

自适应多层次矢量量化方法*

钟声 石青云 程民德

(北京大学数学系, 北京 100871)

(北京大学信息科学中心, 北京 100871)

(北京大学视觉听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

摘要 我们在本文中提出了一个矢量量化的自适应多层次算法. 首先生成一个基本码本和码字序列, 然后码字序列再被进一步编成一个多层次的码. 该算法利用了图象上更大范围的结构特点和相关性, 减少了单层矢量量化方法得到的码的冗余信息, 从而有效地提高了压缩比, 同时却没有增加误差, 也未增加很多计算量.

关键词 自适应矢量量化, 索引图, 索引码本.

矢量量化(VQ)技术已经被广泛用于图象编码中^[1-3]. 它由于利用了相近像素之间的相关性和冗余性而能以较低的比特率(bits/pixel)对图象进行编码. 非自适应矢量量化技术利用一个固定的码本进行编码, 该码本是预先由一个很大的矢量(如 4×4 大小)集训练而得的. 非自适应的方法有两个主要缺点, 一是计算量大, 二是码本的推广能力差, 即对非训练集内的图象编码的结果往往不太理想, 特别是对灰度边缘的量化效果尤差, 已有许多改进这些问题的方法^[5-8]. 另外一种改进的方向是采用自适应VQ技术^[9,10], 它能较好地克服上面的两个问题是因为对每个输入图象用更小的矢量(如 2×2 或 4×2)自适应地生成一个较小的码本. 然而由此得的比特率却较非自适应的(即压缩比小). 因此, 本文提出一种降低自适应矢量量化的比特率、但不招致新的误差和太多的计算量的方法—自适应多层次矢量量化方法(Adaptive Hierarchical VQ, 简称AHVQ方法).

1 自适应多层次矢量量化方法

在自适应VQ技术中, 一个 $N \times N$ 的图象首先被分割成小块(称为基本块, 如 2×2 大小的块)集, 然后再利用传统的VQ技术(如LBG算法^[1,2])由此小块集生成一个较小的码本, 称为基本码本. 基本块集合中的一个矢量与码本中的某个码向量距离最近(由MSE度量), 则该矢量就由此码向量在码本中的位置索引(即码字)代表. 码字和码本都是需要传输或存

* 本文 1992-09-06 收到

本项研究部分受国家自然科学基金(No. 9690012)的支持. 作者钟声, 28岁, 博士生, 主要研究领域为图象处理, 模式识别, 计算机视觉. 石青云, 女, 58岁, 中国科学院院士, 教授, 主要研究领域为图象处理, 模式识别, 计算机视觉. 程民德, 77岁, 中国科学院院士, 教授, 主要研究领域为模式识别, 图象处理.

本文通讯联系人: 钟声, 北京 100871, 北京大学信息科学中心

储的信息. 在接收端, 图象的重构(即解码)是很简明的, 只需按码字到码本中取出相应的码向量(codevector)即可. 自适应 VQ 方法的一些变化方法有在变换域上进行的, 也有先将图象分成几个较小区域, 再在每个区域上用自适应 VQ 方法等^[9,10].

当基本码本和码字索引生成后, 我们并不急于传送它们, 而是先分析一下码字索引的统计特点. 因为在通常情况下, 图象的相邻元素之间是高度相关和相似的, 更进一步, 我们可以预测, 相邻基本块之间也是有一定的相关性和相似性的, 这种相关相似性造成了数据的空间冗余性, 也造成了码字索引之间有一定的冗余信息. 这种冗余信息应该使相邻基本块的组合按一定的统计规律出现.

因此, 我们要利用相邻基本块组合出现的规律来达到进一步消除冗余的目的.

基本块集合按基本码本生成的索引码组成了一个新的数字图象, 称为索引图. 如图 1 所示, 索引图中的字母 A、B、C 等代表了图象上相应位置处的基本块在基本码本中的索引码. 组合(A, B, C, D)实际上代表了图象上一个更大块的信息. 图象的空间相关性和相似使得(A, B, C, D)这个向量可能还会在索引图的别处出现. 如果这样的(A, B, C, D)经常出现, 则值得将它用一个单一的码—更高层次的码来表示, 同时在这更高层次的码本中, 将(A, B, C, D)当成一个码向量(codevector), 这个新的码本称为索引码本.

A	B	E	F
C	D	G	H
I	J	M	N
K	L	O	P

图1 索引图

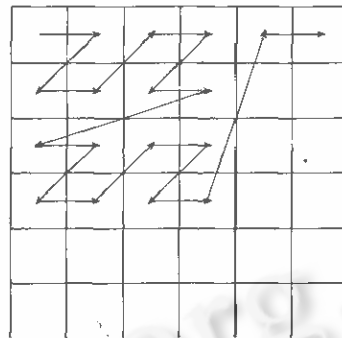


图2 Z-序

更具体地讲, 我们按图 2 所示的顺序(称 Z-序)扫描索引图. Z-序实际上是一种与四元树表示特别是深度优先表示^[11]十分相似的结构, 本文中最后得到的数据(多层次码)也是按深度优先方式存放的. 按图 2 的方式扫描每个 Z 链, 对所有不同的四元矢量(A, B, C, D)进行计数, 然后选取出现次数最多的前 LENGTH 个矢量作为一个新的码本, 即索引码本. 然后再将索引图按索引码本进行一次编码, 检查索引图中每个 Z 链是否出现在索引码本中, 得到一个二层次的码字序列. 注意, 通常情况下, 并非所有索引图中的相邻元都能组合成出现在索引码本中的矢量, 因而二层编码后得到的码字序列是两个层次的码的混合, 实际编码(解码)过程中应能区分各层次的码.

按理讲, 索引码本中包含越多的码向量(codevector), 则索引图中能被二层编码的相邻 Z 元越多. 但是这样的话每个码的码长和索引码本长都要增加, 所以在最后编码所得的比特率和索引码本长之间有一个平衡, 这将在第 2 节详细讨论.

二层编码后得到码还可被用来生成一个更高层次的索引码本, 来反映图象上更大范围

内的相关性和相似性, 仍然按照 Z -序(不过是更大的 Z -链)来统计, 这个过程可以一直进行到某个预先确定的层次, 所有各层次的码本及相应的层次结构都将是需传输的附加信息, 所以在最后得到的压缩比与编码层数之间也有一个折衷, 这也将第 2 节讨论。

实际上这个策略可以有許多推广, 例如, 我们完全可以不按 Z -序来扫描相邻块; 另外相邻块也未必就如 2×2 的 Z 链, 我们甚至可以考虑 4×1 、 4×2 的相邻块等等。

2 实验及分析

我们在 DEC-5000 工作站上用 C 语言实现了上述多层次自适应矢量量化方法。

对于基本码本的生成, 我们采用了快速局部自适应局部搜索局部误差 FLAPSPD 算法^[16]。

图 3(a)是 512×512 大小 256 个灰度级的 Lena 图象, 我们取基本块的大小为 4×2 , 基本码本大小为 32。图 3(b)是由单层矢量量化恢复的图象(注意由多层次矢量量化恢复的图象仍是 3(b), 因为多层次方法并不带来新的误差)。



(a)原图

(b)重构图象

图 3 Lena 图象

首先, 我们想发现比特率和量化编码层次间的关系。

图 4 显示了二层量化与三层量化的比特率的比较, 我们可以看到二层量化更优越(压缩比更大)。主要是由于: ①三层量化所需传输或存储的附加信息(如多层 Z -结构和索引码本)比二层量化的多; ②二层量化后, 能被进一步量化成一个三层码的索引码组合较之能被量化成一个二层码的索引码组合少得多。以下我们只进行二层量化。

现在, 让我们再来看比特率与第一层索引码本大小的关系。表 1 中, 我们列出了一些对 Lena 图象的统计数据 and 参数。表 2 中, 列出了另一幅 512×512 大小 256 个灰度级的图象 Mandrill 的数据。图 5 是 Mandrill 图及重构图象。在 Lena 的情况, 索引码本大小为 128 时压缩比最大(较单层算法提高 55.6%)。在 Mandrill 情况下, 索引码本大小为 256 时压缩比最大(较单层算法提高 30.1%); 图象质量与单层方法的质量完全一样。索引码本大小都为基本码本大小的 4 倍。

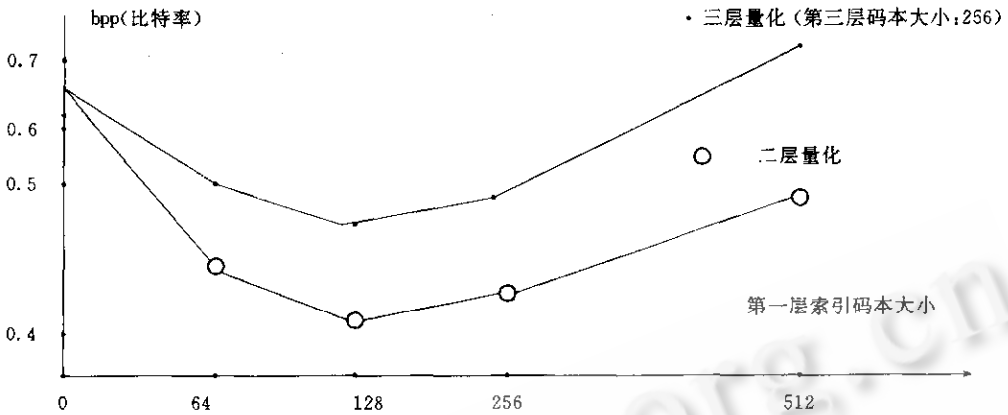


图4 比特率与层次的关系

表 1 对 Lena 图象的实验数据

基本码本大小	32	32	32	32
索引码本大小	0	64	128	256
被二层量化的基本块所占百分比(%)	0.0	55.4	65.2	72.9
总的比特率(bpp)	0.633	0.427	0.409	0.411
压缩比	12.6 : 1	18.7 : 1	19.6 : 1	19.4 : 1
峰值信噪比(dB)	32.71			

表 2 对 Mandrill 图象的实验数据

基本码本大小	64	64	64	64
索引码本大小	0	128	256	512
被二层量化的基本块所占百分比(%)	0.0	39.4	44.3	49.7
总的比特率(bpp)	0.766	0.600	0.598	0.611
压缩比	10.3 : 1	13.3 : 1	13.4 : 1	13.1 : 1
峰值信噪比(dB)	26.24			

所以,通常我们取二层矢量量化,且索引码本大小为基本码本大小的 4 倍,就能得到一个较优的结果,压缩比可以得到有意义的提高,且不增加新的误差,而增加的计算量较之生成基本码本所需计算量可忽略。

3 结论与讨论

我们提出了一个自适应的多层次矢量量化技术 AHVQ;较之于单层的自适应 VQ 方法,AHVQ 更充分地利用了图象上更大范围内的相关性和相似性,减少了空间冗余性,因而使得 AHVQ 算法能够:(1)使压缩比得到有意义的提高;(2)不需要增加很多计算量;(3)不增加新的误差。



(a)原图

(b)重构图象

图 5 Mandrill 图象

我们还通过实验验证了一个二层矢量量化算法能够获得较优的结果,且对索引码本的设计确定了较优的参数.这些结果,可以用到许多图象压缩方法中^[13-15],得到了很好效果.另外,这个思想同样适于非自适应 VQ 方法中,甚至可以生成一个固定的索引码本^[12].

参考文献

- 1 Linde Y, Buzo A, Gray R M. An algorithm for vector quantizer design. *IEEE Trans. Commun.*, Jan. 1980, **com-28**:84-95.
- 2 Gersho A, Ramamurthi B. Image coding using vector quantization. *Proc. IEEE Int. Conf. ASSP*, May 1982:428-431.
- 3 Nasrabadi N M, King R A. Image coding using vector quantization a review. *IEEE Trans. on commun.*, August 1988, **com-36**(8).
- 4 Baker R L, Gray R M. Image compression using nonadaptive spatial vector quantization. *Proc. 16th Asilomar Conf. Circuits., Syst., Comput.*, Oct. 1982.
- 5 Differential vector quantization of achromatic imagery. *Proc. Int. Picture Coding Symp.*, 1982:55-61.
- 6 King R A, Nasrabadi N M. Image coding using VQ in the transform domain. *Patt. Recogn. Lett.*, 1983, **1**:323-329.
- 7 Ramamurthi B, Gersho A. Classified vector quantization of images. *IEEE Trans. on Commun.*, Nov. 1986, **com-34**(11).
- 8 Kim D S, Lee S U. Image vector quantizer based on a classification in the DCT Domain. *IEEE Trans. on Commun.*, April 1991, **com-39**(4).
- 9 Goldberg M, Boudier P R, Shilen S. Image compression using adaptive vector quantization. *IEEE Trans. on Commun.*, Feb. 1986, **com-34**(2).
- 10 Habibi A. Survey of adaptive image coding techniques. *IEEE Trans. Commun.*, Nov. 1977, **com-25**:1275-1284.
- 11 Samet H. The quadtree and related hierarchical data structures. *ACM Comput. Surveys*, 1984, **16**(2):188-260.
- 12 Dixit S S, Feng Y. Hierarchical address vector quantization for image coding. *CVGIP: Graphical models & Image Processing*, 1991, **53**(1):63-70.
- 13 钟声,石青云,程民德.基于局部最佳小波基分解的图象压缩方法. *模式识别与人工智能*, 1993, **6**(3).
- 14 钟声,石青云,程民德.基于具有更佳频率分辨率的小波变换和自适应多层次 VQ 技术的图象压缩系统. *模式识别*

- 与人工智能, 1993, 6(4).
- 15 Zhong S, Shi Q Y, Cheng M T. High compression ratio image compression. IEEE Proceedings of International Symposium on Circuits & Systems, Chicago, USA, May 1993.
- 16 Zhong S, Shi Q Y, Cheng M D. Fast adaptive partial search and partial distortion VQ algorithm. Proceedings of the International Conference on Neural Nets and Signal Processing, Guangzhou, November 1993.

ADAPTIVE HIERARCHICAL VECTOR QUANTIZATION

Zhong Sheng, Shi Qingyun and Cheng Minde

(Department of Mathematics, Peking University, Beijing 100871)

(The Center of Information Science, Peking University, Beijing 100871)

(State Key Laboratory on Machine Perception, Beijing 100871)

Abstract This paper proposes an adaptive hierarchical vector quantization method for image coding. First, a basic codebook and the codes are generated adaptively. Then the codes are used to form the second layer codebook. Finally, the codes are coded by the second layer codebook and form a multilayer code sequence. This hierarchical method makes use of the structural features and correlations in larger regions and thus remove much redundancy in the codes obtained by a single layer VQ method. A much lower bit rate can be achieved without causing any more distortion and more computation.

Key words Adaptive vector quantization, index map, index codebook.