

生物特征识别技术综述

孙冬梅, 裘正定

(北方交通大学信息所, 北京 100044)

摘 要: 生物特征识别技术作为一种身份识别的手段, 具有独特的优势, 近年来已逐渐成为国际上的研究热点. 本文综述了各种生物特征识别技术的基本原理和一些关键技术, 对每种生物特征的优势和不足进行了分析, 并对生物特征识别技术中存在的问题和未来的研究方向进行了讨论.

关键词: 生物特征识别; 身份识别; 身份认证; 人脸识别; 指纹识别; 虹膜识别; 手形识别; 掌纹识别; 签名识别; 说话人识别

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2001) 12A-1744-05

A Survey of the Emerging Biometric Technology

SUN Dongmei, QIU Zhengding

(Institute of Information Science, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: An accurate automatic personal identification is critical to our highly interconnected information society. Biometrics refers to automatic identification of an individual based on her/his physiological or behavioral traits. Though biometrics is not an identification panacea, it is beginning to provide very powerful tools for problems requiring positive identification. This paper attempts to summarize important research issues in biometrics.

Key words: biometrics; personal identification; verification; face recognition; fingerprint verification; hand shapes verification; iris identification; retina identification; palmprint verification; signature verification; speaker verification

1 引言

随着全球范围内电子商务的迅速兴起, 人们可以通过 Internet 等开放式网络进行在线电子交易等商务活动. 同时, 由于网络上存在着大量敏感的个人、军队、政府的信息, 这些信息只有得到授权的人才能进行访问, 因此网络安全成为网络发展的一个关键问题, 而身份鉴别作为网络安全的一个重要方面越来越受到人们的重视.

关于个人身份鉴别的问题可以分为两类: 认证(verification)和识别(identification). 认证指的是验证用户是否为他所声明的身份(Are you whom you claim?), 识别指的是确定用户的身份(Who are you?). 身份的鉴别主要基于: (1) 持有物, 如各种证件; (2) 所了解的信息, 如口令或密码; (3) 生理或行为特征, 如指纹、手形、声音、签名等. 第三种方法就是现在引起人们广泛兴趣的生物特征识别(biometrics)技术, 它是基于个人独特的生理或行为特征进行自动身份鉴别的技术^[1]. 因为生物特征不会像密码那样容易被忘记和破解, 也不会像持有物那样容易被窃取或转移, 因此人们认为生物特征识别将是一种更加可靠、方便、快捷的大众化身份识别手段.

人的任何生理或行为特征只要它满足下面的条件, 原则上就可以作为生物特征用于身份鉴别: (1) 普遍性, 每个人都

具有; (2) 唯一性, 任何两个人都不一样; (3) 稳定性, 这种特征至少在一段时间内是不变的; (4) 可采集性, 可以定量测量. 然而, 满足上述条件的生物特征对一个实际的系统却未必可行, 因为实际的系统还必须考虑: (1) 性能, 即识别的准确性、速度、鲁棒性以及为达到所要求的准确性和速度所需要的资源; (2) 可接受性, 人们对于一种特定的生物特征识别在日常生活中的接受程度; (3) 可欺骗性, 用欺诈的方法骗过系统的难易程度.

因此, 一个实际的生物特征识别系统应做到: (1) 在合理的资源需求下实现可接受的识别准确性和速度; (2) 对人没有伤害而且可为人们所接受; (3) 对各种欺诈方法有足够的鲁棒性. 目前人们研究和使用的生物特征识别技术主要有: 人脸识别、虹膜识别、手形识别、指纹识别、掌纹识别、签名识别、声音识别.

典型的生物特征识别系统如图 1 所示, 逻辑上包括两个模块: 注册模块和识别模块. 在注册模块中首先登记用户的姓名, 通过生物特征识别传感器得到用户的生物特征信息, 然后从获取的数据中提取出用户的特征模式, 创建用户模板, 存储在数据库中. 在识别模块中同注册过程一样获取用户的生物特征信息, 提取出特征模式, 然后与事先注册在数据库中的模

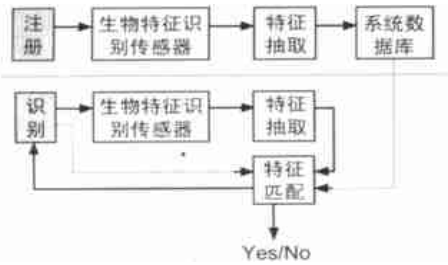


图 1 生物特征识别系统的基本结构

板相匹配,检验用户的身份。下面将对一些主要的生物特征识别技术分别加以介绍。

2 主要的生物特征识别技术

2.1 人脸识别

人脸识别是一个活跃的研究领域。虽然人脸识别的准确性要低于虹膜、指纹的识别,但由于它的无侵害性和对用户最自然、最直观的方式,使人脸识别成为最容易被接受的生物特征识别方式。

人脸识别主要有两方面工作:在输入的图像中定位人脸;抽取人脸特征进行匹配识别。目前的人脸识别系统,图像的背景通常是可控或近似可控的,因此人脸定位相对而言容易解决。而人脸识别由于表情、位置、方向以及光照的变化都会产生较大的同类差异,使得人脸的特征抽取十分困难。现在主要的人脸识别方法有:(1)基于脸部几何特征的方法;(2)基于特征脸的方法;(3)神经网络的方法;(4)局部特征分析的方法;(5)弹性匹配的方法。

基于几何特征的识别是通过提取眼睛、眉毛、鼻子、嘴等重要器官的几何形状作为分类特征^[2,3]。特征脸是根据一组训练图像,利用主元分析的方法,构造主元子空间,这种方法是一种最小距离分类器,当光照和表情变化较小时性能很好,但当其变化较大时性能会显著降低^[4,5]。神经网络方法是将图像空间投影到隐层子空间,由于投影变换具有非正交、非线性特性,而且可根据不同的需求构造不同的网络,因此识别效果较好^[6,7]。局部特征分析方法是考虑到人脸显著的特征信息并不是均匀分布于整个脸部图像的,可能少量的局部区域却传达了大部分的特征信息,而且这些局部特征在投影前后的关系保持不变^[8]。弹性匹配方法是人脸建模为二维或三维网格表面,应用塑性图形或可变形曲面匹配技术进行匹配^[9,10]。在商用的人脸识别软件中,FaceIt 应用的是局部分析法,Visage system 应用的是特征脸方法,TrueFace 应用的是神经网络方法。

2.1.2 指纹识别

指纹识别是最古老的生物特征识别技术,在很多领域中都得到了成功的运用。指纹指的是指尖表面的纹路,其中突出的纹线称为脊,脊之间的部分称为谷。指纹的纹路并不是连续、平滑流畅的,而是经常出现中断、分叉或转折,这些断点、分叉点和转折点,称为细节(minutiae),就是这些细节提供了指纹唯一性的识别信息。指纹的识别主要包括三部分:特征抽取,指纹分类,匹配决策。

(1)特征提取:从输入的指纹图像中提取出细节,包括,方

向场估计^[11,12]、脊线抽取及细化^[11,13]、细节抽取。

(2)指纹分类:在身份识别中,为了提高识别速度,通常先将指纹图像分类^[14]。分类算法可采用:利用奇异点等标志信息^[14],利用脊的方向和结构信息^[14],应用句法模式识别方法。

(3)匹配决策:决定两个指纹是否来自同一手指。匹配方法有:1 基于串的匹配^[15,16],将 2D 的细节特征转换成 1D 的串,应用串匹配算法计算两个串的距离;2 基于 Hough 变换的匹配^[11],首先估计变换的参数,然后对准细节点,在一个边界框内计算匹配的点数;3 基于 2D 动态规整的匹配^[17],将被测指纹的细节进行规整来对准参考指纹,以获得最大的匹配细节的数目。

2.1.3 虹膜识别

虹膜是一个位于瞳孔和巩膜之间的环状区域。与其它的生物特征相比,虹膜识别具有:高独特性,虹膜的纹理结构是随机的,其形态依赖于胚胎期的发育;高稳定性,虹膜可以保持几十年不变,而且不受除光线之外的周围环境的影响;防伪性好,虹膜本身具有规律性的震颤以及随光强变化而缩放的特性,可以识别出图片等伪造的虹膜;易使用性,识别系统不与人体相接触;分析方便,虹膜固有的环状特性,提供了一个天然的极坐标系。在各种虹膜识别算法中,以 Daugman^[18,19]和 Wildes^[20,21]提出的算法最为经典,大多数商业系统都是基于这两种算法。

虹膜识别算法包括:虹膜定位,虹膜对准,模式表达,匹配决策。

(1)虹膜定位:将虹膜从整幅图像中分割出来。为此必须准确定位虹膜的内外边界,检测并排除侵入的眼睑。典型的算法是利用虹膜内外边界近似环形的特性,应用图像灰度对位置的一阶导数来搜索虹膜的内外边界^[18,20]。

(2)虹膜对准:确定两幅图像之间特征结构的对应关系。Daugman 将原始坐标映射到一个极坐标系上,使虹膜组织的同一部位映射到这个坐标系的同一点;Wildes 算法应用图像配准技术来补偿尺度和旋转的变化。

(3)模式表达:为了捕获虹膜所具有的独特空间特征,可以利用多尺度分析的优势。Daugman 利用二维 Gabor 子波将虹膜图像编码为 256 字节的/虹膜码^[21]。Wildes 利用拉普拉斯(高斯滤波器来提取图像信息^[22]。

(4)匹配决策:Daugman 用两幅图像虹膜码的汉明距离来表示匹配度,这种匹配算法的计算量极小,可用于在大型数据库中识别。Wildes 是计算两幅图像模式表达的相关性,其算法较复杂,仅应用于认证^[21]。

2.1.4 手形识别

手形的测量比较容易实现,对图像获取设备的要求较低,手形的处理相对也比较简单,在所有生物特征识别方法中手形认证的速度是最快的。然而手形特征并不具有高度的唯一性,不能用于识别,但是对于一般的认证应用,它足可以满足要求。目前手形认证主要有两种方法:基于特征矢量的方法^[23,24]和基于点匹配的方法^[25]。

(1)基于特征矢量的手形认证:大多数的手形认证系统都

是基于这种方法. 典型的手形特征包括: 手指的长度和宽度、手掌或手指的长宽比、手掌的厚度、手指的连接模式等. 用户的手形表示为由这些特征构成的矢量, 认证过程就是计算参考特征矢量与被测手形的特征矢量之间的距离, 并与给定的阈值进行比较判别.

(2) 基于点匹配的手形认证: 上面方法的优点是简单快速, 但是需要用户很好地配合, 否则其性能会大大下降. 采用点匹配的方法可以提高系统的鲁棒性, 但这是以增加计算量为代价的. 点匹配方法的一般过程为: 抽取手部和手指的轮廓曲线; 应用点匹配方法, 进行手指的匹配; 计算匹配参数并由此决定两个手形是否来自同一人.

21.5 掌纹识别

与指纹识别相比, 掌纹识别的可接受程度较高, 其主要特征比指纹明显得多, 而且提取时不易被噪声干扰, 另外, 掌纹的主要特征比手形的特征更稳定和更具分类性, 因此掌纹识别应是一种很有发展潜力的身份识别方法.

手掌上最为明显的 3~5 条掌纹线, 称为主线. 在掌纹识别中, 可利用的信息有^[29]: 几何特征, 包括手掌的长度、宽度和面积; 主线特征; 皱褶特征; 掌纹中的三角形区域特征; 细节特征. 目前的掌纹认证方法主要是利用主线和皱褶特征. 下面从掌纹特征抽取和特征匹配两方面来概述掌纹识别算法.

(1) 掌纹特征抽取: 有两类方法, 一是抽取特征线^[26], 二是抽取特征点^[27]. 抽取特征线的优势在于可以用于低分辨率和有噪声的图像, 抽取特征点的好处是抽取的速度快.

(2) 掌纹特征匹配: 对应于掌纹特征的抽取, 特征匹配分为特征线匹配和特征点匹配. 特征线匹配是计算两幅图像对应特征线参数之间的距离^[26], 特征点匹配是两幅图像的两个点集之间的几何对准过程^[27~29].

21.6 签名识别

签名识别是一种行为识别技术, 目前签名大多还只用于认证. 签名认证的困难在于, 数据的动态变化范围大, 即使是同一个人的两个签名也绝不会相同. 签名认证按照数据的获取方式可以分为两种: 离线 (offline) 认证和在线 (online) 认证. 离线认证是通过扫描仪获得签名的数字图像; 在线认证是利用数字写字板或压敏笔来记录书写签名的过程. 离线数据容易获取, 但是它没有利用笔划形成过程中的动态特性, 因此较在线签名容易被伪造.

从签名中抽取的特征包括静态特征和动态特征, 静态特征是指每个字的形态, 动态特征是指书写笔划的顺序、笔尖的压力、倾斜度以及签名过程中坐标变化的速度和加速度. 目前提出的签名认证方法, 按照所应用的模型可以归为三类: 模板匹配的方法, 隐马尔可夫模型 (HMM) 方法, 谱分析法. 模板匹配的方法是计算被测签名和参考签名的特征矢量间的距离进行匹配^[30~33]; HMM 是将签名分成一系列帧或状态, 然后与其它签名中抽取的对应状态相比较^[34~36]; 谱分析法是利用倒频谱或对数谱等对签名进行认证^[37, 38].

21.7 声音识别

声音识别也是一种行为识别技术, 同其它的行为识别技术一样, 声音的变化范围比较大, 很容易受背景噪声、身体和情绪状态的影响. 一个声音识别系统主要由三部分组成: 声音信号的分割, 特征抽取和说话人识别.

(1) 声音信号的分割: 目的是将嵌入到声音信号中的重要语音部分分开, 通常采用以下几种方法: 能量阈值法; 零交叉率和周期性的测量^[39]; 声音信号倒频谱特征的矢量量化; 与说话人无关的隐马尔可夫字词模型.

(2) 声音特征抽取: 人的发声部位可以建模为一个由宽带信号激励的时变滤波器, 大部分的语音特征都与模型的激励源和滤波器的参数有关^[40]. 倒频谱是最广泛使用的语音特征抽取技术^[40, 41], 由标准倒谱发展了 mel 整形倒谱^[42, 43]和 mel 频率倒谱系数 (MFCC)^[44], 此外, 语音特征参数还包括全极点滤波器的脉冲响应、脉冲响应的自相关函数、面积函数、对数面积比和反射系数^[45].

(3) 说话人识别: 说话人识别的模型有两种, 参数模型和非参数模型. 两个主要的参数模型是高斯模型^[41, 46]和隐马尔可夫模型 (HMM)^[47]. HMM 是当前最为流行的说话人识别模型. 非参数模型包括参考模式模型和连接模型. 参考模式模型将代表说话人的声音模式空间作为模板储存起来, 应用矢量量化^[48]、最小距离分类器等进行匹配. 连接模型包括前馈和递归神经网络, 多数神经网络被训练作为直接将说话人分类的判决模型^[49].

21.8 各种生物特征识别技术的比较

从上面的概述可以看到, 每种生物特征识别技术都有自己的优势和不足, 下表是它们的一些对比^[50]:

表 1

生物特征	普遍性	独特性	稳定性	可采集性	性能	接受程度	防欺骗性
人脸	High	Low	Medium	High	Low	High	Low
指纹	Medium	High	High	Medium	High	Medium	High
手形	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium
虹膜	High	High	High	Medium	High	Low	High
视网膜	High	High	Medium	Low	High	Low	High
签名	Low	Low	Low	High	Low	High	Low
声音	Medium	Low	Low	Medium	Low	High	Low

选择一个特定的生物特征识别技术主要依赖于具体的应用, 没有一种技术能够在所有方面胜过其它的技术, 从这个意义上说, 每种技术都是可以采纳的. 例如, 指纹和虹膜识别在准确性和速度上优于声音识别, 然而在电话计帐系统中, 声音

识别却是一个好的选择, 因为它能够很好地集成到现有的电话系统中.

3 生物特征识别技术存在的问题和未来的研究工作

3.1 生物特征识别性能的改善

目前生物特征识别技术的研究还处于初始发展阶段,如何提高系统的准确性和鲁棒性是这个研究领域的重大挑战。每种生物特征都不是完美的,都存在固有的局限性,那么要改善系统的识别性能,就已不再是单单一改善某一种识别技术的问题,因此考虑包括各种生物特征在内的多种认证信息的结合,成为一种切实可行的解决方案。

信息的结合可以采取不同的方式:(1)将生物特征识别信息和非生物特征识别信息相结合,例如将生物特征与智能卡结合;(2)将多种生物特征相结合,构成多模态识别系统。在多模态识别系统中,需要考虑两方面的问题,一是不同生物特征的选择和实现,二是多种生物特征信息的融合。多模信息的融合可以在原始数据层、特征抽取层和分类决策层实现。由于每种模态对决策的作用不都是线性的,因此融合方案只是采用求和^[51]、相乘^[52]、多数表决^[53]等相对比较简单的线性组合方案,则不能最优地利用多模信息,因此如何利用多模态获得最大的信息量,这个最大的信息量的极限是多少,这不仅要通过实际的多模态系统进行实验,更要有理论上的分析和论证。

3.1.2 基于生物特征识别的网络身份认证系统

由于生物特征识别固有的优越性,使它在网络身份认证中有着其它认证信息所不能比拟的优势,因此建立基于生物特征识别的网络身份认证系统是生物特征识别技术的一个重要研究方向。而现在对生物特征识别的研究还局限于单机系统。要建立基于生物特征识别的网络身份认证系统应当解决下面一些关键问题:

(1) 在一个开放的网络上传送用户的生物特征模板,应当使用高级加密工具来保障其通信安全;

(2) 保证生物特征获取装置检测的是真正的用户特征,而不是照片或记录,防止生物特征信息被篡改或替换;

(3) 认证需要通过网络在中央服务器上,应当建立一个可升级的、安全的平台来有效地管理模板文件;

(4) 为有效防止黑客攻击,阻止其绕过系统安全检测,应当将生物特征登录程序与计算机操作系统紧密集成;

(5) 保证即使大量的应用使用用户的同一种生物特征,也不会造成未经授权而互相访问的情况。

3.1.3 生物特征识别技术的标准

目前国际上对生物特征识别尚未形成统一的标准,很多国际组织正在积极地进行标准的制定,其中最主要的是 ANSI X9.84,它是有关生物特征的管理和安全的标准。由于标准必须具有先进性、通用性和有效性,并要得到世界各国的认同,因此形成标准仍是一项艰巨的任务。

4 结论

生物特征识别技术是指基于个人独特的生理和行为特征进行自动身份鉴别的技术。它为我们这个信息社会日益加剧的安全需求提供了一个很好的解决方案。随着生物特征识别

技术的不断改进,生物特征传感器价格的不断下降以及人们接受程度的不断提高,生物特征识别技术必定会作为一种基本的身份识别手段而得到广泛的应用。

参考文献:

- [1] Glossary of biometrics terms [R]. 1998, Association for biometrics (AIB), International Computer Security Association (ICSA).
- [2] R Chellappa, et al. Human and machine recognition of face: a survey [J]. Proc. IEEE, 1995, 83(5): 705- 740.
- [3] R Brunelli, T Poggio. Face recognition: features versus templates [J]. IEEE Trans. PAMI, 1993, 15(10): 1042- 1052.
- [4] D L Swets, J Weng. Using discriminant eigenfeatures for image retrieval [J]. IEEE Trans. PAMI, 1996, 18(8): 831- 836.
- [5] B Moghaddam, et al. Probabilistic visual recognition for object recognition [J]. IEEE Trans. PAMI, 1997, 19(7): 696- 710.
- [6] S Y Lee, et al. Recognition of human front faces using knowledge-based feature extraction and neurofuzzy algorithm [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(11): 1863- 1876.
- [7] S Lawtence, et al. Face recognition: a convolutional neural network approach [J]. IEEE Trans. NN, 1997, 8(1): 98- 113.
- [8] 周洁, 卢春雨, 等. 人脸自动识别方法综述 [J]. 电子学报, 2000, 28(4): 102- 106.
- [9] J Zhang et al. Face recognition: eigenface, elastic matching, and neural networks [J]. Proc. IEEE, 1997, 85(9): 1422- 1435.
- [10] L Wiskott, et al. Face recognition by elastic bunch graph matching [J]. IEEE Trans. PAMI, 1997, 19(6): 775- 779.
- [11] N Ratha, et al. A real-time matching system for large fingerprint database [J]. IEEE Trans. PAMI, 1996, 18(8): 799- 813.
- [12] D Maio, D Maltoni. Direct grayscale minutiae detection in fingerprint [J]. IEEE Trans. PAMI, 1997, 19(1): 27- 40.
- [13] A Jain, et al. An identity authentication system using fingerprints [J]. Proc. IEEE, 1997, 85(9): 1365- 1388.
- [14] L Hong, A K Jain. Classification of fingerprint image [A]. Proceedings of 11th SCIA [C], June, 1999.
- [15] M Kavagoe, A Tojo. Fingerprint pattern classification [J]. Pattern Recognition, 1984, 17(3): 295- 303.
- [16] A Jain, et al. Online fingerprint verification [J]. IEEE Trans. PAMI, 1997, 19(4): 302- 314.
- [17] S Prabhaker, A Jain. Decision-level fusion in biometric verification [J]. IEEE Trans. PAMI, 2000.
- [18] J G Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. IEEE Trans. PAMI, 1993, 13(11): 1148 - 1161.
- [19] J G Daugman. Recognizing persons by their iris patterns. Biometrics: Personal Identification in Networked Society [M]. Amsterdam: Kluwer Academic Publisher, 1999: 103- 121.
- [20] R P Wildes, et al. A machine vision system for iris recognition [J]. Machine Vision Application, 1996, 9: 1- 8.
- [21] J G Daugman. Demodulation, predictive coding, and spatial vision [J]. J. Opt. Soc. Am, 1995, 12(4): 641- 660.
- [22] R P Wildes. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(9): 1348- 1363.
- [23] R S Reillo, et al. Biometric identification through hand geometry mea-

- surements [J]. IEEE Trans. PAMI, 2000, 22(10): 1168- 1171.
- [24] A K Jain, et al. A prototype hand geometry based verification system [A]. 2nd Int'l Conference on Audio and Video based Biometric Person Authentication [C], Washington D. C. March 1999.
- [25] A K Jain, N Duta. Deformable matching of hand shapes for verification [A]. Proceedings of IEEE ICIP, Oct, 1999.
- [26] D Zhang, W Shu. Two novel characteristics in palmprint verification: datum point invariance and line feature matching [J]. Pattern Recognition, 1999, 32(2): 691- 702.
- [27] N Duta, et al. Matching of palmprints [J]. Pattern Recognition Letters, 2001.
- [28] N Duta, et al. Automatic construction of 2D shape model [J]. IEEE Trans. PAMI, 2000.
- [29] P Besl, N McKay. A method for registration of 3D shapes [J]. IEEE Trans. PAMI, 1992, 14(2): 239- 256.
- [30] V S Nalwa. Automatic on-line signature verification [J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(2): 215- 239.
- [31] K Huang, H Yan. On-line signature verification based on dynamic segmentation and global and local matching [J]. Optical Engineering, 1995, 34(12): 3480- 3487.
- [32] L L Lee, et al. Reliable on-line human signature based on dynamic segmentation and global and local matching [J]. IEEE Trans. PAMI, 1996, 18(6): 643- 647.
- [33] G Gupta. A study of shape in dynamic handwritten signature verification [R]. James Cook University of North Queensland, 1997.
- [34] L Yang, et al. Application of hidden markov models for signature verification [J]. Pattern Recognition, 1995, 28(2): 161- 170.
- [35] J Dolfing, et al. On-line signature verification with hidden markov models [A]. ICPR [C], 1998, 2: 1309- 1312.
- [36] G Rigoll, A Kosmala. A systematic comparison between on-line and off-line methods for signature verification with hidden markov models [A]. Proceedings of ICPR [C], 1998, 2: 1755- 1757.
- [37] Q Z Wu, et al. On-line signature verification using lpc cepstrum and neural networks [J]. IEEE Trans. On Systems, Man, Cybernetics and Part B: Cybernetics, 1997, 27(2): 148- 153.
- [38] Q Z Wu, et al. On-line signature verification based on logarithmic spectrum [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(12): 1865- 1871.
- [39] R Tucker. Voice activity detection using a periodicity measure [J]. IEEE Proc. 1992, 139(4): 377- 380.
- [40] P Ramachandran, et al. A comparative study of robust linear predictive analysis methods with applications to speaker identification [J]. IEEE Trans. Speech, and Audio Processing, 1995, 3(2): 117- 125.
- [41] H Gish, M Schmidt. Text independent speaker identification [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1994, 11(4): 18- 32.
- [42] H Gish, M Schmidt. Text independent speaker identification [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1994, 11(4): 18- 32.
- [43] D A Reynolds, et al. Robust text independent speaker identification using gaussian mixture speaker models [J]. IEEE Trans. ASSP, 1995, 3(1): 72- 83.
- [44] S B Davis, P Mermelstein. Comparison of parametric representation for monosyllable word recognition in continuously spoken sentences [J]. IEEE Trans. ASSP, 1980, 28: 357- 366.
- [45] J P Campbell. Speaker recognition: a tutorial [J]. Proceedings IEEE, 1997, 85(9): 1436- 1461.
- [46] D A Reynolds, R C Rose. Robust text independent speaker identification using gaussian mixture speaker models [J]. IEEE Trans. ASSP, 1995, 3(1): 72- 83.
- [47] L Rabiner. A tutorial on HMM and selected applications in speech recognition [J]. Proc. IEEE, 1989, 77(2): 257- 286.
- [48] K Yu, et al. Speaker recognition using hidden markov models, dynamic time warping, and vector quantisation [A]. IEEE Proc. Vision, Image, and Signal Processing, 1995, 142(5): 313- 318.
- [49] K Farrell. Speaker recognition using neural networks and conventional classifiers [J]. IEEE Trans. SAP, 1994, 2(1): part 0. 194- 205.
- [50] A K Jain, et al. Biometrics: Promising frontiers for emerging identification market [J]. Communication ACM, 2000, 2: 91- 98.
- [51] J Kittler, et al. On combining classifier [J]. IEEE Trans. PAMI, 1998, 20(3): 226- 239.
- [52] L Hong, A Jain. Integrating faces and fingerprints for personal identification [J]. IEEE Trans. PAMI, 1998, 20(12): 1295- 1306.
- [53] A Jain, et al. A multimodal biometric system using fingerprints, face and speech [A]. 2nd Int'l Conference on Audio and Video based Biometric Person Authentication [C], Washington D. C., March 1999: 182- 187.

作者简介:



孙冬梅 女. 1970 年出生于沈阳. 1995 年毕业于北京工业大学, 获自动控制理论及应用专业硕士学位, 现为北方交通大学信息研究所博士生, 主要从事生物特征识别技术、图像处理 and 模式识别方面的研究. E-mail: sun_dm@263.net.



钱正定 男. 1944 年出生于浙江杭州市. 北方交通大学信息研究所教授, 博士生导师, 通信协会会士, 研究领域为信号与信息处理, 多媒体通信及 IP 网络技术, 并承担和主持包括自然科学基金和国家/863 计划项目在内的多项科研及产品的开发.