

微型机指纹自动识别的研究

李仲荣 张大鹏

(哈尔滨工业大学)

摘 要

本文介绍了用微型机图象处理系统进行的指纹自动识别研究,提出了指纹图象的预处理、指纹的识别与分类及指纹库的建立与查对等方法,结果是满意的和实用的。

一、指纹图象的预处理

指纹图象预处理的目的在于使指纹图象画面清晰、边缘明显,以便提取特征及进行识别^[1,2]。

1. 平滑处理

指纹图象是通过摄像机获得模拟信号,并经过采样、量化后,以矩阵的形式存入计算机。由于图象采集为纵列式方式,量化后的指纹图象有许多噪音。它们因其空间的不相干性,含有较高的空间频谱,且多呈点结构。

平滑处理的任務就是去除这些干扰噪音,而又不使图象失真。由空域处理公式知,输出函数为

$$g(m, n) = \sum_{i=m}^{m+L-1} \sum_{j=n}^{n+L-1} f(i, j) \tilde{h}(m-i+L, n-j+L). \quad (1.1)$$

其中 $m = 1, 2, \dots, M'$; $n = 1, 2, \dots, N'$; $M' = M - L$; $N' = N - L$ 。若令输入图象阵 F 为 $N \times N$, 卷积阵 $H = L \times L$, 输出阵 G 为 $M \times M$, 则关系式

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1} \sum_{n_2} F(n_1, n_2) H(m_1 - n_1 + 1, m_2 - n_2 + 1) \quad (1.2)$$

为了平滑噪音,卷积阵 H 须呈低通型。当 H 为 3×3 阵列时,选用

$$H = \left(\sum_{i=1}^8 a_i + 2X \right) / 10. \quad (1.3)$$

其中 X 为要处理的象素值, $a_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ 为其八邻域的数值。实践表明,用这种 H 值去除噪音,可得到满意的效果。图 1 为去噪音前后的指纹图象。

2. 锐化处理

为强化指纹纹线间的界线,突出边缘信息,以利于二值化,锐化处理是必要的。

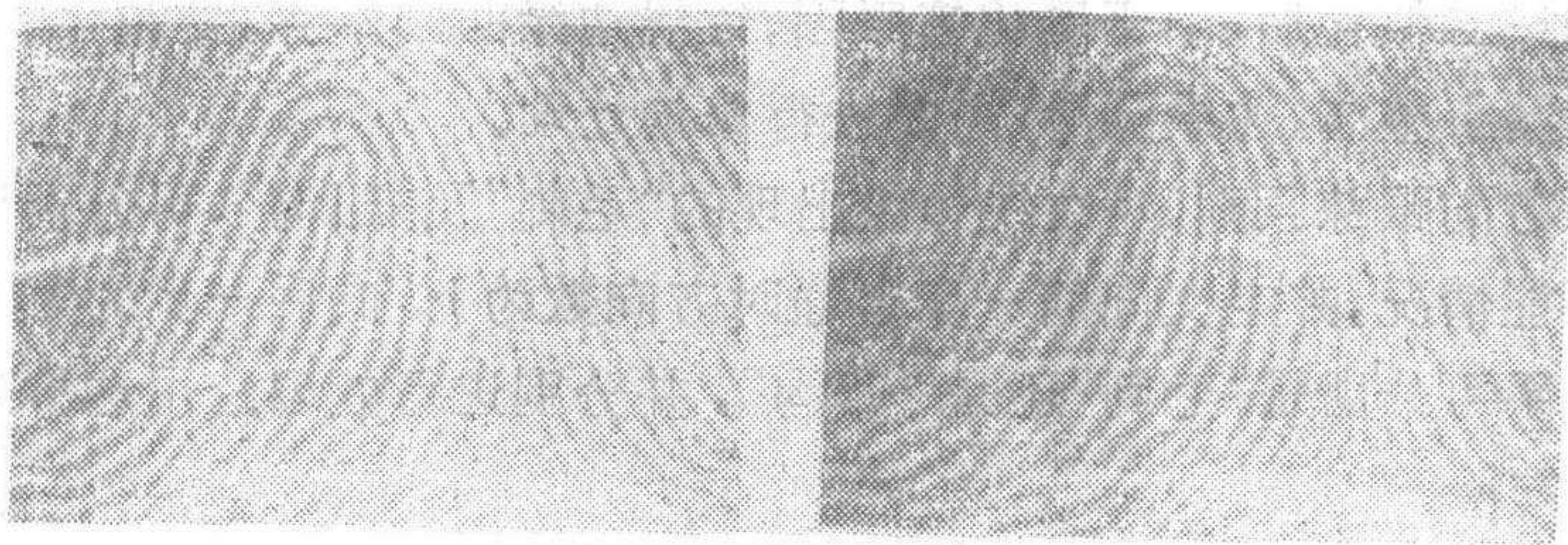


图 1

由于模糊的图象是感光过程中的扩散现象所致,因此,它必然满足线性扩散方程

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} = k \nabla^2 f(x, y, t) = k \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right). \quad (1.4)$$

其中 $f(x, y, t)$ 是时间与空间的函数; k 是扩散系数; $\nabla^2 f$ 是 f 的拉普拉斯算子, 如令 $t = 0$, 且忽略其展开的泰劳级数的高次项, 则输出函数

$$g(x, y) = f(x, y, t) - \tau k \nabla^2 f(x, y, t). \quad (1.5)$$

其中 τ 为扩散时间间隔的长度. 选取不同的 τk 值, 可得到不同的拉普拉斯算子的不同加权系数. 经多次实验知, 7×7 方阵的加权系数 P

$$P = \begin{pmatrix} & & -1 & & \\ & -1 & & -1 & \\ -1 & & 8 & & -1 \\ & -1 & & -1 & \\ & & -1 & & \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

能更好地反映出泰劳级数展开时函数的连续性, 用于指纹图象的锐化处理是适宜的. 图 2 为锐化过程中及锐化后的指纹图象.

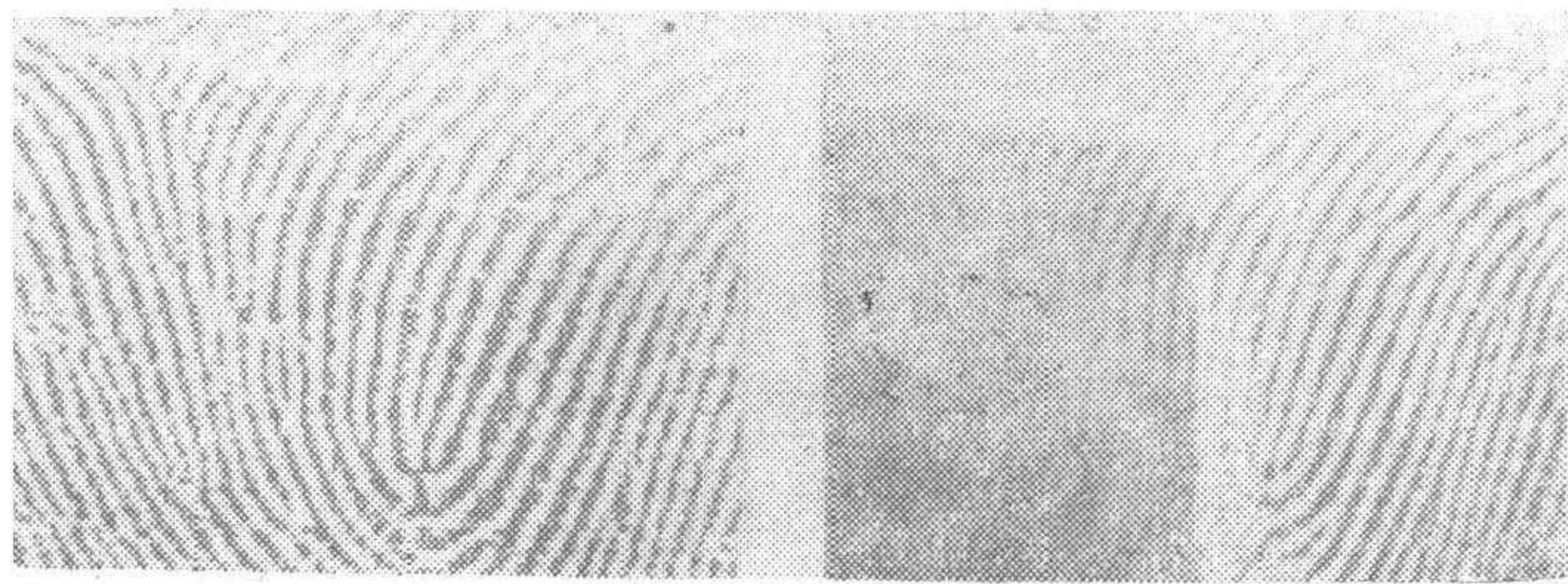


图 2

3. 二值化处理

指纹图象锐化后, 其纹线边缘突出了. 对一般较清晰的指纹, 直方图已出现明显的双峰, 故易于选取二值化的阈值. 对于具有黑白反差异常的指纹来说, 固定的阈值并不合适. 实验表明, 一个区域的反差大小与该区域的总灰度值存在密切联系, 即反差正常的区域所对应的总灰度值趋于某个范围; 反之, 所对应的总灰度值就偏大或偏小. 因此, 分区估量反差, 就可分别确定出适宜的阈值.

4. 修饰处理

指纹图象经过二值化后,由于量化等原因,纹线边缘凹凸不齐,受锐化的影响,画面出现离散点。为使图象整洁、边缘圆滑,需要进行修饰处理。

按逆时针八方向跟踪原则,对纹线边缘出现的“毛刺”及“凹沟”,可分别从实验中找到其存在的全部可能情况,并定义向前一步走通时方向数为 p , 向后一步为 q , 那么 $p \rightarrow q$, 即由 p 与 q 的关系可分出是“毛刺”还是“凹沟”,并分别进行处理。用这种方法还可处理纹线边缘的其它缺陷。

另外,用适宜的模板可去除纹沟中的离散黑点和填补纹线中的空缺白点。如令 3×3 模板

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_8 & X & a_4 \\ a_7 & a_6 & a_5 \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

中待处理的象素为 X , 其邻域 $\forall a_i \in$ 白 ($i = 1, 2, \dots, 8$), 则 $X =$ 白; $\forall a_i \in$ 黑 ($i = 1, 4, 6, 8$), 则 $X =$ 黑。修饰后的指纹图象如图 3 所示。

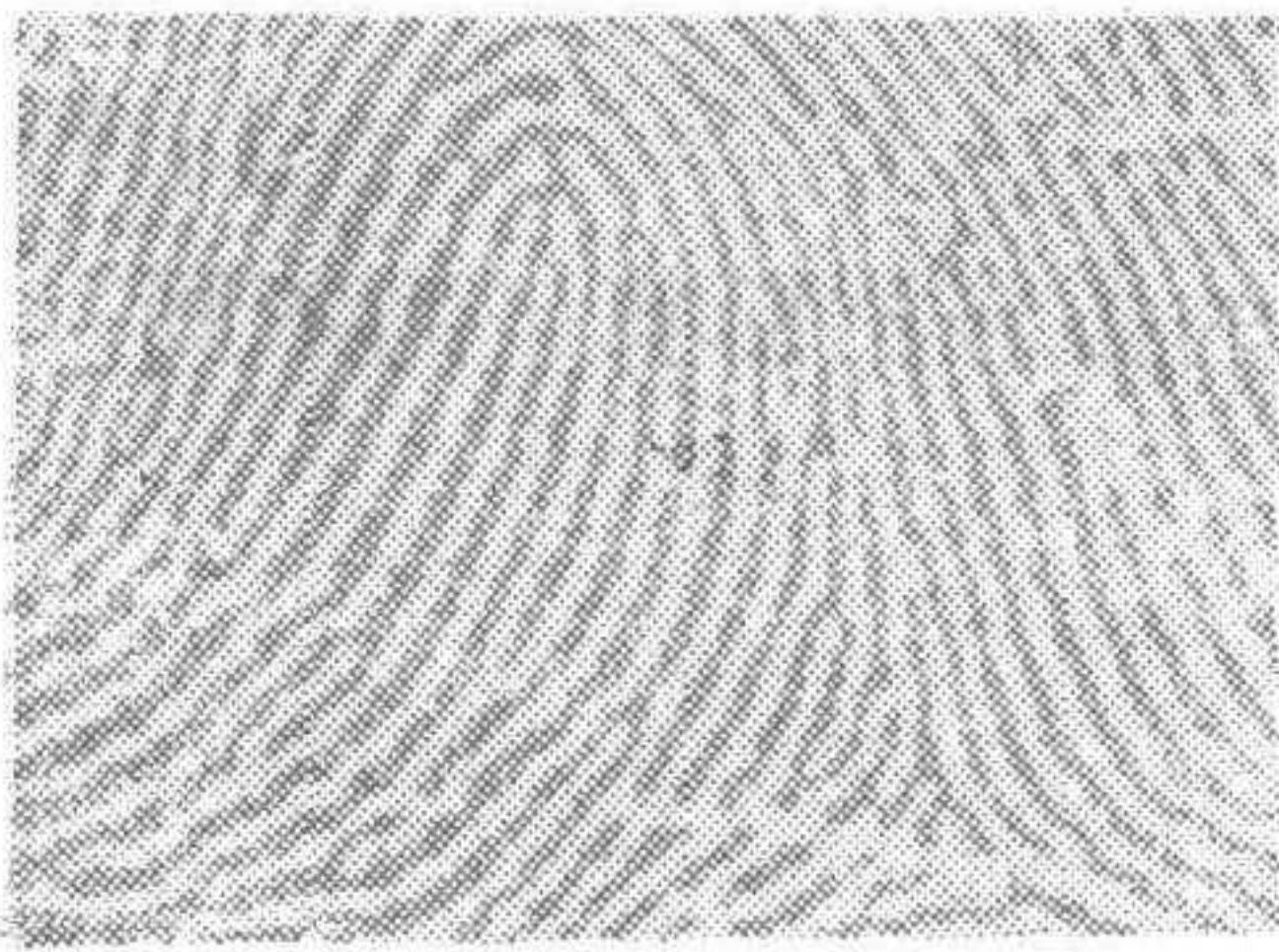


图 3

5. 细化处理

由于我们所关心的不是纹道的粗细,而是纹线的有无。因此,在不破坏图象连通性的情况下必须去掉多余的信息。

采用半旋转式细化方法,每次分别从图象的一角开始,沿上下左右四方向扫描,去掉相应纹线边缘多余点。保留左、右、上、下边缘点的逻辑表达式分别为:

$$F_{\text{左}} = f_{x,y} [\bar{f}_{x,y+1} + f_{x,y+1} (\bar{f}_{x-1,y} \cdot f_{x-1,y-1} + \bar{f}_{x+1,y} \cdot f_{x+1,y-1})], \quad (1.8)$$

$$F_{\text{右}} = f_{x,y} [\bar{f}_{x,y-1} + f_{x,y-1} (\bar{f}_{x-1,y} \cdot f_{x-1,y+1} + \bar{f}_{x+1,y} \cdot f_{x+1,y+1})], \quad (1.9)$$

$$F_{\text{上}} = f_{x,y} [\bar{f}_{x-1,y} + f_{x-1,y} (\bar{f}_{x,y-1} \cdot f_{x+1,y-1} + \bar{f}_{x,y+1} \cdot f_{x+1,y+1})], \quad (1.10)$$

$$F_{\text{下}} = f_{x,y} [\bar{f}_{x+1,y} + f_{x+1,y} (\bar{f}_{x,y-1} \cdot f_{x-1,y-1} + \bar{f}_{x,y+1} \cdot f_{x-1,y+1})]. \quad (1.11)$$

其中 $f_{x+i,y+j}$ ($i, j = -1, 0, 1$) 为要处理的象元。几种指纹类型的细化结果如图 4 所示。

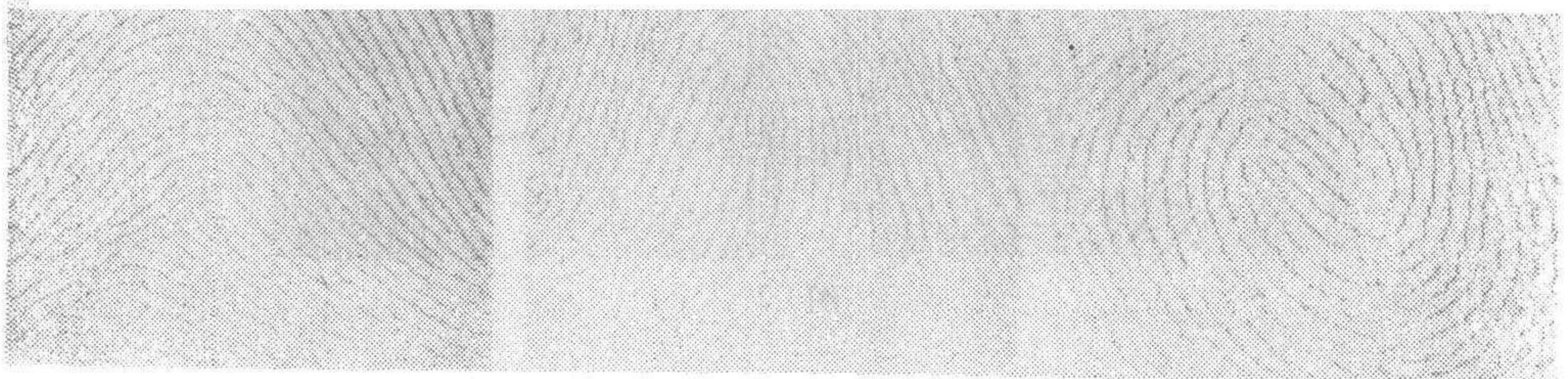


图 4

指纹图象经细化后,可根据指纹的一般纹理规律,进行后加工处理,如去掉无效的纹线搭桥及连接豁口等,还可采用人-机会话的形式,对残缺指纹进行人工修补。

二、指纹的识别与分类^[3,4]

1. 定位

指纹定位是正确识别指纹的必要措施,任何的扭摆、错位都会造成误判、错判。本文用人工查对指纹所遵循的一套规则(例如指纹三角点、中心点的确定等)进行人工定位。实际上,这项工作指纹摄入时就已经进行了。

在输入监视器的屏幕上刻下如图 5 所示标记。按所输入指纹三角点的个数进行定位,有三种情况:指纹有一个三角、一个以上的三角或没有。它们可分别与人工分类所定义的箕、斗和弓型纹相对应。通过输入监视器,操作者按某种规则与输入指纹的三角点及中心点相匹配,就可以迅速、准确地定位给定指纹,并由输入程序把该指纹图象送到计算机中。

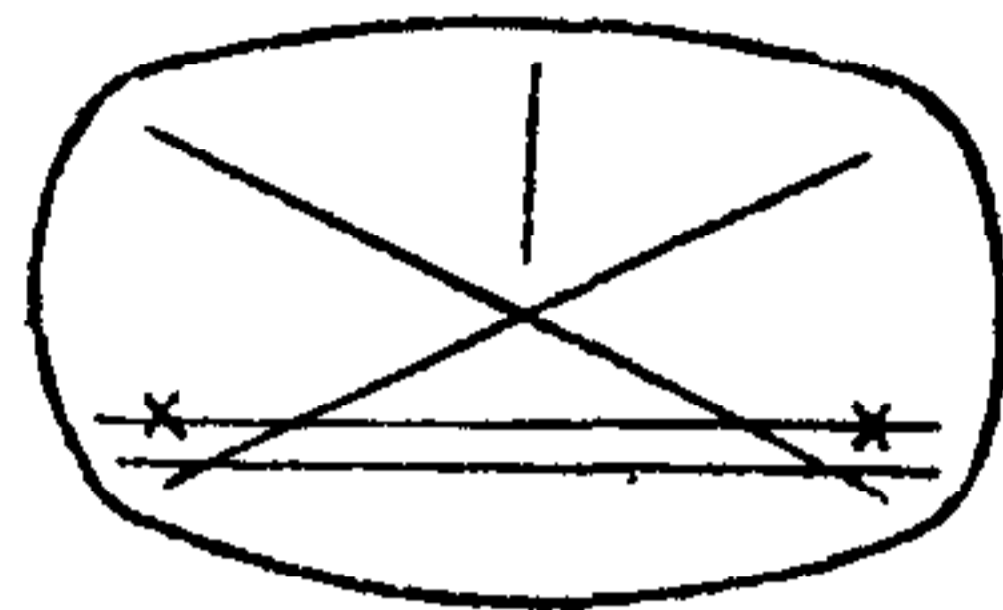


图 5

2. 特征的选择

即使是细化后的指纹图象,其信息量之大也是相当可观的。全力找出指纹纹理特性的奇异所在,可使识别大大简化。分析指纹的这些奇异细节,可归纳为九种情况:起点、

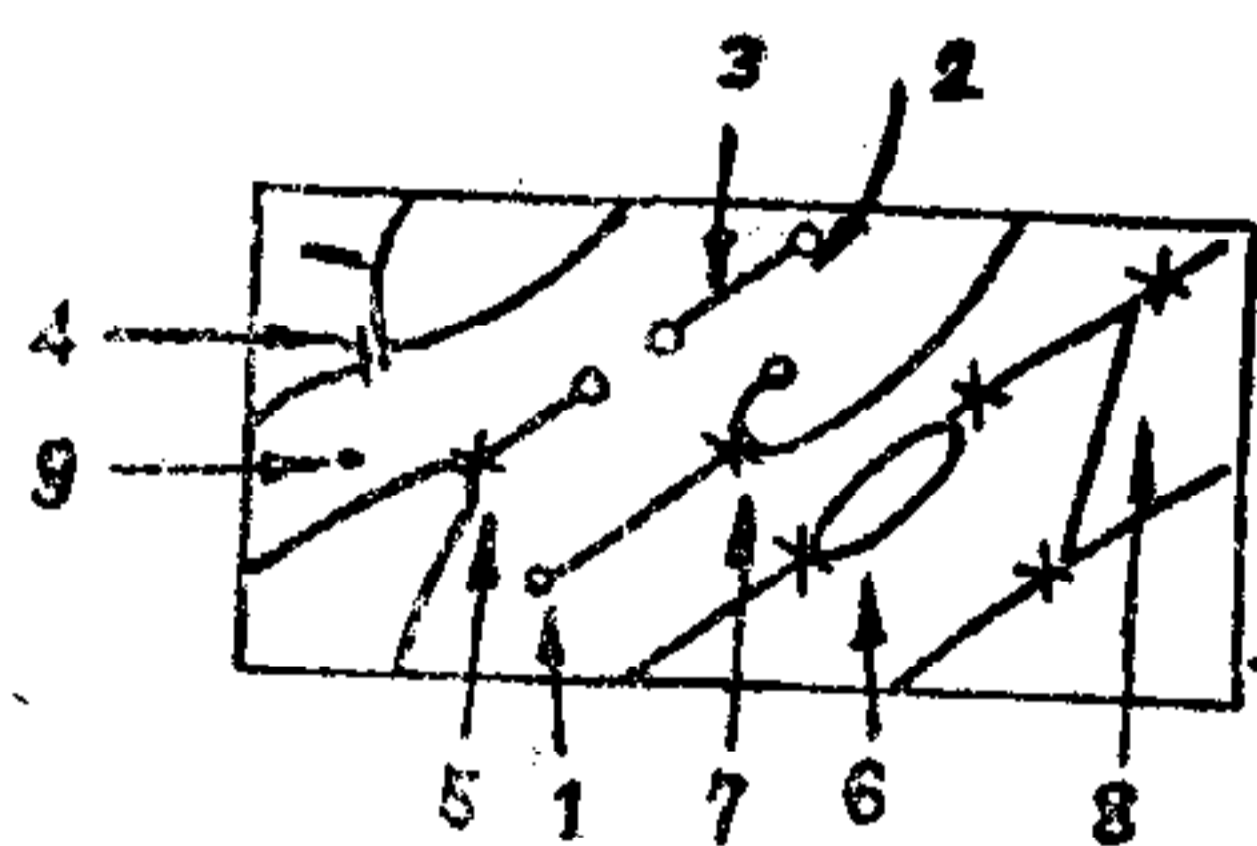


图 6

- 1.起点 2.终点 3.小棒
4.分歧 5.结合 6.小眼
7.小钩 8.小桥 9.小点
“o”——端点; “x”——分叉

终点、小桥、小眼、小钩、小点、小棒、分歧和结合。进一步分析又可把它们合并为端点和分叉这两个特征(图 6 所示为细节与特征的对应情况)。这些简化既有利于计算机进行特征提取,又可节省大量的存贮空间。

方向数也是表征指纹纹理的重要参数。由于纹线走向在定位后已经固定,因而累积的方向数也被固定了下来。尽管由于定位、量化等而出现一些差异,但同一指纹累积方向数的总趋势是一样的,可达到较高的吻合度。

在反复试验的基础上,本文把端点、分叉和方向数作为特征。

3. 特征提取

特征是按区域抽取的。将指纹图象划分为纵横 8×4 的 32 个区。粗略地计算,各区端点和分叉的特征数之和为三个。据此,在理论上可分出 3^{32} 个单一确定的指纹,若再加上每区的累积方向数,就足以满足一般识别指纹的要求。把各区的特征量按序构成“指纹字”,用以表征给定指纹,并以此作为到指纹库进行查对的基本单位。

由于提取特征是根据预处理后的图象进行的,图象的微小变异(如边缘不齐等)都会影响识别效果,因此必须建立正确的提取规则。如对于分叉特征,先由八方向探索,判别有无三个分叉点,再考虑每个分叉的步数。如建立三个分叉中每叉判三步走通为成功,反之为失败的规则,就可有三种情况:每叉均成功,记为分叉;有一叉失败,不记;二叉失败,记为端点。对于伪端点,不难从端点的类型(始、终点)、步长及与分叉的关系中找出相应规则进行处理。

4. 指纹的分类

人工分类法不仅种类少(目前比较成熟的方法是把指纹分成九类,即弓:弧形和帐形;箕:正箕和反箕;斗:环形、螺形、双箕形、囊形和杂形),远远不能满足分类的需要,而且计算机难以实现,为此,必须寻求新的分类法。

本文采用三级分类:1)大分类.由操作者通过人机会话告诉计算机是何种纹型,例如是弓、箕或斗;2)中分类.利用指纹图象的累积方向数,把同一类指纹进一步分成若干组;3)小分类.利用指纹图象的不对称性,例如上(或左)半与下(或右)半的累积方向数之比,进一步把同一组指纹分成若干部分。

由此所形成的大、中和小分类信息就构成了“类别号”,据此可到指纹库进行指纹查对。

三、指纹库的建立与查对

指纹库是对指纹进行有效存贮、管理的系统。由于它根据数据库的一些设计思想和结构方法^[9],采用了分层模型和模块结构,并与上述的识别与分类有机地结合了起来,因此可迅速有效地查对指纹。

1. 指纹库的数据结构

指纹经过识别和分类,形成了“指纹字”、“类别号”及指纹的分类层次。这里从数据结构的角,大分类定义了磁盘盘号 D_i ,中分类定义了在第 i 个磁盘上的指纹文件 F_{ij} ,小分类定义了第 j 个指纹文件中的关键字 $K_{ijk}(i=0,1,\dots,r; j=0,1,\dots,p; k=0,1,\dots,q)$ 。

指纹文件由具有不同关键字的四个区域组成,每个区域包含若干指纹字。指纹字含有关键字、符合字、档案号及特征值等参数。其中档案号是与人同一的代码;符合字是用来记录查对吻合程度的度量值(详见“指纹的查对”);各区的参数则是与计算的三个特征值相对应的存贮信息。

2. 指纹查对中的复写与复查

前述的中和小分类中,由于它们均依赖累积方向数,且靠其结果强行分类,这就势必存在边界冲突,即存在分类的边界重叠问题。本文采用冗余技术,牺牲空间以解决中分类的重叠;牺牲时间以解决小分类的重叠。

对于中分类,由试验找出相邻文件的重叠区(如图7)。当一个指纹的分类数值落入

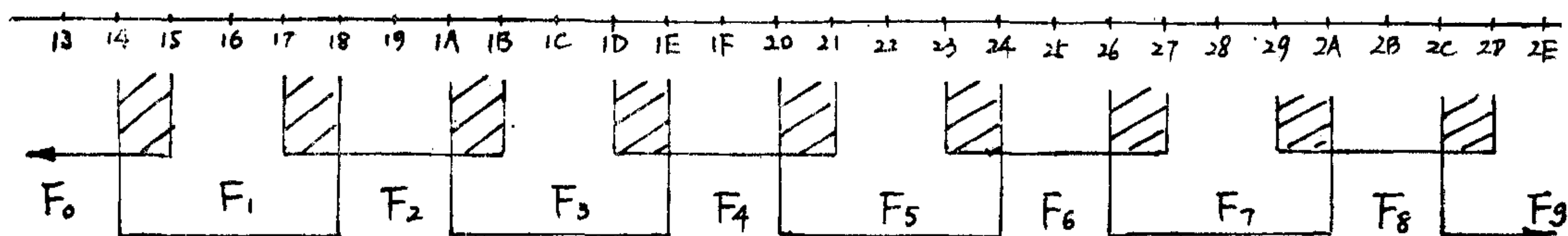


图 7

到重叠区时,就要把该指纹字写到相应的两个指纹文件中去。图中画斜线的部分为指纹文件的重叠区。 $F_i(i=0,1,\dots,p)$ 为对应的指纹文件。

在小分类中,首先计算出对称度 u ,并选取 $25\%u$ 为漂移误差。由此可形成关键字的漂移区。当分类值落入漂移区时,就要复查这两个相邻的关键字区域。

3. 指纹的查对

指纹查对是按照给定的“指纹字”,到“类别号”所指明的相应磁盘、指纹文件及关键字区域上去查对有无该指纹。查对包括检索、删除及插入等操作。

1) 检索。指纹字的比对采用最大似然法。令 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为要查对的信息串, $\bar{X}=(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ 为指纹库中的信息串,则其相似度为

$$\theta = \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|. \quad (3.1)$$

显然,当 $X=\bar{X}$ 时,则 $\theta=0$ 。由此可定义指纹字的符合度为

$$H = r_1\theta_1 + r_2\theta_2 + r_3\theta_3. \quad (3.2)$$

其中 $\theta_i(i=1,2,3)$ 分别为端点、分叉和方向数的相似度; $r_i(i=1,2,3)$ 为相应的权值。选出适当的门值 ω ,当 $H \leq \omega$ 时,该指纹字输出。

2) 插入。把指纹字插入到指纹库中的相应位置。为合理利用指纹库,对插入时出现的各种情况,要分别进行处理。

3) 删除。档案号与个人唯一对应,因此,删除档案号就可达到去掉指纹库中相应指纹字的目的。

四、结 论

将700个一般捺印指纹集中存于少数文件中,用以模拟6000指纹的库存状态,并进行了下列考核:

- 1) 一般指纹在精确定位及一般定位下的检索效果;
- 2) 同一指头多次捺印指纹的检索效果;
- 3) 同一指纹多次定位下的检索效果。

抽查100个指纹的检索结果是:成功率为98%,唯一性(指未检出多余指纹)在80%以上,失败的2个指纹属最难定位的弓型纹,在重新定位后检索成功。

实验结果表明,本文所提出的或采用的指纹图象处理、识别及建库分类方法具有简单、快速及易于在微型机上实现的特点,其结果是令人满意的。

参 考 文 献

- [1] Pratt, W. K., Digital Image Processing, A Wiley-Interscience Publication, 1978, 319—312.
- [2] Andrews, H. C., Tescher, A. G. and Kruger, R. P., Image Processing by Digital Computer, *IEEE Spectrum*, 9, 7 (1972), 20—32.
- [3] Moayer, B. and Fu K. S., A Tree System Approach for Fingerprint Pattern Recognition, *IEEE Trans. Computer*, C-25 (1976), 262—274.
- [4] Eleccion, M., Automatic Fingerprint Identification, *IEEE Trans. Spectrum*, 10, (1973), 36—45.
- [5] Date, C. J., An Introduction to Database Systems, Second Edition, Addison-Wesley (1977).

MICRO-COMPUTER-BASED FINGERPRINT AUTOMATIC RECOGNITION

LI ZHONGBONG ZHANG DAPENG

(Harbin Institute of Technology)

ABSTRACT

In this paper, the research of fingerprint automatic recognition with micro-computer-based image processing system is introduced. Method of fingerprint image pre-processing, fingerprint recognition and classification fingerprint database establishment and verification are presented. The results of the experiments are satisfactory and practicable.