

基于快速相关矢量量化的图象编码算法

陆哲明 孙圣和

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001)

摘要 图象编码已经成为当今计算机世界的重要问题, 而矢量量化(VQ)又是近年来有损图象压缩的一种重要技术, 它的优点是比特率低以及解码简单, 但是其穷尽搜索编码计算量较大. 为了降低编码时间, 已经有多种快速算法出现在一些文献中, 然而这些算法往往不能进一步降低比特率. 为了解决这一问题, 因此提出了一种新颖的快速相关矢量量化(CVQ)图象编码算法. 该算法对图象块的编码采用对角顺序, 即在编码过程中根据当前图象块(输入矢量)与已编码的邻块之间的相关性来预测输入矢量的编码标号, 从而大大降低了每个输入矢量平均码字的搜索范围和比特率. 测试结果表明, 本文算法比传统的穷尽搜索算法、部分失真搜索算法和双测试算法的编码速度快, 且比特率低, 虽然编码质量有少许下降.

关键词 矢量量化 相关矢量量化 图象编码

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)06-0489-04

An Image Encoding Algorithm Based on Fast Correlation Vector Quantization

LU Zhe-ming, SUN Sheng-he

(Department of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Image coding has been the important problem in the computer world nowadays. Vector quantization (VQ) is a lossy image compression technique presented recently. It has the advantages of low bit rate and simple decoding method. However, the encoding phase of the full search method need much computation. In order to reduce the encoding time, a lot of fast search algorithms are presented in the literatures. However, lots of these methods cannot further reduce the bit rate. In this paper, a novel image encoding algorithm based on the fast correlation vector quantization (CVQ) is presented. The diagonal encoding sequence is adopted in this paper. During the encoding process, the correlation between the current processing block and the adjacent encoded blocks is used to predict the index of the input vector, thus both the average codeword searching range of each input vector and the bit rate are greatly reduced. Test results show that, compared with the image encoding algorithms based on the conventional full-search method, the partial distortion search method and the double test method, the proposed algorithm needs much shorter encoding time and lower bit rate, although the encoding quality of the proposed algorithm is a little degraded.

Keywords Vector quantization, Correlation vector quantization, Image encoding

0 引言

图象编码已经成为当今计算机世界的重要问题, 而且由于图象往往占很大的空间, 所以常常需要

进行压缩以适合于传输和存储. 目前已开发出多种图象压缩技术, 其中矢量量化(VQ)^[1,2]就是近年来图象压缩的一种重要技术, 其简单性和有效性已经得到了证实. 矢量量化可以定义为从 k 维欧几里德空间 R^k 到其一个有限子集 C 的一个映射, 即

$Q: R^k \rightarrow C$, 则称有限子集 C 为码书, 即 $C = \{c_i | i = 1, 2, \dots, N\}$, 这里 c_i 称为码字, N 为码书大小.

矢量量化包含编码器和解码器两个主要部分. 若要对一幅图象进行编码, 编码器则首先将原始图象分割成 $N_w \times N_h$ 块(输入矢量). 假定每小块图象的大小为 k ($k = w \times h$), 那么, 每小块图象就是一个 k 维输入矢量. 编码器从码书 C 中为每小块图象 $\mathbf{x} = (x_{(0)}, x_{(1)}, \dots, x_{(k-1)})$ 选择一个合适的码字 $\mathbf{c}_p = (c_{p(0)}, c_{p(1)}, \dots, c_{p(k-1)})$, 从而使码字 \mathbf{c}_p 和输入矢量 \mathbf{x} 之间的距离最近, 这里, \mathbf{c}_p 是输入矢量 \mathbf{x} 的最近码字, $c_{p(j)}$ 代表了码字 \mathbf{c}_p 的第 j 个分量. 同时, 平方欧氏距离通常用来度量一个输入矢量 \mathbf{x} 和每个码字 \mathbf{c}_i 之间的匹配程度(失真), 即

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{c}_i) = \|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2 = \sum_{j=0}^{k-1} |x_{(j)} - c_{i(j)}|^2 \quad (1)$$

然后编码器用输入矢量 \mathbf{x} 的最近码字 \mathbf{c}_p 的标号 p 代替输入矢量 \mathbf{x} 来进行传输. 这样矢量量化解码器就很容易根据标号从码书中找到相应的码字来代替各输入矢量, 然后再用所有这些码字拼成解码图象.

图象编码的关键问题是如何保证在较小图象失真的情况下, 尽量减少编码时间以及如何降低比特率. 但为了找到输入矢量的最佳匹配码字, 传统的穷尽搜索算法通常要对码书中所有码字作一次穷尽搜索, 而对于码书大小为 N , 矢量维数为 k 的穷尽搜索矢量量化编码器, 其每一输入矢量的编码计算复杂度为 $O(N \cdot k)$, 由此可见, 随着 k 和 N 的增大, 计算复杂度和计算时间将显著增加. 这样就限制了矢量量化在高速和实时编码系统中的应用. 为此, 近年来许多学者提出了各种矢量量化快速算法, 如部分失真搜索(PDS)算法^[3]、双测试算法^[4]、超立方体测试算法^[5]、平均值差法^[6]、不等式判据法^[7]等等. 其中, 部分失真搜索(PDS)编码算法是一种比较简单有效的码字搜索算法. 该算法在计算输入矢量与某个码字的失真过程中, 判断累加的失真是否已经超过目前的最小失真, 如果超出, 则终止该失真计算而转入对下一个码字的失真计算; 如果计算完整个失真后还没超出最小失真, 则把该失真作为新的最小失真, 这样继续计算下去, 直到找到输入矢量的最近码字. 上述提到的各种算法都不引入额外的失真, 即每个输入矢量都在码书中找到了相应的最近码字, 但是它们不能降低比特率, 而且其中有些算法的编码时间下降得也并不太多.

为了降低比特率, 近年来 k -d 树搜索技术^[8]和

边缘匹配矢量量化^[9]技术已经成功地应用到图象编码算法中, 但这些技术都将引入额外失真, 因为它们码字搜索范围并不是整个码书, 也就是说, 这些技术不能保证为每个输入矢量找到距离最近的码字, 但可以相对地减少编码时间或降低比特率. 本文提出了一种新颖的快速相关矢量量化图象编码算法. 该算法的编码采用对角顺序, 即在编码过程中根据当前图象块与已编码邻块之间的相关性来预测当前图象块的编码标号, 从而大大降低了每个输入矢量的平均码字搜索范围和比特率. 测试结果表明, 虽然本文算法引入了少量的额外失真, 但编码时间和比特率得到了明显的下降.

1 算法

1.1 对角编码顺序

为了使编码更有效, 本文对图象块的编码采用了对角顺序. 假设原始图象被分成了 $8 \times 8 = 64$ 块, 则本文的编码顺序如图 1 所示.

1	43	49	54	58	61	63	64
9	2	42	48	53	57	60	62
16	10	3	41	47	52	56	59
22	17	11	4	40	46	51	55
27	23	18	12	5	39	45	50
31	28	24	19	13	6	38	44
34	32	29	25	20	14	7	37
36	35	33	30	26	21	15	8

图 1 本文的对角编码顺序

在本文中, 首先根据码书, 对对角线所在的图象块进行穷尽搜索编码, 然后对对角线下方的图象块进行快速相关矢量量化编码, 最后对对角线上方的图象块进行快速相关矢量量化编码. 这种编码顺序可以充分利用已编码邻块的编码标号, 来对输入矢量的编码标号进行预测.

1.2 输入矢量的编码标号预测

在对图象进行矢量量化时, 可以发现相邻图象块存在很强的相关性, 且在低细节区域, 这种相关性表现为相邻图象块的编码标号相同.

根据上节所述的编码顺序, 在对对角线下方的

图象块进行编码时, 可能存在 4 种情况(如图 2 所示), 在对角线上方的图象块进行编码时, 可能存在两种情况(如图 3 所示), 该两图中的 x 代表待编码的图象块; a, b, c, d 代表已编码的图象块. 以图 2 (d) 所示的图象块 x 为例来说明编码标号的预测, 其编码标号可以通过图象块 a, b, c, d 的编码标号来预测, 即图象块 x 的编码标号的预测结果存在以下 5 种情况:

- (1) $VQ(x) = VQ(a)$;
- (2) $VQ(x) = VQ(b)$;
- (3) $VQ(x) = VQ(c)$;
- (4) $VQ(x) = VQ(d)$;
- (5) 若情况 (1), (2), (3), (4) 均不成立, 即预测失败.

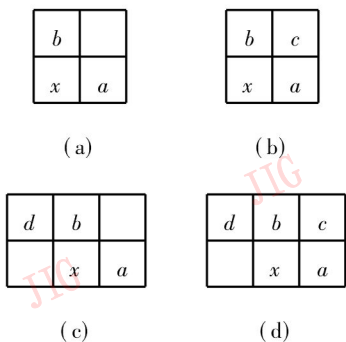


图 2 对角线下方图象块编码的 4 种情况

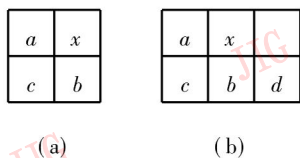


图 3 对角线上方图象块编码的两种情况

1.3 编码算法

本文的编码顺序是按“对角线 \rightarrow 对角线下方 \rightarrow 对角线上方”的顺序进行的.

本文对对角线图象块的编码采用了文献[3]的部分失真搜索(PDS)技术, 在码书中找到各对角线图象块的最近码字的标号. 在传输完所有对角线的图象块编码标号后, 我们就可以加一些标志位来表明前面传输的是对角线图象块编码标号, 而后面紧跟的是对角线下方图象块的编码信息. 同样, 传输完所有对角线下方的编码信息后, 也可以加一些标志位表明前面传输的是对角线下方的图象块编码信息, 而后面紧跟的是对角线上方图象块的编码信息.

在对角线下方或上方的图象块进行编码时,

首先需判断图象块的类型, 即计算输入矢量 x 与已编码各邻块(a, b, c, d) 对应码字之间的失真测度, 找出其中最小的失真 D_{\min} , 如果 D_{\min} 小于或等于预先设定的阈值 TH_D , 则输入矢量 x 的编码标号预测成功, 即输入矢量 x 的编码标号就设为最小失真所对应的邻块的编码标号. 如果 $D_{\min} > TH_D$, 则说明输入矢量 x 的编码标号预测失败, 此时应采用部分失真搜索(PDS)技术在码书中找到最近码字的标号作为输入矢量 x 的编码标号. 在传输时, 我们用一个 1bit 的附加信息表明预测的成功和失败, 文中‘0’表示成功而‘1’表示失败. 如果预测成功, 则紧跟着传输一个 2bit 的信息来表明预测结果, 文中‘00’表示 a , ‘01’表示 b , ‘10’表示 c , ‘11’表示 d (如图 2 和图 3 所示). 如果预测失败, 则紧跟着传输输入矢量的实际编码标号.

2 实验结果

本文的所有实验是在奔腾 350 微机上进行的. 文中采用了 512×512 大小的 256 灰度级的“Lena”图象和“peppers”图象作为测试图象. 这两幅图象都被分成 16 384 块 4×4 的小图象块, 即每一小块都是 16 维矢量. 文中把“Lena”图象作为训练图象, 并采用著名的 LBG 算法^[1]产生码书 C , 其大小为 256. 文中的编码质量用尖峰信噪比($PSNR$) 来表征, 它被定义为 $PSNR = 10 \cdot \log_{10}(255^2/MSE)$ dB. 对于一幅 $m \times m$ 的图象, 其均方误差(MSE) 被定义为

$$MSE = \frac{1}{m^2} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} |\alpha_{i,j} - \beta_{i,j}|^2 \quad (2)$$

这里, $\alpha_{i,j}$ 和 $\beta_{i,j}$ 分别表示原始图象第 i 行第 j 列的象素值和解码图象第 i 行第 j 列的象素值.

实验结果如表 1, 表中的“Lena”图象在训练集内, 而“peppers”图象在训练集外. 从表中可以看出, 本文算法相对于穷尽搜索算法、PDS 算法和双测试算法, 虽然编码质量有所下降. 但算法时间和比特率都有下降, 从表 1 中可以看到, 当 $TH_D = 640.0$ 时, 本文算法的编码时间仅为穷尽搜索算法的 7%~9% 左右, 比特率比穷尽搜索算法下降了 0.15~0.21bit/pixel, 而编码质量仅下降了 0.08~0.18dB 左右. 另外, 还从表 1 的对比中发现, 减小阈值 TH_D 可以提高编码质量, 然而将增加编码时间和比特率, 而且这种变化对训练集内的图象影响较大.

表1 穷尽搜索算法, PDS 算法, 双测试算法和本文算法的编码质量, 编码时间以及比特率的比较,

算法	编码性能	$TH_D=640.0$		$TH_D=320.0$		$TH_D=160.0$	
		Lena 图	Peppers 图	Lena 图	Peppers 图	Lena 图	Peppers 图
穷尽搜索算法	PSNR(dB)	30.391	28.346	30.391	28.346	30.391	28.346
	时间(s)	10.27	10.38	10.27	10.38	10.27	10.38
	比特率(bit/pixel)	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
PDS 算法	PSNR(dB)	30.391	28.346	30.391	28.346	30.391	28.346
	时间(s)	4.62	4.69	4.62	4.69	4.62	4.69
	比特率(bit/pixel)	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
双测试算法	PSNR(dB)	30.391	28.346	30.391	28.346	30.391	28.346
	时间(s)	3.02	3.08	3.02	3.08	3.02	3.08
	比特率(bit/pixel)	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
本文算法	PSNR(dB)	30.212	28.262	30.340	28.294	30.356	28.300
	时间(s)	0.79	0.86	1.21	1.24	1.80	1.84
	比特率(bit/pixel)	0.294	0.345	0.365	0.419	0.454	0.485

3 结 论

本文提出了一种新颖的快速相关矢量量化图象编码算法. 该算法的编码采用对角顺序, 在编码过程中根据当前图象块与已编码邻块之间的相关性来预测输入矢量的编码标号, 从而大大降低了每个输入矢量的平均码字搜索范围和比特率. 该算法的优点是失真度和比特率可以通过阈值来调整. 测试结果表明虽然本文算法引入了少量的额外失真, 但编码时间和比特率得到了明显的下降.

参 考 文 献

- 1 Linde Y, Buzo A, Gray R M. An algorithm for vector quantizer design. IEEE Trans. on Commun., 1980, 28(1): 84~ 95
- 2 Gersho A, Gray R M. Vector quantization and signal compression. Boston, MA: Kluwer, 1992.
- 3 Bei C D, Gray R M. An improvement on minimum distortion encoding algorithm for vector quantization. IEEE Trans. on Commun, 1985, 33(10): 1132~ 1133.
- 4 Torres T, Huguet J. An improvement on codebook search for vector quantization. IEEE Trans. on Commun, 1994, 42(2): 208~ 210.
- 5 Soleymani M R, Morgera S D. An efficient nearest neighbor search method. IEEE Trans. on Commun, 1987, 35(4): 677~ 679.

- 6 Lee C H, Chen L H. High-speed closest codeword search algorithms for vector quantization. Signal Processing, 1995, 43: 323~ 331.
- 7 周汀, 闵昊, 章倩苓. 一种矢量量化编码的加速算法. 电子学报, 1997, 25(4): 95~ 98.
- 8 Ramasubramanian V, Paliwal K K. Fast k-dimensional tree algorithms for nearest-neighbor search with application to vector quantization encoding. IEEE Trans. Signal Process, 1992, 40(3): 518~ 531.
- 9 Kim T. Side match and overlap match vector quantizers for images. IEEE Trans. Image Processing, 1992, (1): 170~ 185.



陆哲明 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生. 1995 年获哈尔滨工业大学电气工程系学士学位, 1997 年获哈尔滨工业大学电气工程系硕士学位. 研究方向为: 数据压缩和图象编码, 模式识别.



孙圣和 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授, 博导. 中国电子学会会士, 电子学报编委. 获多项国家级和省部级科技成果奖. 研究领域包括计算机测试与控制, 信号处理与系统辨识, 数据压缩编码. 已发表 5 部著作, 论文 150 多篇.