

一种快速相关预测矢量量化的图像编码算法

张如亮 余宁梅 高勇 王冬芳

(西安理工大学电子工程系, 西安 710048)

摘要 矢量量化是近年来图像压缩研究中的重要技术,在该技术中,减小编码运算时间和降低平均编码比特率是当前研究的重要问题,目前,已经提出了许多快速编码算法。为了进一步减少图像矢量量化编码的时间和降低编码比特率,提出了一种超前相关预测与快速搜索相结合的快速矢量量化编码算法。该算法在对当前图像块完成编码后,再根据该图像块与相邻的未编码图像块的相关性来预测相邻块的编码值,如果预测成功,则用低比特率表示编码值;否则用绝对误差不等式删除(AEI)算法来求得高比特率编码值,以减少总编码时间和降低平均比特率。测试结果表明,该算法比传统的穷尽搜索算法的编码速度快,且比特率低,同时对编码质量的影响很小。

关键词 矢量量化 超前预测 相关预测 失真测度

中图分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)03-0365-05

A Fast Image Encoding Algorithm Based on Correlation Predictive Vector Quantization

ZHANG Ru-liang, YU Ning-mei, GAO Yong, WANG Dong-fang

(Dept. of Electrical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract Vector Quantization (VQ) is an important technology of image compression research in the recent years. Reducing encoding computation time and cutting down average encoding bit rates are the two important problems of its current research. In the present, many fast search encoding algorithm based on VQ are proposed. In order to get less encoding time and lower average encoding bit rates, a fast encoding algorithm, which integrates advance correlation predictive process with a fast search encoding algorithm, has been presented in this paper. After the current image block has been encoded, the encoding value of near neighbor image blocks is predicted, by virtue of their correlation to the current block. If predictive successes, the encoding value needs few bits to denote, otherwise it needs complex computation by Absolute Error Inequality Elimination algorithm (AEI), and more bits to transfer. By this proposed way, the total encoding time decreases, and the total encoding bits saves. The simulation experiments show that the proposed algorithm consumes less time to encode, and needs lower average bit rates to transfer encoding results, against full search algorithm (FS), while its encoding performance is close to that of full search algorithm.

Keywords vector quantization, advance predictive, correlation predictive, distortion measure

1 引言

图像压缩是当今图像处理系统的重要部分,一般分为有损压缩和无损压缩两种技术。矢量量化(VQ)^[1,2]是近年来有损图像压缩的一种重要技术,已经广泛应用于语音编码、音视频压缩和图像压缩

系统中,其优点是解码简单。VQ可被看成是从 k 维Euclidean空间 R^k 到 R^k 的有限子集 C 的一个映射,即 $Q: R^k \rightarrow C$,其中, $C = \{y_0, y_1, \dots, y_{N-1} | y_i \in R^k\}$ 称为码书, N 为码书大小, y_i 称为码字,下标 i 是该码字在码书中对应位置的地址索引。该映射满足: $Q(x | x \in R^k) = y_p$,其中 $x = (x_0, x_1, \dots, x_{k-1})$, $y_p = (y_{p_0}, y_{p_1}, \dots, y_{p_{k-1}})$,并满足

$$d(x, y_p) = \min_{0 \leq j \leq N-1} (d(x, y_j)) \quad (1)$$

其中, y_p 的下标 p 代表最佳匹配码字在码书中的地址索引, 而 $d(x, y_j)$ 为矢量 x 与码字 y_j 之间的失真测度, 常用的失真测度为平方误差测度 (也叫 Euclidean 距离), 其表达式为

$$d(x, y_j) = \sum_{l=0}^{k-1} (x_l - y_{l,j})^2 \quad (2)$$

VQ 包括编码器和解码器两个主要部分。用 VQ 技术对一幅图像编码时, 首先要将原始图像按 $n \times n$ 个像素大小为单位进行小块划分, 每个小块组成一个 k 维 ($k = n \times n$) 的矢量, 含 k 个像素; 编码时, 首先通过在码书 C 中为每个输入图像矢量 x 搜索最匹配的码字 y_p , 使其失真测度值最小; 然后将最匹配码字的索引 p 作为编码值代替矢量 x 进行存储或传输。解码时, 则先根据接收到的索引 p 从相同码书中找出对应的码字, 然后用这些码字重构图像。

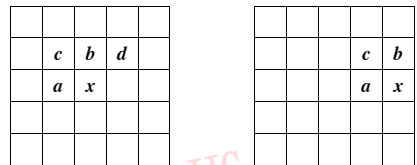
VQ 编码时的运算复杂度是影响编码时间长短的根本问题, 而编码时间长短则决定编码系统的实时性。编码时, 为找到输入矢量的最佳匹配码字, 传统搜索算法通常要对码书中所有码字作一次穷尽搜索 (full search, FS); 若码书尺寸为 N , 其对对应的每个输入矢量, 则需要进行 Nk 次乘法, $N(2k-1)$ 次加法和 $N-1$ 次比较, 且随着矢量维数 k 和码书尺寸 N 的增大, 其计算复杂度和计算时间将显著增加。为解决这个问题, 近年来, 文献中提出了各种快速编码算法, 这些算法大体上可归结为如下 3 类: (1) 基于特殊码书结构的编码算法, 用该算法编码时, 只搜索部分码书, 如树搜索矢量量化 (TSVQ) 算法^[3]、分类矢量量化 (CVQ) 算法^[4]; (2) 基于快速搜索算法的编码算法, 该类算法是采用各种码字排除准则来减少计算量, 如部分失真搜索算法 (PDS)^[5]、超立方体测试算法^[6]、绝对误差等式删除算法 (AEI)^[6]、均值排序部分搜索算法 (MPS)^[7] 等; (3) 基于预测与快速搜索算法相结合的编码算法, 即采用相关预测来减少编码时间和编码长度的算法, 如基本相关 VQ 编码算法 (BFCVQ)、均值匹配相关 VQ 算法 (MMCVQ)^[8,9] 等, 但上述几种快速搜索算法均存在一定问题, 如 PDS 算法效率有限, 超立方体法只对某一矢量的绝对误差分量比所有其他矢量的绝对误差分量大得多的情况比较有效, AEI 算法在选取初始匹配码字时需要较多的附加运算量和存储单元等。

相关预测方法是根据相邻图像块之间的高度相关性, 对达到一定相关程度的矢量进行地址预测, 若预测

成功, 则编码值用低于 $\log_2 N$ 比特的值表示, 从而使编码平均比特率降低和总编码时间减少, 也使实时通信性能得到改善, 如基本相关矢量量化方法即采用上述预测机理。为进一步减少编码时间和降低平均比特率, 本文提出一种超前相关预测矢量量化方法。

2 基本的相关矢量量化算法

大家知道, 在图像编码中, 相邻图像块的相关性是很高的, 这种相关性主要表现在“低细节区”的平滑性以及“高细节区”的边缘连续性。在平滑区域, 这种相关性表现为相邻图像块的编码索引相同。考虑图 1(a) 中的图像块 x , 它的索引可以根据 a, b, c, d 4 个相邻块的编码索引来预测。如果当前编码的图像块位置如图 1(b) 所示, 即位于最后一列, 则它的编码索引可通过 a, b, c 3 个邻块来预测。预测时, 首先计算 x 与相邻块的失真测度 d , 如果这几个失真测度的最小值小于预先设定的阈值 T_a (下标 d 代表失真测度), 则预测成功。这时可用 2 比特信息来表示邻块位置, 即只需两比特就可完成对图像块 x 的编码, 解码时则根据对应位置的码字来恢复。如果预测失败, 则可以采用搜索算法来对其编码。为区分这两种情况, 需增加 1 比特作为标志位。



(a) 四相邻关系

(b) 三相邻关系

图 1 图像块的两种相邻关系

上述算法的主要特点是比特率可变, 且编码速度快, 因为在预测时, 最多先进行 3 次失真运算, 若预测成功, 则不必进行其他运算, 否则可用前面提到的快速搜索算法来搜索最近邻码字。设将原始图像分割为 M 块 (k 维), 其中 S 块预测成功, 则该算法得到的平均比特率为

$$R = \frac{3S + (\log_2 N + 1) \cdot (M - S)}{M \cdot k} \quad (3)$$

3 超前相关预测矢量量化算法

为了进一步提高预测效率和降低编码比特率, 应尽量减少重复预测时产生的运算量, 本文提出

种新的超前相关预测方法 (advance correlation predictive VQ, ACPVQ)。该方法是用当前编码图像块的索引值来预测未编码图像块的索引,同时用不同长度码长表示编码值。

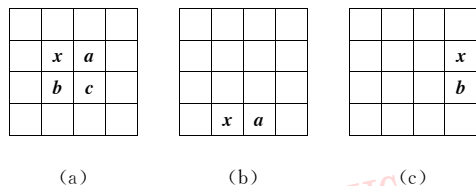
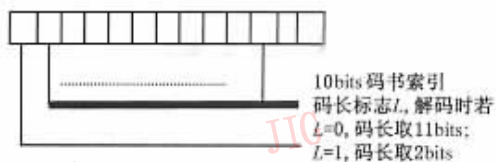


图 2 超前预测中的几种相邻关系

ACPVQ 算法步骤如下:

首先用搜索算法对图像块 x 进行编码,然后对



(a) 11bits 码长结构



(b) 2bits 码长结构

图 3 两种长度的编码值结构 ($N=1024$)

该算法预测时只进行两次失真运算,平均比特率为 (M, S 的含义同式(3)):

$$R = \frac{2S + (\log_2 N + 1) \cdot (M - S)}{M \cdot k} \quad (4)$$

在 BFCVQ 方法中,是用邻近的 3~4 个图像块来预测当前图像块,而本文方法则是以当前图像块来预测近邻的图像块。如图 2 所示,由于预测需考虑当前图像块 x 与图像块 c 的相关性,如果 x 只与 c 满足相邻条件,而与 a 和 b 不符合相邻条件,那么即使预测成功,也容易影响恢复图像的平滑性;如果 x 与 a 或 b 符合相邻条件,那么 x 与 c 的相关性可由 a 或 b 的预测代替,因此,在本文方法中,预测时,不考虑 c 位置,这样既可以减少预测运算量,又可以在预测成功时,减少 1 比特编码。

综合上述因素,本文提出的算法编码步骤如下:

(1) 首先判断图像块的相邻关系标志,如果相邻关系标志为 '1',则表示当前图像块已被成功预测,此时可根据与相邻关系标志对应的相邻关系,用 2 比特码长来表示编码,并将高位置为 '1',低位表示相邻关系;否则转步骤(2);

(2) 用绝对误差排除算法(AEI)对其进行编码,并用码长标志位(最高位)和码书索引来表示编码值,将码长标志置为 '0',转步骤(3);

x 的相邻块根据不同相邻关系进行预测。预测时,先计算 x 与相邻块的失真测度,当失真测度值小于预先给定的失真测度值阈值 T_d ,则对该矢量预测成功,此时将对应被预测矢量的相邻关系标志置为 '1',而对被预测矢量编码时,则根据相邻关系标志判断是否成功预测,如果已预测成功,则用 2 比特表示编码结果,由于其高位是码长标志,这里取 '1',表示码长是 2 比特,因此解码接收端只取 2 比特;低位表示相邻关系, '0' 代表水平相邻关系 (x 与 a), '1' 代表垂直相邻关系 (x 与 b);如果未成功预测,则用 $\log_2 N + 1$ 比特表示,其最高位是码长标志,后 $\log_2 N$ 位是对应的码书索引值,编码结构如图 3 所示。

(3) 分别计算当前图像块与不同相邻关系图像块的失真测度,如果失真测度小于 T_d ,则对应位置预测成功,并设置相应的相邻关系标志,转步骤(1),对下一图像块进行编码;否则,直接转步骤(2),对下一图像块进行编码。

由于本文采用了超前预测的方法,即在对当前图像块编码时就预测未编码矢量的编码索引,并且简化了预测中的相邻关系,从而不仅降低了预测时的运算量和减少了预测时间,还同时降低了编码的平均比特率。

4 仿真结果

为验证算法的有效性,本文采用 256 灰度级、 512×512 像素的标准 Lena 图像和 Peppers 图像作为测试图像。码书以 Lena 图像和 Peppers 图像为训练图像,它们均采用 LBG 算法^[2]产生,其大小为 1024 码字,每个码字为一个含 16 个像素值的矢量。测试图像按 4×4 个像素大小为单位划分为 16384 个 16 维矢量。编码质量用峰值信噪比 PSNR 来描述,其定义如下

$$PSNR = 10 \log_{10} (255^2 / MSE) \quad (5)$$

其中, MSE 为对测试图像编码的均方误差,定义为

$$MSE = \sum_{i=1}^{16384} \sum_{j=1}^{16} (x_{i,j} - \tilde{x}_{i,j})^2 \quad (6)$$

其中, $x_{i,j}$ 为编码图像像素值, $\tilde{x}_{i,j}$ 为解码图像像素值。本文还对穷尽搜索算法(FS)、基本相关矢量量化算法(BFCVQ 算法和 AEI 算法结合)和绝对误差不等式删除算法(AEI)也作了相应测试。所有测试均在 Pentium IV 1.4G 计算机上进行, 编程语言为 Matlab, 测试结果如表 1、表 2 所示, BFCVQ 和 ACPVQ 算法中阈值 $T_d=20$ 。图 4、图 5 分别是 Lena 和 Peppers 的原始图像和经 ACPVQ 算法编码后的恢复图像。

表 1 Lena 图像的几种算法结果比较

指标	算法			
	FS	BFCVQ	AEI	ACPVQ
搜索比(%)	100	4.576	5.311	4.475
编码时间(s)	13	1.1	1.3	0.97
比特率(bpp)	0.625	0.537	0.625	0.446
PSNR(dB)	30.83	30.01	30.48	30.21

表 2 Peppers 图像的几种算法结果比较

指标	算法			
	FS	BFCVQ	AEI	ACPVQ
搜索比(%)	100	4.626	5.189	4.505
编码时间(s)	12	1.1	1.3	0.92
比特率(bpp)	0.625	0.586	0.625	0.473
PSNR(dB)	30.32	29.34	29.98	29.77



(a) 原始图像



(b) 恢复图像

图 4 Lena 图像



(a) 原始图像



(b) 恢复图像

图 4 Peppers 图像

从实验结果来看, 当 $T_d=20$ 时, ACPVQ 算法在不影响峰值信噪比(PSNR)的情况下, 其编码速度比 FS 算法快 10 多倍, 比 BFCVQ 和 AEI 算法也

快不少, 而且编码时的搜索比只占 FS 算法的 4.5% 左右; 其编码平均比特率比 FS 算法和 AEI 算法低 0.2bpp(bits per pixel)左右, 比 BFCVQ 算法降低约 0.1bpp。

5 结 论

本文提出了一种基于超前相关预测方法和绝对误差不等式删除算法相结合的快速矢量量化图像编码方法。由于该算法充分利用了图像的部分平滑性和高度相关性, 因此编码时可对符合条件的邻近图像小块进行合理的超前预测。同一般搜索算法相比, 此方法能有效地减少编码时间和降低平均比特率。

参 考 文 献

- Gersho A, Gray R M. Vector quantization and signal compression [M]. Boston, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Linde Y, Buzo A, Gray R M. An algorithm for vector quantizer design[J]. IEEE Transactions on Communication, 1980, 28(1): 84~95.
- Moayeri N, Neuhoff D L, Stark W E. Fine-coarse vector quantization[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 39(7):1503~1515.
- Ramamurthi B, Gersho A. Classified vector quantization of images [J]. IEEE Transactions on Communication, 1986, 34(11): 1105~1115.
- Bei C D, and Gray R M. An improvement on minimum distortion encoding algorithm for vector quantization [J]. IEEE Transactions on Communication, 1985, 33(10):1132~1133.
- Soleymani M R, and Morgera S D. An efficient nearest neighbor search method [J]. IEEE Transactions on Communication, 1987, 35(4):677~679.
- Ra S W, Kim J K. A fast mean distant ordered partial codebook search algorithm for vector quantization[J]. IEEE Transactions on Circuit and Systems II, 1993, 40(9): 576~579.
- 陆哲明, 孙圣和. 基于快速相关矢量量化的图象编码算法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(6):489~492.
- 徐润生, 许晓鸣, 张卫东. Fast image encoding algorithm based on mean-match correlation vector quantization[J]. 上海交通大学学报(英文版), 2001, E-6(1): 40~43.



张如亮 1976 年生, 硕士研究生, 1998 年获西安理工大学电子工程系学士学位。研究方向为图像处理专用芯片的研究与设计。



余宁梅 1963 年生,教授,1999 年获日本东北大学工学博士学位。主要研究方向为图像信息处理及大规模集成电路技术研究。



王冬芳 1976 年生,硕士研究生,1999 年获西安理工大学电子工程系学士学位。研究方向为专用集成电路的设计研究。



高勇 1956 年生,教授,博士研究生导师。目前主要从事新型功率半导体器件及集成电路 CAD、半导体光电集成和专用集成电路的研究。

《中国图象图形学报》文后参考文献编排格式

1. 专著、论文集、学位论文、报告

[序号]主要责任者.文献题名[文献类型标识].出版地:出版者(或存放单位),出版年.起止页码.

- 1 刘国钧,陈绍业,王凤.图书馆目录[M].北京:高等教育出版社,1957:15~18.
- 2 张筑生.微分半动力系统的不变集[D].北京:北京大学数学系数学研究所,1983.

2. 期刊文章

[序号]主要责任者.文献题名[J].刊名,年,卷(期):起止页码.

- 1 金显贺,王昌长,王忠东等.一种用于在线检测局部放电的数字滤波技术[J].清华大学学报(自然科学版),1993,33(4):62~67.

3. 论文集集中的析出文章

[序号]析出文献主要责任者.析出文献题名[A].见(In):原文献主要责任者(任选).原文献题名[C].出版地:出版者(或会议地点),出版年:析出文献起止页码.

- 1 钟文发.非线性规划在可燃毒物配置中的应用[A].见:赵玮.运筹学的理论与应用——中国运筹学会第五届大会论文集[C].西安:西安电子科技大学出版社,1996:468~471.
- 2 Middleton V, Owen M J, Elliman D G *et al.* Development in non-axisymmetric filament winding[A]. In:Proceedings of 2nd International Conference on Automated Composite'88 Noordwijkerhout[C], the Netherlands,1988:324~335.

参考文献类型及标识

参考文献类型	专 著	论文集	报纸文章	期刊文章	学位论文	报 告	标 准	专 利
文献类型标识	M	C	N	J	D	R	S	P

电子文献类型参考文献标识

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标识	DB	CP	EB

载体类型标识

载体类型	联机网络	磁带	光盘	磁盘
载体标识	OL	MT	CD	DK