

文章编号:1000-582x(2000)05-0057-05

# 基于方向基元集描述的指纹方向图求取算法

黄席樾, 马笑潇, 汪鹏, 沈志熙, 周欣

TP391.41

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

**摘要:** 研究指纹的方向图对实现指纹纹线修补、纹形特征的提取以及指纹的分类等应用都有很强的实用价值。笔者通过对指纹图象方向基元集的定义和描述,运用方向基元样本的统计特性,给出了一种求取指纹方向图的方法。并将该方法运用到一套智能卡指纹验证系统中进行纹型比对,实践证明:该方法算法简单,快速有效,对各种噪声具有一定的鲁棒性。

**关键词:** 指纹方向图; 方向基元; 方向基元集; 指纹验证系统

**中图分类号:** TP 391.41

**文献标识码:** A

指纹图象

指纹图象是一种具有一定纹路走向的多边缘有向图,指纹的纹型特征是其最为显著的特征,因此基于纹线方向进行指纹的分类与识别是一种非常切实可行的方法。根据图形的几何拓扑知识,不难发现,决定指纹纹线走向的不是纹线内部像素的分布,而是脊线与纹谷交替接壤的边界,亦即纹线的边缘分布特征(见图1所示),图中每一组图形宽度不同,但由于具有相同边缘分布,因而具有相同的形状走向。纹线边缘是指纹纹理特征的重要信息源和形状特征的基础。因此探讨指纹方向图的最直接的方法,就是对纹线边缘进行研究,详尽地将边缘知识抽象出来并加以利用。



图1 边缘分布对线条走向及形状的影响示意图

运用指纹的方向图先进行指纹的初步分类,再抽取细节特征点进行匹配与识别,已成为当今研究具有大型指纹库的指纹自动识别系统(AFIS)的主流方法<sup>[1]</sup>。近年来,国内外不少研究指纹识别的学者在求取指纹方向图上已取得了不少成果<sup>[2-7]</sup>。B. M. Mehtre<sup>[2]</sup>等人提出了一种基于邻域内不同方向上灰度值的变化特性求取点方向进而统计出块方向的方法; A. R. Rao<sup>[4]</sup>提出了一种利用梯度算子求取方向图的方法,由于上述两种方法在整副指纹图象上采用的是同

一种计算方法,因此对图象质量有较高的要求,局部质量较差的指纹求得的方向图效果不很理想。Anil Jain<sup>[5,6]</sup>等人对 Rao 的方法作了进一步的改进,采用了一种后处理平滑算法,并利用 Gabor 滤波器对频率和方向的选择性,实现了图象增强,这种方法计算复杂性较大,因而对大容量指纹库而言实时性较差。M. M. S. Chong<sup>[7]</sup>等人利用 B-样条曲线抽取指纹图象的几何框架并基于此进行指纹的分类,该方法提出的只是纹形的最粗略框架,未完全反映指纹的纹形特征。笔者充分抓住了决定纹线走向的是纹线边缘基元的空间分布特性这一基本事实,通过对指纹图象方向基元集的定义和描述,提出了一种求取方向图的方法。该方法具有算法简单,快速有效的特点,而且根据局部图象质量的不同而采用不同的计算策略,因而对噪声具有一定的鲁棒性。最后将该方法运用到一套智能卡指纹验证系统中进行纹型比对,收到了令人满意的效果。

## 1 方向基元集的描述

**定义1** 方向基元是指能够反映图象纹理走向的最小连通像素集合。

方向基元的定义包含了两个要素,其一是该像素区域能表征图象的纹理走向(不一定是走向的最佳反映);其二是作为基元,研究的像素数目力求最小。综合这两个要素,2×2窗口为反映图象走向的最小单位,称之为方向基元。

· 收稿日期:2000-02-29

作者简介:黄席樾(1943-),男,四川奉节人,重庆大学教授,博导,从事计算机视觉、专家系统等方面的研究。

定义2 方向基元集是指由方向基元的全部样本组成的集合。

任何一种线状图形,其大体走向都可以从其若干局部走向的统计特性中求取,对一幅二值化的图象,称该 $2 \times 2$ 邻域窗口的全部组成样本构成了一个表征纹线走向的方向基元集,用 $\varphi\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{16}\}$ 表示。

$$\text{则 } \varphi\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{16}\} = \left\{ a \mid a = \begin{bmatrix} i_1 & i_2 \\ j_1 & j_2 \end{bmatrix} \right.$$

其中  $i_1, i_2, j_1, j_2 \in \{0, 1\}$

令

$$\begin{aligned} a_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} & a_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ a_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & a_4 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ a_5 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} & a_6 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ a_7 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & a_8 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ a_9 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & a_{10} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ a_{11} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & a_{12} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ a_{13} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} & a_{14} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ a_{15} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & a_{16} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

其中0表示白像素,1表示黑像素。由于指纹图象上脊线和纹谷平行分布,在决定某一区域方向上二者并无区别,上述划分并未对脊线和纹谷加以区分,这是科学的。该方向基元集共有 $2^4 = 16$ 个样本,样本 $a$ 所表征的方向 $\theta_a$ 可以由下式近似求出

$$\theta_a = \begin{cases} \tan^{-1} \left( \frac{(j_2 - i_2) + (j_1 - i_1)}{(j_2 - j_1) + (i_2 - i_1)} \right) & \text{if } \frac{(j_2 - i_2) + (j_1 - i_1)}{(j_2 - j_1) + (i_2 - i_1)} > 0 \\ \tan^{-1} \left( \frac{(j_2 - i_2) + (j_1 - i_1)}{(j_2 - j_1) + (i_2 - i_1)} \right) + 180 & \text{if } \frac{(j_2 - i_2) + (j_1 - i_1)}{(j_2 - j_1) + (i_2 - i_1)} < 0 \end{cases}$$

据上式,上述 $a_1$ 到 $a_{12}$ 共13个样本分别是构成 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 $135^\circ$ 等4个基本方向的局部决定因素, $a_{13}$ 到 $a_{16}$ 在确定方向上存在不确定性。基于此,我们将其划分为5大类,分别以 $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ 表示

$C_0 = \{a_1, a_2\}$ ,该类方向基元只能形成水平( $0^\circ$

或 $180^\circ$ )方向。

$C_1 = \{a_3, a_4, a_5, a_6\}$ , $C_1$ 类表示 $45^\circ$ 斜线局部方向。

$C_2 = \{a_7, a_8\}$ , $C_2$ 类形成 $90^\circ$ (垂直)方向。

$C_3 = \{a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}$ , $C_3$ 反映 $135^\circ$ 斜线局部方向。

$C_4 = \{a_{13}, a_{14}\}$ , $C_4$ 类既能反映 $45^\circ$ 斜线局部方向,也能反映 $135^\circ$ 方向(由图形分析得到)。

以上5类样本都是表征纹线边缘的像素集合,它们是纹线方向在局部上的反映。

$C_5 = \{a_{15}, a_{16}\}$ , $C_5$ 类表示纹线和纹谷的内部像素,不能反映任何方向。既然它不是构成方向的局部因素,在考察方向基元集时并没有将其忽略,这是为了算法实现上的方便和简化。

## 2 指纹方向图的求取

### 2.1 平均方向的求取

求取指纹方向图的前一步是对灰度图象进行二值化(良好的二值化处理会得到更为逼真的方向图效果)。一副 $X \times Y$ 大小的二值图象 $A$ ,将其划分为 $N \times N$ 大小的块,在 $N \times N$ 块中以 $2 \times 2$ 窗口为单位,对 $(N-1) \times (N-1)$ 个方向基元进行上述 $C_0$ 到 $C_5$ 的划分归类,然后统计每一类方向基元的个数并记为 $m_i$ ( $m_i$ 与 $C_i$ 对应)。由于 $C_4$ 类样本既可以归为 $C_0$ 类也可以归为 $C_3$ 类,而 $C_5$ 类又不表示任何方向,故研究样本类数可以简化为表示 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 $135^\circ$ 4个基本方向,以 $n_i$ 表示( $i$ 与简化后的类对应)。为了尽可能地降低图象二值化造成的毛刺、孔洞等噪声对所求方向的影响,按以下4种情况求该 $N \times N$ 块的平均方向 $\bar{\theta}$ 。

1) 如果 $N \times N$ 块中 $n_i$ 的统计直方图中只有一个明显的峰值,这说明其他方向分量是由噪声引起的,应该忽略。即

$$\text{若存在 } n_i \gg \sum_{j=0,1,2,3} n_j \quad (j=0,1,2,3)$$

则  $\bar{\theta} = j \times 45^\circ$ 。

2) 如果 $N \times N$ 块中 $n_i$ 的统计直方图有两个明显的峰值(且均不为水平方向)。则所求平均方向应在二者之间。即

$$\text{若存在 } n_l \gg \sum_{i=0,1,2,3, i \neq l} n_i$$

$$\text{且 } n_l \gg \sum_{i=1,2,3, i \neq j} n_i \quad (l, j = 1, 2, 3; l \neq j)$$

则

$$\bar{\theta} = (a_j \cdot n_j \cdot j + 45 + a_l \cdot n_l \cdot l + 45) / (n_j + n_l)$$

这里权系数  $a_j$  和  $a_l$  界于 0 和 1 之间, 根据是否存在方向基元的重复计数而灵活选取。

3) 如果  $N \times N$  块中  $n_i$  的统计直方图有两个明显的峰值, 且其中有一个为水平方向, 则根据另一个是  $45^\circ$  还是  $135^\circ$  来确定该水平方向为  $0^\circ$  还是  $180^\circ$ 。即

$$\text{若两峰值为 } n_0, n_1, \text{ 则 } \bar{\theta} = 45 \cdot n_1 / (n_0 + n_1);$$

$$\text{若两峰值为 } n_0, n_3, \text{ 则 } \bar{\theta} = (180 \cdot n_0 + 135 \cdot n_3) / (n_0 + n_3);$$

4) 如果  $N \times N$  块中  $n_i$  的统计直方图有 3 个较大均匀值或 4 个均匀值。表明该区域含有细节特征点或该区域纹线粘连严重, 其方向不能由其方向基元的统计特性求出, 只能由其周围块方向所决定的纹线大致走势平滑地给出。

### 2.2 方向图平滑

方向图平滑性的好坏, 在很大程度上取决于图象摄取质量的好坏及采取的预处理算法的优劣, 由于光学采集指纹时, 手指湿润程度、按压轻重及指面扭曲程度等因素, 都会使所采集的指纹存在灰度对比不均匀、纹线粘连等缺陷, 从而导致做出的方向图不规则。因此必须进行方向图平滑。

由于纹线在局部邻域内的走势是缓慢过渡的, 选择一个合适的低通滤波器可以起到方向图平滑的目的<sup>[6]</sup>。

计算以点  $(i, j)$  为中心的块方向在 X 轴和 Y 轴的投影分量  $\varphi_x(i, j), \varphi_y(i, j)$

$$\varphi_x(i, j) = \cos(\bar{\theta}(i, j)) \quad \varphi_y(i, j) = \sin(\bar{\theta}(i, j))$$

选取  $\kappa \times \kappa$  大小的二维低通滤波器  $H$  对上述两分量滤波, 得

$$\begin{aligned} \varphi'_x(i, j) &= \sum_{m=-\kappa/2}^{\kappa/2} \sum_{n=-\kappa/2}^{\kappa/2} H(m, n) \varphi_x(i - m\omega, j - n\omega) \\ \varphi'_y(i, j) &= \sum_{m=-\kappa/2}^{\kappa/2} \sum_{n=-\kappa/2}^{\kappa/2} H(m, n) \varphi_y(i - m\omega, j - n\omega) \end{aligned}$$

式中  $\omega$  为作块方向图时选取的块的大小。

这样像素  $(i, j)$  所在的块平滑后的方向  $\theta'(i, j)$ , 可由下式求出

$$\theta'(i, j) = \begin{cases} \tan^{-1}(\varphi_y(i, j) / \varphi_x(i, j)) & \text{if } \varphi_x(i, j) / \varphi_x(i, j) > 0 \\ \tan^{-1}(\varphi_y(i, j) / \varphi_x(i, j)) + 180 & \text{if } \varphi_x(i, j) / \varphi_x(i, j) < 0 \end{cases}$$

### 2.3 八标准方向或十六标准方向规整

为了使求出的方向图直观, 且对适度旋转有一定的鲁棒性, 求出的块方向一般根据需要要作八标准方向或十六标准方向规整。

对于八方向:

$$\text{令 } J(i) = \lfloor \theta' - i \times 45^\circ \rfloor, i \in (0, 1, 2, \dots, 3)$$

规整后的方向  $\theta = i \times 45^\circ$ , 其中  $i$  为使得  $J(i)$  取得最小时定义域内的值。

对于十六方向:

$$\text{令 } J(i) = \lfloor \theta' - i \times 22.5^\circ \rfloor, i \in (0, 1, 2, \dots, 7)$$

规整后的方向  $\theta = i \times 22.5^\circ$ , 其中  $i$  为使得  $J(i)$  取得最小时定义域内的值。图 2 为运用上述算法求得的方向图的结果。

图中(a1)、(a2)为两幅采用光学法录入的指纹原图象, (a3)为经加躁处理后的原图象; (b1)、(b2)、(b3)为未经方向图平滑处理后得到的十六标准方向结果( $N = 8$ ); (c1)、(c2)、(c3)为平滑处理后的十六标准方向结果; (d1)、(d2)、(d3)为八标准方向处理结果。

## 3 应用与结果分析

上述求取方向图的方法在我们开发的智能卡指纹验证系统中用于第一级匹配, 即指纹的纹型比对, 如果方向图比对结果低于某一阈值  $d_{\min}$ , 则可立即判断两指纹不匹配, 如果高于该阈值, 表明为同一类指纹(至少为相似类指纹), 则进入下一级细节特征点匹配。该系统的匹配环节流程如图 3 所示。

为了验证用方向图进行纹型比对的效果, 这里采用光学指纹录入法对重庆大学自动化学院 289 名同学进行了指纹采集, 共采得有效指纹 700 幅, 根据不同纹型的指纹的分布规律, 从中选取了 4 类(共 50 幅)比较常见的纹型进行方向图比对实验, 50 幅指纹分别来自 25 个不同手指的两次录入, 实验采用截取指纹方向图中心区域进行交叉比对的方式进行(排除同一指纹的自身比对)。

表 1 为获得的实验数据, 其中匹配率  $m$  采用在  $\pm 20^\circ$  内以  $5^\circ$  为步长旋转模板匹配求得。

即

$$m = \max_{-20^\circ}^{20^\circ} (n_c \cdot \beta_c + n_n \cdot \beta_n + n_r \cdot \beta_r / n_c + n_n + n_r)$$

其中  $n_c$  为块方向完全匹配的个数,  $n_n$  近邻匹配的个数,  $n_r$  为不匹配的个数。 $\beta_c$  表示完全匹配时的权值取 1.0,  $\beta_n$  表示近邻匹配时的权值界于 (0, 1) 之间,  $\beta_r$  表示不匹配权值, 取 0。

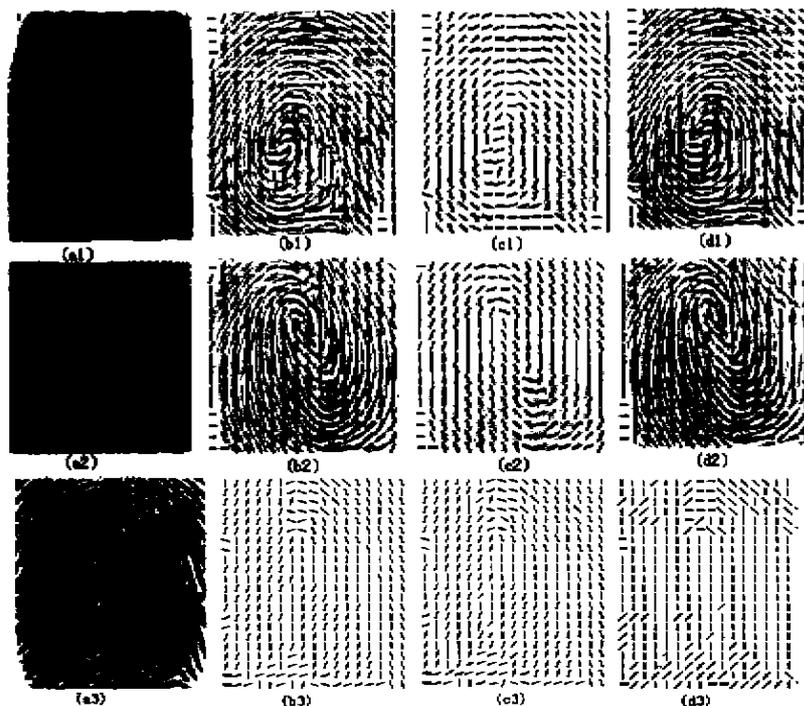


图2 不同纹形指纹求取的方向图结果

表1 方向图比对试验数据

纹型	斗形纹 (20幅)	左箕形纹 (10幅)	右箕形纹 (10幅)	弓形纹 (10幅)
斗形纹	平均值 $\bar{m}$ 0.54	0.36	0.33	0.31
	$m_{min}$ 0.46	0.25	0.25	0.19
	$m_{max}$ 0.84	0.44	0.41	0.45
左箕形纹	平均值 $\bar{m}$ -	0.57	0.38	0.27
	$m_{min}$ -	0.43	0.30	0.20
	$m_{max}$ -	0.87	0.52	0.38
右箕形纹	平均值 $\bar{m}$ -	-	0.54	0.22
	$m_{min}$ -	-	0.40	0.18
	$m_{max}$ -	-	0.82	0.40
弓形纹	平均值 $\bar{m}$ -	-	-	0.48
	$m_{min}$ -	-	-	0.39
	$m_{max}$ -	-	-	0.79

度越高);  $m_{min}$  为其中最小匹配率,  $m_{max}$  为其中最大匹配率。分析数据发现:  $m_{max}$  为同一手指的两次录入得到的匹配率; 相同纹型的指纹之间平均匹配率明显高于不同纹型指纹之间的匹配率。因此, 基于此通过合适的选取阈值  $d_{min}$  (经大量实验已确定了  $d_{min}$  的取值) 进行指纹的初步筛选是可行的。

4 结束语

文中提出的求取方向图的方法, 很好地描述了指纹图象的纹型特征, 根据指纹方向图进行纹型的模板匹配试验表明, 这种求取指纹全局特征的方法是有效的。该方法不仅可以用于智能卡辅助识别的指纹自动验证系统中, 还可以将求出的方向图送入神经网络等模式分类器中进行指纹的分类, 这对于大型指纹识别系统而言是很有应用前景的(限于篇幅, 这种方法将在另文给出)。

参考文献:

- [1] 赵向欣. 中华指纹学[M]. 北京: 群众出版社, 1997
- [2] MEHTRE B M, CHATTERJEE B Segmentation of fingerprint image-a composite method[J]. Pattern Recognition, 1989, 22(4): 381-385.
- [3] COETZEE L, BOTHA E C Fingerprint recognition in low quality images[J]. Pattern Recognition 1993, 26(4): 1 441-1 460.
- [4] RAO A R. A taxonomy for texture description and identifi-

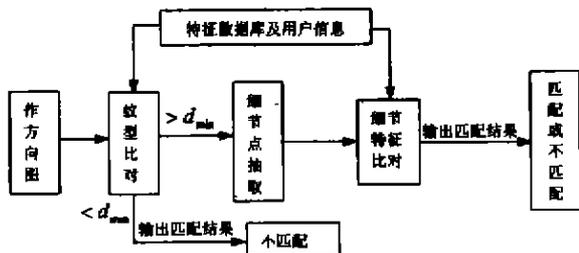


图3 指纹匹配流程图

表中左栏为模板指纹, 上栏为交叉比对指纹, 表中数据  $\bar{m}$  为按照上述求匹配率的公式求得的纹型交叉比对平均匹配率(界于 0 到 1 之间, 数值越大相似程

- ation[M]. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [5] JAIN A, HONG L, BOLLE R. On-line fingerprint verification[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4):302-314.
- [6] HONG L, JAIN A. Fingerprint enhancement[A]. In Proc 1st IEEE WACV[C]. Sarasota, FL, 1996:202-207.
- [7] MICHAEL M S, CHONG, TAN HAN NGEE, LIU JUN, et al. Geometric framework for fingerprint image classification[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(9):1 475-1 488

## A Method for Getting Directional Image from Fingerprint Based on Directional Elemental Pixel Sets

HUANG Xi-yue, MA Xiao-xiao, WANG Peng, SHEN Zhi-xi, ZHOU Xin

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** By the definition and interpretation of directional elemental pixel sets, a method for getting the directional image from the binary fingerprint image using the statistic characteristics of DEPS is presented in this paper. This method is better than traditional methods in processing speed, computing complexity and resisting noises. The directional image got by this method is used to the matching of ridges frame in a fingerprint verification system, and the testing result shows that the method is effective.

**Key words:** directional image; directional elemental pixel; directional elemental pixel sets; automatic fingerprint verification system

(责任编辑 吕蓉英)

\* \* \* \* \*

(上接 39 页)

## Reduction of Titanium Oxide and Thickening of Blast Furnace Slag Bearing Higher Titania

WAN Xin<sup>1</sup>, PEI He-nian<sup>1</sup>, BAI Chen-guang<sup>2</sup>, ZHOU Pei-tu<sup>2</sup>

(1. Department of Material Engineering, Chongqing Polytechnic College, Chongqing 400050, China;

2. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The slag samples that have some titanium oxide reduction grade are reduced with blast furnace slag taken from Pan Zhi Hua Iron & Steel (Group) Co. in site. Then the viscosity and free-running temperature of slag samples were measured in laboratory. With the increasing of reduction grade the viscosity and free-running temperature of slags would have rising tendency. The mineral structure of the samples is observed in optical microscope, and quantitative analysis of TiC, TiN in the slag samples is made with image analyser. The results show that the thickening of titanium slag has relationship with the amount of TiC, TiN, which was reduced from titania. So the usage of titanium oxide reduction grade as the index of thickening in blast furnace process is reasonable, and which could represent characteristic of the blast furnace smelting iron ore-bearing titanium and vanadium

**Key words:** titanium oxide; reduction; viscosity; blast furnace slag; blast furnace process

(责任编辑 李胜春)