

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **3**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

## 目次

### 图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 ..... 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 ..... 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 ..... 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 ..... 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 ..... 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 ..... 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

### 图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 ..... 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 ..... 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 ..... 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 ..... 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 ..... 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镛(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 ..... 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 ..... 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 ..... 程金梅,叶永强,姜斌(393)

## 图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 ..... 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 ..... 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

## 计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 ..... 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 ..... 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 ..... 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

## 遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 ..... 冯永玖,韩震(441)

# 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa. ac. cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

## Contents

### Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations ..... Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery ..... Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions ..... Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model ..... Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet  
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size ..... Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

### Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation ..... Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition ..... Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking ..... Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection  
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention  
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample ..... Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes  
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative ..... Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

### Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency ..... Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration  
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

### Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points ..... Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline  
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification ..... Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

### Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application  
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图分类号: TN919.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0315-06

论文引用格式: 吴鑫鹏, 潘志斌, 李达. 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 315-320

# 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法

吴鑫鹏, 潘志斌, 李达

西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049

**摘要:** 矢量量化编码过程中需要进行大量的矢量间距离计算, 这个过程的计算复杂度极高, 严重限制了其实际应用。为了加速矢量量化的编码过程, 已经提出了各种基于1维特征量的码字搜索算法来减小码字搜索的范围。本文在基于不等式的快速搜索算法基础上, 通过使用更有效的基于特征量的搜索算法, 并引入自适应子矢量划分的方法, 将额外增加的存储空间从  $N(N-1)/2$  降低到了  $13N$ , 码字搜索范围减小了 33.88% ~ 50.94%, 编码时间减少了 10.82% ~ 27.16%。

**关键词:** 矢量量化; 快速码字搜索; 1维特征量; 子矢量划分; 自适应

## Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions

Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da

School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

**Abstract:** In the encoding process of vector quantization (VQ), a great deal of distance computations between vectors are needed, which is computationally expensive and prevents its practical applications. In order to speed up the VQ encoding process, lots of fast codeword search algorithms based on 1-D characteristics have been proposed for reducing the codeword search space. This paper aims at improving the method using inequality proposed by Mu et al by using more effective method based on 1-D characteristics and adaptive subvector partitions. The experimental results show that our proposed scheme can reduce the extra memory requirement from  $N(N-1)/2$  to  $13N$ , meanwhile reducing the codeword search space by 33.88% ~ 50.94% and reducing the encoding time by 10.82% ~ 27.16%.

**Key words:** vector quantization; fast codeword search; 1-D characteristics; adaptive subvector partition

## 0 引言

矢量量化(VQ)<sup>[1]</sup>技术, 因其算法原理简单, 编解码容易且便于软硬件实现, 已经被广泛应用于图像压缩和语音信号处理等领域, 但是编码时需要计算大量的矢量间欧氏距离, 计算代价极高。矢量量化(VQ)与离散余弦变换(DCT)及离散小波变换

(DWT)都是常用的图像压缩编码的方法, 得到广泛的研究和应用。从性能上看, 基于DCT的编码方法其复杂度要比基于DWT的方法低, 但编码性能会有最多1.0 dB的降低<sup>[2]</sup>。在小压缩比情况下, 用JPEG方法重建的图像性能要优于用VQ法的性能, 而在大压缩比情况下, VQ方法重建的图像性能要优于用JPEG方法的性能, 且VQ方法要比JPEG简单<sup>[3]</sup>。因此, 与DCT和DWT这两种编码方法相比,

收稿日期: 2011-03-07; 修回日期: 2011-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(60672054); 陕西省科学技术攻关项目(2008K04-01); 高校博士点基金项目(20100201110030)

第一作者简介: 吴鑫鹏(1987—), 男, 西安交通大学信息与通信工程专业硕士研究生, 主要研究方向为图像编码。E-mail: sinpose@

VQ 具有以下特性:首先,VQ 算法原理简单,易于实现;其次,VQ 所使用的码书是通过训练得到的,是数据依存的,因此对给定的数据类型,在大压缩比情况下重建图像的性能会比基于固定变换基的 DCT, DWT 方法更好;第三,由于 VQ 是对矢量进行量化,而 DCT, DWT 方法在量化阶段采用的是标量化,因此存在 VQ 与 DCT 和 DWT 这两种编码方法相结合,从而进一步提高编码性能的可能。

矢量量化的编码过程就是在给定的码书  $C = \{y_i \in \mathbf{R}^k, i = 0, 1, \dots, N-1\}$  中找到与输入矢量  $\mathbf{x} = (x_0 \ x_1 \ \dots \ x_{k-1})^T$  最匹配的码字  $\mathbf{y}_w = (y_{w0} \ y_{w1} \ \dots \ y_{w(k-1)})^T$  (winner codeword), 从而使  $\mathbf{x}$  和  $\mathbf{y}_w$  之间的失真最小。失真通常采用平方欧氏距离来衡量,即

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_i) = \sum_{j=0}^{k-1} (x_j - y_{ij})^2 \quad (1)$$

其中编码时需要计算大量的矢量间欧氏距离,计算代价极高,严重限制了矢量量化技术的应用和进一步发展,因此研究矢量量化中码字的快速搜索算法具有十分重要的意义。

为了加速搜索过程,许多文献提出了各种快速搜索算法。很多快速算法是基于矢量的 1 维特征量的,文献[4]提出使用均值特征量,文献[5]提出使用范数特征量,文献[6]提出使用方差特征量,文献[7]则提出使用角度特征量,进一步明显地减小了算法的搜索范围。许多文献[6,8-9]进一步提出了对 1 维特征量进行组合使用的方法,文献[8]提出了等范数等方差搜索算法,将范数和方差两个特征量相结合,文献[6]提出了等均值等方差最近邻搜索算法(EENNS),它同时使用均值和方差两个特征量,更进一步减小了算法的搜索范围。为了更进一步降低 EENNS 算法的搜索范围,文献[9]提出了一种改进算法(IEENNS),该算法提出了均值-方差不等式删除准则,把均值和方差结合在一个不等式中。文献[10]则证明了组合使用两个特征量时,IEENNS 算法不仅搜索范围最小,编码时间也最少,文献[11]从实验上也证实了这一结论。此外,文献[12]提出了基于三角不等式的快速编码算法,有效地减小了欧氏距离的在线计算量,但也同时极大地增加了存储空间开销。文献[13]提出基于子矢量特征的搜索算法,文献[14]则提出在 Hadamard 变换域中分割矢量的快速搜索算法,都有效地加速了编码过程。

## 1 已有的工作

最近,文献[15]提出了一种高效的基于不等式的矢量量化快速码字搜索算法,将三角不等式判决准则引入等范数等方差搜索算法<sup>[8]</sup>,其中范数判决准则,三角不等式判决准则和方差判决准则分别由定理 1—定理 3 描述:

在码字搜索过程中,设  $\mathbf{y}_p$  为当前已经找到的最匹配码字,则当前已经获得的最小失真为  $d_{\min} = d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_p)$ 。

**定理 1** 设输入矢量  $\mathbf{x}$  的范数为  $\|\mathbf{x}\|$ , 码字  $\mathbf{y}_i$  的范数为  $\|\mathbf{y}_i\|$ , 如果

$$(\|\mathbf{y}_i\| - \|\mathbf{x}\|)^2 \geq d_{\min} \quad (2)$$

成立,则  $d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $\mathbf{y}_i$  可以被排除。

**定理 2** 设  $\mathbf{y}_i$  和  $\mathbf{y}_p$  为二个相异码字,如果

$$d(\mathbf{y}_i, \mathbf{y}_p)/4 \geq d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_p) \quad (3)$$

成立,则  $d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $\mathbf{y}_i$  可以被排除。

**定理 3** 设输入矢量  $\mathbf{x}$  的方差为  $v_x$ , 码字  $\mathbf{y}_i$  的方差为  $v_i$ , 如果

$$|v_i - v_x| \geq \sqrt{d_{\min}} \quad (4)$$

成立,则  $d(\mathbf{x}, \mathbf{y}_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $\mathbf{y}_i$  可以被排除。

文献[15]的算法在开始搜索前需要离线计算各码字  $\mathbf{y}_i$  的范数  $\|\mathbf{y}_i\|$  和方差  $v_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , 然后按范数  $\|\mathbf{y}_i\|$  的大小对码书进行升序排列。同时需要计算任意两个码字间的距离  $d(\mathbf{y}_i, \mathbf{y}_j)$ , 并存储在  $N(N-1)/2$  个单位的存储空间。在编码阶段,需要在线计算输入矢量  $\mathbf{x}$  的范数  $\|\mathbf{x}\|$  和方差  $v_x$ , 通过二分查找法在码书中找到范数与  $\|\mathbf{x}\|$  值最接近的码字  $\mathbf{y}_p$  作为初始匹配码字,然后在该初始匹配码字  $\mathbf{y}_p$  附近进行上下搜索,一旦某个方向上的码字的范数满足式(2),则停止该方向的搜索;否则,判断式(3)是否成立,如果成立则排除码字  $\mathbf{y}_i$ ; 否则如果式(4)成立,码字  $\mathbf{y}_i$  也可以排除。如果以上排除判断都失败了,那么最后用部分失真搜索算法 PDS (partial distortion search) 搜索余下的码字,并不断更新  $d_{\min}$ , 搜索过程结束后,最终即可找到与输入矢量  $\mathbf{x}$  最匹配的码字  $\mathbf{y}_w$ 。

文献[15]的算法有效地减小了码字搜索范围,提高了编码速度,但仍然存在两个不足之处。一是算

法直接组合使用了范数与方差这两个特征量,但文献[9-10]已证明,组合使用两个特征量时,有  $k(m_i - m_x)^2 + (v_i - v_x)^2 \geq (\|y_i\| - \|x\|)^2$  成立,这保证了 IEENNS 算法搜索范围最小且编码时间最少,因此文献[15]使用范数和方差的搜索方法一定不是最佳的。二是算法使用了三角不等式判决准则,因而需要离线计算所有码字间的距离并存储。对于大小为  $N$  的码书,需要  $N(N-1)/2$  个单位的存储空间,空间开销太大。此外,如图1所示,设输入矢量为  $x$ ,当前最佳匹配码字为  $y_p$ ,那么最佳匹配码字一定在以  $x$  为圆心,  $\sqrt{d_{\min}}$  为半径的虚线所示的超球体内,而文献[15]中三角不等式所能够限定的搜索范围则是以  $y_p$  为圆心,  $2\sqrt{d_{\min}}$  为半径的实线所示的超球体,远大于最佳匹配码字所在的范围,可见三角不等式并不能非常有效地降低码字搜索范围。

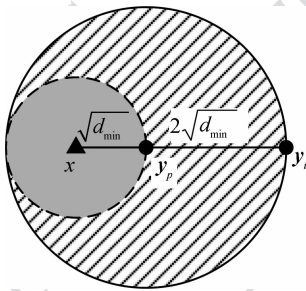


图1 基于三角不等式排除减小的搜索范围示意图

Fig.1 Reduced search space based on the triangle inequality test

## 2 本文算法

当组合使用两个特征量时,因为文献[11]已证

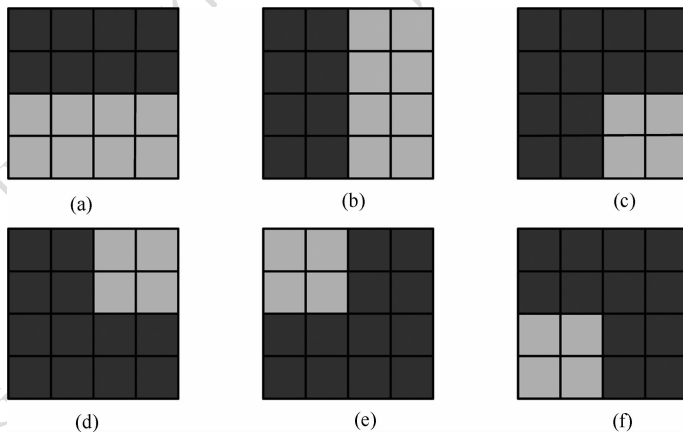


图2 对  $n \times n$  的图像块的6种可能的划分方式

Fig.2 Six possible partition patterns for an  $n \times n$  block

明改进的等均值等方差搜索算法(IEENNS)的效果是最佳的,因此本文将使用性能更好的 IEENNS 算法取代文献[15]中基于范数和方差的搜索算法。其中均值判决准则和均值-方差不等式判决准则分别由定理4和定理5描述。

**定理4** 设输入矢量  $x$  的均值为  $m_x$ , 码字  $y_i$  的均值为  $m_i$ , 如果

$$|m_i - m_x| \geq \sqrt{d_{\min}/k} \quad (5)$$

成立,则  $d(x, y_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $y_i$  可以被排除。

**定理5** 如果

$$k(m_i - m_x)^2 + (v_i - v_x)^2 \geq d_{\min} \quad (6)$$

成立,则  $d(x, y_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $y_i$  可以被排除。

使用 IEENNS 算法进行判决后,为了进一步减小码字搜索范围,引入自适应子矢量划分的算法。显然,进行子矢量划分后,提高了进行  $x$  和  $y_i$  匹配时求距离估计的精确程度。两种极端情况是:第一,没有进行划分子矢量,即用原来的矢量进行匹配,效果不变;第二,划分成  $k$  个子矢量( $k$  为码字维数),即相当于按单个像素进行匹配,则结果一定最为精确,但计算量也最大。综合考虑精确程度和计算量,本文将码字划分成两个子矢量,对  $n \times n$  ( $n = 4$ ) 的图像块按图2所示的6种方式进行划分。

相应地,将  $k$  维输入矢量  $x$  和码字  $y_i$  划分成两个维数分别为  $k_1$  (对应黑色部分)和  $k_2$  (对应灰色部分)的子矢量  $(x_1, x_2)$  和  $(y_1, y_2)$ ,子矢量的和值与均值的定义为

$$\begin{aligned}
 S1_{x_i} &= \sum_{j=0}^{k_1-1} x_j, S2_{x_i} = \sum_{j=k_1}^{k-1} x_j \\
 S1_{y_i} &= \sum_{j=0}^{k_1-1} y_{ij}, S2_{y_i} = \sum_{j=k_1}^{k-1} y_{ij} \quad (7) \\
 M1_{x_i} &= S1_{x_i}/k_1, M2_{x_i} = S2_{x_i}/k_2 \\
 M1_{y_i} &= S1_{y_i}/k_1, M2_{y_i} = S2_{y_i}/k_2
 \end{aligned}$$

完成子矢量划分之后,需要在以上 6 种划分方式中为每个码字  $y_i$  选择一种最佳划分方式,选择规则为

$$|M1_{y_i} - M2_{y_i}| \Rightarrow \max \quad (8)$$

这是由于两个子矢量均值的差值越大,表示它们之间的差异越大,图像块的两个子块之间的边缘变化越明显。那么输入矢量和码字的对应子矢量之间的差值较大的可能性就越大,越有利于下面基于式(9)的排除。

**定理 6** 设  $y_p$  为当前最匹配码字,当前最小失真为  $d_{\min} = d(\mathbf{x}, y_p)$ , 如果

$$(S1_x - S1_{y_i})^2/k_1 + (S2_x - S2_{y_i})^2/k_2 \geq d_{\min} \quad (9)$$

成立,则  $d(\mathbf{x}, y_i) \geq d_{\min}$  一定成立,那么码字  $y_i$  可以被排除。

对于自适应子矢量划分的方法,因为每种情况对应 2 个子矢量,因此对每个  $y_i$  需要离线分别计算和存储 6 种情况下共  $2 \times 6 = 12$  个子矢量的和值,并且需要记下每个码字所选的最佳划分方法,因此对于大小为  $N$  的码书,需要  $13N$  个单位的额外存储空间,当码书较大(如  $N = 1024$  时),用自适应子矢量划分的方法,所需的额外存储空间比使用文献[15]中的三角不等式可减少  $1 - 13N/[N(N-1)/2] = 97.46\%$ 。

本文算法的具体步骤可归纳如下:

1) 离线计算

(1) 计算各码字  $y_i$  的均值  $m_i$  和方差  $v_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , 然后按均值  $m_i$  的大小对码书进行升序排序。

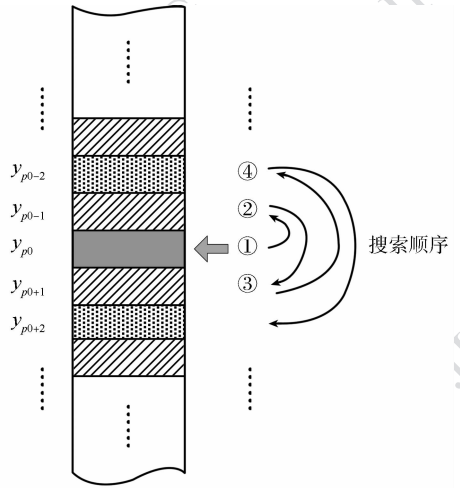
(2) 对排序的码字分别按图 2 所示 6 种情况进行子矢量划分,计算对应每种划分的子矢量的和值  $S1_{y_i}$  和  $S2_{y_i}$  并存。计算各子矢量均值  $M1_{y_i}$  和  $M2_{y_i}$ , 根据式(8)的条件为每个码字选择最佳的子矢量划分方式并保存。

2) 在线计算

(1) 计算输入矢量  $\mathbf{x}$  按图 2 所示 6 种情况划分下各子矢量的和值并保存。

(2) 计算输入矢量  $\mathbf{x}$  的均值  $m_x$ , 找出排序后码书中均值与  $m_x$  最接近的码字  $y_{p_0}$ , 并将该码字作为初始匹配码字,此时  $y_p = y_{p_0}$ , 计算初始  $d_{\min} = d(\mathbf{x},$

$y_{p_0})$ 。然后在码字  $y_{p_0}$  附近,如图 3 所示,进行上下搜索。一旦某个方向上的码字均值满足式(5),则该方向的搜索停止。



按均值升序排序后的码书

图 3 码字上下往复搜索示意图

Fig. 3 Sequence of codeword search in an up-and-down way

(3) 否则计算输入矢量  $\mathbf{x}$  的方差  $v_x$ , 判断式(6)是否成立,若成立,则排除当前码字  $y_i$ 。

(4) 否则根据已经存储的当前码字  $y_i$  的最佳子矢量划分方式,选择输入矢量  $\mathbf{x}$  与之相同的划分方式,计算并判断式(9)是否成立,若成立,则排除当前码字  $y_i$ 。

(5) 否则用部分失真搜索算法(PDS)进一步测试码字  $y_i$ , 如果

$$d_q(\mathbf{x}, y_i) = \sum_{j=0}^q (x_j - y_{ij})^2 \geq d_{\min}$$

( $0 \leq q \leq k-1$ ) 成立,则排除当前码字  $y_i$ 。否则,当  $q = k-1$  时,如果  $d_q(\mathbf{x}, y_i) < d_{\min}$ , 表明码字  $y_i$  比当前已找到的最匹配码字  $y_p$  更好,因此需要进行更新  $y_p \leftarrow y_i, d_{\min} \leftarrow d_q(\mathbf{x}, y_i)$ 。

### 3 实验结果

本文算法的仿真实验在 Intel core2 主频 3 GHz、内存 2 G 的个人计算机上进行。采用  $512 \times 512$  的 Lena 图像作为训练集,矢量维数为  $4 \times 4$ , 利用 LBG 算法生成码书,码书大小分别为 128、256、512 和 1024。测试图像如图 4 所示,为  $512 \times 512$  的 Lena、Peppers、Airplane、Splash、Baboon 和 Bridge 图像。

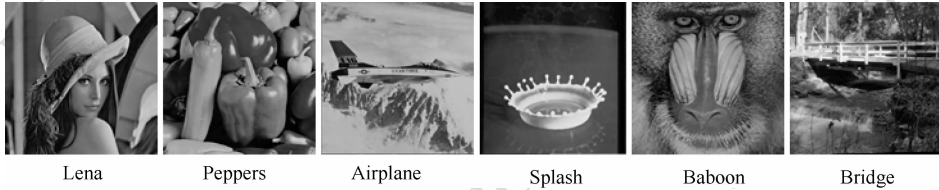


图4 实验中使用的6幅测试图像

Fig. 4 Six test images

本文的快速搜索算法和文献[15]的算法都是全搜索等价(full-search-equivalent)的,因此它们具有相同的PSNR(peak signal to noise ratio)。表1给出了不同实验条件下的PSNR值,同时给出了本文算法与文献[15]算法搜索空间和编码时间的比

较,这里搜索空间指需要计算矢量间距离的码字数,搜索空间越小,表明算法越有效。可以看出本文算法较文献[15]算法在搜索空间上可以减小33.88%~50.94%,在编码时间上有10.82%~27.16%的减少。

表1 平均每个输入矢量搜索空间和编码时间的比较

Table 1 Comparison of search space and encoding time for each input vector on average

码书大小	图像	PSNR	搜索空间		减小率/%	编码时间/ms		减小率/%
			文献[15]算法	本文算法		文献[15]算法	本文算法	
128	Lena	31.529	3.47	2.06	40.63	15.78	12.03	23.76
	Peppers	29.139	3.60	2.02	43.89	16.09	11.72	27.16
	Airplane	28.960	3.99	2.22	44.36	16.09	11.88	26.17
	Splash	28.354	2.98	1.75	41.28	14.53	10.62	26.91
	Baboon	23.401	16.23	8.17	49.66	37.19	28.59	23.12
	Bridge	23.600	12.76	6.26	50.94	30.94	23.59	23.76
256	Lena	32.457	5.58	3.44	38.35	20.62	16.88	18.14
	Peppers	30.063	5.87	3.33	43.27	21.09	16.56	21.48
	Airplane	29.540	6.48	3.65	43.67	21.56	17.03	21.01
	Splash	29.424	4.52	2.71	40.04	17.97	14.06	21.76
	Baboon	23.797	28.88	14.91	48.37	59.53	48.29	18.88
	Bridge	24.128	21.82	11.01	49.54	47.19	37.81	19.88
512	Lena	33.619	8.76	5.55	36.64	27.81	24.53	11.79
	Peppers	30.580	10.28	5.85	43.09	30.15	25.16	16.55
	Airplane	29.944	11.02	6.33	42.56	31.09	25.94	16.56
	Splash	30.096	7.86	4.77	39.31	25.32	21.25	16.07
	Baboon	24.251	51.71	27.21	47.38	98.75	82.66	16.29
	Bridge	24.522	40.71	21.04	48.32	79.22	66.56	15.98
1 024	Lena	34.592	13.90	9.19	33.88	39.38	35.12	10.82
	Peppers	30.964	18.22	10.36	43.14	46.09	40.31	12.54
	Airplane	30.512	18.76	10.77	42.59	47.34	41.72	11.87
	Splash	30.637	14.21	8.18	42.43	37.97	33.29	12.33
	Baboon	24.504	88.46	46.73	47.17	167.18	140.63	15.88
	Bridge	24.824	71.35	37.46	47.50	133.90	114.06	14.82

## 4 结论

对文献[15]提出的基于不等式的码字快速搜索算法进行了进一步的改进,本文算法的改进主要体现在两个方面:一是关于所用特征量的选取,用更有效的基于均值和方差的 IEENNS 算法取代了文献[15]中等范数等方差搜索算法;二是用自适应划分子矢量的方法改进了文献[15]中使用的三角不等式,结果使得本文算法所需的额外存储空间从  $N(N-1)/2$  降低到了  $13N$ 。从最终的实验结果看,本文算法明显加速了搜索过程,码字搜索范围减小了 33.88% ~ 50.94%,编码时间减少了 10.82% ~ 27.16%。

## 参考文献(References)

- [1] Sun S H, Lu Z M. Technology and Application of Vector Quantization [M]. Beijing: Science Press, 2002:31-48. [孙圣和,陆哲明. 矢量量化技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002:31-48.]
- [2] Xiong Z X, Ramchandran K, Orchard M T, et al. A comparative study of DCT and wavelet based image coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(5):692-695.
- [3] Luo Q L. Performance comparison of JPEG coding and vector quantization coding based on remote sensing image [J]. Electronic Measurement Technology, 2005, (4):35-37. [罗倩玲. JPEG 编码与矢量量化编码方法比较[J]. 电子测量技术, 2005, (4):35-37.]
- [4] Guan L, Kamel M. Equal-average hyperplane partitioning method for vector quantization of image data [J]. Pattern Recognition Letters, 1992, 13(10): 693-699.
- [5] Huang C M, Bi Q, Stiles G S, et al. Fast full search equivalent encoding algorithm for image compression using vector quantization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(3): 413-416.
- [6] Lee C H, Chen L H. Fast closest codeword search algorithm for vector quantization [J]. IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing, 1994, 141(3): 143-148.
- [7] Swilem A, Imamura K, Hashimoto H. A high-speed codebook design algorithm for ECVQ using angular constraint with search space partitioning [C]//IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Washington, DC, USA: IEEE Press, 2004: 371-374.
- [8] Mu C M, Jiang J G, Qi M B. A fast codeword search algorithm for vector quantization [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2006, 29(3):288-291. [木春梅,蒋建国,齐美彬. 一种矢量量化的快速码字搜索算法[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(3):288-291.]
- [9] Baek S J, Jeon B K, Sung K M. A fast encoding algorithm for vector quantization [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1997, 4(12): 325-327.
- [10] Pan Z, Kotani K, Ohmi T. Performance comparison between equal-average equal-variance equal-norm nearest neighbor search (EEENNS) method and improved equal-average equal-variance nearest neighbor search (IEENNS) method for fast encoding of vector quantization [J]. IEICE Trans. Information and Systems, 2005, E88-D(9): 2218-2222.
- [11] Qiao Y, Pan Z B, Qiao R P, et al. Criterion for optional 1-D characteristics selection in fast codeword search algorithms of vector quantization [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2010, 31(9):1881-1888. [乔阳,潘志斌,乔瑞萍,等. 快速码字搜索算法中一维特征量的最佳选择方法[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(9):1881-1888.]
- [12] Lu Z M, Pan Z X, Sun S H. A fast codebook search algorithm for vector quantization [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(2): 133-135. [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.]
- [13] Pan Z, Kotani K, Ohmi T. Fast encoding method for vector quantization by dynamically constructing subvectors [C]//IEEE International 48th Midwest Symposium on Circuits and Systems. Cincinnati, Ohio, USA: IEEE Press, 2005:219-222.
- [14] Qiao Y, Pan Z B, Qiao R P, et al. An improved fast search algorithm based on Hadamard transform and vector partition [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(11): 2270-2275. [乔阳,潘志斌,乔瑞萍,等. 基于 Hadamard 变换和矢量分割的快速搜索算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(11): 2270-2275.]
- [15] Mu C M, Han S M. A fast codebook search algorithm for vector quantization [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2):218-220. [木春梅,韩守梅. 一种基于不等式的矢量量化快速码字搜索算法[J]. 电子学报, 2010, 38(2):218-220.]