

一种基于不等式的矢量量化快速码字搜索算法

木春梅, 韩守梅

(北京科技大学信息学院, 北京 100083)

摘要: 传统矢量量化编码算法码字搜索范围较大, 编码时间较长. 文章提出一种基于不等式的矢量量化快速码字搜索算法. 该算法将方差不等式和三角不等式引入范数排序算法(NOS), 有效减小了码字搜索范围. 实验结果表明, 重构图像峰值信噪比(PSNR)相同时, 该算法编码时间较低.

关键词: 矢量量化; 码字搜索; 范数排序; 方差不等式; 三角不等式

中图分类号: TN919.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 2A-218-03

A Fast Codeword Search Algorithm for Vector Quantization

MU Chun-mei, HAN Shou-mei

(School of Information Engineering of USTB, Beijing 100083, China)

Abstract: The traditional vector quantization encoding algorithm is associated with large search range and long encoding time. A fast codeword search algorithm based on inequality for vector quantization is presented in this paper. The algorithm introduces variance inequality and triangle inequality into NOS, which effectively reduces the codeword searching range. Experimental results show that, the algorithm developed in this research can reduce the encoding time with the same PSNR.

Key words: vector quantization; codeword search; norm order; variance inequality; triangle inequality

1 引言

矢量量化^[1,2]是一种简单有效的数据压缩技术, 目前被广泛应用于图像压缩^[3]和语音信号处理^[4]等领域. 在矢量量化编码算法中, 穷尽搜索(Full Search, FS)算法是一种最基本的最近邻码字搜索算法. 它需要计算输入矢量与所有码字之间的失真, 并通过比较找出失真最小的码字作为最佳匹配码字. 该算法在码书较大, 矢量维数较高的情况下, 编码时间较长. 许多文献提出了一些基于不等式快速码字搜索算法, 如部分失真搜索算法^[5](PDS), 范数排序搜索算法^[6,7](NOS)和方差不等式删除准则^[8]等, 本文将方差不等式判决和三角不等式判决同时引入范数排序算法, 大大减小了码字的搜索范围, 提高了编码速度. 文章最后对几种码字搜索算法进行了仿真实验和分析比较.

2 范数排序搜索(NOS)算法

一个 k 维输入矢量 \mathbf{x} 与码字 $y_i \in C$ 之间的失真测度通常采用平方误差测度来描述, 即

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

则输入矢量 \mathbf{x} 与最佳匹配码字 y_p 之间的失真为

$$d(x, y_p) = \min_{0 \leq i \leq N-1} d(x, y_i) \quad (2)$$

C 为码书, N 为码书尺寸.

文献[6]定义矢量 x 的范数为 $\|x\| = \sqrt{\sum_{l=1}^k x_l^2}$, 利用柯西-许瓦尔兹不等式, 有

$$\sum_{l=0}^{k-1} x_l y_{il} \leq \sqrt{x_{l1}^2 + x_{l2}^2 + \dots + x_{lk}^2} \cdot \sqrt{y_{i1}^2 + y_{i2}^2 + \dots + y_{ik}^2} = \|x\| \cdot \|y_i\| \quad (3)$$

$$\begin{aligned} d(x, y_i) &= (x - y_i)^2 = \|x\|^2 - 2 \sum_{l=0}^{k-1} x_l y_{il} + \|y_i\|^2 \\ &\geq \|x\|^2 - 2 \|x\| \cdot \|y_i\| + \|y_i\|^2 \\ &= (\|x\| - \|y_i\|)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

定理 1 设当前的最小失真测度为 $d_{\min} = d(x, y_p)$, 如果输入矢量 x 与码字 y_i 的失真

$$d(x, y_i) > (\|x\| - \|y_i\|)^2 \geq d_{\min} \quad (5)$$

即如果 $\|y_i\| \geq \|x\| + \sqrt{d_{\min}}$ 或者 $\|y_i\| \leq \|x\| - \sqrt{d_{\min}}$, 则码字 y_i 可以被排除.

图 1 为码字搜索范围二维情况的示意图, 图中以原点 O 为球心的超球面上各点的范数相同. 因此范数排序搜索算法将搜索范围限制在了码字范数分别为 $N1 = \|x\| - \sqrt{d_{\min}}$ 和 $N2 = \|x\| + \sqrt{d_{\min}}$ 的两个以原点 O 为球心的同心超球面 $N1$ 和 $N2$ 内, 如图 1 所示. 超球面 $N1$ 和 $N2$ 所夹范围之外的码字 y_i 其范数必满足式(5),

因而可以被排除。

范数排序算法需要在编码前预先计算各码字的范数,并按范数的大小对码书进行排序。搜索时计算输入矢量 x 的范数,在码书中找出范数与输入矢量范数最

邻近的码字作为初始匹配码字。然后在初始匹配码字两侧按往返搜索算法^[1]进行往复搜索,判断不等式(5)是否成立。如果某个方向上满足不等式(5),则该方向搜索停止。当两个搜索方向都停止时,码字搜索结束。

3 本文算法

为进一步减小搜索范围,本文将方差判决准则和三角不等式判决准则^[9]同时引入范数排序算法。方差不等式判决准则和三角不等式判决准则可分别由定理2和定理3描述:

定理 2 设输入矢量 x 的方差为 v_x , 码字 y_i 的方差为 v_i , 当前最小失真为 $d_{\min} = d(x, y_p)$, 如果

$$|v_i - v_x| \geq \sqrt{d_{\min}} \quad (6)$$

即 $v_i \geq v_x + \sqrt{d_{\min}}$ 或者 $v_i \leq v_x - \sqrt{d_{\min}}$, 则 $d(x, y_i) \geq d(x, y_p)$, 码字 y_i 可以被排除。

定理 3 设当前最小失真为 $d_{\min} = d(x, y_p)$, y_i 和 y_p 为相异码字, 如果

$$d(y_p, y_i)/4 \geq d(x, y_p) \quad (7)$$

则有 $d(x, y_i) \geq d(x, y_p)$, 码字 y_i 可以被排除。

由几何知识可知,在图1中以中心线 L 为轴心的超圆柱面上各点的方差相同。因此方差不等式判决准则将搜索范围限制在了如图1中所示同轴的两个超圆柱面 $V1$ 和 $V2$ 所夹的范围之内,两个圆柱面上所有码字的方差分别为 $V1 = v_x - \sqrt{d_{\min}}$ 和 $V2 = v_x + \sqrt{d_{\min}}$ 。在两个圆柱面所夹范围之外的码字其方差必满足式(6),因而可以被排除。同时,以当前最近邻码字 y_p 为球心, $2\sqrt{d(y_p, x)}$ 为半径的超球面外的任何码字都满足式(7),可以被排除是输入矢量 x 的最近邻码字。因此,三角不等式判决准则将码字搜索范围限制在图1所示 S 超球面内。由图可见,将方差判决和三角不等式判决引入范数排序算法后,码字搜索范围被限制在如图1所示的阴影部分内,与单独范数排序算法相比较大大减小了搜索范围,从而提高了编码速度。

本文算法具体步骤如下:

(1)预处理:离线计算各码字的范数 $\|y_i\|$ 和方差 v_i ,

$i = 0, 1, \dots, N - 1$ 。按范数 $\|y_i\|$ 的大小对码书进行重新排序,并把排序后的范数 $\|y_i\|$ 和方差 v_i 也重新存储在码书 Y 中,计算码字间的距离并存储。

(2)在线处理:

(a)计算输入矢量的范数 $\|x\|$, 在码书中找到范数与 $\|x\|$ 的值最近邻的码字 y_p , 将其作为初始匹配码字。计算当前最小失真为 $d_{\min} = d(x, y_p)$, 使集合 $R = \{y_i | y_i \in Y, i \neq p\}$ 。

(b)如果集合 R 为空,转步骤(g)。

(c)按往返搜索算法在初始码字两侧往返搜索码字 y_j 。

(d)如果 $\|y_j\| \geq \|x\| + \sqrt{d_{\min}}$ 或者 $\|y_j\| \leq \|x\| - \sqrt{d_{\min}}$, 则执行下列步骤的(i)或者(ii)。否则,转步骤(e)。

(i)如果 $\|y_j\| \geq \|x\|$, 则从集合 R 中删除所有码字 $y_j, i \geq j$, 转步骤(b)。

(ii)否则,则从集合 R 中删除所有码字 $y_j, i \leq j$, 转步骤(b)。

(e)判断 $d(y_p, y_j)/4 \geq d_{\min}$ 是否成立,若成立则从集合 R 中删除码字 y_j , 转步骤(b); 否则,计算输入矢量 x 的方差 v_x , 如果 $v_j \geq v_x + \sqrt{d_{\min}}$ 或者 $v_j \leq v_x - \sqrt{d_{\min}}$, 则从集合 R 中删除码字 y_j , 转步骤2。否则,转步骤(f)。

(f)用部分失真搜索算法搜索余下码字 y_j , 如果 $d(x, y_j) < d_{\min}$, 则更新 $d_{\min} = d(x, y_j)$, $p = j$, 从集合 R 中删除 y_j , 转步骤(b)。

(g)确定与输入矢量 x 最匹配的码字为 y_p 。

4 仿真实验

仿真实验分别采用 512×512 尺寸, 256 灰度级的 Lena、Peppers、和 Bridge 图像作为测试图像, 矢量维数取 16 维, 采用 LBG^[2,10] 算法来设计码书。用 FS 算法、PDS 算法、NOS 算法和本文算法进行码字搜索。表1是各算法编码时间和重构图像峰值信噪比的比较。由表1可看出, 本文算法的编码时间较其他算法短, 证明了本文搜

表1 各算法编码时间比较(矢量维数: $k = 4 \times 4$, 单位: 秒)

码书尺寸 N	编码图像	各算法编码时间(秒)				重构图像 RSNR(db)
		FS	PDS	NOS	本文算法	
1024	Lena	4.084	1.078	0.783	0.500	35.578
	Peppers	4.015	1.016	0.832	0.485	34.151
	Bridge	4.219	1.359	0.725	0.435	27.232
512	Lena	2.031	0.562	0.424	0.281	33.817
	Peppers	2.047	0.547	0.312	0.204	32.568
	Bridge	2.047	0.735	0.412	0.315	26.284
256	Lena	1.015	0.328	0.198	0.131	32.568
	Peppers	1.026	0.297	0.172	0.125	31.229
	Bridge	1.013	0.406	0.250	0.134	25.554

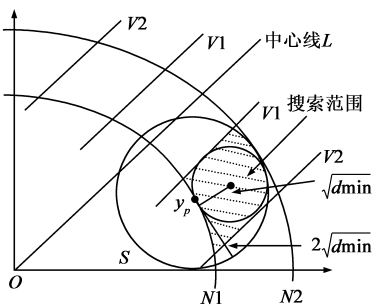


图1 本文算法码字搜索范围

索算法的有效性. 由于仿真实验中各快速算法都不会引入额外失真, 所以, 各算法在码书相同的情况下编码后重构图像的峰值信噪比相同, 如表 1 中所示.

5 小结

本文将方差判决和三角不等式判决与范数排序算法相结合, 介绍了一种基于不等式的快速码字搜索算法. 实验结果表明, 该算法大大减小码字搜索范围, 提高了编码速度, 是一种有效的矢量量化编码算法.



原始Lena图像



$N=1024$ 时重构Lena



$N=512$ 时重构Lena



$N=256$ 时重构Lena

图2 重构图像主观质量比较

参考文献:

- [1] 孙圣和, 陆哲明. 矢量量化技术及应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002. 34 - 41.
- [2] Y Linde, A Buzy, R M. Gray. An algorithm for vector quantizer design[J]. IEEE Trans. on Commu, Jan. 1980, 28(1): 55 - 66.
- [3] 范静辉, 吴建华, 刘晔. 基于矢量量化和区域生长的彩色图像分割新算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 9(10): 1079 - 1081.
Fan Jing-hui, Wu Jian-hua, Liu Ye. A novel color image segmentation algorithm based on vector quantization and region growing[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 9(10): 1079 - 1081.
- [4] 赵群群, 张雪英. 直接矢量量化方法在语音编码算法中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(15): 39 - 42.

Zhao Qun-qun, Zhang Xue-ying. Application of direct vector quantization to speech coding algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(15): 39 - 42.

- [5] C D Bei, R M Gray. An improvement of the minimum distortion encoding algorithm for vector quantization[J]. IEEE Transactions on Communications, 1985, 33(10): 1132 - 1133.
- [6] K S Wu, J C Lin. Fast VQ encoding by an efficient kick-out condition[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(1): 59 - 62.
- [7] Byung Cheol Song, Jong Beom Ra. A fast search algorithm for vector quantization using L2-Norm Pyramid of Codewords[J]. IEEE Transactions on image processing, 2002, 11(1): 10 - 15.
- [8] C H Lee, L H Chen. Fast closest codeword search algorithm for vector quantization[J]. IEEE Processings-Vision, Image and Signal Processing, 1994, 141(3): 143 - 148.
- [9] 陆哲明, 潘正祥, 孙圣和. 一种矢量量化码书搜索的快速算法[J]. 电子学报, 2000, 28(2): 133 - 135.
Lu Zhe-ming, Pan Zheng-xiang, Sun Sheng-he. A fast codebook search algorithm for vector quantization[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(2): 133 - 135.
- [10] Kuldip K. Paliwal, V. Ramasubramanian. Comments on "Modified K-means algorithm for vector quantizer design" [J]. IEEE Trans. on Image, 2000, 9(11): 1964 - 1967.

作者简介:



木春梅 女, 1979年4月生, 硕士.

E-mail: muchm@ustb.edu.cn



韩守梅 女, 1965年生, 高级工程师.