

步态识别研究进展

柴艳妹¹ 夏 天² 韩文英¹ 李海峰¹

(中央财经大学信息学院 北京 100081)¹ (上海第二工业大学计算机与信息学院 上海 201209)²

摘 要 近年来步态识别技术已经成为生物特征识别领域一个新的研究热点。该技术是唯一可在远距离非接触状态下识别生物特征的技术,因此引起了各国学术科研机构的重视。对步态识别系统的一般处理过程进行了综述,重点分析和跟踪了步态特征提取技术的最新研究进展,讨论了各种方法中典型技术的优缺点和步态识别技术所面临的挑战,并概括介绍了常用的步态评测数据库和实验结果,最后展望了步态识别技术未来的发展方向和趋势。

关键词 步态识别,特征提取,性能评测,进展

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

State-of-the-Art on Gait Recognition

CHAI Yan-mei¹ XIA Tian² HAN Wen-ying¹ LI Hai-feng¹

(School of Information, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)¹

(Department of Computer and Information Science, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China)²

Abstract As a new technology of biometrics, gait recognition has attracted a great of interest in computer vision community due to its advantage of unobtrusive recognition at a distance. In this paper, the general process of gait recognition was described firstly. Then the paper reviewed most existing typical methods for gait recognition and analysed their respective pros and cons. In addition, challenges that constrain practical application of gait recognition systems were discussed and more than 10 publically available datasets and experimental results of some typical methods were reported. Finally, future trends were given to guide further research in this field.

Keywords Gait recognition, Feature extraction, Performance evaluation, Progress

1 引言

步态是指人们走路的姿势,是一种可在远距离感知的生物行为特征。用步态特征进行身份认证是近年来计算机视觉和生物特征识别领域的一个研究热点。和其他生物特征识别技术(如指纹、人脸、虹膜等)相比,步态识别的优势在于非接触性、非侵犯性、易于感知、难于隐藏和难于伪装。基于这些优点,步态识别在门禁系统、安全监控、人机交互、医疗诊断等领域具有广泛的应用前景和经济价值。

步态分析最早是医学^[1]、心理学^[2]方面的课题。研究认为如果考虑步态运动的所有信息,那么每个人的步态都是唯一的。随着计算机运算能力的增强和生物特征识别技术的兴起,步态分析在计算机视觉领域的发展逐渐引起了关注。1994年, Niyogi 和 Adelson^[3]最早利用步态特征进行生物特征身份认证。之后该研究方向得到快速发展,取得了一系列探索性的研究成果,并涌现出大量的步态识别算法,其中不乏相关的综述文章。例如,文献[4]对步态特征提取的方法进行了综述,但缺乏难点分析和性能评价。文献[5]重点分析了影响步态的各种因素,并对步态处理的各个阶段进行了简要总结,但未涉及步态识别算法的性能评价。2009年,文献[6]又

进一步从步态特征提取和特征处理方面对步态识别研究进行了总结,但难点分析和未来研究方向指导都过于简略,同样没有涉及性能评价方面的内容。为了弥补上述不足,有必要对现阶段的步态识别研究情况进行分析和总结,尤其是最新的进展,期望能更好地指导未来的研究工作。

2 步态识别概述

步态识别就是要对包含人体运动的图像序列进行分析处理,通常包括步态检测、步态表征和步态识别 3 个过程。其一般处理框架如图 1 所示。

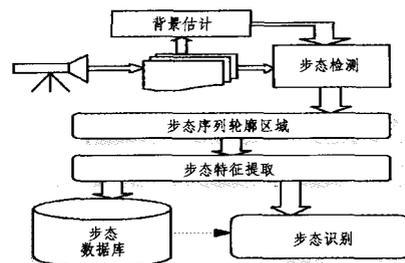


图 1 步态识别系统的一般框架

到稿日期:2011-08-11 返修日期:2011-11-22 本文受国家自然科学基金项目(60970143),中央财经大学‘211工程’三期(CUFEXX2011-3-1),中财121人才工程青年博士发展基金项目(QBJGL201005),中央财经大学科研创新团队支持计划资助。

柴艳妹(1978-),女,博士,讲师,主要研究方向为图像处理、信息检索,E-mail:chai-4@163.com;夏天(1979-),男,博士,副教授,主要研究方向为自然语言处理、数据挖掘。

2.1 步态检测

步态检测是在图像序列中将人体步态轮廓区域从背景图像中提取出来。这方面的研究包括背景估计、目标检测和形态学后处理等。步态轮廓区域的有效分割对于特征提取、目标分类等后期处理非常重要,因此步态检测常被视为步态识别的预处理部分。步态检测作为视频序列中运动检测的一个特例,可大致分为4类方法:

1) 基于特征的方法。首先从图像序列中提取特征并建立它们之间的对应关系,然后依据特征对应关系计算物体的结构和运动参数。如 Blake 等人^[7]的主动轮廓模型(active contour model)法和 Park 等人^[8]提出的采用物体的边缘、拐角等作为特征对非刚体目标进行检测的 Hausdorff 法等都能很好地刻画目标的运动,但是特征点的寻找和匹配比较困难。

2) 帧间差分法。利用图像序列中2帧或3帧图像亮度变化来提取运动目标。如 Chang 等人^[9]改进传统帧间差分法,结合形态学和人体结构来提取运动目标。Guo 等人^[10]利用帧间差分法和熵运算结合的方法有效检测运动目标。该方法运算速度快,易于实现,能较快适应动态场景的变化。缺点是对噪声敏感,运动物体内部亮度较均匀时只能检测到目标的边缘,无法检出整个物体。

3) 背景减除法。即利用当前帧图像与背景图像的差分运算进行运动检测的一种方法,如 Kruger 等人^[11]提出的基于概率模型的背景减除法。这类方法一般能够提供完整的特征数据,但对光照及其他外界扰动引起的场景变化特别敏感,主要应用于静止背景的情况。

4) 光流法。即一种以灰度梯度基本不变或亮度恒定的约束假设为基础的运动目标检测方法。如 Ishiyama 等人^[12]使用线性光流算法实现了高速、高精度的光流检测,随后用最小生成树进行运动分割。光流法善于在运动场景中捕捉运动对象的运动特征,但是大多数光流法的计算比较复杂,且抗噪性能差。

在以往的算法中,由于步态数据库背景通常是静止的,背景减除法常常被用于步态检测。近两年,随着学者们对复杂环境下的步态识别技术进行大量的研究,帧间差分法和光流法也开始被使用。总之,复杂环境下的步态检测是未来的发展方向。

2.2 步态表征

步态表征就是采取某种方法表示检测出的步态和数据库中的已知步态,又称为步态特征提取。现有的方法可以分为3类:结构表征、非结构表征和融合表征。步态表征是步态识别技术的关键所在,也是步态识别领域的研究重点,将在第3节中详细总结。

2.3 步态识别

将待识别的步态信息与数据库中的步态特征进行比对,通过一定的判断依据决定它所属的类别。常用的方法有如下几类:

1) 模板匹配法

将图像序列转换为一系列步态特征模式,然后在识别过程中和预先存储的模式相比较,用欧式距离等方法进行相似度计算后,再用最近邻算法等进行识别。这是最常见的模板匹配方法,如王亮等人在文献^[13,14]中就采用这种识别方法。Foster 等人^[15]提出的用区域度量获取特征,然后进行特征比

对以及 Sarkar 等人^[16]采用的序列图像的相似性描述也是类似的方法。

在步态识别中,测试序列与样本序列的时间尺度一般不同,不能较好地完成匹配。为了解决这一问题,可采用动态时间规整(DTW)对存在全局或局部扩展、压缩或变形的模式进行匹配,以解决动态模式的精确匹配问题。如 Kale 等人^[17]基于人体轮廓宽度的算法和 Veeraraghavan 等人^[18]基于形状的步态识别算法中都采用了 DTW 技术。

2) 状态空间法

模板匹配实际上是一种基于距离度量的方法,它虽简单易行,但忽略了隐含在步态序列中姿态之间的联接关系,而状态空间法可以很好地弥补这一点。最典型的状态空间法是基于隐马尔可夫模型(HMM)的方法。它定义每个静态帧作为一个状态,用对应于不同状态的特征向量来描述人的结构特性,同时用转移概率矩阵模拟状态间的转换来表征人体步态的动态特性。Kale 等人^[19,20]和 Liu Zongyi 等人^[21]也都在他们的算法中用到了 HMM。

此外,神经网络(NN)也被广泛用于步态识别。如 Degui Xiao 等人^[22]使用 Zernike 矩作为步态特征,再用 BP 神经网络进行分类。Nixon 等在文献^[23],Katarzyna 等在文献^[24]中也把神经网络技术用于步态识别。Bazin 等人^[25]则对训练集建立了基于特征分布的类内和类间先验概率分布模型,然后通过贝叶斯分类器实现个体的验证,也取得了较好的效果。

另外,支撑向量机(SVM)因其可有效避免经典学习方法中的过学习、维数灾难、局部极小等传统分类器存在的问题,也被成功引入到步态识别领域。如文献^[26-28]中的分类方法采用的就是 SVM 分类器。

3 研究动态

自 Niyogi 等人^[3]最早利用计算机视觉与模式识别技术进行步态识别研究以来,越来越多的学者对步态识别的研究产生了浓厚的兴趣,并做了大量的工作。这些工作归纳起来可以分为3类:结构表征、非结构表征和融合表征。

3.1 结构表征方法

结构表征方法旨在构建一个人体的2D或3D运动结构模型,通过提取图像特征把它们映射到模型的结构成分上来表征人体的步态模式,然后再用这些模式进行步态的识别和分类。

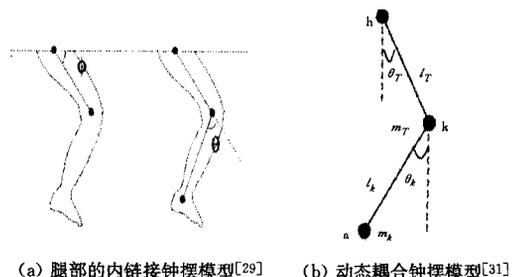


图2

较早的结构表征法是 Cunado 等人^[29]提出的钟摆模型,将大腿建模为链接的钟摆,并从其倾斜角度信号的频率分量获取步态特征,如图2(a)所示。后来他们对该工作进行了进一步拓展^[30],用傅立叶级数(FS)和速度哈夫变换(VHT)技术建模髋关节的旋转运动并从中提取步态特征,再进一步使

用泛型算法(GA)对模型参数降维,不仅提高了算法的识别率,而且增加了算法的抗遮挡能力和抗噪性。与此同时,Yam等人^[31]也对钟摆模型进行了拓展,采用耦合钟摆模型(见图2(b))来刻画大腿和小腿的运动,通过对其摆动的周期分析获得相位加权的傅立叶描述的步态信号,也取得了不错的识别效果。

Yoo等人^[32,33]则根据解剖学的知识,提取出头、脖颈、肩、胸、骨盆、膝盖和脚踝在人体侧影中的位置参数,然后计算各个位置的运动学特征(相对于垂直方向的摆动角度等),构建出2D人体杆状模型(见图3),步态序列中所有杆状模型连接起来就形成了用于识别的步态模式。这种模型在后来的算法中常被引用,且最近又被Yoo进一步拓展^[34],应用到一个步态运动的自动分析和分类系统中。

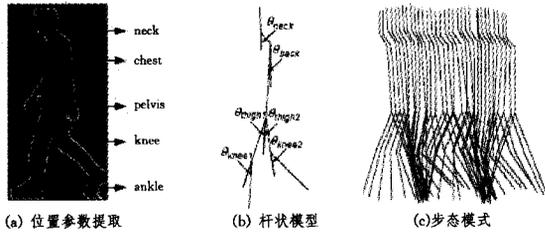


图3 2D人体杆状模型示意图^[32]

Lily Lee^[35]采用的方法则是将人体侧影图像划分成7个部分,每部分用一个椭圆来表达。每个椭圆用质心的两个坐标、长短轴之比、长轴的方向等4个特征表示,加上整个身体图像的质心高度,一共29个特征参数表示整个人体侧影图像,然后再通过模板匹配方法进行步态识别。该模型的示意图如图4(b)所示。Zhang等人^[36]提出一个五连杆双足人体模型,与人体的高度矢量以及基高度矢量一起用于步态的表征(见图4(c))。该算法对人体的着装类型具有鲁棒性,但是这种模型缺乏对上肢运动的描述。最近,Haiping Lu等人^[37]还提出了一种全身分层可变形模型(见图4(d)),这种模型将身体分成若干块,计算包括身体形状(宽度和高度)和动态特征(关节角度等)在内的22个参数,并将其作为步态特征。该模型可对全身的动态特性进行描述。

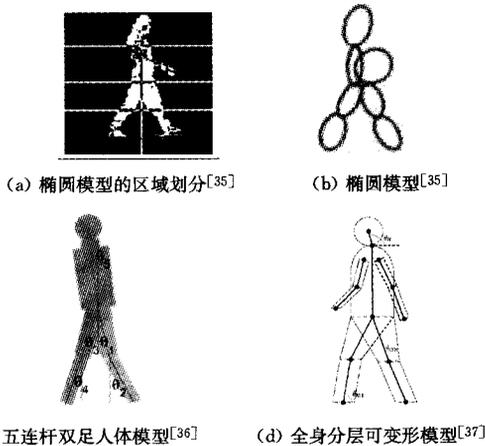


图4 各种人体模型示意图

由于2D模型局限于静态结构参数,难以表达运动方向变化带来的问题,因此Dockstader等人^[38]采用了分层结构模型对人体运动进行分析;Urtasun等人^[39]将Cunado的方法扩展到3D空间,提出了基于PCA的3D人体运动模型;而Han等人^[40]则根据2D人体形状数据采用最小二乘法拟合3D人体运动模型,从而获得运动参数的估计。

基于模型的结构表征方法对视角的变化不太敏感,并且有利于解决遮挡问题。模型是针对人体的运动特征建立的,易于反映变化信息,还能对未来的变化进行估算。但该类方法对步态序列的清晰度敏感,而且计算量较大。

3.2 非结构表征方法

非结构表征方法旨在从步态序列中提取基于人体轮廓、形状所产生的各种统计时空模式特征。它的特点是计算量小、便于实时计算,但对于背景和光照信号比较敏感,而且一旦场景中出現遮挡现象,识别率便会下降。

在现有算法中最常用的就是人体轮廓特征。如Wang等人^[13]提出了一种基于轮廓的解卷绕步态识别方法,其用轮廓组成点到中心之间的连线来表达步态特征;Dadashi等人^[19]进一步在1D步态信号上应用小波包变换来提取步态特征;Kale等人^[19]尝试仅用轮廓的宽度描述人体形状特征,但发现对步态信息的描述不充分。因此,他们将轮廓宽度和整个侧影合并起来提取步态特征取得了不错的效果^[20]。此外,Hayfron-Acquah等人^[42]提出的基于对称性分析的算法也是基于人体轮廓特征进行步态表征的。

轮廓提取过程中可能会丢失一部分有用信息,因此提出了基于整个侧影图像的算法。例如Wang等人^[14]提出用Procrustes形状分析法提取步态特征;Murase和Sakai^[43]提出一种时空相关的模板匹配方法,同时引入特征空间变换方法(PCA)进行降维;Huang等人^[44]则通过增加正则分析(CA)拓展了Murase和Sakai的工作;而Boulgouris和Chi^[45]则对侧影图像进行随机变换来提取模板,然后用LDA(Linear Discriminate Analysis)和子空间映射法提取随机模板系数来表达步态特征。这些针对整个侧影形状进行分析的算法也取得了不错的识别效果。

无论针对整个侧影还是针对侧影轮廓的算法考虑的都是单帧图像中的人体形状特征,未能有效获取步态的动态性和连续性。因此,众多学者研究了基于整个序列图像的步态提取算法。例如BenAbdelkade等人^[46]先从侧影序列中计算图像自相似图(SSP),再用特征空间变换法(PCA)进行降维,以获取步态特征;而Bobick等人^[47]则直接从侧影序列中提取出动能图(MED)来描述序列图像中发生的运动,并且提取运动经历图(MHI)来描述运动变化;由于Bobick的方法取得了不错效果,Han等人^[48]在MHI的基础上提出了步态能量图(GEI)来反映侧影形状的变化和步态周期;GEI算法对噪声更具鲁棒性,但是它丢失了连续帧之间的动态变化,因此Liu等人^[49]进一步提出了步态经历图(GHI)以及Chen等人^[50]提出了帧差能量图来解决这一问题。由于这类方法有较好的识别性,2005年,Sarkar等人^[16]基于直接利用侧影序列作为特征,提出了步态识别算法的Baseline算法,这为步态识别算法的性能评价提供了良好基础。与上述算法类似,Chai等人^[51]提出的用动态能量表达步态的方法也是针对侧影序列提出的。

最近,也提出了一些新的非结构表征算法。如Lam等人^[52]通过计算光流域提出了步态流图(GFI)算法,其流程如图5所示。Lin Chunli等人^[53]将增强的步态能量图(EGEI)和2DPCA相结合用于步态行为分类。Haiping Lu等人^[54]将MPCA算法和Boosting线性分类技术结合起来用于步态识别。Kellokumpu等人^[55]则将人体运动看作一种纹理模式,用以提取步态的动态纹理特征,然后用AdaBoost算法进行分类。

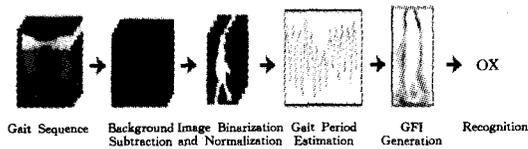


图5 GFI算法流程图[52]

3.3 融合表征方法

在人类的感知系统中,对人的身份识别通常不是仅依靠某一种生物特征,而是将多种特征融合起来进行识别。多特征融合的核心思想就是将不同渠道得到的生物特征,根据互补原则进行信息筛选,以得到更好的识别性能。在步态识别领域,常见的融合方式有两种:(1)将不同的步态特征进行融合;(2)将步态特征和其他生物特征(如人脸)进行融合。

在不同特征融合方面,Wang等人[56]提出将基于Procrustes形状分析的静态特征与跟踪人体下肢关节运动轨迹的动态特征相融合;Bazin等人[57]提出了一种基于概率框架的特征融合算法,其中静态特征使用的是Veres等人在文献[58]中提出的方法,而动态特征则使用Wagg等人在文献[59]中提出的基于模型估计的方法;而Nandini等人[60]也提出将最大信息压缩索引和步态的周期特征进行融合来进行步态识别。这些算法均通过实验证明,融合之后的步态特征比任何单一步态特征的识别率更高。

此外,多模态的生物特征识别算法也得到了快速发展。Shakhnarovich等人[61]率先将人脸的正面图像特征和步态的侧影特征分别进行识别运算,然后再用决策级融合算法得到最终的识别结果;Kale等人[62]也使用了人脸和步态特征的决策级融合方法,不过他们分别尝试了分层和整体两种策略;而Geng等人[63]则提出一种自适应的人脸和步态融合算法,它能以一种实时的方式动态调整融合策略来适应不同的外部环境,例如视角的变化、受测者离摄像机的距离等。基于多模态的识别方法有效提升了算法性能,已成为生物特征识别领域很具发展潜力的研究方向。

4 性能评测和实验结果

为了对步态识别算法的性能进行有效评测,除了建立Baseline算法之外,还要考虑到各种因素对算法的影响,并建立公用的步态数据库以供实验对比。

4.1 影响因素

根据文献[16,21],影响步态识别算法的因素可以分为以下5类:1)拍摄视角变化,包括正面视角(0°)、侧面视角(90°)以及斜视角(45°)等;2)拍摄环境的变化,包括时间跨度、拍摄光线和拍摄场景的变化等;3)服饰及佩戴变化,包括受测者着装的颜色、鞋子的类型、是否戴帽子以及是否背包或提箱子等;4)遮挡,包括身体的某部位周期性被自身遮挡或被其他外界物体遮挡;5)受测者内在因素影响,如伤病、疲劳、怀孕等情况。

在众多因素中,当前研究的重点在于时间、服饰及佩戴、行走路面、视角等外在因素造成的影响。如Sarkar等人在文献[16]中全面地研究了鞋子的类型、摄像机角度、携带箱子与否以及路面状况对步态识别结果的影响;文献[64-66]针对视角变化问题分别提出了各自的步态识别算法;而Chiraz等人[67]和Heesung Lee等人[68]则分别研究了受测者携带物品情况下的步态识别算法。而针对受测者内在因素影响的步态识别算法研究由于机理复杂,目前还鲜有报道。

4.2 评测数据库

目前用于步态识别算法评测的数据库有很多,最常用的有以下几个。

4.2.1 CMU Mobo 数据库[20]

卡耐基梅隆大学(CMU)为Human ID项目建立的步态数据库包含了25个人在跑步机上以4种不同方式行走的视频序列。行走的方式包括慢速行走、快速行走、斜面行走和抱球行走。同时采用6台摄像机对行人进行不同角度的拍摄,每个序列11秒长,帧频约30帧/秒。

4.2.2 USF 数据库[16]

该数据库来自于南佛罗里达大学(USF),包括122个人的1870个序列。每个人在摄像机前绕椭圆路线行走,有5种变化情况:A/B类型鞋、带/不带箱子、草地/水泥地、左/右拍摄视角以及两个不同的时间段。

4.2.3 CASIA 数据库[69]

目前中科院自动化所(CASIA)步态数据库有3个数据集:Dataset A(小规模库)、Dataset B(多视角库)和Dataset C(红外库)。

Dataset A包含20个人的数据,每个人有12个图像序列、3个行走方向(与图像平面分别成 0° 、 45° 、 90°),每个方向有4个图像序列。每个序列的长度随人行走的速度变化而有所不同,每个序列的帧数介于37到127之间。

Dataset B是一个大规模的、多视角的步态库,共有124个人,每个人有11个视角(0° 、 18° 、 36° 、 \dots 、 180°),在3种行走条件下(普通条件,穿大衣,携带包裹条件)采集。

Dataset C是一个用红外(热感)摄像机在夜间拍摄的大规模数据库,包含153人,每个人在4种条件下行走:正常行走,快走,慢走,带包走。

4.2.4 其它数据库

除了上述3个数据库,还有一些其它的步态数据库也是常用的。例如,来自于南安普顿大学的Soton数据库、圣地亚哥加利福尼亚大学的USCD数据库、麻省理工学院的MITAI数据库以及马里兰大学的HID-UMD数据库等。关于这些数据库的详细信息见表1。

表1 常用的步态数据库

数据库	人数	序列数	环境设置	创建时间	影响因素设置
UCSD Database	6	42	室外	1998	—
MIT AI Database	24	194	室内	2001	视角,时间
Georgia Tech Database	20	188	室内,室外,磁跟踪器	2001	视角,时间,距离
CMU Mobo Database	25	600	室内,踏板	2001	6个视角,速度,携带物品,倾斜路面
HID-UMD Database 1	25	100	室外	2001	4个视角
HID-UMD Database 2	55	220	室外	2001	2个视角
Soton Small Database	12	—	室内,绿色背景	—	携带物品,着装,鞋子,视角
Soton Large Database	115	2,128	室内,室外,踏板	2001	视角
USF Gait Database	122	1,870	室外	2001	2个视角,路面,鞋子,携带物品
CASIA Database (A)	20	240	室外	2001	3个视角
CASIA Database (B)	124	13,640	室内	2005	11个视角,着装,携带物品
CASIA Database (C)	153	1,530	室外,夜晚,红外摄像机	2005	速度,携带物品

4.3 典型算法实验结果

目前大部分文献中采用的数据库以及训练测试方法都不尽相同,难以有确切的性能评测。但为了对目前典型方法的实验结果有较为直观的认识,表2汇集了步态识别领域中的部分典型方法的实验结果。

结束语 本文介绍了现阶段步态识别技术的最新研究进展,在对步态识别系统一般流程介绍的基础上,重点介绍了现阶段步态特征提取算法的研究成果,分析和讨论了各种方法的优缺点,还介绍和分析了给步态提取带来挑战的各种影响因素、常用的评测数据库及部分典型算法在这些数据库上的实验结果。

表2 部分典型算法的实验结果

方法名称	识别率	典型文献	发表时间
Wang 等人静态+动态特征融合算法	87.5%~91.25% (CASIA Database)	文献[56]	2004
Kale 等人基于HMM的步态识别算法	54.1%~95.8% (CMU Mobo Database)	文献[20]	2004
Sarkar 等人 Baseline 算法	26%~87% (USF Gait Database)	文献[16]	2005
Han 等人的 GEI 算法	31%~100% (USF Gait Database)	文献[48]	2006
Boulgouris 等人用随机变换+LDA降维算法	23%~87% (CMU Mobo Database) 19%~87%(MIT AI Database)	文献[45]	2007
Zhang 等人的五连杆双足人体模型算法	61%(USF Gait Database) 96%(CMU Mobo Database)	文献[36]	2007
Geng 等人的人脸和步态特征融合算法	85%~95% (CASIA Database)	文献[63]	2008
Haiping Lu 等人 MPCA+LDA+Boosting 算法	30%~100% (USF Gait Database)	文献[54]	2009
Kusakunniran 等人 GEI+TSVD 的多视角算法	90%(CASIA Database)	文献[64]	2009
Kellokumpu 等人基于纹理模式+Adaboost 算法	16%~89% (CMU Mobo Database)	文献[55]	2010
Lam 等人 GFI 算法	3%~89% (USF Gait Database)	文献[52]	2011
Yoo 等人的 2D 人体杆状模型算法	84% (Soton Large Database)	文献[34]	2011

步态识别是一个复杂的研究课题,它涉及医学、心理学、计算机视觉、图像处理和模式识别等领域的知识。尽管目前的研究已取得了一些进展,但仍存在很多问题和挑战,比如各种影响因素对算法造成的影响、复杂背景下的运动分割问题、人体本身或外界物品造成的遮挡问题以及性能评估标准的建立问题等。

结合当前研究的现状和难点问题,可以对步态识别的发展趋势做如下展望:

1) 步态的 3D 建模。现阶段基于 2D 的步态识别方法研究已取得一定成效,但是人体是一个 3D 物体,仅用 2D 信息是无法充分表达的。可以使用多台摄像机对步态进行拍摄,然后利用 3D 重建的方法得到更全面的步态信息。这不但解决了当前研究中存在的视角变化难题,而且多台摄像机的使用也有助于解决遮挡问题。但 3D 建模的计算量和特征维数可能会成为研究瓶颈,这将会是今后研究的一个重点。

2) 多特征信息融合。信息融合技术已经在其它领域得到了广泛应用,现有的步态识别研究中也有一些初步尝试。实验证明^[56-63]基于融合特征的步态识别算法的性能明显优于基于任何单一特征的算法,这是一个值得期待的研究方向。

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。

3) 引入跟踪算法。步态是人走路的动态序列图像,可以引入基于视频的目标跟踪算法对人体目标进行跟踪和定位,并汲取跟踪算法中对移动物体运动关联性的研究成果来提升步态识别算法的性能。

4) 数据库建设。为了对更复杂的问题进行深入研究,应该建立与之相对应的评测数据库,比如复杂背景下的大规模数据库、有多个摄像机同时拍摄的数据库、有遮挡情况的数据库以及用于夜间识别的红外数据库等。此外,为了使当前研究成果更具有说服力,数据库的拍摄环境应该更加多变、数据规模应更大些。

参考文献

- [1] Cho C W, et al. A Vision-Based Analysis System for Gait Recognition in Patients with Parkinson's Disease[J]. Expert Syst. with Appl., 2009, 36(3): 7033-7039
- [2] Stevenage S V, Nixon M S, Vince K. Visual Analysis of Gait as a Cue to Identity[J]. Applied Cognitive Psychology, 1999, 13: 513-526
- [3] Niyogi S A, et al. Analyzing gait with spatiotemporal surfaces [C]//Proc. of IEEE Workshop on Non-Rigid Motion. 1994: 24-29
- [4] Li Yi-bo, Jiang Tian-xiao. General Methods and Development Actuality of Gait Recognition[C]//Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition. Beijing, China, Nov. 2007: 1333-1340
- [5] 王科俊,侯本博. 步态识别综述[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(7): 1152-1160
- [6] Liu Ling-feng, Jia Wei, Zhu Yi-hai. Survey of gait recognition [C]//ICIC 2009. LNAI 5755, 2009: 652-659
- [7] Blake A, Isard M. Active Contours[M]. Berlin: Springer, 1998
- [8] Park S C, Lee S W. Object tracking with probabilistic hausdorff distance matching[C]//Proceedings of International conference on intelligent computing. Hefei, China, 2005, 3644: 233-242
- [9] Chang C C, et al. Modified temporal difference method for change detection[J]. Optical Engineering, 2005, 44(2): 1-10
- [10] Guo Jing, Chng E S, Rajan D. Foreground motion detection by difference-based spatial temporal entropy image[C]// Proc. of TENCON 2004. Chiang Mai, Thailand, 2004, 1: 379-382
- [11] Kruger V, Anderson J, Prehn T. Probabilistic model-based background subtraction[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Image Analysis and Processing. Cagliari, Italy, 2005, 3617: 180-187
- [12] Ishiyama H, Okatani T, Dequehi K. High-speed and high-precision optical flow detection for real-time motion segmentation[C]// Proceedings of SICE Annum Conference. Sapporo, Japan, 2004: 751-754
- [13] Wang L, Tan T, Ning H, et al. Silhouette analysis-based gait recognition for human identification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25: 1505-1518
- [14] Wang L, Tan T, Hu W, et al. Automatic gait recognition based on statistical shape analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12: 1120-1131
- [15] Foster J F, Nixon M S, Prugel-Bennett A. Automatic gait recog-

- niton using area-based metrics[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24(14): 2489-2497
- [16] Sarkar S, Phillips P J, Liu Z, et al. The humanID gait challenge problem: data sets, performance, and analysis[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27: 162-177
- [17] Kale A, et al. Gait analysis for human identification[C]//*Proceedings of the 3rd International Conference on Audio and Video-based Biometric Person Authentication*. UK, 2003: 706-714
- [18] Veeraraghavan A, et al. Role of shape and kinematics in human movement analysis[C]//*Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington, DC, USA, 2004, 1: 730-737
- [19] Kale A, Rajagopalan A N, Cuntoor N, et al. Gait-based recognition of humans using continuous HMMs[C]//*Proc. 5th IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002: 336-341
- [20] Kale A, Sundaresan A, Rajagopalan A N, et al. Identification of humans using gait[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13: 1163-1173
- [21] Liu Zong-yi, Sarkar S. Effect of silhouette quality on hard problems in gait recognition[J]. *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, Part B*, 2005, 35(2): 170-183
- [22] Xiao De-gui, Yang Lei. Gait Recognition Using Zernike Moments and BP Neural Network[C]//*IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*. Sanya, 2008: 418-423
- [23] Nixon M. Automated human recognition by gait using neural network[C]//*Artificial Neural Networks ICANN 2002 Lecture Notes in Computer Science*, 2002: 1361-1373
- [24] Katarzyna, et al. Artificial Neural Networks (ANN) Applied for Gait Classification and Physiotherapy Monitoring in Post Stroke Patients, *Artificial Neural Networks-Methodological Advances and Biomedical Applications[Z]*. Kenji Suzuki, ed
- [25] Bazin A, Nixon M. Probabilistic combination of static and dynamic gait features for verification[C]//*Proc. BTHI2005 Conf. Orlando, Apr. 2005*: 23-30
- [26] Ming D, et al. Identification of humans using infrared gait recognition[C]//*Proc. VECIMS 2009. Hong Kong, 2009*
- [27] Srivastava S. Human gait recognition using temporal slices[C]//*PRMI 2007. LNCS 4815, 2007*: 592-599
- [28] Cohen I, Li H. Inference of human postures by classification of 3D human body shape[C]//*IEEE international workshop on Analysis and modeling of faces and gestures (AMFG)*, 2003: 74-81
- [29] Cunado D, Nixon M, Carter J. Using gait as a biometric, via phase-weighted magnitude spectra[C]//*Proceeding of ICAVBB-PA1997 Conference. Crans-Montana, March 1997*: 95-102
- [30] Cunado D, Nixon M, Carter J N. Automatic extraction and description of human gait models for recognition purposes[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2003, 90(1): 1-41
- [31] Yam C, Nixon M, Carter J. Gait recognition by walking and running: a model-based approach[C]//*Proceeding of ACCV2002 Conference, Melbourne, January 2002*: 1-6
- [32] Yoo J H, et al. Extracting gait signatures based on anatomical knowledge[C]//*Proceeding of BMVA Symposium on Advancing Biometric Techniques at the Royal Statistical Society, London, 2002*
- [33] Yoo J H, et al. Model-driven statistical analysis of human gait motion[C]//*Proceeding of ICIP2002 Conference, 2002*: 285-288
- [34] Yoo J H, Nixon M S. Automated markerless analysis of human gait motion for recognition and classification[J]. *ETRI Journal*, 2011, 33(2): 259-266
- [35] Lee L, Grimson W. Gait analysis for recognition and classification[C]//*Proc. 5th IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002: 155-162
- [36] Zhang R, et al. Human gait recognition at sagittal plane[J]. *Image and Vision Computing*, 2007, 25(3): 321-330
- [37] Lu H, et al. A full-body layered deformable model for automatic model-based gait recognition[J]. *EURASIP J. on Advances in Signal Processing*, 2008, 13
- [38] Dockstader S L, Berg M J, Tekalp A M. Stochastic kinematic modeling and feature extraction for gait analysis[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, 12(8): 962-976
- [39] Urtasun R, et al. 3D tracking for gait characterization and recognition[C]//*Proc. of the 6th IEEE international conference on automatic face and gesture recognition*. Seoul, Korea, 2004: 17-22
- [40] Han J, et al. Performance prediction for individual recognition by gait[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, 26(5): 615-624
- [41] Dadashi F, et al. Gait recognition using Wavelet packet silhouette representation and transductive support vector machines[C]//*Proc. 2nd Int. Congress on Image and Signal Processing*, 2009: 1-5
- [42] Hayfron-Acquah J B, Nixon M S, Carter J N. Automatic gait recognition by symmetry analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24(13): 2175-2183
- [43] Murase H, Sakai R. Moving object recognition in eigenspace representation: gait analysis and lip reading[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1996, 17(2): 155-162
- [44] Huang P S, Harris C J, Nixon M S. Recognizing humans by gait via parametric canonical space[J]. *Artificial Intelligence in Engineering*, 1999, 13(4): 359-366
- [45] Boulgouris N V, Chi Z X. Gait recognition using Radon transform and linear discriminant analysis[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16: 731-740
- [46] BenAbdelkade C, Culter R, Nanda H, et al. EigenGait: motion-based recognition of people using image self-similarity[C]//*Proc. AVBPA. Halmstad, June 2001*: 284-294
- [47] Bobick A F, Davis J W. The recognition of human movement using temporal templates[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23: 27-267
- [48] Han J, Bhanu B. Individual recognition using gait energy image[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28: 316-322
- [49] Jianyi L, Nanning Z. Gait history image: a novel temporal template for gait recognition[C]//*Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo. 2007*: 663-666
- [50] Chen C, Liang J, Zhao H, et al. Frame difference energy image for gait recognition with incomplete silhouettes[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30: 977-984
- [51] Chai Y, Ren J, Zhao R, et al. Automatic gait recognition using dynamic variance features[C]//*Proc. Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 2006: 475-480
- [52] Lam T H W, Cheung K H, Liu J N K. Gait flow image: a silhouette-based gait representation for human identification[J]. *Pattern Recognition*, 2011, 44: 973-987
- [53] Lin C, Wang K. A behavior classification based on enhanced gait energy image[C]//*Proc. Int. Conf. Networking and Digital society*, 2010: 589-592

表 1 压缩图像以及加密压缩图像大小

图像名称	原始图像大小(kB)	不加密压缩图像大小(kB)	加密压缩图像大小(kB)	加密后图像增长率(%)
Lena	256	20.8	21.8	4.8
Baboon	256	45	46.3	2.8
Peppers	256	21.3	22.8	3.2
cameraman	256	18.6	20.5	10.2
Jetplane	256	22	24	9.1
crowd	256	28.4	29.6	4.2
bridge	256	40.6	41.9	3.2
lake	256	28.4	29.9	5.3
portofino	256	23.6	25.5	8.1
boats	256	24	25.7	7.1

3.3 格式兼容型

使用 JPEG 压缩算法生成的文件具有标准的语法结构,以便解码器能正确理解图像数据。错误的语法结构可能会导致解码器的崩溃,因此加密后的数据最好能保持压缩文件的特有语法格式。JPEG 文件由图像开始 SOI(Start of Image)标记、APP0 标记(Marker)、APPn 标记(Markers)等 8 个部分组成。在我们提出的算法中,只针对图像数据加密,没有修改 JPEG 文件的数据头和标记信息,因而具有格式兼容性。

3.4 加密速度

加密算法主要包括 3 个部分,即 DC 系数、AC 系数的加密和在空域上的置乱操作。对于 AC 系数和 DC 系数的加密只涉及简单的加法、异或以及赋值运算,因此加密速度非常快。此外 AC 系数的个数一般在图像像素个数的 5%~15% 以下,DC 系数和块置乱各占 1/64,因此总的加密量只占图像像素个数的 8%~18%。

结束语 在分析现有的 DCT 系数加密算法安全性的基础上,提出了一个空域加密和频域加密相结合的 JPEG 压缩

图像加密算法。理论分析与计算机仿真实验表明,算法具有很好的加密效果,对压缩算法的压缩效率影响很小,能充分满足压缩图像加密算法的要求。

参 考 文 献

- [1] Liu F W, Koenig H. A survey of video encryption algorithms[J]. Computers & Security, 2010, 29(1): 3-15
- [2] Tang L. Methods for encrypting and decrypting MPEG video data efficiently[C]//Proceedings of the fourth ACM international on multimedia, 1996: 219-229
- [3] Shi C, Bhargava B. A Fast MPEG Video Encryption Algorithm [C]//Proc. of ACM Multimedia'98, 1998: 81-88
- [4] Xie D, Kuo C-C J. Multimedia encryption with joint randomized entropy coding and rotation in partitioned bitstream[J]. EURASIP Journal on Information Security January, 2007, 2007(1): 1-12
- [5] Qiao L T, Klara N. Comparison of MPEG encryption algorithm [J]. Comput & Graphics, 1988, 22(4): 437-448
- [6] Wu C, Kuo C. Design of integrated multimedia compression and encryption systems [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(5): 828-39
- [7] Chen Fei, Liao Xiao-feng, et al. Period Distribution Analysis of Matrix Transformations[C]//Submitted to Signal Processing, 2011
- [8] Lam E Y, Goodman J W. A Mathematical Analysis of the DCT Coefficient Distributions for Images [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(10): 1661-1666
- [9] 何波, 罗龙艳, 肖迪. 迭代混沌映射的 S 盒构造方法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(1): 89-93
- [10] Kale A, et al. Fusion of gait and face for human identification [C] // Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004
- [11] Geng X, et al. Adaptive fusion of gait and face for human identification in video[C]//IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2008: 1-6
- [12] Kusakunniran W, et al. Multiple views gait recognition using view transformation model based on optimized gait energy image[C]//ICCV Workshops, 2009: 1058-1064
- [13] Kusakunniran W, et al. Cross-view and multi-view gait recognitions based on view transformation model using multi-layer perceptron[Z]. Pattern recognition letters, doi: 10. 1016/j. patrec. 2011, 4: 14
- [14] Liu N, Lu J, Tan Y P. Joint subspace learning for view-invariant gait recognition [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2011, 18(7): 431-434
- [15] BenAbdelkader C, Davis L. Detection of people carrying objects: a motion-based recognition approach[C]//Proc. Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 2002: 378-383
- [16] Lee H, Hong S, Kim E. An efficient gait recognition with backpack removal[C]//EURASIP J. Advances in Signal Processing, 2009: 1-7
- [17] http://www.cbsr.ia.ac.cn/china/Gait%20Databases%20CH.asp
- [18] Lu H, Plataniotis K N, Venetsanopoulos A N. Boosting discriminate learners for gait recognition using MPCA features[J]. EURASIP J. Image and Video Processing, 2009, 11
- [19] Kellokumpu V, et al. Dynamic textures for human movement recognition[C]//CIVR 2010, Xi'an, 2010: 470-476
- [20] Wang L, Tan T, Ning H, et al. Fusion of static and dynamic body biometrics for gait recognition[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video, 2004, 14(12): 149-158
- [21] Bazin A, Nixon M. Probabilistic combination of static and dynamic gait features for verification[C]//Proc. BTHI2005 Conf. Orlando, Apr. 2005: 23-30
- [22] Veres G V, Gordon L, Carter J N, et al. What image information is important in silhouette-based gait recognition [C] // Proc. CSCCVPR, Washington DC, 2004: 776-782
- [23] Wagg D K, Nixon M S. Automated markless extraction of walking people using deformable contour models[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2004, 15(3): 399-406
- [24] Nandini C, RaviKumar C N. An approach to gait recognition[C]//Biometrics and Security Technologies, 2008: 1-3
- [25] Shakhnarovich G, Darrell T. On probabilistic combination of face and gait cues for identification[C]//Proc. Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 2002: 169-174

(上接第 15 页)