

一种去除块效应的自适应后处理算法

张鑫,田逢春,黄扬帆,姬艳丽
(重庆大学通信工程学院,重庆 400030)

摘要:在基于块DCT编码的图像压缩技术中,低比特率下重建图像的块边界会出现块效应,严重地损害图像的主观质量。文中提出一种自适应去块效应算法,目的是为了在不造成图像模糊的情况下去除图像的块效应。算法首先利用图像块的DCT特性将其分为平坦块和非平坦块,然后针对不同的图像块之间的块效应,采用以不同的自适应平滑函数替代阶梯函数的方法来消除块效应。仿真结果表明,该算法不仅有效地去除了图像的块效应,而且较好地保留了图像的纹理和边缘。

关键词:块效应;自适应处理;DCT域

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)10-0127-04

An Adaptive Post-Processing Deblocking Algorithm

ZHANG Xin, TIAN Feng-chun, HUANG Yang-fan, JI Yan-li

(College of Communications, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The block-based DCT compression technology often cause blocking artifacts near the block boundaries at low bit rates, seriously harming the image's subjective quality. Proposed an adaptive deblocking algorithm to remove blocking artifacts while preserve the edge and texture information. The algorithm firstly divide the image blocks into flat and non-flat blocks using the blocks' DCT property, then according to the blocking artifacts between different blocks, the different adaptive function is used to replace the step function to remove the blocking artifacts. Simulation results show that the proposed algorithm can effectively remove the blocking artifacts and preserve the edge and texture information.

Key words: blocking artifacts; adaptive processing; DCT domain

0 引言

基于块的离散余弦变换(BDCT)是目前大多静止图像与视频图像编码标准中的核心部分。国际上的静态图像/视频编码标准,例如:JPEG、MPEGX、H. 26X等都运用到了BDCT来去除图像数据中的空间冗余。但是,由于BDCT以图像块为单位进行量化和编码,忽略了相邻块之间的相关性,并且在低比特率编码时,由于量化步长比较大,对相邻块的DCT系数进行粗糙的量化,这样,导致图像重构后在块边界处产生不连续的现象,形成明显的块边界,即块效应。压缩比越大,块效应越严重,严重地影响了图像的视觉质量,因此,如何在低比特率编码中有效地去除块效应逐渐地成为研究重点之一。

总的来说,消除块效应的方法可以分为前处理和

后处理两种。前处理指的是在编码器端采用不同的编码方案防止块效应的产生。例如已经列入H. 264标准的环路去块滤波器;或是改变编码器的编码方式。而后处理是指在解码器端提高重构图像的质量,不需要修改编解码的过程,因此后处理方法与现有的压缩标准完全兼容,也正是因为这个优势,使得后处理去块效应算法成为去块效应的主流算法,目前几类经典的去块效应算法都是属于后处理方法,如基于凸集投影(POCS)理论的迭代算法,空域滤波算法。还有很多学者采用不同的标准将图像中的块效应划分为几个不同的类,对不同的类采用不同的算法,一定程度上去除了块效应,如根据空间域中块边界处的像素值对所要处理的块效应进行分类处理;或者在给块效应分类的过程中,根据人眼对同一幅图像中的不同区域块效应的敏感程度不同,设计了一个DCT系数加权参数表,并利用这个系数加权参数表来帮助分类。另外,Zeng提出了用一个2维阶梯函数来表示图像块效应,并采用零掩盖的方法来去除块效应,该算法取得了一定效果,但会导致图像的模糊^[1],Liu提出了使用线性函数来

收稿日期:2009-02-11;修回日期:2009-05-30

作者简介:张鑫(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为图像处理;田逢春,教授,博士生导师,主要研究方向为信号处理,视频图像处理,生物信息处理、分形。

代替阶梯函数,但该算法在检测块效应和边缘时计算量太大^[2]。

笔者提出了一种新的块效应消除算法。该算法根据块效应特性,首先将图像中的块效应分为水平和垂直两类,然后运用所提出方法依次去除水平方向的块效应和垂直方向的块效应。在消除水平方向块效应时,根据图像块在 DCT 域中参数的特性设置一个掩模,将图像块划分为非平坦块和平坦块,然后分别采用不同的自适应算法来去除平坦块之间的块效应,非平坦块之间的块效应以及平坦块和非平坦块相邻处的块效应。保证在去除块效应的同时,尽量避免图像的纹理信息丢失而导致图像模糊。

文中只详细介绍了如何消除水平方向的块效应,对于垂直方向的块效应,可以依照相同的算法原理按对称方法来处理或直接将图像逆时针旋转 90 度,然后用相同的算法来处理。

1 图像块分类

由于人眼对非平坦区域中的块效应不如对平坦区域中的块效应敏感^[3],因此有必要将图像划分为非平坦区域和平坦区域后分别进行处理。文中将设计一个 8×8 的 DCT 域掩模,根据图像块在 DCT 域中的特性,将图像块划分为非平坦块和平坦块。

由于 DCT 域的能量具有方向性,即图像数据经 DCT 变换后,其不同区域的系数值代表着不同方向的频谱成分。例如,若某图像块经 DCT 变换后,其右上角区域的 DCT 系数都为零时,那么就表明该图像块中只包含了极少的水平方向的高频分量,块中的竖直纹理比较少,它水平方向看起来自然就非常的“平坦”^[4]。在处理水平方向的块效应时,主要应关注水平方向的高频部分,例如,若块边界处左右两边的图像块中水平方向的高频成分含量极少,则可以认为该水平方向块效应属于平坦块之间的块效应。基于这个观点,设计一个 DCT 系数掩模 K_H 如式(1)所示,来划分水平方向的非平坦块和平坦块:

$$K_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

一个 8×8 的图像块如果满足式(2),则表明该块

在水平方向的高频分量极少,那么就判断该块属于水平方向的平坦块,反之则属于水平方向的非平坦块:

$$C_{DCT}(i, j) \cdot K_H = 0 \quad (2)$$

其中, $C_{DCT}(i, j)$ 表示一个 8×8 的图像块的 DCT 变换矩阵, \cdot 表示矩阵点乘, 0 表示一个 8×8 的全零矩阵。按照这个方法将图像块划分为水平方向的非平坦块和平坦块之后,针对不同类型的块效应采取不同的处理方法。

2 去块效应算法

2.1 去除平坦块之间的块效应

首先介绍如何去除平坦块之间的块效应。假设图 1 左边的两个图像块 a, b 都是平坦块,那么将图像块 a 的右 4 列像素和图像块 b 的左 4 列像素组成一个新的图像块 c。a, b 之间的块效应则被包含在 c 之中:可以看到 c 块中央(即 a, b 块边界处)像素的亮度值有明显的跳变,这就是图像块 a, b 之间的块效应^[5]。可以用一个二维的阶梯函数来模拟 c 中的块效应,定义如式(3)所示:

$$\text{blk}(i, j) = \begin{cases} 1/2, & i = 1, \dots, 8; j = 1, \dots, 4 \\ -1/2, & i = 1, \dots, 8; j = 5, \dots, 8 \end{cases} \quad (3)$$

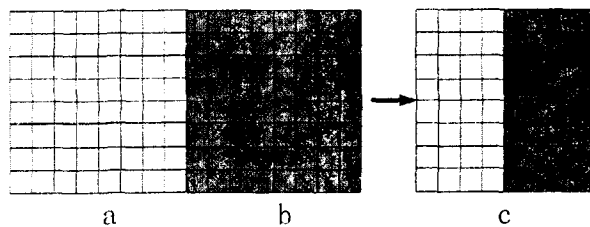


图 1 块效应示意图

然后对文献[6]中所提出的斜率均方差(MSDS)进行稍许改变,用其模拟 c 中的块效应强度: $\beta = \{ \sum_{i=1}^8 [c(i, 6) - 3 \times c(i, 5) + 3 \times c(i, 4) - c(i, 3)] / 2 \} / 8$,这主要是根据 c 块中央处像素的亮度平均差异来描述块效应强度, β 越大,块效应就越严重。因此, c 块中所存在的块效应就可表示为阶梯函数 $\beta \cdot \text{blk}(i, j)$ 。由于块效应主要是由阶梯函数引起的,因此只要用平滑函数来代替阶梯函数,让 c 块中央像素的亮度值跳变趋于缓和,就能够去除块效应。文献[2]中采用直线来充当平滑函数,但是因为不同图像块之间块效应强度不同,所以不应使用固定的平滑函数来代替阶梯函数。又因为人眼对平坦区域中的块效应最敏感,而且对平坦区域中的像素进行严重的平滑也不易造成图像模糊,因此去除平坦块之间块效应的平滑函数应该对图像块边界的像素进行高强度的平滑。通过试验,文中采用两个 logsig 函数作为平滑函数,如式

(4) 所示,平滑函数的形状可随着块效应程度自适应改变,如图2所示。

$$f(x) = \begin{cases} \left(\frac{-1/8}{1 + \exp(-2(x+25)/\beta_{\text{level}})} \right) + 1/8, & x < 0 \\ \left(\frac{-1/8}{1 + \exp(-2(x-25)/\beta_{\text{level}})} \right), & x > 0 \end{cases} \quad (4)$$

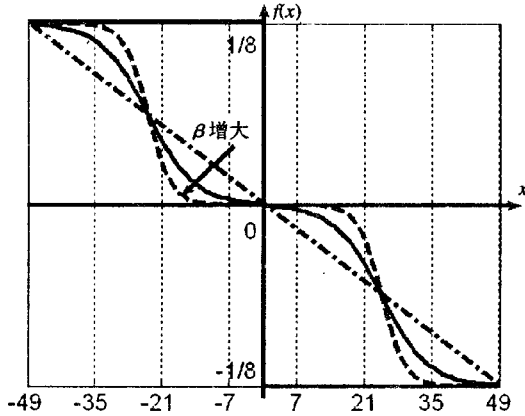


图2 去除平坦块之间块效应的自适应平滑函数 $f(x)$

其中, $\beta_{\text{level}} = 10 \times \left(1 - \frac{1}{1 + \exp(-(\beta + 30)/10)} \right) + 10$, 且与以下的 β_{level} 都是通过反复实验而得出, 用来保证平滑函数的形状(平滑强度)根据块效应强度 β 的大小在一定范围内变换。

如图2所示, 当 a, b 之间的块效应严重时, $|\beta|$ 越大, 平滑函数在原点处趋于水平, 将显著地平滑 c 块中央(即 a, b 块边界处)的像素, 而当块效应不明显时, $|\beta|$ 越小, 该平滑函数趋于直线, 对 c 块中央处的像素的平滑要相对轻微一些。将该平滑函数离散化并扩展到二维平面得到二维平滑函数(见式(5))。

接着, 在图像块 c 中, 用二维平滑函数代替二维阶梯函数, 如式(5)所示, 就得到了新的图像块, 从而有效地去除了图像块 c 中的水平方向的块效应。

2.2 去除平坦块与非平坦块之间的块效应

设图1中图像块 a 为平坦块, b 为非平坦块, 那么图像块 c 中则包含平坦块与非平坦块之间的块效应。然后用一个二维的阶梯函数来模拟图像块 c 中的块效应, 根据 c 块中央像素的亮度平均差异来描述块效应强度, 如上文所示。接着构造平滑函数来代替阶梯函数。为了有效地去除块效应, 并且保护图像细节, 应该对平坦块区域, 特别是平坦区域块边界处的像素进行

高强度的平滑, 而对非平坦块区域的像素进行轻微平滑, 并可用块效应强度 β 来自适应地调整平滑函数, 通过试验, 用式(6)确定该平滑函数, 如图3所示。

$$f(x) = \begin{cases} \left(\frac{-1/2}{1 + \exp(-2(x+25)/\beta_{\text{level1}})} \right) + 1/2 & x < 0 \\ \left(\frac{-1}{1 + \exp(-(x)/\beta_{\text{level2}})} \right) + 1/2 & x > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\beta_{\text{level1}} = 10 \times \left(1 - \frac{1}{1 + \exp(-(\beta + 30)/10)} \right) + 10$$

$$\beta_{\text{level2}} = 5 \times \left(\frac{1}{1 + \exp(-((10 * \beta) - 90)/10)} \right) + 10$$

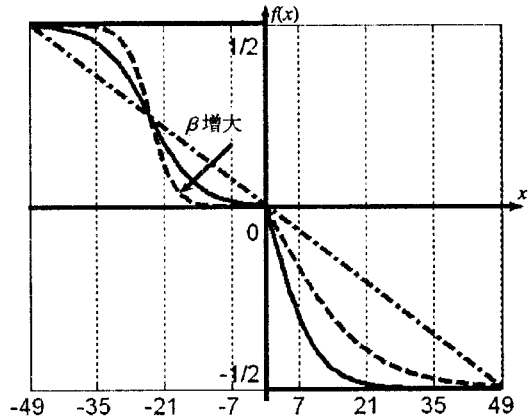


图3 去除平坦块与非平坦块之间块效应的自适应平滑函数 $f(x)$

接着, 将该平滑函数离散化并扩展到二维平面得到二维平滑函数, 然后在图像块 c 中, 用二维平滑函数代替二维阶梯函数, 如上文所示, 就可以有效地去除平坦块与非平坦块之间的块效应。同样, 当图像块 a 为非平坦块, 图像块 b 为平坦块时, 运用对称性的原理采取相似的处理即可以去除它们之间的块效应。

2.3 去除非平坦块之间的块效应

设图1中图像块 a, b 都为非平坦块, 那么图像块 c 中则包含非平坦块之间的块效应。由于非平坦块中每一行的纹理细节都不同, 造成每一行的块效应程度也不同, 因此不采用整块处理, 而是根据每一行的块效应程度进行逐行处理。用一个一维的阶梯函数 blk_hh 来模拟图像块 c 中每一行的块效应:

$$\text{blk_hh}(j) = \begin{cases} 1/2 & 1 \leq j \leq 4 \\ -1/2 & 5 \leq j \leq 8 \end{cases}$$

然后根据 c 块中每一行中央处像素的亮度差异来描述块效应强度: $\beta = [c(i, 6) - 3 \times c(i, 5) + 3 \times c(i, 4) - c(i, 3)]/2$ 。接着构造一维随块效应强度自适应

$$\text{de_blk}(i, j) = \begin{bmatrix} f(-49) & f(-35) & f(-21) & f(-7) & f(7) & f(21) & f(35) & f(49) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(-49) & f(-35) & f(-21) & f(-7) & f(7) & f(21) & f(35) & f(49) \end{bmatrix}_{8 \times 8}$$

$$c'(i, j) = c(i, j) + \beta \times [\text{de_blk}(i, j) - \text{blk}(i, j)] \quad (5)$$

调整的平滑函数来代替一维阶梯函数,以此来去除块效应。为避免造成图像的模糊,平滑函数应较陡,只对块边界处的像素进行轻微平滑,并且当 β 越小时,平滑函数越接近原来的阶梯函数。通过试验,用式(7)来确定该平滑函数,如图4所示。

$$f(x) = \left(\frac{-1}{1 + \exp(-(x)/\beta_{\text{level}})} \right) + 1/2, \beta_{\text{level}} = 5 \times \left(\frac{1}{1 + \exp(-((10 * \beta) - 50)/10)} \right) + 5 \quad (7)$$

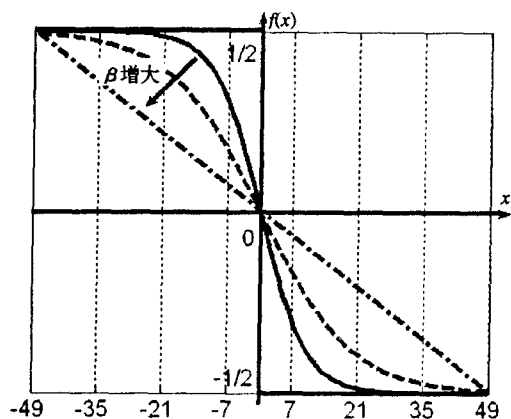


图4 去除非平坦块之间块效应的自适应平滑函数 $f(x)$

将该平滑函数离散化即构造出一维平滑函数:

$$\begin{aligned} \text{de_blk_hh}(i) &= [f(-49) f(-35) f(-21) f(-7) \\ &\quad f(7) f(21) f(35) f(49)] \\ c'(i, j) &= c(i, j) + \beta \times [\text{de_blk_hh}(j) - \text{blk_hh}(j)] \end{aligned} \quad (8)$$

对图像块 c 中的每一行用平滑函数代替阶梯函数,如式(8)所示,就可以有效地去除非平坦块之间的块效应。

3 实验结果

将该算法作用于一个 512×512 的 Lena 图像,其中块大小为 8×8 。在图像的客观评价标准方面,由于 PSNR 评价标准在评价图像的块效应去除方面效果不明显,因此,在文中,采用斜率均方差 MSDS 来作为评价去除块效应的评价标准,它较之 PSNR 更逼近块效应问题的本质。MSDS 是用图像子块水平边缘部分和垂直边缘部分像素值的均方差计算得到的^[6],用来描述块效应的强度,MSDS 值越小,块效应强度越不明显。测试结果如图5所示,其中 a 是具有块效应的图像, b 是经过我们的算法处理后的图像,可以看到经过处理后的图像中的块效应,特别是平坦区域中的块效应得到了有效的去除,主观图像效果得到了明显的改善。表1显示了将文中算法作用于不同的图像所得到的 MSDS 值,可以看到经过处理后的图像的 MSDS 值

得到了显著的降低。因此从主观视觉质量和客观视觉质量评价方面均可看出文中算法的有效性。

表1 块效应消除的 MSDS 值对比

实验图像	MSDS	
	退化图像	处理后的图像
Boat	30181	11171
Lena	22059	7313
Camerman	28242	9296



图5 实验测试结果

4 结束语

提出了一种有效的去块效应算法,以去除基于块的 DCT 变换后图像中所出现的块效应。对块效应进行分类处理,不同类的块效应采用不同的自适应平滑函数进行平滑,从而在不造成图像模糊的前提下有效地去除了块效应。文中的创新点在于:设计了一个 DCT 系数掩模来划分水平方向的平坦块和非平坦块;将块效应分类,采用不同的方法去除块效应;使用基于 logsig 函数的自适应平滑函数去替代阶梯函数,从而去除块效应。实验结果从主观和客观两方面表明文中提出的算法具有良好的效果。

参考文献:

- [1] Zeng B. Reduction of blocking effect in DCT-coded images using zero-masking techniques[J]. Signal Processing, 1999, 79(2):205-211.
- [2] Liu S, Bovik A C. Efficient DCT-domain blind measurement and reduction of blocking artifacts[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, 2002, 12(12):1139-1149.
- [3] 石敏,易清明,刘金梅. 基于人类视觉系统的 DCT 编码图像后处理算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(15): 63-65.
- [4] 黄祥林,沈兰荪. 基于 DCT 压缩域的纹理图像分类[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(2):216-221.
- [5] 余青山,苏宏业,董利达,等. 一种基于 DCT 域的自适应块效应消除算法[J]. 信息与控制, 2008, 37(4):202-209.
- [6] Minami S, Zakhor A. An optimization approach for removing blocking effects in transform coding[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1995, 5:74-82.