

步态识别关键技术研究

卢官明, 衣美佳

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 高新技术的高速发展,使得越来越多的人对生物识别技术予以关注。步态识别技术是一种新颖的生物特征识别技术,它通过人体行走姿态进行身份识别与认证,在安全监控和国防军事等领域的应用潜力也获得越来越多的关注。文中首先分析了步态识别的研究意义和背景,以及步态识别系统的原理,再从主要评价指标、运动目标提取、步态特征提取、分类判决等几个主要方面介绍步态识别的技术现状,并分析了步态识别现存的困难和未来的发展方向。

关键词: 步态识别; 目标检测; 特征提取; 分类判决

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)07-0100-07

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.022

Research on Critical Techniques in Gait Recognition

LU Guan-ming, YI Mei-jia

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: With the rapid development of advanced technology, biometrics recognition is paid more and more attention. Gait recognition is a novel biometrics recognition technology, which can recognize and identify a person by walking style. And it is catching more and more attention in the field of security monitoring and national defense and military. Firstly, the meaning and background of gait recognition are analyzed, followed by the basic theory of gait recognition. Then, gait recognition technology is introduced from the aspects of main evaluation index, motion target extraction, gait feature extraction and classification judge and so on. In addition, some research challenges and future directions in gait recognition are discussed.

Key words: gait recognition; target detection; feature extraction; classification judge

0 引言

随着信息化社会的日益发展,对重要信息的保密性保障变得愈加重要,有些比较传统的身份识别技术,如二代身份证、电子密码等,都已经跟不上时代的步伐,生物特征识别技术,正是符合时代要求的产物之一。对有些生物特征识别技术的研究已经取得了很好的成果,但这些技术都或多或少在某个方面存在缺陷,如指纹识别技术具有相对较高的识别率,但它必须要直接接触才能识别,受到距离的限制,而且伪造指纹并不会对识别结果产生影响;又如人脸识别技术,其识别的准确率相对较差,而且也受到距离的限制,另外现在很多犯罪分子会对自己进行面部伪装,进而阻止人脸识别;而虹膜识别技术实现困难,实际运用中也不能被

所有人接受。另外,如果配带隐形眼镜,就无法提取人类的虹膜。

因此,亟需一种可以在各个方面都优于传统识别技术的技术,步态识别技术的出现填补了这个技术空缺。

步态识别技术,是一种新颖的生物特征识别技术。它通过人体行走姿态进行身份识别与认证,起源于心理学的相关研究,从 20 世纪 90 年代开始真正在国际上得到发展,而国内则起步于 2000 年后。其优点在于,无需实际物理接触,可远距离采集数据,隐蔽性和非侵扰性。正因其自身的特点,步态识别技术具有巨大的发展和应用潜力^[1]。

收稿日期: 2014-08-13

修回日期: 2014-11-19

网络出版时间: 2015-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071167)

作者简介: 卢官明(1965-),男,博士,教授,研究方向为图像处理、计算机视觉、多媒体通信;衣美佳(1989-),女,硕士研究生,研究方向为图像处理、计算机视觉。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1028.016.html>

1 步态识别基本原理

步态识别系统的工作原理如图 1 所示。

(1)通过摄像机采集步态视频;

(2)利用运动目标分割技术将目标轮廓从背景图像中提取出来,并对分割出来的图像进行预处理;

(3)对处理过的图像进行特征提取,可以根据实际情况选择合适特征进行提取,但应保证提取的步态特征信息的含量及鲁棒性;

(4)对已经提取的数据分类,进而使用步态数据库进行身份识别,如出现异常结果提示可以进行预/报警。

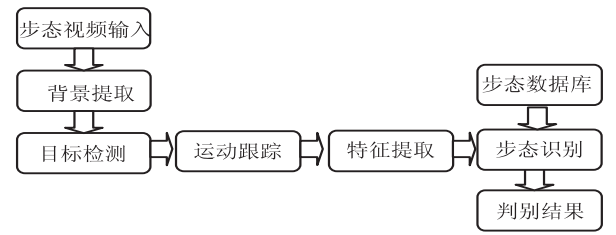


图 1 步态识别结构图

2 步态识别系统主要评价指标

目前,步态识别的标准评价体系仍没有形成,一般都参照人脸识别的评估办法对步态识别算法进行评估。步态识别算法实现的作用不同,性能评价指标也有所不同。

2.1 识别性能

正确识别率(Correct Classification Rate, CCR)指的是,当测试样本是匹配相似度最大的模板时,步态识别取得正确比率。

累计匹配识别率(Cumulative Match Score, CMS)是指按匹配相似度排序后,前 k 个模板中包含测试样本真实类别的比率;累计匹配识别率曲线,即 CMS 曲线,是累计匹配识别率随 Rank 值变化的关系曲线^[2]。CMS 有曲线、柱状图和表格三种表示形式。

2.2 校验性能

校验性能用于评价一个算法抵御恶意攻击或入侵的能力,合法用户(Clients or Genuine)是已经获得许可的注册模式,除合法用户以外不是注册模式的均为冒充者(Impostor)。校验性能一般由以下几种错误率来表示。

错误接收率(False Acceptance Rate, FAR)是在指定的相似度阈值下,系统错误的接受冒充者的比率。它体现了系统的可靠性,错误接受率越低,系统越可靠。

$$FAR = \frac{\text{被错误接受冒充者模式数目}}{\text{冒充者模式总数}}$$

(1)

错误拒绝率(False Rejection Rate, FRR)是在指定

相似度阈值下,合法用户被系统错误拒绝的比率。它体现了系统的方便性,值越低系统方便性也就越好。

$$FRR = \frac{\text{被错误拒绝合法用户数目}}{\text{合法用户模式总数}}$$

(2)

FAR 和 FRR 的值会随相似性阈值的变化而变化。在以 FRR 和 FAR 分别为横轴、纵轴的二维空间中,连续改变相似度阈值产生的抛物线,即为接受者操作特性曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)。ROC 曲线下方 X 轴上方部分的面积越小,算法校验性能越好。

等错误率(Equal Error Rate, EER)与阈值无关,是 FAR 和 FRR 相等时 ROC 曲线上对应点的值。EER 值越高,系统的性能越差。

3 步态识别关键技术现状

3.1 运动目标检测

运动目标检测常被看作是步态识别过程的前期处理部分,因为运动目标提取的好坏直接影响到步态特征的提取和识别等后续过程。目前主要的方法有基于特征的方法、帧间相差法、背景减除法、光流法等。基于特征的方法能很好地刻画目标的运动,但难于寻找和匹配特征点,快速算法的缺乏也限制了它在智能监控系统中的应用^[3]。帧差法是最为常用的运动目标检测和分割方法之一,但它对噪声敏感,物体内部亮度较均匀时不能检出整个物体,提取的目标存在空洞和边缘不连续等问题,需要对提取的目标进行后期处理。背景减除法能很好地获得运动目标的轮廓。光流法是依据视觉的光流特性实现运动区域检测的一种技术,但大多数光流法计算复杂且抗噪性比较差。另外,最近提出了一些改进的方法,如将背景减除法和帧差法结合的方法,可有效改善目标提取的质量。

3.2 步态特征提取

迄今为止,关于人体步态特征提取的文献和报道已经有很多。从广义上讲,可用于步态识别的步态特征,可以分为静态特征和动态特征。步态特征的提取方法可分为基于模型的方法、非模型的方法和融合方法三种。

3.2.1 基于模型的步态特征提取

基于模型的方法通过对人体的部分,如膝盖、腿部、手臂和大腿等,进行建模和跟踪来获得一系列的人体参数。从这些参数中获得的静态和动态特征会被用于分析和识别,使用基于模型的方法提取出来的特征,具有独立的方向性和模型独立性的优点,但对步态序列的敏感度比较高,而且参数运算量比较大。

南安普顿大学的 Cunado 等提出钟摆模型^[4],将大腿和小腿模拟成两个相连的钟摆,以小腿和大腿关节

的旋转角度、大腿摆动的相位、频率等为参数,采集大腿倾角的变换数据,从该信号的频率分量中提取步态特征,图 2 是钟摆模型的例子。六年后,他们对原有的模型和方法进行了改进。首先,使用傅里叶级数和快速哈夫变换对髋关节的旋转运动建模,然后采用泛型算法(GA)降低模型中各个参数的维数。该方法有效提高了算法的识别率,增强了算法的抗遮挡能力,提高了系统抗噪性^[5]。2010 年,何卫华和李平^[6]就使用上述钟摆模型进行了步态识别研究,采用 CMU 数据库,使用 KNN 分类器,识别正确率为 96.39%。

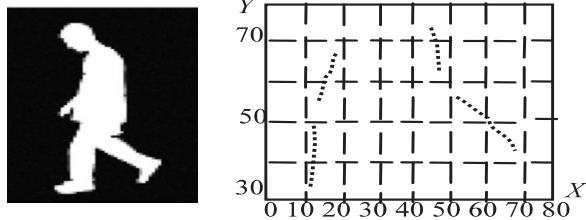


图 2 钟摆模型举例

Yoo 和 Wang 等提取头、脖颈、肩、胸、盆骨、膝盖和脚踝在人体侧影中的位置参数,计算垂直方向上每个部位的摆动角度,根据人体骨架模型中身体各部位与人身高的比例关系,构建了二维棍状模型,见图 3^[7]。2011 年,Yoo^[8]又提出一种新的方法和自动化系统,用二维棍状模型特征来描述、分析和识别步态,采用 SOTON 数据库(该数据库包括两种固定背景,灯光受控制的室内数据,还包括一组户外数据,数据超过 100 组),使用 KNN 分类器,根据采用的数据数量的不同得到如下结果:采用 30 组数据,识别率为 97%,而采用 100 组数据,识别正确率为 84%。

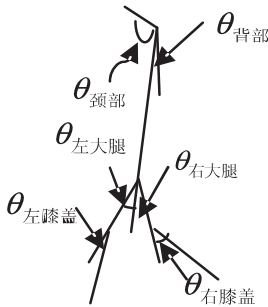


图 3 棍状模型

麻省理工大学的 Lee 等将人体侧影轮廓分成七个相连的区域,如图 4 所示,构建了椭圆模型,定义平均图心、纵横比等区域特征向量,再通过测量椭圆参数时间序列傅里叶变换的相位和幅度来获得另一个特征向量^[9]。后来,Zhang 等^[10]提出了“五连杆双足”人体模型,运用人体基高度矢量和高度矢量,综合表征人体步态特征。而 Lu 等^[11]提出了一种全身分层可变形模型,该模型将人体分成不同的块状区域,然后计算 22 个参数(身体形状、关节角度等)作为人体步态特征。

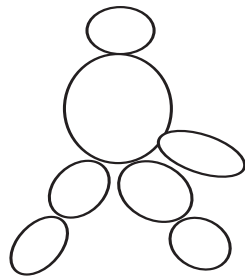


图 4 椭圆模型

二维模型忽略了人体走路时的三维步态特征,步态识别准确度不高。瑞士联邦技术学院计算机视觉实验室的 Urtasun 等将 Cunado 等^[4]采用的二维方法延伸到三维空间,提出一种基于主元分析(PCA)的方法^[12]。与以前的骨架模型相比,由于它包含皮肤信息,能够更加准确地表征人体结构特征,当然,这种方法的处理过程相对比较复杂。他们虽然最终无法给出正确识别率以及其他性能参数,但向科学界说明了三维模型用于步态识别的可能性。而 Han 等^[13]运用最小二乘法对二维人体形状数据进行处理,拟合出三维人体运动模型,进而提取出运动参数的信息。2011 年,邓秀春和王仁芳^[14]提取三维步态特征信息,建立三维特征向量,创建的数据库中有一个实验者的 5 个步态特征序列,基于二维特征向量测试的识别正确率为 64%,而加入三维特征向量之后识别正确率为 82%,识别正确率大幅提高。三维步态能够大大提高步态识别的准确度,但必须指出,三维步态识别系统复杂,需要多台摄像机同时进行视频采集,对衣服变化处理也比较困难。

由于复杂度的原因,有关四维步态模型的研究很少。这类方法可以分成两类:一类含有人体结构的三个维以及时间维,如 Amos 等^[15]从多个视角复原运动人体的静态参数以获得步态特征;另一类则采用四个特征维来构建四维步态模型,如 Benabdelkader 等^[16]研究了一种在单眼低分辨率情况下,通过估计人体和步态参数来自动识别的方法。其中参数是身高、体重和性别的函数。

除了以上几种模型,还有一些其他方法。如 Bobick 和 Johnson^[17]通过计算人体的四个距离来提取特征,即头与脚、头与骨盆、左脚与右脚、脚与盆骨的距离,他们使用这四个数据形成一组静态人体参数 W ,又用第一组参数的子集,即头和脚、脚和盆骨之间的距离形成另一组静态人体参数 S 。使用设定的数据,实验表明,在室内,采用 W 的识别正确率高于采用 S 的识别正确率;而在室外,因为阳光照射的阴影等影响,前者的识别正确率(47%)低于后者(69%)。

3.2.2 非模型的步态特征提取

非模型的方法区别于基于模型的方法,它不考虑

人体内部结构,无需建立先验模型,只通过对图像序列中运动人体生成的时空模式做统计分析,隐含定义应该观察的特征,进而进行步态特征提取和识别^[18]。非模型方法不需要决定性参数来对人体形态进行建模,因而它的运算量非常小,便于实时计算,也正因为这种特性,非模型的方法对步态识别的质量不敏感,对视角和方向变化的鲁棒性不好。

很多算法使用人体轮廓特征对步态进行分析和识别。Liu 等在水平和垂直两个方向上提取步态运动轮廓的投影,将它们作为 Frieze 模式来研究。随后,Seungkyu 等在此基础上提出了一种基于形状变化的 Frieze 模式,提高了识别正确率^[19]。2005 年,Zhang 等提取出各帧轮廓图像的 Freeman 链码,用它们构成曲线传播矩阵,计算出曲线传播矩阵相关系数^[20]。但 Freeman 链码对噪声非常敏感,而且任意尺度变换或角度旋转都会对识别结果带来影响。2007 年,Boulgouris 和 Chi^[21]先用 Radon 变化对二进制轮廓进行处理,然后运用 Radon 变化系数和子空间投影构建步态特征。

轮廓提取过程不一定都能保证信息的完整性,所以有些研究者提出了基于整个侧影图像的非模型方法。Kale 等^[9]使用轮廓的宽度描述人体形状特征,随后他们改进了这种方法,将整个轮廓和轮廓宽度融合使用。Boulgouris 等使用角度特征描述人体步态的侧影,并线性时间归一化步态特征。要提取角度特征,需先建立坐标系,如图 5 所示。图中两条线多次逆时针旋转 θ 度,一次旋转就计算一次两条线间人体步态侧影的像素点到原点的平均距离 A 。2005 年,Ekinici 提出基于多投影的步态识别方法,即对步态轮廓从上、下、左、右四个方向进行投影(见图 6),将二维图像信号转化为 4 个信号,将 4 个信号连接并降维作为步态特征,这种方法的优点就是提取了充分的步态信息^[22]。另外,Dadashi 等用小波变换从一维信号中提取原子小波包系数作为特性^[23]。

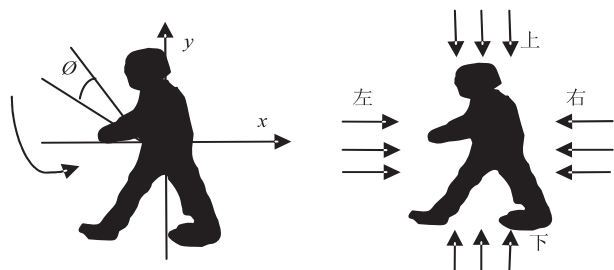


图 5 使用角度特征的非模型方法 图 6 多投影非模型方法

基于侧影和基于轮廓的算法都只考虑单帧图像中人体形状特征,忽略了步态的动态性和连续性。因此,出现了基于区域的步态特征提取算法。这类方法中具

有代表性的是 Sarkar 等^[24]提出的基准算法,这种算法虽然简单,但计算复杂度很高,且只能处理行走速度不变的情况。Bobick 等直接从侧影序列中提取出动能图(MEI)来描述图像序列中人体的运动,并使用运动经历图(MHI)表示运动变化,将时间轮廓序列转换成二维信号模板;而 Han 等在运动经历图的理论基础上,提出步态能量图(GEI)的概念,用以表征侧影形状变化和步态周期^[25]。自步态能量图提出以来,由于实现简单、抗噪声能力强等优点,出现了很多改进的方法。例如共同进化遗传规划(Co-evolutionary Genetic Programming, CGP)方法,能够降低步态特征维度,改善识别算法性能。实验结果显示,与原始 GEI 算法相比,该算法在正确识别率上提高了 7%。

然而,步态能量图无法体现帧与帧之间的动态变化,且如果加入动态信息会受到噪声的影响。2009 年,Chen 等提出了帧差能量图(FDEI),能够解决动态信息受噪声影响的问题^[26]。提取帧差能量图的 Frieze 和小波特征作为步态特征,与原始 GEI 相比,该方法对噪声具有更强的鲁棒性。2010 年,Xue 等将步态能量图的小波反变换运用到红外线步态识别^[27]。另外,赵子健等提出了一种基于近似时空切片向量的步态识别算法,该算法利用步态的周期性,对一个完整步态周期做近似时空切片处理,提取出步态特征向量^[27-28]。

最近,还有一些新的非结构表征算法。如 2009 年,Lu 等将 MPCA 算法和 Boosting 线性分类技术结合起来用于步态识别^[29]。2011 年,Lin 等结合增强的步态能量图(EGEI)和 PCA 进行步态识别^[30]。同年,Kellokumpu 等将人体运动视为一种纹理模式,对其提取动态纹理特征,这种方法计算量小,在 USF 数据库上获得了比较高的识别正确率^[31]。

3.2.3 融合的步态特征提取

在人类感知系统中,身份识别不仅依靠单一生物特征,而是融合多种特征进行识别。多特征融合是先筛选不同方式获得的生物特征,再将需要的特征融合,以得到比单一特征识别更好的识别性能。步态识别中较常用的融合方式有:融合几种不同步态特征;融合步态特征和其他生物特征(如人脸)。

中科院自动化所的 Wang 等用粒子滤波来跟踪身体的主要部位,然后用相互连接的 13 个矩形和 1 个圆形来对人体建模,并对该人体模型构建对应的运动约束模型,提取每个人体关节的角度变化信息作为动态特征^[30]。与此同时,他们还对运动过程中轮廓的变化进行 Procrustes 形状分析,以获取静态特征。使用 NL-PR 数据库的实验结果显示,只使用静态特征的识别正确率为 83.75%,只使用动态特征的识别正确率为 87.50%,而使用融合方法的识别正确率为 96.25%。

2008 年, Nandini 等将最大信息压缩索引和人体步态周期进行融合, 这种方法的独特之处在于它是基于成对特征相似的, 运算量比较小。

2012 年, 刘志勇等进行了两种融合实验, 他们将步态能量图分为三部分, 即身体相关能量图 (BGEI)、步态相关能量图 (GGEI) 和身体步态相关能量图 (BGGEI), 分别研究了它们的识别能力, 并分别在 Rank 层和 Score 层融合 GGEI 和 BGGEI 用于步态识别。采用 CASIA Dataset A 进行实验, 基于 Rank 层和 Score 层的融合实验都显示了较高的正确识别率。特别指出, 在小样本数据库上, 基于 Score 层融合的正确识别率为 100%, 可见这种融合方法可以运用到小样本数据库上。同年, 林敏等^[31]将提取的静态特征和动态特征加法组合, 形成一个八维新特征向量。在 CASIA 步态数据库上的实验结果表明, 组合人体外观静态特征和下肢运动动态特征进行步态识别, 能取得优于单一特征的识别效果。

单一生物特征的身份识别还存在缺陷, 可通过不同种类的生物特征融合进行优势互补, 步态与人脸都是可在远距离感知的生物特征, 将两者结合是一种较为普遍的融合方式^[32]。Shakhnarovich 等提出步态与人脸融合的系统框架, 先分别对人脸正面图像特征和步态侧影特征进行识别, 再采用决策级融合算法获得整体识别结果, 需要指出的是, 该框架中需要用四台摄像机从不同角度拍取步态序列^[33]。2008 年, Zhang 等使用几何保留投影的方法将步态、人脸和指纹三类生物特征投影到统一的子空间中进行识别^[34]。除此之外, 还有将步态特征和其他生物特征融合的方法, 尽管采用不同的生物特征, 但都得出了同样的结论, 即融合技术能显著提高身份识别的准确率。

拍摄角度的变化是影响步态识别准确率的重要因素之一。因此, 可以将不同视角得到的人体运动特征融合起来, 以改善单个角度拍摄造成的信息损失。2009 年, Dong 等提取人体骨骼模型参数特征与边界中心距离小波描述子特征对多视角步态序列进行融合识别^[35]。2011 年, Worapan 等使用多层感知器构造 VTM (View Transformation Model) 来解决多视角的难题, 也取得了一定成果。同年, Byungyun 等将多个步态周期进行融合, 对每个步态周期提取一个步态特征, 即动作轮廓图像 (MCI), 再将通过分类器的输出图像融合^[36]。使用 CASIA (DATASET A) 进行实验, 识别正确率为 92.5%。

3.3 分类判决

分类判决就是比较测试样本和训练样本的相似度, 按照一定的判决规则完成分类, 识别出人的身份。分类判决主要部分在于相似性度量方式的选择, 以及

分类器的设计问题。下面介绍几种步态分类器。

(1) 贝叶斯分类器。

贝叶斯决策理论是模式识别重要基础理论之一, 以它为基础的分类器分类错误率最小, 分类结果是理论上最优的。但贝叶斯决策理论需要前提条件: 必须已知分类类别数目、各类别先验概率和类条件概率。实际应用中, 这些条件无法满足, 常常采用前提条件, 这会导致分类错误率上升。

(2) 隐式马尔可夫分类器。

隐马尔可夫模型 (Hidden Markov Models, HMM) 已用于建模语音、图像和视频中的时域信息, 也可应用于步态识别中。在基于隐式马尔可夫链的步态识别中, 被假设每走一次都分为几步。还存在很多改进的隐马尔可夫模型, 如伪二维 HMM、分层 HMM 等。

(3) 神经网络分类器。

人工神经网络 (Artificial Neural Network, ANN) 是基于模仿人类大脑的结构和功能而构成的一种信息处理系统或计算机系统, 具有很多与人类智能相类似的特点, 通过训练学习而具备适应外部环境的能力、模糊识别能力和综合推理能力。BP 神经网络是一种前馈型网络, 包括输入层、隐含层和输出层, 由前向计算过程和误差反向传播过程组成, 其优点是能获取分类条件密度, 但训练识别的时间很长。作为模式识别领域一个新兴的工具, 神经网络正逐步应用在步态识别领域中。

(4) 支持向量机。

支持向量机 (Support Vector Machines, SVM) 主要思想是找到一个满足要求的最优分类超平面。支持向量机易于解决小样本、非线性及高维问题, 先将样本数据空间转换到高维空间, 再通过核函数求解最优线性分类面。核函数将这个求解过程转到输入空间进行计算, 这是应用 SVM 进行模式识别的关键, 求得决策函数再做出判决。但是, 支持向量很多, 训练 SVM 内存需求大, 计算复杂, 而且核函数的选择也是难点, 需根据样本个数和特征个数之间的比例选取。

4 结束语

步态识别在智能监控领域具有巨大的研究潜力和发展应用空间, 但步态识别技术的研究还处在探索性阶段, 国内外许多工作还不是健全应用系统的开发, 步态识别还存在着较多问题, 存在问题说明步态识别尚有发展, 且其具有巨大的应用潜力。

步态识别的标准数据库以及算法统一评价准则还没有制定。目前的数据库规模较小且不够全面。一种步态识别方法在不同数据库上的识别结果可能会不同, 使用不同评价标准对每种算法进行评价所得到的

评价结果也是不同的,也不具有可比性。基于自身数据量大、计算复杂的特点,不可能将所有步态识别算法在每个数据库上进行测试。所以,如何客观评估步态识别算法的性能,是步态识别的研究难点,也是亟需解决的问题。

影响步态识别正确率的因素很多,如何采取相应的措施克服各种因素的影响,以达到期望的性能仍是研究的难点。文献[37]研究鞋帽、服饰等对步态识别的影响,研究者分别穿拖鞋、靴子以及未穿鞋子,使用实验创建的包含440个样本的指针数据库,穿靴子以及未穿鞋子的识别正确率分别是88.33%和86.67%,而穿拖鞋的正确率仅为46%,对步态识别结果影响很大。另外,研究者分别穿着短袖、短外套、长风衣,实验结果显示前两者的识别正确率很接近,而穿长风衣的正确率仅有60%。

拥挤状态下,运动目标的自遮挡以及目标之间的互遮挡问题难于处理。可以用统计的方法从已有图像信息中进行人体姿势、位置等的估计和预测。另外,利用多摄像机多视角跟踪拍摄来解决遮挡问题的方法也是很有潜力的一种方法。

随着对步态识别中融合技术更深入的研究,如何选择性能互补的特征、如何优化具有冗余信息的特征、如何采用不同层次的融合策略来提升算法性能也亟需进一步研究。

参考文献:

- [1] 高海燕. 人体步态识别研究[D]. 北京:北京交通大学,2010.
- [2] 张元元. 基于序列统计特性的步态识别算法研究[D]. 济南:山东大学,2010.
- [3] 王科俊,侯本博. 步态识别综述[J]. 中国图象图形学报,2007,12(7):1152-1160.
- [4] Chai Yanmei, Ren Jinchang, Han Wen-ying, et al. Human gait recognition; approaches, datasets and challenges [C]//Proceedings of 2011 forth IEEE international conference on imaging for crime detection and prevention. [s. l.]:IEEE,2011:1-6.
- [5] David C, Marker N, John C. Automation extraction and description of human gait models for recognition purpose[J]. Computer Vision and Image Understanding,2003,90(1):1-41.
- [6] He Weihua, Li Ping. Gait recognition using the temporal information of leg angles [C]//Proceedings of 2010 third IEEE international conference on computer science and information technology. Chengdu:IEEE,2010:78-83.
- [7] 柴艳妹,夏 天,韩文英,等. 步态识别研究进展[J]. 计算机科学,2012,39(6):10-15.
- [8] Yoo Jang-hee, Marker N. Automated markerless analysis of

- human gait motion for recognition and classification[J]. ETRI Journal,2011,33(2):259-266.
- [9] Boulgouris N V, Hatzinakos D, Plataniotis K N. Gait recognition; a challenging signal processing technology for biometric identification[J]. IEEE Signal Processing Magazine,2005,22(6):78-90.
- [10] Zhang Rong, Christian V, Dimitris M. Human gait recognition at sagittal plane [J]. Image and Vision Computing,2007,25(3):321-330.
- [11] Daniel L, Rezaul K B, Palaniswami M. Computational intelligence in gait research: a respective on current applications and feature challenges [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine,2009,13(5):687-702.
- [12] 钟兴志,王晨升,刘 丰,等. 步态识别综述[J]. 软件,2013,34(4):160-164.
- [13] Han Ju, Bhanu B. Performance prediction for individual recognition by gait [J]. Pattern Recognition Letters,2005,26(5):615-624.
- [14] 邓秀春,王仁芳. 基于三维步态特征的步态识别方法[J]. 计算机仿真,2011,28(4):279-282.
- [15] Little A J, Boyd J E. Recognizing people by their gait: the shape of motion [J]. Journal of Computer Vision Research,1998,1(2):2-32.
- [16] Benabdelkader C, Cutler R, Davis L. View-invariant estimation of height and stride for gait recognition [C]//Proc of EC-CV workshop on biometric authentication. [s. l.]:[s. n.],2002:155-167.
- [17] Bobick A, Johnson A Y. Gait recognition using static, activity-specific parameters [C]//Proceedings of the IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. Atlanta:IEEE,2001:1423-1430.
- [18] 顾 磊. 基于图像序列的人体步态识别方法研究[D]. 南京:南京理工大学,2012.
- [19] Zhang Rong, Vashist A, Muehnik L, et al. A new combinatorial approach to supervised learning: application to gait recognition [C]//Proceedings of international workshop on analysis and modeling of faces and gestures. [s. l.]:[s. n.],2005:55-69.
- [20] Boulgouris N V, Chi Z X. Gait recognition using radon transform and linear discriminant analysis [J]. IEEE Transactions on Image Processing,2007,16(3):731-740.
- [21] Wang Jin, She M, Nahavandi S, et al. A review of vision-based gait recognition methods for human identification [C]//Proc of international conference on digital image computing: techniques and applications. Sydney:IEEE,2010:320-327.
- [22] Sudeep S, Jonathon P P, Liu Zongyi, et al. The human ID gait challenge problem: data sets, performance and analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2005,27(2):162-177.
- [23] Li Yibo, Jiang Tianxiao, Qiao Zhihua, et al. General methods and development actuality of gait recognition [C]//Proc of in-

- ternational conference on wavelet analysis and pattern recognition. Beijing: IEEE, 2007: 1333–1340.
- [24] Chen Changhong, Liang Jimin, Zhao Heng, et al. Frame difference energy image for gait recognition with incomplete silhouettes[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(11): 977–984.
- [25] Xue Zhaojun, Ming Dong, Song Wei, et al. Infrared gait recognition based on wavelet Transform and support vector machine[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(8): 2904–2910.
- [26] Dadashi F, Araabi B N, Soltanian-Zadeh H. Gait recognition using wavelet packet silhouette representation and transductive support vector machines[C]//Proc of 2nd international congress on image and signal processing. Tianjin: IEEE, 2009: 1–5.
- [27] 赵子健, 吴晓娟. 基于近似时空切片向量的步态识别方法研究[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(5): 608–614.
- [28] 刘志勇, 冯国灿, 邹小林. 一种基于静态和动态特征的步态识别新方法[J]. 计算机科学, 2012, 39(4): 261–264.
- [29] Wang Liang, Ning Huazhong, Tan Tieniu, et al. Fusion of static and dynamic body biometrics for gait recognition[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(2): 149–158.
- [30] Nandic C, Ravi-Kumar C N. An approach to gait recognition[C]//Proceedings of international symposium on biometrics and security technologies. Islamabad: [s. n.], 2008: 1–3.
- [31] 林敏, 陈淑清. 基于特征组合的步态识别算法研究[J]. 广西工学院学报, 2012, 23(2): 60–64.
- [32] 柴艳妹, 韩文英, 刘灿涛, 等. 融合理论在步态识别中的应用研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(12): 272–277.
- [33] Gregory S, Trevor D. On probabilistic combination of face and gait cues for identification[C]//Proceedings of the 5th international conference on automated automatic face and gesture recognition. Washington: [s. n.], 2002: 169–174.
- [34] Kusakunniran W, Li Hongdong, Wu Qiang, et al. Cross-view and multi-view gait recognitions based on view transformation model using multilayer perceptron[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(7): 882–889.
- [35] Lee B, Hong S, Lee H, et al. Gait recognition system using decision-level fusion[C]//Proceedings of Fifth IEEE international conference on industrial electronics and applications. Taichung: IEEE, 2010: 313–316.
- [36] Imed B, Mark N. Exploratory factor analysis of gait recognition[C]//Proceedings of 2008 eighth IEEE International conference automatic face and gesture recognition. Amsterdam: IEEE, 2008: 1–6.
- [37] Popoola O P, Wang Kejun. Video-based abnormal human behavior recognition—a review[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, 2012, 42(6): 865–878.
- +++++
- (上接第 99 页)
- 参考文献:**
- [1] 张建成, 宋丽华, 鹿全礼, 等. 云计算方案分析研究[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(1): 165–167.
- [2] White T. Hadoop 权威指南[M]. 周敏奇, 王晓玲, 金澈清, 等, 译. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [3] 周洪波. 云计算: 技术、应用、标准和商业模式[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [4] Ghemawat S, Gobioff H, Leung S T. The Google file system[C]//Proc of ACM symposium on operating systems principle. New York: ACM, 2003: 29–43.
- [5] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters[J]. Communications of the ACM, 2008, 51(1): 107–113.
- [6] Shvachko K, Kuang H, Radia S, et al. The hadoop distributed file system[C]//Proc of 2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies. [s. l.]: IEEE, 2010: 1–10.
- [7] 李建江, 崔健, 王聃, 等. MapReduce 并行编程模型研究综述[J]. 电子学报, 2011, 39(11): 2635–2642.
- [8] 张密密. MapReduce 模型在 Hadoop 实现中的性能分析及改进优化[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [9] Yang H, Dasdan A, Hsiao R L, et al. Map-reduce-merge: simplified relational data processing on large clusters[C]//Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on management of data. [s. l.]: ACM, 2007: 1029–1040.
- [10] Jiang D, Ooi B C, Shi L, et al. The performance of mapreduce: An in-depth study[J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2010, 3(1–2): 472–483.
- [11] Hadoop C++ extention[EB/OL]. (2012-07-03) [2014-10-15]. <https://issues.apache.org/jira/browse/MAPREDUCE-1270>.
- [12] Seo S, Jang I, Woo K, et al. HPMR: prefetching and pre-shuffling in shared MapReduce computation environment[C]//Proc of IEEE international conference on cluster computing and workshops. [s. l.]: IEEE, 2009: 1–8.
- [13] Babu S. Towards automatic optimization of MapReduce programs[C]//Proceedings of the 1st ACM symposium on cloud computing. [s. l.]: ACM, 2010: 137–142.
- [14] 彭辅权, 金苍宏, 吴明晖, 等. MapReduce 中 Shuffle 优化与重构[J]. 中国科技论文, 2012, 7(4): 241–245.
- [15] 应毅, 任凯, 刘正涛. 基于云计算技术的数据挖掘[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(2): 161–164.

步态识别关键技术研究

作者：[卢官明](#)，[衣美佳](#)，[LU Guan-ming](#)，[YI Mei-jia](#)
作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[卢官明](#), [衣美佳](#), [LU Guan-ming](#), [YI Mei-jia](#) [步态识别关键技术研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#)
2015(7)