

图象块编码—分类的方法

黄继武 戴汝为

(汕头大学电子工程系 AI&PR 研究所, 广东 515063)

摘要 提出了一个基于 DCT 和二维多项式近似的块分类编码算法。在该算法中,原始图象被分割成互不覆盖的 8×8 子块。通过依次地利用灰度局部方差、二维多项式近似误差和图象信号的空间频率分布,把图象块分为均匀、平滑、粗糙和细节 4 类。均匀块和平滑块分别采用零阶和一阶多项式近似。粗糙和细节块先进行 DCT 变换,然后对其 DCT 系数量化后采用改进的游程编码表示。实验结果表明该算法具有良好的性能。在未采用熵编码为编码码流作后处理的情况下,性能仍优于 JPEG 标准。

关键词 块分类编码, DCT, 多项式近似, 局部方差

1 引言

图象压缩编码是图象处理和多媒体技术中的一个研究热点。编码的最终目标是在确保失真足够小的条件下用尽可能少的数据来表示原图象。经典的编码方法,如熵编码 (Entropy Coding)、预测编码 (Predictive Coding)、变换编码 (Transform Coding),其压缩比均较低。80 年代以来,大量的图象压缩编码算法被提出,呈现了“百花齐放”的局面。近年来,针对静止图象的压缩,国际上推出的 JPEG 标准,以信息论为基础,是经典波形编码方法的综合。随着对图象压缩编码的进一步研究,新的编码方法和新一代的压缩标准将不断被提出。

块分类编码 (Classified Block Coding) 由于具有较好的性能和易于实现的优点而被广泛采用^[1-5]。其基本思路是把原始图象分割成尺寸较小的子块,以保存主要的图象结构特征。根据其不同的局部性质采用不同的方法编码,在保证一定的重建图象质量下达到较好的压缩比。块分类和块编码是块分类编码中的两个重要问题。在块分类图象压缩编码中一是从原始图象中抽取组成图象的层次性信息,寻找编码的对象。二是从信息论的角度,寻找对编码对象有效地进行压缩的方法。过去的块分类编

码存在二个问题:采用单参数的分类器性能有限;为保证较好的重建图象质量,压缩比受到较大的限制。经典的波形编码方法,其压缩比较低,但重建图象质量较好。一些新的方法(如基于区域的编码方法)则主要寻求如何利用人眼视觉特点来有效地组织构成图象的结构层次性信息,其压缩比较高,但对保护图象的局部特征不太理想。寻求这两类方法的结合与互补,是图象压缩编码的一个重要研究方向。

本文提出了一种基于 DCT 和多项式近似的块分类算法,试图把多项式近似和经典的 DCT 量化编码结合起来。通过分类,针对图象不同区域的局部特征,采取有效的编码方法,以提高整体的编码性能。

2 算法描述

在块分类编码中,需要解决好两个问题:图象块的分类;对分类后的图象块有效地进行编码。在本文所提出来的算法中,采用由几种单元分类器构成的综合分类器以改善单参数分类器的性能;用零阶、一阶多项式和 DCT 编码来编码各类图象块。DCT 系数采用 JPEG 的量化方法量化后,用改进的游程编码进行压缩。其步骤如下:

(1) 把图象分割为互不覆盖的 8×8 子块;

* 本研究是在国家攀登计划“认知科学中若干重大前沿问题的研究”课题(c)支持下进行。

收稿日期:1996-10-20;收到修改稿日期:1997-08-28

(2) 以灰度局部差分为参数把图象块分类为均匀块和非均匀块;

(3) 对各非均匀块采用二维一阶多项式近似, 计算其近似误差。以误差为参数把非均匀块分为平滑块和非平滑块;

(4) 非平滑块进行 DCT 变换, 以空间频率分布状况把非平滑块分为粗糙块和细节块;

(5) 对依次分离出来的均匀块、平滑块、粗糙块和细节块分别采用零阶多项式、一阶多项式和长度不同的游程编码来表示。

3 块分类方法

3.1 常用的块分类器

设原始图象为 $f(x, y)$, $0 \leq x \leq M-1$, $0 \leq y \leq N-1$, 图象块大小为 $n \times n$ 。常用的块分类器参数有局部方差、能量、分数维、边缘点密度等。

3.1.1 局部方差

灰度局部方差^[6]在一定程度上可以反映出灰度的局部变化情况。块 B_k 的局部方差定义为 $V_k = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in B_k} [f_k(x,y) - m_k]^2$, 其中 m_k 为图象块灰度均值, $m_k = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in B_k} f_k(x,y)$ 。局部方差也可以视为用零阶多项式来近似块内各象素而引起的误差。如果图象块的局部方差较小, 意味着我们把该块用常数灰度来近似将不会引起太大的误差。然而, 局部方差并不考虑块内象素灰度值的分布, 对于图象块而言, 依然是全局统计量。当局部方差较大时, 难以准确地描述图象块灰度的变化状况。

3.1.2 能量

能量定义为 $A_F = \frac{1}{n^2(n^2-1)} \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} C^2(u,v)$, 其中 $C(u,v)$ 为 $f(x,y)$ 中块 B_k 的 DCT 变换系数^[6]。DCT 系数反映出图象信号的空间频率 (spatial-frequency) 分布和灰度的变化状况。灰度变化比较平缓的图象块, 其信号低频成分较丰富, 高频成分较弱。图象块 DCT 系数的非零值集中在左上角。灰度变化比较激烈的子块, 其信号含有较丰富的高频分量, DCT 系数的非零值分布较为均匀。

3.1.3 多项式近似

多项式近似是所谓第二代编码 (Second-Generation Coding) 的代表性技术。它对于象素灰度高度相关的区域的描述十分有效。用二维多项式来近似

表示图象是由 M. Kunt 等在第二代编码中^[7~9]采用。F. G. B De Natale 等将其与 VQ (Vector Quantization) 结合, 提出了一种混合编码算法^[10]。当多项式阶数足够高时, 可以很好地逼近原图象。随着阶数的提高, 计算复杂性增加、压缩比性能下降。在实际应用中, 多项式阶数一般选择不超过 2。设多项式为 $g_k(x,y)$, 则用 $g_k(x,y)$ 来近似图象块所引起的误差。 $MSE = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in B_k} [f_k(x,y) - g_k(x,y)]^2$ 。

多项式近似误差给出了多项式表示与原图象块的灰度差异, 可以用来为图象块分类。当阶数为 0 阶时, 演化成局部方差。

3.1.4 JND

物体和背景要有一定的对比度才能为人眼所辨别。根据 Weber 定律, 在不同的灰度背景下, 人眼有不同的对比度辨别门限。用 JND 来表示, 其正比于背景灰度 I ^[11,12]; $JND/I \approx 0.02$ 。Weber 定律表明, 只要在一个块内的象素灰度差足够小, 人眼就无法区分而可作为均匀块处理。采用 JND 作为块分类器的参数^[13], 具有计算简单的优点。其分类性能与局部方差相近。

3.1.5 分数维 F_d

把图象函数视为二维曲面, 分数维可以用来描述图象表面的粗糙程度。通常描述图象表面的分数维满足 $2.0 < F_d < 3.0$ 。 F_d 越大, 图象表面越粗糙, 灰度变化越激烈。J. Jong 等用分数维作为块分类器, 取得了不错的效果^[14,15]。但分数维计算比较复杂。此外, 近似计算分数维的各种方法, 计算结果差异较大。分数维的数值相对大小可衡量图象灰度的变化, 但分数维的绝对值不一定能完全说明问题^[16], 门限值不容易确定。

3.1.6 边缘点密度

边缘体现出图象象素灰度的突跳。如果在一个图象块内, 边缘点较多, 说明该块内灰度变化比较激烈。因而可以利用边缘点来分离出细节块。采用边缘点密度来描述灰度的变化情况, 边缘图需要二值化。但二值化丢失的信息太多。

3.2 块分类算法

块分类编码中, 块的大小既可固定也可变化。可变块大小有利于提高块编码压缩效率, 但增加了层次分割信息的表示。在本文所提出的编码算法中, 原始图象被分割为固定大小、互不覆盖的 8×8 图象块。这些块将被分为 4 类。

3.2.1 均匀块

第一级分类器把所有图象块分为均匀块和非均匀块。由于局部方差对于均匀块的分离具有最小均方误差的意义,所以具有较好的性能,我们以局部方差作为第一级分类器参数。设定一门限,对图象块 B_k , 如 $V_k \leq \text{THRESHOLD-VARIANCE}$, 我们把 B_k 分为均匀块(用 B_k^u 表示), 否则为非均匀块。门限可以通过实验选定, 也可用信噪比来计算。在文献[12]中, 我们曾提出过用 JND 作为分类参数, 其优点是计算简单, 但与局部方差相比, 分类性能略低。

3.2.2 平滑块

第二级分类器采用多项式近似误差把非均匀块分为平滑和非平滑块。对于平滑块, 一阶多项式具有较小的计算量和足够高的压缩比, 是一种有效的表示方法。设多项式为 $g_k(x, y) = a_kx + b_ky + c_k$, 其中 a_k, b_k, c_k 为待定系数。根据最小均方误差准则 MMSE (Minimum Mean Square Error) 求解。多项式近似误差可求得为:

$$MSE(B_k) = \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} [f_k^2(x_k + i, y_k + j) + a_k^2(i - x_0) + b_k^2(i - y_0)^2 + c_k^2 - c_k f(x_k + i, y_k + j)] \right)^{\frac{1}{2}}$$

如果 $MSE(B_k) \leq \text{THRESHOLD-ERROR}$, 则 B_k 为平滑块, 否则为非平滑块。THRESHOLD-ERROR 为预先设定的门限。

3.2.3 粗糙块与细节块

分离出均匀块和平滑块后, 第三级分类器将非平滑块分为粗糙块和细节块。分类参数为 DCT 系数分布。非平滑块先进行 DCT 变换并量化。量化器采用 JPEG 算法推荐的量化表。经量化后不为零的 DCT 系数反映了该块图象信号的空间频率成分。设块 B_k 经 DCT 变换、量化后 DCT 系数中不为零的个数为 DCT-NONZERO, 若 $\text{DCT-NONZERO} \leq \text{THRESHOLD-DCT}$, 则块 B_k^u 被分类为粗糙块 B_k^r , 否则为细节块 B_k^d 。

图 1 为所提出的二叉树分类器应用的例子。(a)、(c)为原始图象;(b)、(d)为对 8×8 图象块分类的可视化结果。均匀块、平滑块、粗糙块和细节块分别用灰度 0、120、200 和 255 表示。按照该分类结果进行编码的结果如图 2(d) 所示。

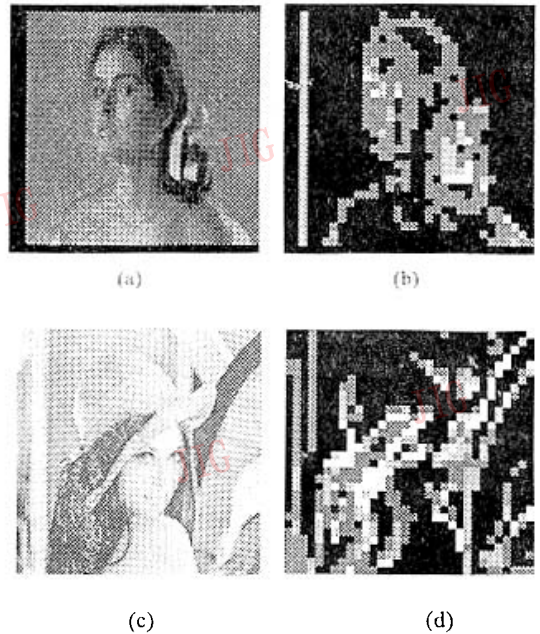


图 1 分类器的性能
Fig. 1 Performance of the classifier

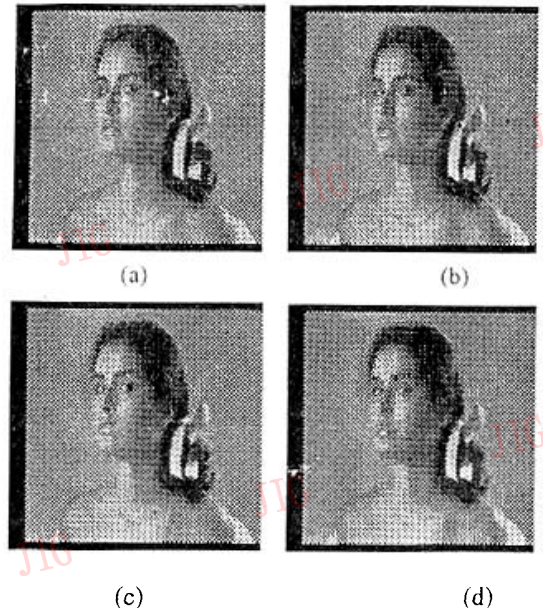


图 2 算法的测试结果
Fig. 2 Simulation results

4 块编码

(1) 均匀块

在一个均匀块 B_k^1 内, 象素灰度近似不变。可用零阶多项式表示, 以达到高的压缩比,

$$f_k(x, y) = c, (x, y) \in B_k^1$$

$$c = m_k = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in B_k^1} f_k(x, y)$$

(2) 平滑块

分类阶段中确定的平滑块 B_k^2 可用多项式表示:

$f_k(x, y) = a_k x + b_k y + c_k, (x, y) \in B_k^2$ 系数 a_k, b_k, c_k 利用最小均方误差准则求得。

$$a_k = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i - x_0) f_k(x_k + i, y_k + j)}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i - x_0)^2}$$

$$b_k = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (j - y_0) f_k(x_k + i, y_k + j)}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (j - y_0)^2}$$

$$c_k = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f_k(x_k + i, y_k + j)$$

其中 (x_k, y_k) 为 B_k^2 起始坐标, (x_0, y_0) 为 B_k^2 中心坐标。

(3) 粗糙块与细节块

对粗糙块与细节块, 采用 DCT 编码。变换后的 DCT 系数应用 JPEG 推荐的量化表进行量化, 以忽略相对次要的系数。经量化后的系数用之字形 (Zig-Zag) 扫描使不为零的系数集中在较前的位置。对粗糙块与细节块, 分别取前 L_1 和 $L_2 (L_2 > L_1)$ 个系数进行游程编码。除第一个系数 (直流分量) 外, 每个系数占半字节。余下的不为零系数对其位置和值编码。

5 实验结果

我们采用了几幅标准图象来测试所提出的算法。原始图象的大小均为 $256 \times 256 \times 8$ bits。表 1 给出了本文算法 (未利用熵编码器作为最后一级编码器) 与 JPEG 标准的比较结果。

表 1 算法的测试结果

Table 1 Simulation results

image	图 2 (gril)		
	(b) JPEG	(c) method	(d) method
C_r	22.20	23.20	31.37
PSNR	34.16	34.15	32.10

我们也采用了主观标准来测试所提出的算法。图 2 给出了本算法和 JPEG 标准的测试结果。图 2 (a) 为原始图象, 图 2 (b)、(c)、(d)、为重建图象。结果表明, 所提出的算法较优于 JPEG 的性能。实验中压缩比和重建图象质量通过算法中的几个门限来控制, 这些门限值均十分容易确定。

6 分析与结论

本文在分析了几种常用分类方法的基础上提出了一个基于二叉树分类器的块分类编码算法。分割和分类方法的应用, 使我们可以充分利用原始图象的结构特征。针对其不同图象块的性质采用了零阶多项式、一阶多项式和变长的 DCT 编码。均匀块和平滑块用很少的数据来表示, 其压缩比可达 $64:1$ 和 $64:3$ 。粗糙块与细节块应用了经典的方法, 具有较好的保真度, 压缩比能达到 $10:1 \sim 20:1$ 。由于图象相邻象素之间较强的相关性, 分类为粗糙与细节块的子块占少数 (见图 1)。因此总的压缩比较高。通过分类达到较高的压缩比而保证较好的重建图象质量。实验结果表明: 即使未采用熵编码器对码流作后处理, 性能仍优于 JPEG。若再采用熵编码器, 压缩比可望有明显的增加。在本算法编码中, 对于均匀块, 免去了 DCT 的计算。对平滑块, 以多项式近似替代了 DCT 编码。对粗糙块和细节块, 虽增加了多项式近似计算, 但由于所有块均必须进行块方差计算, 编码器总的计算量与 JPEG 大致相似。JPEG 中的译码器与其编码器具有大致相同的计算量。但在本算法中, 译码器较简单。这对于那些离线 (Off-Line) 编码的应用 (如图象数据库) 尤其合适。

参考文献

- 1 Ramamurthi, Gersho A. Classified Vector Quantization of Image. IEEE Trans. on COM, 1986, 34(11).
- 2 Lo, Cham W K. New Classified Vector Quantization of Images. Proc. TENCON'93, 1993. 3.
- 3 Moccagatta, Kunt M. An Image Coding Scheme Based on Per-

- ceptually Classified VQ for High Compression Ratios. Proc. of ICASSP'95, 1995, 4.
- 4 Truong, Ho S C Y. Block Adaptive Classified Vector Quantization. SPIE: Digital Video Compression: Algorithms and Technologies, 1995, 2419.
 - 5 Verkatraman, Nam J Y, Rao K R. Image Coding Based on Classified Lapped Orthogonal Transform-Vector Quantization. IEEE Trans. on CAS for Video Technology, 1995, 5(4).
 - 6 Vernazza. A New Splitting Strategy for Adaptive Transform Coding. Signal Processing, 1993, 34(3)
 - 7 Kunt Ikonmopoulos A, Kocher M. Second-Generation Image Coding Techniques. Proc. of IEEE, 1985, 31(41): 549~574.
 - 8 Bgenard Kunt M, Leonardi R. Recent Results in High-Compression Image Coding. IEEE Trans. on CAS, 1987, CAS-34(11).
 - 9 Kocher M. Image Representation by Means of Two Dimensional Polynomials. SPIE: Image Coding, 1985, 594~218.
 - 10 Natale G B De, Desoli G S, Giusto D D. et. al. Polynomial Approximation and Vector Quantization: A Region-Based Integration. IEEE Trans. on COM, 1995, 43(2, 3, 4).
 - 11 Ganzalez R. Digital Image Processing. 2nd Edition 1987.
 - 12 Yao Wang, Mitra S K. Edge Detection Based On Orientation Distribution of Gradient Images. Proc. of ICASSP'91, 2569~2572.
 - 13 Huang Jiwu. Image Coding Based on Segmentation. IASTED 2nd Int. Conf. on Distributed Multimedia System and Applications, 1995.
 - 14 Jong J, Rajala S A. Segmentation Based Image Coding Using Fractals and The Human Visual System. Proc. of ICASSP'90, 1957~1960.
 - 15 Jong J, Rajala S A. Texture Segmentation- Based Image Coder Incorporating Properties of the Human Visual System. Proc. of ICASSP'91, 1957~1960.
 - 16 Qian Huang. Can Fractal Dimension of Images Be Measured. Pattern Recognition, 1994, 27(3): 339~349.



黄继武, 1982年1月毕业于西安电子科技大学, 获工学学士。1987年12月清华大学研究生毕业, 获工学硕士。现为汕头大学电子工程系副教授。获省部级科技奖3次, 在国内外发表论文20余篇。目前的研究方向为图象信息处理、数据压缩技术。

A Method of Image Classified Block Coding

Huang Jiwu, Dai Ruiwei

(Dept. of Electronic Engineering, AI & PR Institute Shantou University, Shantou, 515063)

Abstract Classified Block Coding has received more attention recently for the advantage of easy implementation. The classification and coding of blocks are the two important problems in classified block coding.

In this paper, we propose a classified block coding algorithm based on DCT coding and polynomial approximation. In the algorithm, the original image is splitted into non-overlapped 8×8 blocks. The blocks are classified into four classes: constant blocks, smooth blocks, coarse blocks and detail blocks, by using the intensity local variance, the polynomial approximation error and spatial-frequency distribution. The constant blocks and smooth blocks are approximated by 0-order and 1-order polynomial respectively. For the coarse and detail blocks, we compute and quantize their DCT coefficients. Then encode them by means of an improved run-length coding. The experiment results show that the proposed algorithm, without using entropy coder as postprocessor of the codes, has better performance than JPEG.

Keywords Classified block coding, DCT, Polynomial approximation, Local variance