

基于块间预测的图象块效应消除*

赵晨光 陈武凡

(广州第一军医大学电子工程教研室, 广州 510515)

摘要 提出了一种消除变换编码后解码图象块效应的新方法。它利用邻近象素间存在的相关性,在块间线性预测的基础上定义出对图象相邻子块以及块内的平滑特性产生约束的平滑约束集。在解码端是一个往这些平滑约束集上连续投影的过程,最终得到一幅无论在视觉上还是从信噪比评价的角度来看均具良好效果的解码图象。

关键词 块效应 凸集投影 块间预测

0 引言

分块变换编码是进行图象压缩的最常用的算法,如静态图象压缩的 JPEG 标准算法。JPEG 算法的一个最大不足是在压缩比较高时,将会出现块伪影(或块效应,块噪声)。

目前有不少消除块效应的算法。文献[1]利用空间不变滤波器对解码以后的图象进行后处理;文献[2]、[3]利用空间可变滤波器对解码图进行滤波处理。Yang 等人基于凸集投影原理(POCS)把解码后的块图往一系列平滑约束集上做连续投影变换,最后得到的解码图能有效地消除块效应[4]。但由于这一算法没有考虑到图象的局部特征,解码图象会丢失一部分局部细节。Yang 在后来的工作中虽然考虑了这个问题^[5],但却大大地增加了算法的复杂性。

在本文中,我们假定一幅图象是一个平稳的随机场,那么在解码后的图象中邻近象素应满足某些平滑约束条件,否则就有理由认为这一区域存在着块效应(边缘除外)。我们以此为理论依据,在块间预测的基础上定义了一系列考虑到图象局部特征的平滑约束集,在解码过程中利用 POCS 原理实现解码图象的块效应消除。实验证明可以得到很好的结果。

1 凸集投影原理

给定 m 个凸闭集 $C_i, i = 1, 2, \dots, m$ 。设它们的交集为 $C = \bigcap_{i=1}^m C_i$, 并且 C 不空。定义 C_i 上的投

影 P_i 如下:

$$\| f - P_i f \| = \min_{g \in C_i} \| f - g \|^2$$

那么,对于任一元素 f_0 ,通过如下的迭代:

$$f_{k+1} = P_m P_{m-1} \dots P_1 f_k$$

最终将使 f_k 收敛到 C 中的某一固定点。

在解码端利用凸集投影原理进行图象的恢复需要两个条件:①把原始图象的每种先验知识都定义成凸闭集。②对于每一集合,定义从集合外一点往这一集合上投影的投影算子。关于凸集投影原理的更多的知识请参看文献[6]。

2 约束集及投影算子的定义

在解码端,我们期望解码以后得到原始图,但是在有失真压缩较高压缩比的情况下这是不可实现的。一个可行的方法是把原始图象具有的每一种特性都定义成集合,然后把解码图象往这些集合的交集上投影,使得投影结果(即解码图象)能够尽量地接近原始图象。

2.1 变换约束集

首先,利用下式表示编码和解码过程:

$$F' = QBF \tag{1}$$

$$f' = B'Q^{-1}F' \tag{2}$$

其中 f 是原始图, B 代表分块 DCT 变换, Q 代表量化器, F' 是编码端的输出和解码端的输入, Q^{-1} 是量化的逆过程, B' 代表分块 DCT 逆变换, f' 是解码端的输出。

* 本文研究受国家自然科学基金(No. 69872038)和广东省自然科学基金(No. 970336)资助

收稿日期:1998-11-25;收到修改稿日期:1999-04-05

记 $T = QB$, 则变换约束集是这样一集合:

$$C_T = \{f; Tf = F'\} \quad (3)$$

不难看出原始图象 f 和解码图象 f' 都属于这个集合。我们的算法处理结果也应该是这个集合中的一个元素。

可以把 C_T 写成另外一种形式:

$$C_T = \{f; F_{kii,j}^{\min} \leq (Bf)_{kii,j} \leq F_{kii,j}^{\max}\} \quad (4)$$

其中 k 代表进行分块 DCT 变换的第 k 个块, 而 $1 \leq i, j \leq 8$ 代表这个块中的第 i, j 单元。 $(Bf)_{kii,j}$ 表示 DCT 变换以后频域中第 k 个子块的 i, j 位置上的 DCT 系数。在量化表和 F' 已知的情况下, $F_{kii,j}^{\min}$ 和 $F_{kii,j}^{\max}$ 容易确定^[4]。 C_T 上的投影 P_T 定义为:

$$(Bf)_{kii,j} = \begin{cases} F_{kii,j}^{\min} & \text{if } (Bf)_{kii,j} < F_{kii,j}^{\min} \\ F_{kii,j}^{\max} & \text{if } (Bf)_{kii,j} > F_{kii,j}^{\max} \\ (Bf)_{kii,j} & \text{if } F_{kii,j}^{\min} \leq (Bf)_{kii,j} \leq F_{kii,j}^{\max} \end{cases} \quad (5)$$

$1 \leq k \leq N^2/8; 1 \leq i, j \leq 8$

2.2 基于块间预测的平滑约束集

我们定义的平滑约束集是基于这样一个假设: 图象数据是一个平稳的随机场。对某一块间隙两边如图 1(a) 分布的 8 个象素, 设左边的 4 个象素分别为 x_1, x_2, x_3, x_4 ; 右边的 4 个分别为 x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 ; 对于上述 8 个象素, 首先求出它们的灰度平均值, 然后以这个平均值作为一个标定点, 如果间隙两边的灰度级和这一标定点相比过高或过低, 我们就认为这是一个具有块效应的间隙; 反之这一间隙属于某个平滑集。下面给出平滑集的具体定义, 令:

$$x = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^4 (x_i + x'_i) \quad (6)$$

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T \quad (7)$$

$$x' = (x'_1, x'_2, x'_3, x'_4)^T \quad (8)$$

$$e = \frac{|x_2 - x_1| + |x_3 - x_1| + |x_4 - x_1|}{3} \quad (9)$$

$$e' = \frac{|x'_2 - x'_1| + |x'_3 - x'_1| + |x'_4 - x'_1|}{3} \quad (10)$$

e 和 e' 是向量 x 和 x' 的各个分量的灰度值变化的剧烈程度的量度, 从一定程度上它代表了图象的局部特征: 如果 e 和 e' 较大, 那么允许 x 和 x' 的差别较大, 也就是说即使 x 和 x' 的差别较大, 我们还是有理理由认为它们之间是平滑的; 如果 e 和 e' 较小, 那么 x 和 x' 的差别就不应该太大, 否则就说明它们之间存在着块效应。

另外, 设:

$$a = (a_1, a_2, a_3, a_4), \text{ 且 } \sum_{i=1}^4 a_i = 1 \quad (11)$$

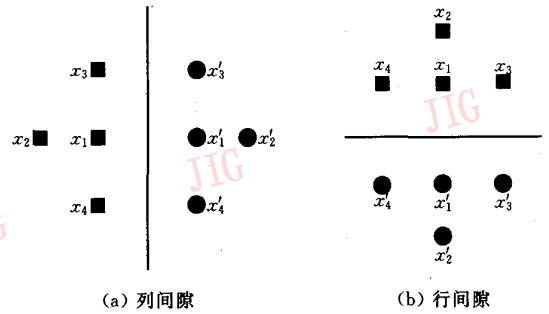


图 1 两种空间邻近象素的位置分布

假设 $ax \geq x, ax' \leq x$, 定义如下的集合:

$$S = \{x, x' | ax - x \leq e, \text{ 且 } x - ax' \leq e'\} \quad (12)$$

其中的 ax 和 ax' 代表了加权平均灰度。对于 $\forall (x, x') \in S$, 表示从 x 到 x' 之间是平滑过渡的, 也就是说它们之间不存在块效应。

对于 $\forall (x, x') \in S$, 我们认为在 x 和 x' 之间存在块效应, 设它往集合 S 上的投影为 (y, y') , 于是有下式:

$$\begin{aligned} \Psi_{x,x'}(y, y') &= \|x - y\|^2 + \|x' - y'\|^2 \\ &= \min_{(z,z') \in S} \Psi_{x,x'}(z, z') \end{aligned} \quad (13)$$

下面利用拉格朗日求条件极值的方法来求解集合 S 上的投影。

对于 $\forall (x, x') \in S$, 设它往集合 S 上的投影为 (y, y') 。假设 $ay \geq y, ay' \leq y'$, 其中 a 的定义如前面式 (11) 所示, y 的定义和前面 (6) 式中的 x 的定义相同。令:

$$\begin{aligned} J_\lambda(y, y') &= \|x - y\|^2 + \|x' - y'\|^2 + \\ &\quad \lambda_1(ay - y - e) + \\ &\quad \lambda_2(y - ay' - e') \end{aligned} \quad (14)$$

于是有:

$$\frac{\partial J}{\partial y} = 2(y - x) + \lambda_1 a^T \quad (15)$$

$$\frac{\partial J}{\partial y'} = 2(y' - x') + \lambda_2 a^T \quad (16)$$

另外:

$$ay - y - e = 0 \quad (17)$$

$$y - ay' - e' = 0 \quad (18)$$

利用上述的 (15)、(16)、(17)、(18) 4 式可以解得

$$y = -\frac{\lambda_1 a^T}{2} + x, \quad y' = -\frac{\lambda_2 a^T}{2} + x' \quad (19)$$

其中

$$\lambda_1 = \frac{2(ax - x - e)}{aa^T}, \quad \lambda_2 = \frac{2(x - ax' - e')}{aa^T} \quad (20)$$

同样还可以定义行间隙上的平滑约束集 S' 及其上的投影,这时象素间的位置关系如图 1(b)所示。

我们的平滑过程是对一幅图象中所有满足图 1(a)的位置关系的 8 个象素组合,使其往平滑集 S 上投影(我们假定对整个图象进行如此操作的投影算子为 P_S);然后对所有满足图 1(b)位置关系的 8 象素组合,使其往平滑集 S' 上投影(我们假定对图象进行如此操作的投影算子为 P'_S)。通过如下的迭代过程:

$$f_{k+1} = P_S P'_S P_T f_k$$

(其中 P_T 为集合 C_T 上的投影)最终将使 f_k 收敛到某一固定图象,这幅图象不具有块效应并且它是集合 C_T 中的元素(也就是它的 DCT 变换和原始图象的 DCT 变换是一致的)。利用这样的一幅图象来代替具有块效应的解码图象,显然将会得到良好的效果。

3 实 验

为了验证算法的可行性,我们采用了 3 种量化表(见图 2),针对每一种量化表,分别利用 Yang 的算法、本文提出的新算法对多组进行过 JPEG 压缩的图象进行解码。图 3 是采用量化表 1 对 Lena 图象(512×512)操作的结果, JPEG 算法所得到的比特率为 0.24bpp。图 3(c)和图 3(d)是经过 4 次迭代的结果。和 Yang 的算法相比,我们的算法使信噪比有所提高(见表 1),同时在对图象局部特征的保存方面显得要好一些(尤其是在量化表中的数值适中,量化失真不是很明显时);这一点从前面的分析来看也是显然的,因为新算法是基于图象局部特征的,它可以有效地保存图象的细节。

50	60	70	70	90	120	255	255
60	60	70	96	130	255	255	255
70	70	80	120	200	255	255	255
70	96	120	145	255	255	255	255
90	130	200	255	255	255	255	255
120	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255

量化表 1

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

量化表 2

30	40	50	60	70	90	110	150
40	40	50	60	70	100	130	150
50	50	60	70	77	120	150	150
60	60	70	70	77	150	150	150
70	70	77	77	80	150	150	150
90	100	120	150	150	150	150	150
110	130	150	150	150	150	150	150
150	150	150	150	150	150	150	150

量化表 3

图 2 本算法中采用的三个量化表



(a) 原 图



(b) JPEG 解码结果,比特率是 0.24bpp



(c) Yang 去块伪影算法的解码结果



(d) 本文算法的解码结果

图 3

4 算法复杂性分析

对于一幅 $M \times N$ 的图象, 总共有 $M(N-1) + (M-1)N \approx 2MN$ 个行间隙和列间隙。依公式(6)~(10), 每个间隙位置需要进行 17 次加法和 3 次乘法运算。如果一个间隙分布不属于平滑集, 那么依公式(19)、(20), 在向平滑集投影时这个间隙上要进行 22 次乘法和 18 次加法。因此一个间隙位置上最多进行 25 次乘法和 35 次加法。一次迭代所用的运算量最多为 $50MN$ 次乘法和 $70MN$ 次加法, 运算负荷比较小, 便于实时处理。

表 1 二种解码算法的信噪比比较

	峰值信噪比 (PSNR)	
	Yang	本文算法
量化表 1	26.48	26.98
量化表 2	30.29	31.11
量化表 3	27.60	28.18

5 结论

本文利用原始图象数据是一平稳随机场这一先



赵晨光 1996年毕业于广州第一军医大学生物医学工程系, 获学士学位。现为本系研究生。主要研究方向为图象处理, 序列图象压缩, 图象通讯和远程医疗。



陈武凡 广州第一军医大学生物医学工程系教授、博士生导师。主要研究方向为图象的特征提取, 识别, 恢复, 重建, 压缩编码与信息融合等研究工作。

验知识, 定义了平滑约束集。在解码端通过把解码图象往平滑约束集上投影实现了块效应的消除, 同时还提高了信噪比。实验证明: 本文提出的平滑算法在一定程度上优于前人的结果。

参考文献

- 1 Reeve H C, Lim J S. Reduction of blocking effects in image coding. *Opt Eng*, 1984, 23(1): 34~37.
- 2 Ramamurthi B, Gersho A. Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1986, 34(5): 1258~1267.
- 3 Sauer K. Enhancement of low bit-rate coded images using edge detection and estimation. *Computer Vision Graphics Image Processing: Graphical Models Image Processing*, 1991, 53(1): 52~62.
- 4 Yang Y, Galatsanos N P, Katsaggelos A K. Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1993, 3(6): 421~432.
- 5 Yang Y, Galatsanos N P, Katsaggelos A K. Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 4(7): 896~908.
- 6 Combettes P L. The foundations of set theoretic estimation. In: *Proc IEEE*, 1993, 81(2): 182~208.

Between-Block Prediction Based Algorithm for Block Effect Removal

Zhao Chengguang, Chen Wufan

(Biomedical Engineering Department, the First Military Medical University, Guangzhou 510515)

Abstract In this paper, a new image decoding algorithm to remove the "blocking artifact" appearing with block-transform coding is proposed. In the algorithm, the correlation between adjacent pixels is used to define smooth constraint convex sets. At the decoder, the blocky image is projected onto these convex sets by using the theory of project onto convex sets, and the ultimate result is a smooth image without block artifact. Experiments demonstrate that this new algorithm can not only make the decoded image more smoother but also maintain the details of the image.

Keywords Blocking artifact, Project onto convex set, Between-block prediction