

# 基于预测码矢的快速搜索新算法

刘 评 朱心雄

(北京航空航天大学制造工程系, 北京 100083)

**摘 要** 在  $k$  维欧氏空间  $R^k$  中, 给定一个有限子集  $W$  及一个向量  $x$ , 如何搜索  $W$  中与  $x$  距离最近的向量, 具有重要的实际应用价值, 尤其在图象的矢量量化编码、神经网络模式识别<sup>[1]</sup>等问题中, 快速搜索起决定性的作用。在分析已有快速搜索算法的基础上, 给出一种新的快速搜索算法, 该算法利用图象相邻块的码书地址, 作为当前块的预测值, 使搜索空间缩小更快。

**关键词** 图象编码, 预测码矢, 图象矢量量化

## 1 对已有快速搜索算法的分析

WenHua Li 在分析文献[2~5]中提出的快速搜索算法的基础上, 于 1995 年在文献[6]中, 提出了一个新的快速搜索算法(下简称算法 1)。算法 1 使得文献[2~5]中提出的快速搜索算法成其为特例。为便于分析说明算法 1, 先约定: 矢量属于  $k$  维欧氏空间  $R^k$ , 范数  $\| \cdot \|$  指  $l^2$  范数, 矢量  $x \in R^k$  与  $y \in$

$$R^k \text{ 的距离为 } d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}.$$

设码书为  $W = \{w_i | w_i \in R^k, i = 1, 2, \dots, N\}$ ,  $z \in R^k$ , 对  $x \in R^k$  及  $i = 1, 2, \dots, N$ , 设  $d_j = d(x, w_j)$ , 则易得不等式

$$\|x - z\| - \|w_j - z\| \leq \|x - w_j\| = d_j$$

若设  $d_j \leq d_i$ , 则有  $\|x - z\| - \|w_j - z\| \leq d_i$ , 由此易得如下不等式

$$\|x - z\| - d_j \leq \|w_j - z\| \quad (1)$$

$$\|w_j - z\| \leq \|x - z\| + d_i \quad (2)$$

文献[6]以  $z \in R^k$  作为参考点, 并设所考虑矢量的各分量  $s \in [0, 1]$ ,  $u \in R^k$ ,  $u = \{1, 1, \dots, 1\}$  利用不等式(1)、(2)构造了算法 1。虽然算法 1 利用了参考点和三角不等式的方法, 使搜索速度加快, 但存在以下不足之处:

(1) 不等式(1)、(2)带有开平方运算。

(2) 最佳初始化码矢选择方法过简: 设图 1 中  $x$  为当前输入矢量,  $b_1, b_2, b_3, b_4$  为  $x$  的相邻矢量的最佳匹配码矢, 则最佳初始化码矢应在  $b_1, b_2, b_3, b_4$  中寻找, 而不应简单设置为  $b_1$ , 这是因为图象的纹理不仅有水平方向, 而且有垂直方向、斜四十五度方向等。若  $x$  处的纹理方向为垂直方向, 则显然  $b_3$  比  $b_1$  距  $x$  更近, 最佳初始化码矢应选为  $b_3$ 。为叙述方便, 以下简称  $b_1, b_2, b_3, b_4$  为  $x$  的预测码矢, 预测码矢中距  $x$  最近者为  $x$  的最佳初始化码矢。

...	$b_2$	$b_3$	$b_4$	...
...	$b_1$	$x$	...	...

图 1 预测码矢排列图

Fig. 1 The arrange of predicting code vector

在算法 1 的基础上, 对以上两点作改进, 得到新的搜索算法。

## 2 快速搜索新算法

### 2.1 算法要点分析

#### 2.1.1 取消开方运算

用以下准则判断码矢  $w_j$  是否满足不等式(1): 若  $\|x - z\|^2 - d_i^2 \leq 0$ , 则  $w_j$  满足不等式(1); 若  $\|x - z\|^2 + d_i^2 \leq \|w_j - z\|^2$ , 则  $w_j$  亦满足不等式(1);

若  $(\|x-z\|^2 + d_i^2 - \|w_j-z\|^2)^2 \leq 4\|x-z\|^2 d_i^2$ , 则  $w_j$  仍满足不等式(1);

用同样方法可判断是否满足不等式(2)。

2.1.2 建立预测环,合理地将各预测码矢组织在一起

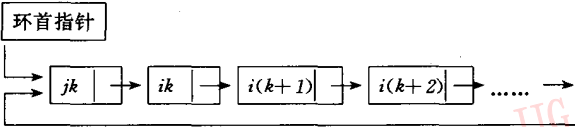
环节点结构定义为

```
tagCircle { int nIndex;/索引值,即在码书中的序号/
            tagCircle pNext;/指向下一个环节点的指针/
        }CIRCLE;
```

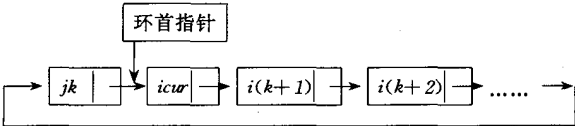
设图象划分为  $L \times M$  个方块,则置预测环长为  $(L+1)$ 、置环首指针、从环首始顺序置各节点的索引值为:  $0, 1, \dots, L$ 。若已得到最佳匹配码矢序号:  $i_0, i_1, \dots, i(L-1), j_0, j_1, \dots, j(k-1)$ , 当前输入矢量为  $x$ , 如下图所示:

$i_0$	$j_1$	...	$i(k-1)$	$ik$	$i(k+1)$	...	$i(L-1)$
$j_0$	$j_1$	...	$j(k-1)$	$jk$	$x$	...	

则置预测环如下图所示:



若搜索得到输入矢量  $x$  的最佳匹配码矢序号为  $icur$ , 则修改预测环如下图所示:



环首节点及其后继三节点的索引值,就是4个预测码矢的序号。

## 2.2 算法2

### 2.2.1 预处理

(1) 按码矢范数递增的顺序对码书  $W = \{w_i | w_i \in R^k, i=0, 1, \dots, N-1\}$  排序,新码书仍由  $W = \{w_i | w_i \in R^k, i=0, 1, \dots, N-1\}$  表示。

- (2) 将  $\|w_i\|^2$  填入表  $A_0$  的第  $i$  项。
- (3) 将  $\|w_i - 128u\|^2$  填入表  $A_1$  的第  $i$  项。
- (4) 将  $\|w_i - 256u\|^2$  填入表  $A_2$  的第  $i$  项。
- (5) 建立预测环,设置环首指针,从环首始将预

测环各节点的索引值分别设置为:  $0, 1, 2, \dots, L$ 。

(6) 设最佳匹配码矢的序号  $nBMCVI=0$ 。

2.2.2 对输入的矢量  $x$ ,快速搜索其最佳匹配码矢的序号:  $nBMCVI$

(1) 使预测环首指针指向其下一节点,置该节点的索引值为  $nBMCVI$ 。

(2) 设可接收表  $A = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$

(3) 最佳初始化码矢  $w_{bm}$  设置为4个预测码矢中距  $x$  最近的一个,将的序号赋予  $nBMCVI$ 。

(4) 求  $\|x\|^2, D_{min}^2 = \|x - w_{bm}\|^2, \|x - 128u\|^2, \|x - 256u\|^2$ 。

(5) 设  $d_i^2 = D_{min}^2, z = 0u$ ,查表  $A_0$ ,将表  $A$  修改为:

$$A_f = \{i | i \in A, \|x\| - d_i \leq \|w_i\| \leq \|x\| + d_i\}$$

(6) 设查表  $z = 128u$ ,查表  $A_1$ ,将  $A_f$  修改为:

$$A_R = \{i | i \in A_f, \|x - z\| - d_i \leq \|w_i - z\| \leq \|x - z\| + d_i\}$$

(7) 设  $z = 256u$ ,查表  $A_2$ ,将表  $A$ ,修改为:

$$A_t = \{i | i \in A_r, \|x - z\| - d_i \leq \|w_i - z\| \leq \|x - z\| + d_i\}$$

(8) 从表  $A_t$  的首项开始顺序搜索,若找到码矢  $w[A_t[l]]$  满足  $d^2(x, w[A_t[l]]) < D_{min}^2$ : 则令:  $w_{bm} = w[A_t[l]], nBMCVI = A_t[l], D_{2min} = d^2(x, w_{bm})$ , 去掉表  $A_t$  的元素  $A_t[0], A_t[1], \dots, A_t[l-1]$ , 余者作为表  $A$ , 转向(2.2.2)-(5); 否则,便得到最佳匹配码矢  $w_{bm}$  及其序号  $nBMCVI$

## 3 计算实例与结论

实验硬件环境: PC-486, 内存-8M

实验软件环境: Windows 3.1, Borland

C++ 3.1

实验数据: 算法2中, 码书取为  $W = \{w_i | w_i \in R^{61}, i=0, 1, 2, 3, \dots, 1023\}$ , 用标准测试灰度图象 Lenna  $(256 \times 256 \times 8)$  作为输入图象(如图2所示), 图象划分为  $8 \times 8$  的方块, 码书由文献[7]给出的方法生成。

实验结果: 算法2与算法1和全空间搜索算法比较, 速度有很大提高, 具体数据如下:

全空间方法: 118秒; 算法1: 91秒; 算法2: 34秒。

算法复杂性分析: 设码书长为  $N$ 、码矢为  $m$  维, 易知用全空间搜索方法求一个输入矢量的最佳匹配



图2 Lenna 256×256×8 标准图

Fig. 2 Standard graph of Lenna 256×256×8

码矢,需作乘法运算  $mN$  次,作加减法运算  $2mN$  次,该算法的运算次数与图象的特性毫不相关。算法一虽减少了加、减及乘法运算次数,但因不等式(1), (2)利用了2次开平方运算,故搜索速度并未有显著提高。算法2将算法1的2次开平方运算化解为至多4次乘法及20次加减法运算,为得到最佳初始化码矢,算法2比算法1要增加乘法运算  $3m$  次、增加加减法运算  $6m$  次,然而,若图象较平滑,且其纹理在各方向上服从均匀分布,则得到最佳初始化码矢的概率将提高3倍;而若其纹理方向只有垂直方向和斜四十五度方向,则得到最佳初始化码矢的概率将提高更多倍。



刘评,1984年毕业于山东大学数学系获学士学位,1992年毕业于西安交通大学数学系获硕士学位,目前在北航七系攻读博士学位,研究方向为图象处理。

朱心雄,1954年毕业于北京航空学院飞机工程系,1956年研究生毕业,现为北京航空航天大学制造工程系教授、博士生导师。研究领域包括几何造型、多轴数控加工编程、新的曲面构造、计算机图形学和CAD/CAM系统开发等。

结论:算法1的速度,主要由初始化码矢的选择结果决定。对于自然景物中纹理在各方向上服从均匀分布(或只分布于垂直和斜四十五度方向上)的一类图象,在算法2中,提出了预测码矢和预测环的重要概念,且取四个预测码矢(预测码矢的取法可参考[8]),使得到最佳初始化码矢的概率至少增加了3倍,搜索速度相应可望提高3倍或更多,实验结果与这一分析基本吻合。

### 参考文献

- 1 黄德双. 神经网络模式识别系统理论. 北京:电子工业出版社, 1996.
- 2 Bei C D, Gray R M. An improvement of the minimam distortion encoding algrithm for vector quantization. IEEE Trans. Commun. ,1985,COM-33:1132~1133.
- 3 Ra S W, Kim J K. A fast mean-distortion-ordered partial codebook search algorithm for image vector qantization. IEEE Trans. Circuit and System II; Analog and Digital Signal Process. ,1993, 40:576~579.
- 4 Pogi G. Fast algorithm for full search VQ encoding. Electron. Lett. ,1993,29:1141~1142.
- 5 Huang C M, Bi Q, Stiles G S, et al. Fast full search equivalent encoding algorithms for image compression using vector quantisation. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(3): 413~416.
- 6 Wenhua Li, Ezzatollah Salari. A fast vector qantization encoding method for image compression. IEEE Trans. Circuit and System for Video Technology, 1995, 5(2): 119~123.
- 7 黎洪松等. 一种基于自组织神经网络的图象压缩编码算法, 电子学报, 1996. 1.
- 8 Kossentini F, Chung W, Smith M. Conditional entropy constrained residual VQ with application to image coding, IEEE Trans. on Image Processing, 1996, 5(2): 311~320.

# A New Fast Search Algorithm Based on Predicted Code Vector

Liu Ping, Zhu Xinxiong

(Department of Manufacturing Engineering Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

**Abstract** Given a finite subset  $W$  and a vector  $x$  both in  $k$ -dimension space, the method to fast locate the vector in  $W$  closest to  $x$  is of great value in applications. The fast search method plays an important role in the fields such as vector quantization method and pattern recognition using neural network. Based on the analysis of the fast search algorithm in Ref. [6], a new fast search algorithm is presented. Using the codebook addresses of neighboring image blocks as the predicting codebook address of current image block, the search space can be reduced more dramatically.

**Keywords** Image coding, Predicting code vector, Image vector quantization

## HP OMNIBOOK 笔记本 PC 机系列又添新军 新型 HP Omnibook 2000CS 以极具竞争力的价格提供增强的性能

HP 公司近年来持续稳妥地在笔记本 PC 机市场上积极推进。最近,该公司又宣布推出一种新产品——HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机,这是 Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机系列的一个扩展。HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机以市场上最有竞争力的价格/性能比为客户提供具有 MMX 技术处理器的笔记本 PC 机。

新型的 HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机以市场上流行的价格提供了增强的性能,基于标准的可管理性和 HP 的质量和可靠性。

HP 移动计算部门产品部经理 Wayne Westly 说:“HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机系列由于其极具竞争力的价格和增强的笔记本 PC 技术而取得了巨大的成功。HP 正在不断地提高其产品的实用价值,进一步增强 HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机的能力和性能,同时将其售价保持在同样低的价位上。”

对于那些希望 PC 机能够同时兼有台式机和便携机功能的用户来说,HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机是一种专门为他们设计的功能齐全的新产

品。HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机包括基于 MMX 技术的 Intel Pentium 处理器、2GB 硬盘驱动器、521K L2 高速缓冲存储器、12.1 英寸 SVGA 和 DSTN 监视器。HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机的扩展机箱支持 20X CD-ROM 驱动器、软驱;以及第三个增强的锂离子电池,这些均可带电更换。与 HP Omnibook 2000 产品系列保持一致,HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机将继续提供坞站(docking station)的可选功能或一个简单的端口复制器。

HP Omnibook 2000CS 笔记本 PC 机还具有高档 Omnibook 笔记本 PC 机的特点,如符合行业标准的 HP TopTools PC 管理软件和适用于 Microsoft Windows NT4.0 的增强的驱动器支持软件。为了增强性能,HP Omnibook 200CS 笔记本 PC 机均装有支持 zoomed video 和 cardbus-ready 的 PC 卡插槽。

惠普公司(HP)是全球领先的计算机、通讯和测量产品的生产厂家,以其产品和服务的优良品质著称于世。HP 现有员工 120,500。1996 年公司财政收入为 384 亿美元。