

# 一种不定中心点的指纹识别方法

由广华 屈梅 孙焕山 高铭学

(大连理工大学电子系)(中科院沈阳自动化研究所)(大连理工大学电子系)

**摘要** 本文通过对指纹模式特点的研究,揭示了同指特征集间的近似仿射变换 $X$ 系,提出了比较度量不变量的指纹比对原理,并借助图进行比对。实验结果表明本文提出的指纹比对方法是可行的。

**关键词:** 模式识别, 指纹识别, 图匹配

## 1 引言

不同次捺印或现场遗留的指纹存在着相对变形。由于灰尘、伤痕、印油、接触面等干扰还会造成特征信息的丢失或引入假特征。它们的输入图象间一般存在着偏转角度和位移。这就要求有一种能适应旋转、平移、变形和丢失特征、假特征的指纹识别方法。目前实用的指纹识别方法,都需要中心点或三角点信息。其缺点是不能适应残缺,而现场指纹往往缺少中心或三角点。另外,它们不能适应较大的偏角和变形。确定中心点本身还引入一定的误差。

本文提出的比对方法,以细节特征为依据,不需要中心和三角点信息。该方法能适应平移、偏转、假特征、丢失特征和变形。比对系统如图1所示。

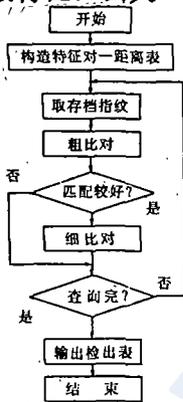


图1 比对流程图

特征对-距离表是对各特征对的距离的排序表。其目的是为了减少距离的比较和计算次数。

粗比对主要包括构造图、对应频率处理、角频区处理和邻近度处理。

当匹配点数或相似度超过某一阈值时,才进入细比对,否则判为不匹配。相似度定义为  $SR = N_p / (N_s + N_f - N_p)$ , 其中  $N_s$ ,  $N_f$  分别为查寻指纹和存档指纹特征点数,  $N_p$  为匹配点数。

细比对主要计算两特征集的匹配子集的广义相关系数  $r$ , 并计算匹配优度  $SR' = r \cdot SR$ , 当  $SR'$  超过某一阈值时插入检出表, 否则判为不匹配。

检出表按匹配优度  $SR'$  降序排列, 其容量为  $L$ 。查出一枚指纹结束时, 将输出长度为  $O-L$  的检出表。由专业人员进一步核对。

## 2 比对原理

### 2.1 指纹中的仿射变换

我们将同指不同次捺印或现场遗留的指纹特征集称为同指特征集。同指特征集间一般存在一一对应的子集, 简称对应子集。取自然坐标的对应子集间一般存在平移与旋转, 即存在刚体运动因子。由于用力的不同, 对应子集间必存在相对弹性变形。这种弹性变形在指纹这样的小范围内可以近似成在  $x$  和  $y$  两个方向上的压缩变换, 因此, 可认为对应子集间存在近似仿射变换关系。

### 2.2 指纹中的不变量

因为对应子集间存在近似仿射变换关系, 所以必存在仿射不变量和度量不变量。仿射不变量有: 关系码、不少于 3 个特征点构成的多边形面积变化前后之比是一定数。度量不变量有: 两特征点间的距离、方向码方向与两特征点连线方向的夹角。

度量不变量是指纹的最基本信息, 虽然它们受压缩的影响, 但其模型可求。与关系码相比,

度量不变量具有不受假特征与丢失特征影响的优点。

### 2.3 比对原理

因为对应子集的各个度量不变量近似相等, 因此可以用度量不变量作依据, 找出对应子集。如果比对的是同指特征集, 则因此得到的对应子集必足够大, 否则很小。

## 3 比对方法

### 3.1 特征对及其对应条件

特征集中的任两个特征点构成一个特征对(图 2)。每个特征对对应一个三元组( $R, d_{1c}, d_{2c}$ )。

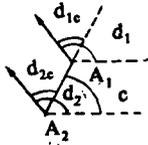


图 2 特征对

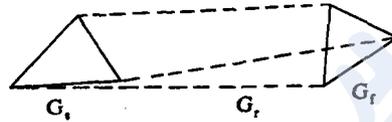


图 3 特征对的对应关系之表示

其中  $R$  为两特征点间的距离;  $d_{1c} = d_1 - c$ ,  $d_{2c} = d_2 - c$ ;  $d_1, d_2$  分别为  $A_1$  和  $A_2$  的方向码,  $c$  为  $A_1$  和  $A_2$  的连线与横轴的夹角。

两个特征集中的特征对对应的条件是:

- (1)  $R' - R < 4r + (k_{\max} - 1)R$
- (2)  $M(d_{1c} - d'_{1c}) < \Delta\theta_1, M(d_{2c} - d'_{2c}) < \Delta\theta_2$
- (3)  $M(d_{1c} - d'_{1c}) + M(d_{2c} - d'_{2c}) < \Delta\theta_2$

其中  $R' > R$ ,  $r$  是随机干扰引起特征点移动的最大半径,  $k_{\max}$  是指纹的最大压缩系数。

$$M(x) = \min(|x|_{\text{mod}2\pi}, 2\pi - |x|_{\text{mod}2\pi})$$

$\Delta\theta_1$  和  $\Delta\theta_2$  由实验确定,  $\Delta\theta_2 < 2\Delta\theta_1$ 。

### 3.2 用图表示

特征对的对应关系可以用三个图表示出来(图 3)。其中只含有查找指纹特征点的图称为查找切合图, 记为  $G_s(V_s, E_s)$ ; 只含有存档指纹特征点的图称为存档切合图, 记为  $G_f(V_f, E_f)$ ; 反映特征点对应关系的图, 含有全部入选特征点, 称为关系图, 记为  $G_r(V_r, E_r)$ , 且有  $V_r = V_s \cup V_f$ 。

切合图中的每边表示一个入选的特征对。关系图是一个加权二分图。其中边表示两个对应的特征点, 权重表示对应频率。对应频率就是以这两个特征点为端点的对应特征对数。

如果比对的是同指特征集, 两个切合图中就会存在一一对应的完全子图。因此求匹配点数问题就变成求切合图的集团数问题。一般关系图是过覆盖的, 即每个顶点与不止一个顶点相邻。一般反映真实对应的边的权重较大。匹配的点在关系图中构成一个匹配, 这个匹配基本上是最大权匹配的子集(只去掉权值很低的边)。因此, 求匹配点数问题又可归结为求加权二分图的最大权匹配问题。

求图的集团数和最大权匹配有现成的算法<sup>[1, 2]</sup>, 但计算量很大。我们采用了利用指纹描述信息的一系列方法来达到比对的目的。

### 3.3 对图的处理

(1) 对应频率处理: 在关系图中, 删除那些权值与其顶点的最大关联边或平均对应频率的绝对差、相对差超过某一阈值的边。

(2) 角度最频区处理: 对应子集各对应点的方向码差必很接近, 设其在  $\Delta\theta$  范围内。计算出关系图中各边端点的方向码差, 并对其排序。然后, 找出  $\Delta\theta$  范围内的最频数区。最频数区以外的边可以删除。

(3) 邻近度处理: 切合图中的顶点  $j$  对顶点  $i$  的邻近度定义为  $Ad_{ij} = |AP(i) \cap AP(j)| / (|AP(i)| - 1)$ ,  $0 < Ad_{ij} < 1$ ,  $Ad_{ij}$  越接近 1,  $i, j$  同时配上的可能性越大。当  $Ad_{ij} < \delta$  时, 即可删除边  $(i, j)$  及其对应边  $(i', j')$ 。其中  $\delta$  是通过实验确定的阈值。

通过以上处理, 对于同指的特征集将得到足够大的对应子集, 对于非同指的特征集, 将得到很小的对应集合, 而集合的元素数就是匹配点数。

表 1 同卡旋转比对结果

指纹文件 1		指纹文件 2		座标变换			人工匹配 点数 NE	匹配点 数 NM	匹配 率 MR	相似 度 SR	查全 率 RR	错查 率 FR
文件名	特征数 N1	文件名	特征数 N2	旋转	$\Delta X$	$\Delta Y$						
F22	19	FB22	22	338	-20	35	12	12	0.63	0.41	1.00	0.00
FC22	28	F22	19	90	85	-40	14	13	0.68	0.38	0.93	0.00
F22	19	FE22	27	180	105	85	8	8	0.42	0.21	1.00	0.00
F3	26	F3A	21	341	20	-5	15	15	0.71	0.47	1.00	0.00
F3	26	F3B	23	15	20	20	13	13	0.57	0.36	1.00	0.00
F3	26	F3C	28	2	15	0	11	11	0.42	0.26	1.00	0.00
F3A	21	F3G	19	13	-50	-15	11	11	0.58	0.38	1.00	0.00
F5	18	F56	18	340	0	0	65	9	9	0.50	0.33	1.00
平均											0.99	0.00

表 2 同指不同捺印方式比对结果

指纹文件 1			指纹文件 2			座标变换			人工匹配 点数 NE	匹配点 数 NM	匹配 率 MR	相似 度 SR	查全 率 RR	错查 率 FR
文件名	特征数 N1	方式	文件名	特征数 N2	方式	旋转	$\Delta X$	$\Delta Y$						
F22	19	M1	F22B	26	M2	346	-40	20	9	9	0.47	0.25	1.00	0.00
F22	19	M1	F22C	42	M3	355	50	50	12	12	0.63	0.24	1.00	0.00
F22	19	M1	F22D	23	M4	0	20	25	11	11	0.58	0.35	1.00	0.00
F22B	26	M2	F22C	42	M3	10	80	40	11	11	0.42	0.19	1.00	0.00
F22B	26	M2	F22D	23	M4	20	65	25	12	11	0.48	0.29	0.92	0.00
F22B	26	M2	F22E	25	M5	12	65	50	10	8	0.32	0.19	0.80	0.00
F22C	42	M3	F22D	23	M4	3	-20	-20	14	12	0.52	0.23	0.86	0.00
F22C	42	M3	F22E	25	M5	0	-10	0	14	13	0.52	0.24	0.93	0.00
F22D	23	M4	F22E	25	M5	357	10	25	14	13	0.57	0.37	0.93	0.00
F23	35	M1	F23E	30	M5	10	45	40	16	16	0.53	0.33	1.00	0.00
F23C	29	M3	F23D	26	M4	0	-17	5	10	10	0.38	0.22	1.00	0.00
F23C	29	M3	F23E	30	M5	3	-35	20	12	12	0.41	0.26	1.00	0.00
F31B	21	M6	F31C	14	M5	5	10	-20	9	9	0.64	0.35	1.00	0.00
F31B	21	M6	F31D	21	M7	5	-30	-5	10	8	0.38	0.24	0.80	0.00
F31C	14	M5	F31D	21	M7	0	-40	25	9	9	0.64	0.35	1.00	0.00
平均											0.95	0.00		

#### 4 结果与讨论

使用本文提出的方法,在 PDP-11/24 机上做了一系列实验。

其中包括使用伪随机函数模拟指纹特征数据的比对,同卡不同次输入的比对,同指不同次捺印的比对,同卡各种偏角的比对(表 1),同指各种捺印方式的比对(表 2)。其中捺印方式按  $M_1$ — $M_9$  的顺序依次是:反向滚动(左手指向右为正向,右手指反之)、正向滚动、正轻按(用力轻)、正重按、正中按、正上按(向指尖方向用力)、正下按。

在 32 份存档特征文件中的比对查找表明,89%的同卡指纹粗比对相似度最高,60%的同指指纹粗比对相似度最高。由于时间关系,尚未做细比对实验。

在全部实验中,对于同指特征集程序匹配点数与人工匹配点数相差不多于两点。实验结果表明,本文提出的原理和方法是可行的。

#### 参 考 文 献

- 1 卢开澄. 图论及其应用. 北京, 清华大学出版社, 1981:177-178
- 2 罗伯特 R 柯贺奇. 离散数学. 兰州, 甘肃人民出版社, 1983:77-78

(上接第 47 页)

要是关于某一方面的行为知识,如何使模型成为基于多方面知识的模型,以及怎样使这样的模型具有推理能力是非常吸引人的课题。Zeigler 和 Oren 两位教授已经开始了这方面的研究。仿真操作系统的发展有可能影响到计算机系统软件,建模仿真技术的发展将最终产生硬件的发展。

#### 参 考 文 献

- 1 安亚凡. 一体化仿真优化系统的仿真环境研究与实现. 硕士论文, 清华大学自动化系, 1988
- 2 安亚凡, 肖田元, 王选民. 仿真实验框架的概念和描述. 清华大学研究生学报, 1989; (3)
- 3 安亚凡, 肖田元, 王选民. 一个集成的仿真优化系统—IPSOS. 清华大学研究生学报, 1989; (3)
- 4 Cellier F E. Simulation Software: Today and Tomorrow. in: Simulation in Engineering Sciences, J Burger and Y Jarny (eds), IMACS, 1983
- 5 Denham M J. Design Issues for CACSD Systems. Proc of the IEEE, 1984; 12
- 6 Oren T T, Zeigler B P. Concepts for Advanced Simulation Methodologies. Simulation, 1979; 32(3)
- 7 熊光楞, 文传源. 仿真技术的最新进展. 系统仿真, 1987; (1)
- 8 Zeigler B P. Theory of Modelling and Simulation. Jhon Wiley & Sons Inc, 1976