给出详细的降低方块效应的新算法:

1) 根据文献[9]提出的方块效应测度,对整幅重构图像进行方块效应检测,检测出方块效应最大的 N 个块。

2) 对这 N 个块的 DCT 系数做重新量化工作。量化时用以下两个量化公式分别替代式(7):

$$F_{Q,\text{MIN}}(u,v) = \left\lfloor \frac{F_D(u,v)}{Q(u,v)} \right\rfloor \quad (9)$$

$$F_{Q,\text{MAX}}(u,v) = \left\lceil \frac{F_D(u,v)}{Q(u,v)} \right\rceil \quad (10)$$

$\lfloor X \rfloor$ 表示最接近 X 而又小于或等于 X 的整数值, $\lceil X \rceil$ 表示最接近 X 而又大于 X 的整数值。

因此每个 DCT 系数都有两个可能的量化值。DCT 系数的重构公式不变,如式(8)。

3) 每个 DCT 系数有两个量化值,可以组合生成 2^{64} 个不同的量化系数矩阵。对每个量化系数矩阵重构块 f_c , 计算 f_c 与原始块 f_r 4 个边的边界误差 $d_l (l=1, \dots, 4)$ 。如右边界的边界误差为

$$d_4 = \sum_{n=0}^{N-1} (f_c(n, N-1) - f_r(n, N-1)) \quad (11)$$

同样可以求得其他 3 个边边界误差及其总的边界误差

$$d = \sum_{l=1}^4 (d_l)^2 \quad (12)$$

使 d 最小的量化矩阵值为这些 DCT 系数矩阵最后的量化值。

4) 对所有 N 个块重复 2)、3) 步。

DCT 变换属于酉变换 (unitary transforms), 具有能量守恒的性质。在降低方块效应的同时, 可能会增大量化误差, 通过 IDCT 会导致图像的 PSNR 下降。因此需要权衡方块效应和 PSNR 的下降对图像主观质量的影响, 因此 N 值的选取也要适当。

实验中发现 $F(0,0)$ 、 $F(0,1)$ 、 $F(0,2)$ 、 $F(1,0)$ 、 $F(2,0)$ 这几个 DCT 系数的量化对方块效应影响最大, 为了降低运算复杂度, 算法也只调整这几个系数的量化值。

调整量化过程可以利用 IDCT 变换线性可加的性质, 不需要多次对不同的量化值组合进行 IDCT 变换。从公式(9)、(10)可以看出, $F_{Q,\text{MIN}}(u,v)$ 和 $F_{Q,\text{MAX}}(u,v)$ 的差值为 1。当 $F_Q(u_1, v_1)$ 的值由 $F_{Q,\text{MIN}}(u_1, v_1)$ 改变为 $F_{Q,\text{MAX}}(u_1, v_1)$ 时, 重构块可由下面的公式得到。

$$\begin{aligned} & \text{IDCT}(Q^{-1} [F_{Q,\text{MAX}}^{(u_1, v_1)}(u, v)]) = \\ & \text{IDCT}(Q^{-1} [F_{Q,\text{MIN}}^{(u_1, v_1)}(u, v)]) + \\ & \text{IDCT}([F(u_1, v_1)]) \cdot Q(u_1, v_1) \end{aligned} \quad (13)$$

式中 $\text{IDCT}()$ 表示 DCT 反变换, Q^{-1} 表示反量化, $[F_{Q,\text{MAX}}^{(u_1, v_1)}(u, v)]$ 、 $[F_{Q,\text{MIN}}^{(u_1, v_1)}(u, v)]$ 分别表示 $F_Q(u_1, v_1)$ 为 $F_{Q,\text{MAX}}(u_1, v_1)$ 和 $F_{Q,\text{MIN}}(u_1, v_1)$ 时的量化系数矩阵, $[F(u_1, v_1)]$ 表示的 DCT 系数矩阵为

$$F(u, v) = \begin{cases} 1 & (u, v) = (u_1, v_1) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

4 实验结果

实验使用 H.263 视频编码器^[8], 对标准视频序列 Foreman, Claire, Carphone 和 News (QCIF 格式) 前 100 帧图像, 采用帧内模式编码, 量化步长取 10~25。采用文献[9]提出的方块效应测度, 分别测量未采用去方块效应算法的恢复视频和使用去方块效应算法的恢复视频的方块效应。

图 1 给出了各恢复视频方块效应的大小, 可以看到采用提出的降低方块效应算法可以很好地降低

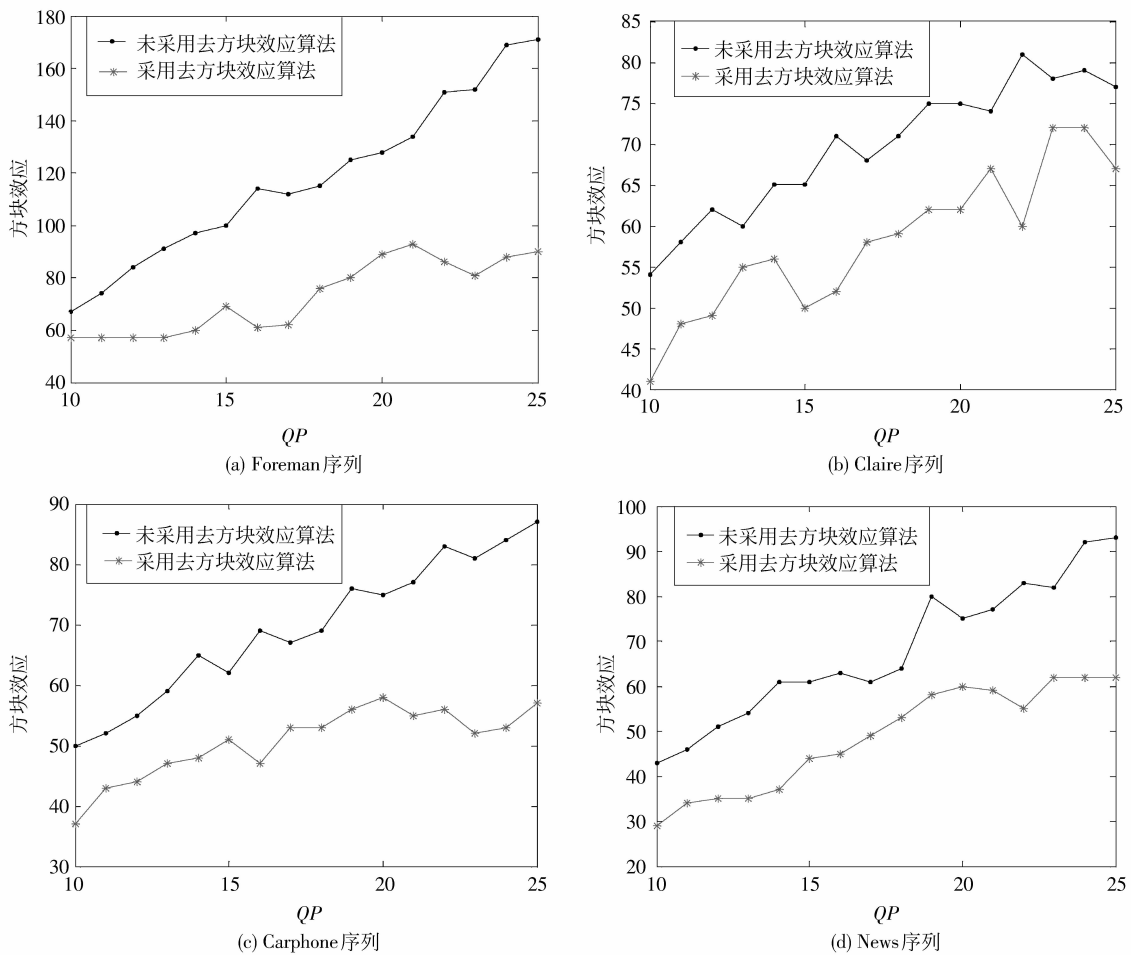


图 1 提出的去方块效应算法的性能

Fig. 1 Performance of the proposed method for reducing blocking artifacts

方块效应,尤其是采用较大量化系数时,算法的性能得到很好的体现。

通过调整 DCT 系数的量化过程来降低恢复视频的方块效应,量化过程的调整会增加 DCT 系数的量化误差,导致恢复视频 PSNR 较小降低。采用本文提出的去方块效应算法时,对视频序列 Foreman, Claire, Carphone 和 News (QCIF 格式) 前 100 帧图像, PSNR 平均会下降 0.064 dB, Foreman 序列的 PSNR 下降最大为 0.082, 但通过图 1 可以看到该算法去除 Foreman 序列的方块效应也最好。但是对于 B-DCT 恢复视频,尤其是对于低码率恢复视频,方块效应对恢复视频质量的影响远远大于 PSNR 微小下降的影响。图 2 给出了量化系数为 25 时(为了能更清楚地看到算法的影响,本文选择了较大的量化系数),序列 Foreman 恢复视频中的第 10 帧图像。图 3 给出了量化系数为 20 时,序列 Claire 的第 10

帧恢复图像。可以看到,采用提出的降低方块效应算法,其恢复视频主观质量大大改善。

采用去方块效应算法时,视频的压缩码率会稍有增加,对于 Foreman, Claire, Carphone 和 News (QCIF 格式) 前 100 帧图像,压缩视频的比特率平均增加 0.19%, Foreman 序列的码率增加最大为 0.27%。另外,由于需要改变量化过程,该算法会增



(a) 未采用去方块效应算法

(b) 采用去方块效应算法

图 2 Foreman 序列恢复视频的第 10 帧图像

Fig. 2 The 10th reconstructed frame of Foreman



(a) 未采用去方块效应算法 (b) 采用去方块效应算法

图 3 Claire 序列恢复视频中的第 10 帧图像

Fig.3 The 10th reconstructed frame of Claire

加编码器的运算复杂度,对于 Foreman, Claire, Carphone 和 News(QCIF 格式)前 100 帧图像,编码器的运算复杂度平均增加 2%,其间编码器的运动预测模块采用全搜索算法。

5 结 论

详细分析方块效应产生的原因,在此基础上提出一种降低方块效应的量化编码方法,该方法可以有效降低压缩视频的方块效应,并且不会模糊图像的细节,改善了图像的主观质量。该算法计算复杂度较低,并且与标准兼容,不需要对解码器做任何调整,在低比特率视频通信中具有实用性。

参考文献(References)

- [1] List P, Joch A, Lainema J, et al. Adaptive Deblocking Filter [J]. IEEE Trans. Circuits System Video Technology, 2003, 13(7): 614-619.
- [2] Kim J, Jeong J. Adaptive deblocking technique for mobile video [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2007, 53(4): 1694-1702.
- [3] Zhai G, Zhang W, Yang X, et al. Efficient deblocking with coefficient regularization, shape-adaptive filtering, and quantization constraint [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(5): 735-745.
- [4] Weerasinghe C, Liew A W C, Yan H. Artifact reduction in compressed images based on region homogeneity constraints using the projection onto convex sets algorithm [J]. IEEE Trans. Circuits System Video Technology, 2002, 12(10): 891-897.
- [5] Meier T, Ngan K N, Crebbin G. Reduction of blocking artifacts in image and video coding [J]. IEEE Trans. Circuits System Video Technology, 1999, 9(4): 490-500.
- [6] Pearson D E, Whybray M W. Transform coding of images using interleaved blocks [J]. Communications, Radar and Signal Processing of IEE Proceedings, 1984, 131(5): 466-472.
- [7] Malvar H S, Sraelin D H. The LOT-transform coding without blocking effects [J]. IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, 1989, 37(4): 553-559.
- [8] Triantafyllidis G A, Tzovaras D, Strintzis M G. Blocking artifact detection and reduction in compressed data [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(10): 877-890.
- [9] Yang F, Chang Y, Wan S. A no-reference quality assessment method for block-coding video [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(4): 728-731. [杨付正, 常义林, 万帅. 基于块编码视频的无参考质量评估 [J]. 电子与信息学报, 2006, 28(4): 728-731.]