

# 联机自动签名鉴定系统

柯晶 乔谊正 (济南山东工业大学自动化系 250061)  
赵宏 (中保财产保险公司山东省分公司 250012)

**摘要:**本文介绍了一个联机自动签名鉴定系统,着重说明了系统实现需要解决的几个关键问题:预处理、特征提取、特征匹配等,并给出了系统测试结果。

**关键词:**自动签名鉴定 特征提取 动态规划 区域相关

## 一、前言

签名的重要性在当今社会中越来越明显。各国政府之间的协议和备忘录的签订,官方文件以及法令和法规的颁布,银行支票的签署和汇兑,都需要当事人亲笔签名才能生效。至于社会交往信函,则不管是手写还是打印,最终也必须是作者本人的亲笔签名。

签名鉴定在国外,尤其是在北美和西欧,是普遍接受的身份辨识方法之一。

签名鉴定是建立在这样一个事实基础之上的:即签名不同于人们日常书写的文字,它没有一定的写法,每个人对自己的签名都有自己独特的理解和写法,而且是相对稳定的。也就是说,签名不仅代表了签名者的姓名信息,而且签名的某些内在的和具有唯一性的特征与产生签名这一信息的特定的生物力学系统有关。

自动签名鉴定就是利用计算机自动识别一个手写签名样本是某个特定人亲自签署的“真签名”还是别人模仿的“伪签名”。由于自动签名鉴定可以达到较高的可信度,可以为银行交易、计算机登录、数据库存取和电子邮件等许多应用领域提供一种快速准确的个人身份辨识方法。尽管指纹识别的准确度更高,但由于在一般人的意识中,指纹经常与犯罪联系在一起,因此在大多数社会场合中,尤其是对于有文化的人群来说,自动签名鉴定比指纹识别更易于被人们接受。

由于自动签名鉴定具有良好应用前景和巨大商业价值,世界各国许多学者和研究机构表现出了极大兴趣。国内近几年也逐步开始了对中文签名鉴定的研究工作。随着国民经济的迅速发展和国际交往的日益增多,在金融和公共安全等领域,签名鉴定的重要性日益明显,大力开展自动签名鉴定的研究工作是十分必要的。

根据签名获取方式不同,自动签名鉴定通常分为“联机”和“脱机”两大类。联机签名鉴定的数据获取通常采用图形数字化仪,可以获得整个签名过程中的空间和时间信息,签名表示为一个或几个随时间变化的函数。脱机签名鉴定的数据获取通常采用扫描仪或照相机,一般只能获得签名的书面结果,即写在纸上的二维静止签名图象,而没有任何时间和动态信息。本文介绍了一个联机自动签名鉴定系统。实验结果表明,本系统平均正确识别率可以达到91%以上,对逼真的伪签名具有较好识别效果。

## 二、系统概述

联机自动签名鉴定系统的结构如图1所示:

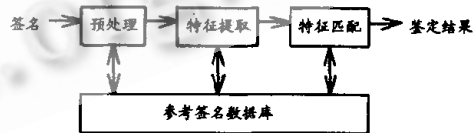


图1 系统框图

签名采集使用了自行研制开发的交互式手写输入设备,其核心是一个由8098准16位单片机控制的交互式平板显示器。和普通的图形数字化仪相比,交互式平板显示器由于可以实时显示签名时笔尖移动的轨迹,满足大多数人视觉反馈的要求,符合人们日常书写习惯,从而有利于获得高质量的签名样本。

离散化的输入签名数据包含X、Y坐标值、抬笔、落笔和时间信息。

根据系统所处状态不同,一个新输入的签名可能有两种用途:一是要把它加入到参考签名数据库中去,二是要鉴定该签名。对于要加入参考签名数据库的新签名,根据指定的个人识别号(PIN)存入参考签名数据库,存入的不仅是签名图象本身,还有一些处理的中间结果和特征向量。对于要鉴定的签名,也根据指定的个人识别号同参考签名进行特征向量的匹配,计算输入签名和指定参考签名之间的距离并和一个决策阈值相比较,以判定输入签名的真伪。

下面介绍系统框图中每个模块的功能。

### 三、预处理

预处理主要包括剔除虚假抬笔、去噪声、平滑和规范化等。

#### 1. 剔除虚假抬笔

产生虚假抬笔的主要原因是书写过程中不能始终保持足够大的压力。当笔尖的压力小于驱动数字化仪的最小值时,就会产生虚假抬笔。为了剔除虚假抬笔,可以从空间和时间两个方面对抬笔进行检验:如果一次抬笔和随后的落笔之间的空间距离或时间间隔小于特定的阈值时,就认为是虚假抬笔,应剔除之。

#### 2. 去噪声

噪声点(飞点),通常是由于数字化仪的硬件部分设计和制作不完善造成的。已有的剔除飞点噪声的算法大致可以分为两类:空间滤波方法和加速度检测方法。本系统将空间滤波方法和加速度检测方法结合起来,提出了一种新的剔除飞点噪声的算法。算法的基本思想是:对于笔画起始和结束部分的噪声点,采用空间滤波方法剔除;对于笔画中间部分的噪声点,采用加速度检测方法剔除。

#### 3. 平滑

平滑是联机文字识别系统中广泛使用的预处理方法之一。平滑的主要目的是去掉各种干扰和失真。本文采用五点三次平滑公式对坐标点数据进行平滑。

设  $n$  个等时间间隔  $t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1}$  上的坐标点数据为  $P_0, P_1, \dots, P_{n-1}$ , 则可以在每个数据点的前后各取两个相邻的点,用三次多项式  $P = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$  进行逼近。

根据最小二乘原理确定出系数,可得到五点三次平滑公式如下:  $\bar{P}_{i-2} = (69 \cdot P_{i-2} + 4 \cdot P_{i-1} - 6 \cdot P_i + 4 \cdot P_{i+1} - 1 \cdot$

$$P_{i+2})/70 \quad (1)$$

$$\bar{P}_{i-1} = (2 \cdot P_{i-2} + 27 \cdot P_{i-1} + 12 \cdot P_i - 8 \cdot P_{i+1} + 2 \cdot P_{i+2})/35 \quad (2)$$

$$\bar{P}_i = (-3 \cdot P_{i-2} + 12 \cdot P_{i-1} + 17 \cdot P_i + 12 \cdot P_{i+1} - 3 \cdot P_{i+2})/35 \quad (3)$$

$$\bar{P}_{i+1} = (2 \cdot P_{i-2} - 8 \cdot P_{i-1} + 12 \cdot P_i + 27 \cdot P_{i+1} + 2 \cdot P_{i+2})/35 \quad (4)$$

$$\bar{P}_{i+2} = (-1 \cdot P_{i-2} + 4 \cdot P_{i-1} - 6 \cdot P_i + 4 \cdot P_{i+1} + 69 \cdot P_{i+2}) \quad (5)$$

对于笔画中间的数据点,采用公式(3)进行平滑,对于笔画开头的两点用公式(1)和(2)进行平滑,对于笔画最后两点采用公式(4)和(5)进行平滑。

#### 4. 规范化

签名的规范化包括位置规范化和尺寸规范化,均通过坐标变换来实现,以签名质心为坐标原点。规范化的目的是为了消除每次签名书写位置和大小不同对鉴定结果的影响。

### 四、特征提取

为了减小签名过程中连笔和断笔的影响,在特征提取之前,系统首先根据抬笔和落笔信息,采用以时间为自变量的线性插值方法将签名每一笔画的终点与下一笔画的起点相连,即利用虚拟笔画将签名连成一条连续曲线。

连续的签名曲线可以表示为等时间间隔的空间离散坐标点序列  $\{P(t), t = 1, 2, \dots, N_p\}$ , 其中  $P(t) = (D_x(t), D_y(t))$ ,  $N_p$  为采样点总数。采用 Savitzky-Golay 平滑滤波器对  $D_x(t)$  和  $D_y(t)$  分别进行微分运算,求出签名过程中笔尖运动在直角坐标系  $X, Y$  轴方向上的速度分量  $V_x(t), V_y(t)$  和加速度分量  $A_x(t), A_y(t)$  四个导出信号。根据这四个导出信号,进一步计算出签名过程中笔尖运动的书写方向角  $\theta(t)$ 、速度  $V(t)$ 、角速度  $V_a(t)$ 、切向加速度  $A_t(t)$  和向心加速度  $A_c(t)$ :

$$\theta(t) = \text{tg}^{-1}(V_y(t)/V_x(t)) \quad (6)$$

$$V(t) = \sqrt{V_x(t)^2 + V_y(t)^2} \quad (7)$$

$$V_a(t) = \dot{\theta}(t) = (A_y(t) \cdot V_x(t) - V_y(t) \cdot A_x(t)) / (V_x(t)^2 + V_y(t)^2) \quad (8)$$

$$A_t(t) = \dot{V}(t) = (V_x(t) \cdot A_x(t) + V_y(t) \cdot A_y(t)) / (\sqrt{V_x(t)^2 + V_y(t)^2}) \quad (9)$$

$$A_c(t) = V(t) \cdot \dot{\theta}(t) = (V_x(t) \cdot A_y(t) - V_y(t) \cdot A_x(t)) / (\sqrt{V_x(t)^2 + V_y(t)^2}) \quad (10)$$

以签名的  $X$  坐标  $D_x(t)$ 、 $Y$  坐标  $D_y(t)$ 、速度  $V(t)$ 、角速度  $V_a(t)$ 、切向加速度  $A_t(t)$  和向心加速度  $A_c(t)$  这 6 个信号为签名特征。

## 五、特征匹配

特征匹配是根据指定的个人识别号,把待测签名的特征(包括静态特征和动态特征)与签名库中存储签名的特征进行比较,计算待测签名和参考签名之间的距离。由于本系统直接采用签名的函数描述作为特征,因此本系统要解决的主要难点就是签名特征的匹配问题,即必须对两个持续时间不等且存在非线性畸变的函数进行比较。为此,本系统同时采用动态规划和区域相关算法,提出了一种有效的特征匹配方法。即先将签名切分为笔段,以笔段为基元,然后根据一些比较简单的静态特征,采用动态规划方法寻求输入签名和参考签名笔段之间最优对应关系,根据最优对应关系,再同时考虑静态和动态两类特征,采用区域相关算法计算待测签名和参考签名之间的相似度。

### 1. 笔段分割

给定签名的空间离散坐标点序列表示  $\{P(t), t = 1, 2, \dots, N_p\}$ , 首先利用下面的公式计算签名上各个坐标点的曲率

$$\text{曲率: Curvature}(t) = \frac{d\theta(t)}{dS(t)} \quad (11)$$

其中  $\theta(t)$  为书写方向角,  $dS(t) = \sqrt{dD_x(t)^2 + (dD_y(t))^2}$ 。

为了对曲率值进行平滑,采用了三个连续点曲率的加权平均值。

取曲率超过某一门限者为拐点,将签名切分为笔段序列  $\{S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_{N_S}\}$ 。利用已经提取的特征,将签名任一笔段  $S_j$  都表示为参数向量序列  $S_j = \{PV_1, PV_2, \dots, PV_i, \dots, PV_{NV}\}$ , 其中  $PV_i = (x_i, y_i, V_i, V_{ai}, A_{ci})$ ,  $A_{ci}$  表示笔段  $S_j$  上的第  $i$  个坐标点,  $NV$  为组成笔段  $S_j$  的坐标点总数,  $X_i, Y_i$  为规范化以后的坐标值;  $V_i, V_{ai}, V_{ci}$  和  $A_{ci}$  分别为  $PV_i$  点的速度、角速度、切向加速度和向心加速度。

### 2. 笔段对应

笔段分割之后,签名可以表示为包含特征的笔段序列。在对待测签名  $TS$  和参考签名  $RS$  进行比较之前,需要寻找待测签名和参考签名笔段之间的对应关系。由于待测签名和参考签名笔段之间并不总是“一对一”的对应,经常存在“一对多”、“多对一”和“多对多”等多种对应情况。为了寻求笔段之间最优对应关系,采用了动态规划方法。

先把问题一般化。设标准符号串为  $G = g_1 g_2 \dots g_m \dots g_M$ , 未知符号串为  $X = x_1 x_2 \dots x_n \dots x_N$ , 两个符号  $g_m$  和  $x_n$  之间的距离为  $d(m, n)$ , 则两个符号串  $G$  和  $X$  之间总的匹配距离  $DM(G, X)$  可以用下面的动态规划方法求出

$$\begin{cases} D(1, 1) = d(1, 1) \\ D(m, n) = d(m, n) + \min\{D(m-1, n), D(m-1, n-1), D(m, n-1)\} \\ DM(G, X) = D(M, N) \end{cases} \quad (12)$$

式中  $D(m, n)$  表示  $G$  前串  $g_1 g_2 \dots g_m$  和  $X$  前串  $x_1 x_2 \dots x_n$  之间的匹配距离。

上述递推计算过程的实质是伸长和缩短某一符号串长度,以找到两个符号串之间的最优匹配,也就是允许两个符号串之间的符号多对一或一对多的对应。

$DM(G, X)$  反映了两个符号串之间的差别大小,如果  $DM(G, X) = 0$ , 则两个符号串完全相同,  $DM(G, X)$  值越大,说明两个符号串相差越大,相似度越低。

下面考虑签名笔段之间对应关系问题。此时  $G = g_1 g_2 \dots g_m \dots g_M, X = x_1 x_2 \dots x_n \dots x_N$  分别为参考签名和待测签名的笔段序列,  $M, N$  为笔段数,  $g_m$  和  $x_n$  之间的距离  $d(m, n)$  为

$$d(m, n) = \sqrt{(X_m^x - X_n^x)^2 + (Y_m^y - Y_n^y)^2} + \sqrt{(x_m^x - x_n^x)^2 + (y_m^y - y_n^y)^2} + CL \cdot |L_m - L_n| \quad (13)$$

式中:  $m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N; x_s, y_s$  为笔段起点坐标;  $x_e, y_e$  为笔段终点坐标;  $L_s$  为笔段的长度;  $C_L$  为权重系数。

将(13)式代入(12)式,即可以计算出参考签名和待测签名笔段之间的对应距离  $DM(G, X)$ 。

在寻求  $DM(G, X)$  的同时记录搜索路径,求得  $DM(G, X)$  以后,由记录的搜索路径反推回来,寻求待测签名  $TS$  和参考签名  $RS$  的笔段相互对应的最短路径[2],并表示为一个笔段间的映射  $f: TS \rightarrow RS$ 。  $f$  满足下面的条件:  $TS$  中任一笔段  $x_m$ , 依照法则  $f$  在  $RS$  中有唯一的对应笔段  $g^n = f(x_m)$ ,  $g^n$  为采用动态规划方法求出的  $x_m$  的对应笔段。

### 3. 笔段匹配

笔段的匹配采用下面的区域相关算法。

设  $A(t)$  和  $B(t)$  为观测时间序列,  $A(t)$  和  $B(t)$  之间的距离可以定义为

$$DC(A, B) = 1 - SC(A, B) = 1 - \max_{\tau} \left[ \frac{\sum_t A(t) \cdot B(t - \tau)}{\left[ \sum_t A(t)^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_t B(t)^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (14)$$

SC(A, B)定义为相似度。计算SC(A, B)时, A(t)和B(t)中心对准[3], 延迟时间 $\tau$ 最大允许为A(t)和B(t)中较长一个的区域长度的 $\pm 50\%$ 。

为了加快计算速度, 互相关函数 $\sum_t A(t) \cdot B(t - \tau)$ 的计算采用快速傅立叶变换(FFT)间接计算方法。具体方法如下: 采用中心对准, 两端添零的方法, 将A(t)和B(t)变成长度为N的等长序列, N为2的整数次幂, 即 $N = 2^m$  (m为整数), 然后对两个数据集进行FFT, 用一个变换结果乘以另一个变换的复共轭, 然后再求乘积的逆变换, 逆变换结果中实部的不同分量即为不同延迟时间的相关值。

#### 4. 分段特征匹配

给定待测签名TS的笔段序列表示 $X = x_1 x_2 \dots x_n \dots x_N$ 和参考签名RS的笔段序列表示 $G = g_1 g_2 \dots g_m \dots g_M$ 以及笔段间映射 $f: TS \rightarrow RS$ , 采用上述区域相关算法, 可以对待测签名和参考签名的特征分段进行匹配。

由签名笔段的参数向量序列表示可知, 笔段又可以看成是X坐标、Y坐标、速度、角速度、切向加速度和向心加速度这6个观测时间序列表示的组合。因此可以采用区域相关算法对待测签名中任一笔段 $x_n$ 和参考签名中对应笔段 $g^n = f(x_n)$ 的这6个观测时间序列表示分别进行比较, 从而得到六个距离度量 $DC_i(x_n, g^n)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 6$ , 笔段 $x_n$ 和对应笔段 $g^n$ 之间的匹配距离定义为

$$DS_n = \sum_{i=1}^6 C_i \cdot DC_i(x_n, g^n) \quad (15)$$

其中 $C_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 6$ 为权重, 其值根据全体训练样本集确定。

在此基础上, 待测签名和参考签名之间总的匹配距离定义为

$$DT = \left( \sum_{n=1}^N W_n \cdot DS_n \right) / N \quad (16)$$

其中, N为待测签名的笔段数, 权重 $W_n$ 规定为笔段

$X_n$ 的长度与待测签名总长度之比。

当 $DT \leq TH$ 时, 则判定待测签名为真签名样本; 反之, 则为伪签名样本。TH为预先设定的阈值, 其值根据全体训练样本集确定。

## 六、系统测试及分析

系统采用C语言和汇编语言混合编程, 并在486微机上实现。

系统测试采用的实验样本包括34个成年人书写的680个真签名样本和由擅长于模仿别人笔迹的8个志愿者提供的340个伪签名样本。680个真签名样本一半作为训练样本, 一半作为测试样本, 340个伪签名样本均作为测试样本。

对680个测试签名样本的识别实验表明, 系统对真伪两类签名样本的平均正确识别率可以达到91%以上, 即平均错误率小于9%。考虑到测试中采用的伪签名样本都是由专人精心模仿的, 上述实验结果是比较令人满意的。

分析表明, 产生识别错误的原因是多方面的, 主要有3个: (1)一些笔画比较简单或书写十分工整的签名很容易模仿; (2)少数书写自由度较大的人提供的真签名样本之间变化幅度比较大; (3)识别方法尚不够完善, 尤其是特征匹配的有效性需要进一步深入的研究。

#### 参考文献

- [1] Leclerc F and Plamondon R. Automatic signature verification: the state of the art—1989 - 1993. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1994, 8(3): 643 - 660.
- [2] 陈辉堂等. “识别图板输入汉字的动态规划方法”. 信息与控制, 1985年, 第3期: 54 - 60.
- [3] Plamondon R and Parizeau M. Signature verification from position, velocity and acceleration signals: a comparative study. Proc. 9th Int. Conf. on Patt. Recog., 1988: 260 - 265.

(来稿时间: 1997年11月)