

基于新的空胞腔策略的矢量量化码书设计方法

李碧^{1,2}, 林土胜², 刘清², 范策¹

LI Bi¹, LIN Tu-sheng², LIU Qing², FAN Ce¹

1. 广东外语外贸大学 信息学院, 广州 510420

2. 华南理工大学 电信学院, 广州 510641

1. School of Informatics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510420, China

2. School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

E-mail: libi@mail.gdufs.edu.cn

LI Bi, LIN Tu-sheng, LIU Qing, et al. New empty cell strategy based code book design algorithm for vector quantization. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(28): 40-41.

Abstract: To tackle the empty cell phenomenon in the LBG algorithm, this paper presents a new empty cell strategy which is based on maximization the distance between the code words. The empty cell is filled with the input vector which has the largest distance to the codebook. The goal is to get an even distribution of the code words, alleviating the overall distorting in vector quantization. Experimental results show: the presented strategy can resolve the empty cells problem effectively, outperforming the standard LBG and other competing algorithms. The improvement of peak signal-noise ratio is 3 dB compared with the conventional LBG algorithm.

Key words: image compression; vector quantization; LBG algorithm; empty cells; maximization the distance

摘要: 为了克服传统 LBG 算法中的空胞腔现象, 提出了一种基于码字间距最大化的新的空胞腔策略。利用离码书距离最大的输入矢量来修改胞腔中的码字, 旨在形成码字的合理分布, 减小矢量量化的平均失真。实验结果表明: 提出的策略能有效地消除空胞腔现象, 获得性能较好的码书, 其峰值信噪比比传统的 LBG 算法提高了 3 dB。

关键词: 图像压缩; 矢量量化; LBG 算法; 空胞腔; 间距最大化

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.28.012 **文章编号:** 1002-8331(2008)28-0040-02 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

矢量量化(VQ, Vector Quantization)是一种高效的数据压缩技术, 具有压缩比高以及解码简单等优点, 已广泛应用于语音编码和图像压缩系统^[1-3], 其关键部分是码书的设计。文献[1]提出的 LBG 算法(也称为 K-means 算法), 因其理论严密、实施简便、收敛快速而在矢量量化领域取得广泛的应用。但是 LBG 算法的性能强烈依赖于初始码书, 同时还具有易陷入局部最优的缺点, 无法有效地克服空胞腔现象, 导致所训练的码书的性能比较低。

为了克服 LBG 的这些弊端, 目前很多改进工作都是结合现有的优化算法进行的。文献[3]分析了确定性模拟退火技术、竞争学习算法在图像编码中的压缩机理, 将竞争过程与代价函数最小化结合起来, 在学习过程中引入模拟退火, 提出了一种用于码书设计的随机竞争学习算法(SCLA)。文献[4]利用模拟退火以大的概率选择邻域中的低能量状态, 并通过模拟进化的进化策略给模拟退火的搜索提供更广泛的空间, 提出了一种用

于码书设计的进化模拟退火算法(ESA)。SCLA 和 ESA 减弱了算法对初始码书的依赖性, 提高了码书的性能, 但是增加了大量的时间开销, 是牺牲时间换性能的做法。文献[5]利用次邻域这一信息修改码书中空胞腔的码字, 不仅提高了码书的性能, 而且提高了收敛速度, 减小了时间消耗。

本文提出一种基于码字间距最大化的新的空胞腔策略, 利用离现有码书的距离最大的输入矢量来修改胞腔中的码字, 旨在形成码字的合理分布, 从而获取了性能更好的码书。

1 LBG 算法

设矢量 $X_i \in R^r$, $I = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为输入矢量集; 码字 $V_k \in R^r$, $B = \{V_1, V_2, \dots, V_c\}$ 表示码书。则矢量量化器 Q 可以定义为映射 $Q: I \rightarrow B$ 。把各矢量和码字之间的关系可用如式(1)所定义的隶属矩阵 M_{cn} 确定下来, 式(1)中的 $U_{ik} \in \{0, 1\}$, $U_{ik}=1$ (或 $U_{ik}=0$) 表示 X_i 属于(或不属于)码字 V_k 。 $U_{ik}=1$ 的条件如式(2)所示, 式

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673191); 广东外语外贸大学创新基金资助项目(No.GW2006-TB-012)。

作者简介: 李碧(1973-), 男, 广东外语外贸大学讲师, 华南理工大学博士生, 主要研究方向: 进化计算、图像处理、生物特征识别; 林土胜(1945-), 男, 教授, 博士生导师; 刘清(1977-), 博士生, 主要研究方向: 图像处理、图像检索、图像理解; 范策(1954-), 男, 教授, 主要研究方向: 计算机体系结构, 图形图像处理及算法设计。

收稿日期: 2008-04-07 **修回日期:** 2008-05-14

(2)中的 $D(X_i, V_j)$ 为矢量 X_i 到码字 V_j 的欧拉距离。

$$M_{cn} = \left\{ U \in \mathbb{R}^{c \times n} \mid \sum_{k=1}^c U_{ik} = 1, 0 < \sum_{i=1}^n U_{ik} < n \right\} \quad (1)$$

$$U_{ik} = 1 \Leftrightarrow D(X_i, V_k) = \min\{D(X_i, V_j) \mid 1 \leq j \leq c\} \quad (2)$$

码书的设计是矢量量化的关键部分,常用的码书质量衡量标准之一是式(3)所示的平均失真的大小,另一个衡量码书质量的标准是式(4)所示的峰值信噪比(PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio)。

$$D(I, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n U_{ik} D(X_i, V_k) \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{c \times n} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n U_{ik} D^2(V_i, X_k)} \quad (4)$$

LBG 训练码书的具体算法如下:

Begin

步骤 1 初始化码书 $B^{(0)} = (V_1^{(0)}, V_2^{(0)}, \dots, V_c^{(0)})$

步骤 2 初始化控制停止阈值 ε , 迭代次数 $t=0$, 根据式(3)求出平均失真 $D(I, B^{(t)})$;

步骤 3 $t=t+1$, 根据式(2)求出式(1)所定义的隶属矩阵 M_{cn} ;

步骤 4 更新码字:

$$\text{if } \sum_{i=1}^n U_{ik} = 0 \text{ then } V_k^j = V_k^{j-1}$$

$$\text{else } V_k^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{ik} X_i}{\sum_{i=1}^n U_{ik}}, 1 \leq k \leq c$$

步骤 5 根据式(3)求出平均失真 $D(I, B^{(t)})$, 如果相对失真不超过停止阈值(即式(5)成立), 转向步骤 3;

End

$$\frac{|D(I, B^{(t-1)}) - D(I, B^{(t)})|}{D(I, B^{(t-1)})} \leq \varepsilon \quad (5)$$

虽然 LBG 算法具有实现简单、收敛速度快的优点,但是在迭代过程中,容易出现所包含的输入矢量为 0 的空胞腔(即 $\sum_{i=1}^n U_{ik} = 0$)。

2 改进的 LBG 算法

从 LBG 算法中可以看出 LBG 算法基于以下两条优化准则:(1)最近邻域准则。即对于给定码书,训练矢量集的最优分类可通过把每个矢量映射为离它最近的码字而得到;(2)质心条件。即对于给定的训练矢量分类,其对应的最优码书中各码字是通过求各胞腔的中心矢量而获得。但是 LBG 算法没有很好地处理空胞腔现象,导致所得码书的性能比较低。

空胞腔的示意图如图 1 所示,小原点表示输入矢量,实心的三角形表示非空胞腔(码书),空心的三角形表示空胞腔。按照传统的 LBG 算法,图 1 中的空胞腔是无法消除的,所以导致码书的性能下降。图 1 中的特殊的几个输入矢量(用实心的小原点表示),把它们归入现存的任何一个实心的胞腔都不是很好的,所以本文的策略是找到一个象图 1 中的小黑点一样的特殊输入矢量,如果它离现在的码书的距离是最远的,就用它来作为一个新的胞腔,这样达到消除空胞腔的目的。

设 $D(X, V_k)$ 表示矢量 X 到码字 V_k 的欧拉距离,则矢量 X 到码书 B 的距离 $R(X, B)$ 的定义如式(6)所示:

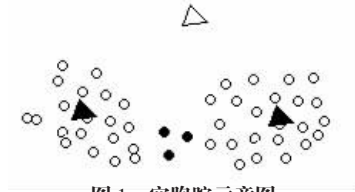


图 1 空胞腔示意图

$$R(X, B) = \min\{D(X, V_k) \mid V_k \in B\} \quad (6)$$

设 X_e 为到码书距离最大的输入矢量,即:

$$R(X_e, B) = \max\{R(X_i, B) \mid X_i \in I\} \quad (7)$$

本文提出的改进 LBG 算法就是在对待空胞腔的策略上作出改进。

同传统的 LBG 算法相比,把其中的步骤 4 更改为:

$$\text{if } \sum_{i=1}^n U_{ik} = 0 \text{ then } V_k^j = X_e$$

$$\text{else } V_k^{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{ik} X_i}{\sum_{i=1}^n U_{ik}}, 1 \leq k \leq c$$

3 实验和讨论

实验中所采用的图片都是 256×256 的灰度标准图像。图像都被分成 4×4 的小方块,每一个小方块都看成一个 16 维的矢量,码书的大小是 256, ε 的取值为 0.000 1, 初始码书随机产生。

表 1 是本文提出的算法和传统 LBG 算法运行 30 次的码书统计性能比较。MIN、MAX、STD 分别表示最小值、最大值和均方差。从表 1 中的数据可以看出,本文提出的算法所得到的码书质量比 LBG 平均提高了 3 dB。本文算法所得码书的均方差也只有 0.064, 小于 LBG 的 0.21, 结合最大值和最小值的比较情况可以看出,本文所提出的算法所得码书的质量受初始码书的影响明显要小。LBG 算法在 30 次的运算过程中,至少存在 189 个空胞腔,最多的时候存在 208 个空胞腔,并且在算法收敛的过程中,空胞腔的数目没有减少;本文提出的算法能够完全消除空胞腔现象,达到码字的合理均匀分布,所以码书的质量相比于 LBG 提高了 3 dB。

表 1 码书统计性能比较(RSNR) dB

	MIN	MAX	MEAN	STD
本文的算法	29.37	29.63	29.50	0.064
传统 LBG 算法	26.12	26.98	26.46	0.210

图 2 是本文的算法和传统 LBG 算法作用在 Lenna 上的解码图。与 LBG 算法的解码图相比,本文提出的算法的解码图的轮廓比较清晰、方格现象得到了有效的减弱,具有较好的主观效果。

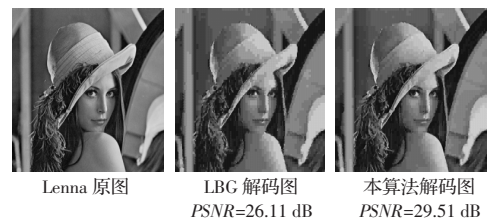


图 2 本文算法同 LBG 算法的解码效果比较图