

基于动态时间规划的在线签名认证方法^①

On-Line Signature Verification Based on Dynamic Time Warping

黄承杰 (中国科学技术大学 自动化系 安徽 合肥 230027)

申 飞 吴仲城 (中国科学院 合肥智能机械研究所 安徽 合肥 230031)

摘要: 在线签名认证是基于人体行为特征的身份认证技术。动态时间规整 (DTW) 算法是签名验证中最为常用的方法, 但该算法应用到签名验证中存在一定的局限性。本文针对这些具体问题, 提出了新的解决方法。基于 F-Tablet 手写输入设备, 综合利用签名字形信息以及三维书写力信息研究 DTW 算法在签名认证系统中的应用。提出了合理性的算法模型。通过试验数据表明, 取得等错误率达到 2.31% 的满意结果。

关键词: DTW 在线签名认证 F-Tablet 手写输入设备

1 引言

基于生物特征的身份认证技术越来越受到人们广泛重视, 与传统的令牌、密码等身份认证方式相比, 生物认证具有不易遗忘、丢失和被盗等优点。常用的生物特征认证方式包括指纹、人脸、虹膜、签名等。在线手写签名认证是其中有效的认证技术之一, 作为人的一种行为特征, 具有非侵犯性、易被人接受等特点。随着各种手写输入设备和掌上电脑的普及, 基于签名的身份认证技术成为当前模式识别领域研究的热点[1]。

2 系统处理流程

2.1 系统框架

在线签名验证系统一般包括签名注册和签名认证两大部分[2]。系统功能实现主要环节有: 1) 数据获取及预处理; 2) 特征提取; 3) 对比分析; 4) 性能评估。

2.2 数据获取及预处理

在线签名验证技术一般采用手写输入设备获取书写过程中的字形、压力和角度等中要信息, 依据这些信息鉴定书写人真实身份。本文基于中国科学院合肥智能机械研究所自行研制的 F-Tablet 手写输入设备, 获取签名过程中的字形信息以及三维全力信息[3]。

预处理包括对签名字形大小和位置归一化以及平滑处理。另外, 将三维力特征进行大小归一, 将幅值归一到[0,1]区间。

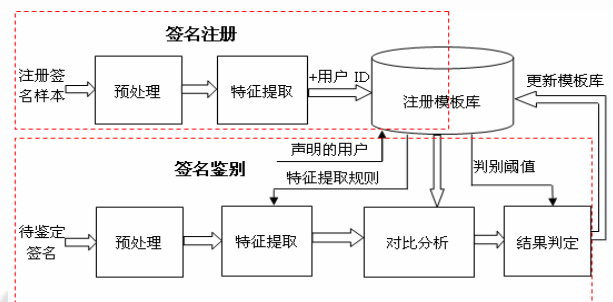


图 1 在线签名认证系统框架图

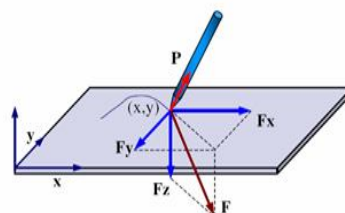


图 2 F-Tablet 手写输入设备受力示意图 (左) 及实物图 (右)

① 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60575058);国家 863 项目(2008AA04Z205)

收稿时间:2008-08-07

2.3 特征提取及对比分析

在线签名认证技术主要有基于函数法与基于参数法两大类型的对比技术。基于函数法将签名数据点对点进行匹配比较,较复杂但性能要好。一般采用基于函数法实现签名认证系统。

由于书写过程的不稳定性,获取的手写签名之间具有一定的差异。基于函数法签名认证技术的主要问题在于解决时间序列长度不一致的签名之间的匹配比较。动态时间规整(DTW)算法通常被用来解决该问题[4]。

在采用DTW算法解决签名对比时,一般提取签名的字形信息(如X/Y坐标,以及引申得到的速度和加速度等信息),压力信息等。本文提取特征主要有字形信息和三维力信息。

2.3.1 DTW算法及存在的问题

DTW算法是基于动态优化的思想,目标是在模板序列和测试序列之间找到一条优化的时间校准路径,该路径满足对应点之间的特征值欧式距离最小,测试序列上的采样点被映射到参考序列上。

但是,DTW算法来源自语音识别以及手写体识别领域的应用。在识别类应用中,通过规整待识别模式,使其更加“可信”,与参考模式更加一致,在已知参考模式集合中选择与待识别模式距离最小的作为其识别结果。在签名认证领域,该方法存在着重要的缺陷:认证时,由于伪造签名的存在,DTW算法会使得伪造签名相对真实签名更加趋于模板签名,从而使得将真实签名与伪造签名分类更加困难。

2.3.2 基于字形匹配的力信息分类器设计

一般来说,真实签名与伪造签名在字形上的差异并不明显。特别是在实际应用环节,伪造者的刻意模仿使得字形基本趋于一致。所以在签名认证中,仅依据字形信息不能完全性的解决实际问题。但是,签名之间匹配比较时,必须在签名字形基本匹配的前提下进行。当前应用DTW算法解决签名特征信号匹配比较的研究中,人们并没有注意到这一重要的环节。

签名书写过程中的力信息包含重要的个人特性,反应了书写人书写过程中的轻重缓急程度,而且力信息属于隐性特征,一般较难模仿。基于力信息的签名特征比较更能反应书写人之间的个性差异。本文采用

书写过程中的三维力信息综合匹配比较。

然而,直接依据力信息进行DTW规整匹配后,对伪造签名存在超越字形匹配基础的现象,也就是说,这时得到的匹配路径在字形上是错误的匹配(见图3)。

本文基于这些问题,提出了新的DTW算法策略:基于字形匹配的力信息分类器设计。

主要步骤包括:

- ① 基于字形特征,利用DTW算法求的匹配路径;
- ② 在匹配路径的基础下,计算对应点之间的三维力特征加权距离;
- ③ 利用距离与事先设定的阈值进行比较,如果,则签名为伪造签名,否则为真实签名。
- ④ 阈值设定在签名注册环节。通过注册的若干真实签名之间的距离平均值以及方差,设定阈值,其中通过学习得到。

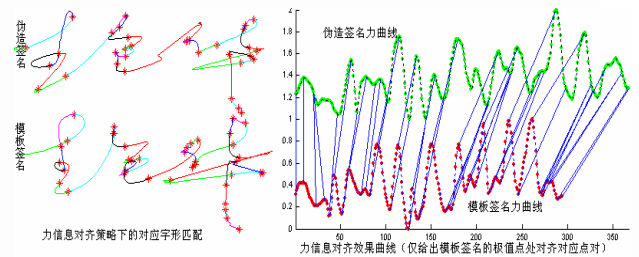


图3 基于力信息的DTW对齐路径在字形上的匹配效果(模板与伪造签名之间)。图中字形匹配用相同颜色表示两个匹配好的字形特殊点之间的笔段

2.4 性能评估

在线签名认证算法的性能评估一般通过对签名数据库中已知签名的认证试验进行。将签名特征空间分为两个子区域与,前者为真实签名空间,后者为伪造签名空间。在认证试验中,会发生两类错误,一是将实属于类的模式判为属于,称为错误拒绝,使用FRR(False Reject Rate)表示这种概率,另一种是实属于类的模式判为属于,称为错误接受,使用FAR(False Accept Rate)表示这种概率。在认证试验试验中,一般取FRR=FAR的情况,即等错误率EER(Equal Error Rate)作为系统评价依据。系统性能分析曲线一般采用ROC曲线(Receiver Operating Curve)。

本文中采取 ROC 曲线进行性能评估。

3 实验结果及分析

3.1 签名数据库

实验数据库包含从 14 个签名人那获取到的共计 700 个签名样本。其中每个书写人分两阶段提供 30 个真实签名, 并且提供 20 个其他人的熟练伪造签名。对应每个书写人, 共有 30 个真实签名与 20 个伪造签名。

3.2 算法性能评估实验

在实验中, 针对某特定书写人 A 的签名认证, 首先任取某真实签名作为模板签名, 然后将其他 29 个真实签名以及 20 个签名作为测试签名, 进行算法测试。

在图 4-6 的试验结果中可以发现, 采用基于字形或基于力信息的 DTW 匹配距离计算, 得到的距离分布不能很好的分离真实签名与伪造签名。而采用基于字形匹配的三位力信息距离, 可以得到较好的效果。

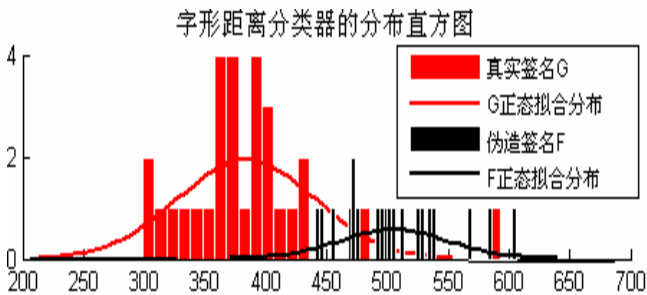


图 4 直接依据字形信息进行 DTW 算法匹配得到的距离分布

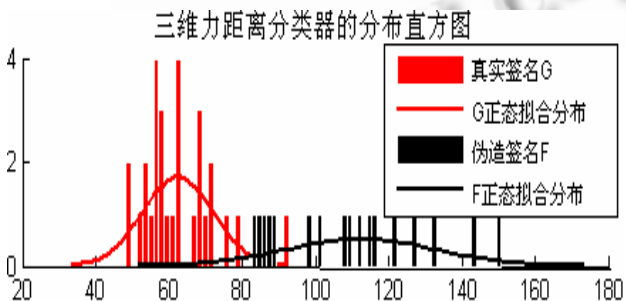


图 5 依据三维力信息进行 DTW 算法匹配得到的距离分布

表 1 给出针对数据库中 14 个签名人, 采用基于字形匹配的三维力 DTW 距离分类设计算法求得的等

错误率。

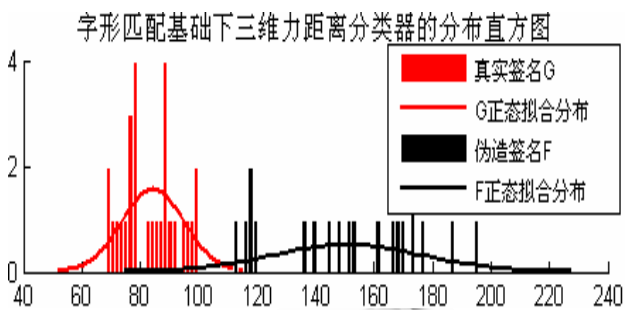


图 6 基于字形匹配的三位力信息 DTW 距离分布

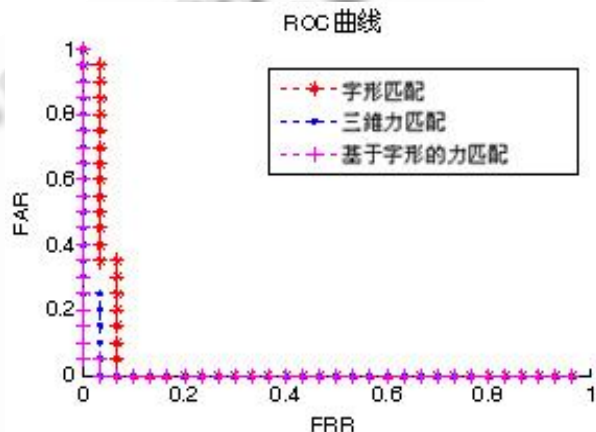


图 7 书写人 A 对应的不同 DTW 算法得到的 ROC 曲线图

表 1 系统中 14 个签名人对应的等错误率

ID	EER(%)	ID	EER(%)	ID	EER(%)
ID1	0.98	ID2	8.24	ID3	1.52
ID4	5.23	ID5	2.10	ID6	0.98
ID7	0	ID8	0.35	ID9	1.64
ID11	1.20	ID12	2.54	ID13	3.04
ID14	2.87	总计	2.31		

通过实验分析得到系统的等错误率达到 2.31%。可见当前算法的性能已经能够满足大部分实际需求。

3.3 应用系统设计

应用系统的设计, 首先获取签名人的 5 个注册签名, 通过相互 DTW 计算得到距离均值 u 以及方差 σ , 设定阈值

$$T = u + k\sigma \quad (1)$$

在试验中通过学习得到 k 一般取 3 比较合适。对应每个签名人可以得到确定的签名距离阈值。对数据库中

14个人分别试验得到系统的FAR和FRR分别如表2所示。由表2可见,应用系统在试验数据库上是有效的。

表2 认证系统在数据库上的测试效果

ID	FRR(%)	FAR(%)	ID	FRR(%)	FAR(%)
ID1	1.50	2.35	ID2	0	0
ID3	0.50	1.54	ID4	2.65	1.58
ID5	3.25	3.25	ID6	1.26	0
ID7	0	0	ID8	0	0
ID9	0	0	ID10	5.64	6.58
ID11	0	0	ID12	2.65	1.26
ID13	0	4.65	ID14	3.54	1.25

4 总结

本文通过分析DTW算法在签名认证中存在的问题,提出基于字形匹配的三维力信息距离分类器设计策略。基于F-Tablet手写输入平台,设计了在线签名认证系统。实验中的结论表明新的方法可以取得较

好的效果,可以满足大部分实际应用需求。进一步的工作将主要集中在两个方面的研究,一是鲁棒性更强的基于字形DTW匹配算法的设计,二是DTW算法采用的欧氏距离受到噪音影响较大,如何设计合理的策略避免这一问题。

参考文献

- 1 栾方军,程海,宋晓宇.基于HMM的在线手写签名认证系统设计与实现.计算机应用与软件,2008,25(6).
- 2 Plamondon R, Lorette G. Automatic signature verification and writer identification - the state of the art. Pattern Recognition Letters, 1989,22(2):107-131.
- 3 方平,孟明,吴仲城,葛运建,余永.基于字形信息和书写力信息的在线签名鉴别.模式识别与人工智能,2006,19(1):1-6.
- 4 Jain AK, Griess FD, Connell SD. On-line signature verification. Pattern Recognition, 2002, 35(12):2963