

一种保护图象轮廓细节的自适应 亚抽样和插值方法

王业奎

(中国科学技术大学研究生院电子学部, 北京 100039)

摘要 为在图象编码时减少原始图象数据, 以提高压缩比和编码速度, 提出了一种新的自适应亚抽样与插值的方法及可应用于多类分块图象编码的算法. 该方法首先将图象划分成互不重叠的块, 然后计算每个块的水平梯度与垂直梯度, 再根据图象块的两个方向梯度值, 将图象块分为平滑块、水平轮廓块、垂直轮廓块和高细节块等4类, 同时对每类图象块采用不同的亚抽样与插值方法以减少原始图象数据. 模拟结果表明: 相对于其它的亚抽样与插值方法, 该算法能够很好地保护图象中的轮廓及细节信息, 从而极大地提高了重建图象的质量, 尤其是图象的主观质量. 另外, 对于细节较多的图象, 该算法在保持相当压缩比的同时, $PSNR$ 也提高了 3.9dB; 而对于细节较少的图象, 压缩比与 $PSNR$ 都略有提高.

关键词 图象编码 亚抽样 插值 块梯度

中图法分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)12-1002-04

A Novel Adaptive Decimation/ Interpolation Method with Contour Preserving Property

WANG Ye-kui

(Dept. of Electronic Engineering, the Graduate school of Uni. of Sci. & Tech. of China, Beijing 100039)

Abstract A novel adaptive decimation/ interpolation algorithm, which can be applied in all kinds of blocking image coding algorithm, is proposed. The image is first divided into non-overlapping blocks. Then the horizontal and the vertical gradients of each block are calculated. According to the two gradient values, the image blocks are classified into four groups, namely smooth block, horizontal-contour block, vertical-contour block and high-detail block. Then different decimation methods are applied to different class of blocks to reduce the original data quantity. Experimental results show, compared to other decimation/ interpolation algorithms, the proposed algorithm can well preserve the contour and other detail information, thus substantially improve the quality of the reconstructed images, especially the subjective quality. The proposed method increases the $PSNR$ by 3.9 dB while keeping comparable compression ratio for high-detailed images. For low-detailed images, compression ratio and $PSNR$ are all slightly improved.

Keywords Image coding, Decimation, Interpolation, Block gradients

0 引言

在图象编码中, 有时会采用一些亚抽样^[1-5]的方法, 例如隔行抽样、隔列抽样、梅花形抽样以及隔行隔列的 1/4 抽样等, 来减少原始图象的数据, 以提

高压缩比与编码速度. 针对每种亚抽样方法, 在解码时需采用相应的插值方法. 但由于这些抽取方法对图象的所有部分都采用相同的处理, 因此使得恢复图象的轮廓与细节产生了很大的偏移或锯齿形失真, 而且由于人眼对图象的轮廓与细节更加敏感^[6], 因而这种失真对恢复图象主观质量的影响特别大.

针对上述问题, 本文提出了一种基于图象块梯度的自适应亚抽样与插值方法, 这种方法首先根据图象块的水平平均梯度与垂直平均梯度值, 将图象块分为平滑块(S-Block)、水平轮廓块(H-Block)、垂直轮廓块(V-Block)和高细节块(D-Block)4类, 并对于不同类型的图象块, 采用了不同的亚抽样处理与插值方法, 以保护不同类型的图象轮廓与细节; 然后在一种叫做“多值量化的亚抽样块截断编码(MQBTC)”^[3]的块截断编码(Block Truncation Coding, 简称BTC)^[7-11]算法中, 实现了该亚抽样与插值方法, 进而与其它亚抽样与插值方法进行了比较. 结果证明, 该算法在压缩比与计算复杂度相当的情况下可以明显改善图象质量, 尤其是图象的主观质量, 因而具有更好的性能.

1 算法描述

1.1 MQBTC 简介

本文的自适应亚抽样与插值算法是以MQBTC为实验平台的. 为便于理解全文, 这里先简单介绍一下MQBTC. 在MQBTC中, 首先将图象划分成若干 16×16 象素的互不重叠的块. 对于每一 16×16 象素的块, 如果灰度层次足够低, 则只传送块的均值(称为单值量化); 否则, 将之再划分成4个 8×8 象素的块, 而对于每一个 8×8 象素的块有低细节的单值量化中细节的二值量化, 高细节的四值量化(参见文献[3])等3种处理方法, 其中对于 8×8 象素的二值量化块, 编码前还进行了1:2的梅花形亚抽样. 而且MQBTC的宗旨就是给细节较少的简单块分配较少的比特, 而给细节较多的复杂块分配较多的比特. 因而图象细节越少, 压缩比越高.

1.2 自适应亚抽样与插值算法

在一个 $M \times N$ 大小的图象块 X (象素数组为 $x(0,0) \sim x(M-1, N-1)$)中, 定义其水平平均梯度 \mathcal{G}_H 为所有奇数列减去偶数列之差的平均绝对值; 垂直平均梯度 \mathcal{G}_V 为所有奇数行减去偶数行之差的平均绝对值, 即

$$\mathcal{G}_H = \frac{2}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N/2-1} |x(i, 2j+1) - x(i, 2j)| \quad (1)$$

$$\mathcal{G}_V = \frac{2}{MN} \sum_{i=0}^{M/2-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x(2i+1, j) - x(2i, j)| \quad (2)$$

根据上面的公式可见: (1) 当图象块中有垂直轮廓或条纹时, 则 \mathcal{G}_H 值较大; (2) 当有水平轮廓或条

纹时, 则 \mathcal{G}_V 值较大; (3) 当同时有垂直与水平轮廓或条纹, 或有斜的轮廓或条纹时, 则二值都较大.

通过研究各种亚抽样方法对图象细节的影响发现: 对于垂直轮廓或条纹, 隔列抽样会产生偏移失真, 而隔行抽样不会; 对于水平轮廓或条纹则相反, 即隔行抽样会产生偏移失真, 而隔列抽样不会; 对于斜轮廓或条纹, 则隔行或隔列抽样都会产生锯齿形失真.

基于上面的分析, 本文根据 \mathcal{G}_H 与 \mathcal{G}_V , 将图象块分为平滑块(S-Block, 块中没有轮廓或条纹)、水平轮廓块(H-Block, 块中只有水平轮廓或条纹)、垂直轮廓块(V-Block, 块中只有垂直轮廓或条纹)和高细节块(D-Block, 块中有斜的轮廓或条纹, 或者同时有垂直与水平的轮廓或条纹)等4类. 其中, 对于S-Block, 由于其中没有轮廓细节, 故采用隔行隔列的1/4亚抽样; 对于H-block, 则采用1/2隔列亚抽样, 以保护水平轮廓; 对于V-Block, 则采用1/2隔行亚抽样, 以保护垂直轮廓; 对于D-Block, 则保留全部数据, 以保护图象块中的所有轮廓信息. 具体方法如下:

(1) 若 $\mathcal{G}_H < T$, 且 $\mathcal{G}_V < T$ (T 为判决阈值), 则该图象块为S-Block, 采用隔行隔列的1/4亚抽样, 其抽样矩阵 S_Q 为

$$S_Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, 1表示取该值, 0表示不取该值. 其抽样函数为

$$SX_Q(m, n) = X(2m, 2n) \quad (4)$$

而解码时的插值函数为

$$\hat{X}_Q(m, n) = S\hat{X}_Q \left\lfloor \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor \right\rfloor \quad (5)$$

其中, $\lfloor r \rfloor$ 为返回小于等于 r 的最大整数.

(2) 若 $\mathcal{G}_H < T$, 且 $\mathcal{G}_V \geq T$, 则该图象块为H-Block, 采用1/2隔列亚抽样, 抽样矩阵 S_L 为

$$S_L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其抽样函数为

$$SX_L(m, n) = X(m, 2n) \tag{7}$$

而解码时的插值函数为

$$\hat{X}_L(m, n) = S\hat{X}_L\left[m, \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor\right] \tag{8}$$

(3) 若 $\mathcal{C}_H \geq T$ 且 $\mathcal{C}_V < T$, 则该图象块为 V-Block, 采用 1/2 隔行亚抽样, 抽样矩阵 S_R 为

$$S_R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{9}$$

其抽样函数为

$$SX_R(m, n) = X(2m, n) \tag{10}$$

而解码时的插值函数为

$$\hat{X}_R(m, n) = S\hat{X}_R\left[\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, n\right] \tag{11}$$

(4) 若 $\mathcal{C}_H \geq T, \mathcal{C}_V \geq T$, 则该图象块为 D-Block, 采用 1: 1 全抽取, 即不进行亚抽样.

2 实验结果

实验的输入图象是国际标准测试图象 Lena

(256× 256 像素, 8bit/pixel) 和 Miss(176× 144 像素, 8bit/pixel), 而阈值 T 可在 6~ 15 之间取值, 且取值越小, 可检测出的边缘的条件越宽, 从而保护图象轮廓细节的能力越强, 但压缩比也越低. 本文实验中的 T 取为 10. 另外, 本文算法由于在实验中实际上只对 MQBTC 中的二值与四值量化块的 8× 8 像素块进行亚抽样(单值量化块无需进行亚抽样), 因而公式(1)和(2)中 M 和 N 的值都是 8.

由于隔行、隔列、梅花、及 1/4 隔行隔列 4 种亚抽样方法中, 梅花形亚抽样方法的效果最好, 因此这里只给出自适应亚抽样与梅花形亚抽样方法进行比较的结果(梅花形亚抽样与插值方法请参见文献[3]~ [5]). 表 1 给出了在 MQBTC 中应用梅花形亚抽样方法(Quincunx Decimation, 简称 QD)与本文提出的自适应亚抽样方法(AD)的对比结果. 图 1~ 6 显示了 Lena 和 Miss 的原始图象与用 QD、AD 算法重建后的图象, 以便于进行主观质量的评价. 其中图 1 与图 4 为原始图象, 图 2 与图 5 为采用 QD 算法重建的图象, 图 3 与图 6 为采用 AD 算法重建的图象.

表 1 QD 与 AD 的实验结果

图象算法	Lena		Miss	
	压缩比	PSNR(dB)	压缩比	PSNR(dB)
QD	6.49	30.77	13.01	38.44
AD	6.13	34.68	15.63	38.52



图 1 Lena 的原始图象



图 2 QD 算法重建 Lena 图象



图 3 AD 算法重建 Lena 图象



图 4 Miss 的原始图象



图 5 QD 算法重建 Miss 图象



图 6 AD 算法重建 Miss 图象

通过表 1 及图 1~ 图 3 的结果分析可知, 对于轮廓细节比较多的 Lena 图象, 本文提出的自适应亚抽样算法, 在压缩比稍有下降的情况下, 可大幅度提高图象的峰值信噪比, 提高幅度最大可达 3.9dB, 且主观质量明显改善, 轮廓及细节由模糊变得非常清晰. 通过表 1 及图 4~ 图 6 的结果分析可知, 对于细节比较少的 Miss 图象, 本文提出的自适应亚抽样方法可同时使压缩比与峰值信噪比都略有提高, 且主观质量明显改善, 如图 6 中的面部轮廓及表情明显比图 5 中更加清晰. 另外, 从表 1 中可以看出, 重建的 Lena 图象的压缩比要比 Miss 的低很多. 这一方面是由于 MQBTC 对不同图象的压缩比不同, 另一方面是由于本文算法具有保护图象轮廓细节的特性. 由于对于细节较多的 Lena 图象, 判别为平滑块的图象块较少, 判别为高细节块的块较多, 从而对原始图象数据的减少量也比较小, 虽然压缩比相对较小, 但保证了图象质量.

3 结 论

本文算法适用于所有的分块图象编码. 模拟结果表明, 与其它亚抽样方法相比, 这种方法可以在保持压缩比基本不变的情况下明显改善图象质量, 尤其是图象的主观质量.

参 考 文 献

- 1 Tekalp A M. Digital video processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- 2 Huang H C, Wu J L. Real-time software based moving picture coding system. Signal Processing: Image Comm., 1994, 6: 173~ 187.

- 3 涂国防, 王业奎. 自适应多值量化的亚抽样块截断编码. 电子科学学报, 1999, 21(4): 506~ 510.
- 4 Zeng B, Neuvo B, Venetsanopoulos N. Interpolative BTC image coding. In: Proc. of ICASSP'92, San Francisco CN, 1992, 3: 493~ 496.
- 5 Zeng B, Neuvo Y. Interpolative BTC image coding with vector quantization. IEEE Trans. on Comm., 1993, 41(10): 1436~ 1438.
- 6 Kunt M, Ikonomopoulos A, Kocher M. Second-generation image coding techniques. Proc. of IEEE. 1983, 73(4): 549~ 574.
- 7 Delp J E, Mitchell R O. Image compression using block truncation coding. IEEE Trans. On Comm., 1979, 27(4): 1335~ 1342.
- 8 Lema M D, Michell O R. Absolute moment block truncation coding and its application to color images. IEEE Trans. on Comm., 1984, 32(10): 1148~ 1157.
- 9 Franti P, Nevalainen O, Kaukoranta T. Compression of digital images by block truncation coding——a survey. The Computer Journal, 1994, 37(4): 308~ 332.
- 10 Dasarathy B V. Image data compression: Block truncation coding. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA., 1995.
- 11 Chao C W, Hsieh C H, Lu P C. Image compression using modified block truncation coding algorithm. Signal Processing: Image Comm., 1998, 12: 1~ 11.



王业奎 1973 年生, 1995 年毕业于北京理工大学自动控制系, 1998 年获中国科学技术大学研究生院(北京)通信与电子系统专业硕士学位, 现为中国科学技术大学研究生院(北京)信息与信号处理专业博士生. 主要研究兴趣为数字图象与视频压缩及传输等.

《计算机学报》

月刊, 大 16 开, 112 页

- 中国计算机学会主办的学术性刊物
- 代表着计算机领域各个研究阶段的学术水平
- 著名科学家联袂编辑
(包括两院院士 12 名, IEEE fellow 3 名)
- EI, SA, MA 等著名国际检索收录期刊

联 系: 100080, 北京 2704 信箱《计算机学报》编辑部
电 话: 62620695, E-mail: cjc@ict.ac.cn
邮发代号: 2-833, 2001 年定价: 21.00 元/册