

文章编号:1007-130X(2006)06-0073-04

# 基于角度直方图的步态识别算法\*

## A Gait Recognition Algorithm Based on Angle Histogram

赵子健, 吴晓娟, 刘允才

ZHAO Zi-jian, WU Xiao-juan, LIU Yun-cai

(山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

**摘要:**本文提出了一种简单实用的步态识别算法。该算法使用背景减除的方法检测人的运动区域;然后统计运动区域上像素的角度直方图,提取角度直方图向量作为步态特征;以欧氏距离作为度量,使用标准模式分类器用于步态识别。实验结果表明,本文提出的算法识别性能较高,并具有计算代价小等优点。

**Abstract:** This paper proposes a simple but efficient algorithm of gait recognition. In each image sequence, background subtraction and related processes are carried out to segment and track the moving silhouettes of a walking figure from the background. By computing the angles of the pixels in the moving silhouettes, we can get the angle histogram vectors as the gait signature. Supervised pattern classifiers with Euclidian Measurement are finally performed for recognition. Extensive experiments using the NLPD database demonstrate that the proposed algorithm has a high recognition performance with low computational cost.

**关键词:** 生物特征识别; 步态识别; 背景减除; 角度直方图

**Key words:** biometrics; gait recognition; background subtraction; angle histogram

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

## 1 引言

生物特征的识别是一个传统的模式识别问题,它是利用人的生理或行为特征进行人的身份识别。步态识别是生物特征识别技术的一个新兴子领域。所谓步态,传统上是指人行走的方式。步态的更一般的定义又把人行走运动的动力学特征也包括了进去。相应的步态识别就是在不考虑衣服、视角、环境等情况下根据人们走路的方式及动力学特征进行身份识别。目前,那些对安全要求敏感的场所如银行、商店、停车场、军事基地等,对动态视觉监控系统的要求越来越高。步态以其良好的非侵犯特点,越来越得到人们的重视,必将在动态视觉监控系统中得到广泛的应用。

近些年来,人们在步态识别领域做了很多有意义的尝试。值得一提的是, Johansson<sup>[1]</sup>在他的实验中使用 MLD (Moving Light Display, 简称 MLD) 产生步态图像,并证明

了人仅仅观察 MLD 图像就可以感知人的运动模式。但是,使用 MLD 进行步态识别不能达到自动识别的效果。随后,又相继出现了很多基于视觉的方法,最早 Niyogi 和 Adelson<sup>[2]</sup>提出了一种使用步态时空特征进行识别的方法。Cunado 等<sup>[3]</sup>将人的大腿建模为链接钟摆,从钟摆的倾斜角度的曲线信号中提取某些频率分量作为步态特征。Huang 等<sup>[4]</sup>提出了一种结合特征空间变换和正则空间分析的步态识别方法。Hayfron-Acquah 等<sup>[5]</sup>从心理学的角度出发,在步态识别中使用了广义对称算子分析的方法。近来, Foster 等<sup>[6]</sup>提出了一种基于“步态掩模”(Gait Mask)的步态识别方法。王亮等<sup>[7]</sup>提出了一种人体轮廓解环绕提取距离信号的步态识别算法,并建立了一个大样本步态数据库 NLPD(20人,3视角,每视角4序列),在此数据库上的实验也取得了令人鼓舞的结果。

针对过去步态识别算法对噪声、阴影等问题考虑不足的状况,本文提出了一种基于角度直方图的步态识别算法。

\* 收稿日期:2004-07-01; 修订日期:2005-03-21

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2002G04)

作者简介:赵子健(1979-),男,山东济南人,硕士,研究方向为信号处理和计算机视觉;吴晓娟,教授,博士生导师,研究方向为图像处理与模式识别;刘允才,教授,博士生导师,研究方向为计算机视觉和智能交通。

通讯地址:250100 山东省济南市山大南路 27 号山东大学信息科学与工程学院 吴晓娟; Tel: (0531) 88362526, 13020213863; E-mail: zhaozjian@sdu.edu.cn

Address: School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, P. R. China

该算法通过背景减除的方法对人的行走进行检测和跟踪,然后统计出运动区域像素的角度直方图,提取角度直方向向量作为步态特征,使用相应的分类器并结合所用数据库实现个体身份识别。在中科院自动化所提供的 NLPR 数据库上得到的实验结果证明了算法的有效性。本文算法不但计算简单,而且对噪声和阴影等问题的影响具有较强的鲁棒性。

## 2 步态检测与跟踪

本文所提算法的流程如图 1 所示。

运动检测的方法目前主要有背景减除法、时间差分法、光流法等<sup>[8]</sup>,各种方法都有各自的优点。基于算法复杂性和检测有效性考虑,本文采用背景减除方法进行运动区域分割。

我们使用了中间值的方法<sup>[7]</sup>从图像序列中恢复出背景图像,即将图像序列的像素值的中值作为背景图像的像素值。令  $\{I_k, k=1, 2, 3, \dots, N\}$  代表一个包含  $N$  帧图像的序列,则背景图像  $B$  可用以下公式获得:

$$B(x, y) = \text{med}_k(I_k(x, y)) \quad (1)$$

其中,  $I_k(x, y)$  是像素  $(x, y)$  处的灰度值,  $B(x, y)$  是背景图像在  $(x, y)$  处的灰度值。

运动区域亮度的变化通常是用当前图像与背景图像的差分获得。我们使用了间接差分的办法提高对噪声的抑制作用,然后选取合适的阈值进行二值化处理,最后分割出当前图像中运动的像素。但是,二值化后提取的运动区域可能会出现空洞、噪声点。本文采用图像形态学的方法进行处理,然后通过执行单连通分量分析就可以得到单连通的运动目标。

如图 2 所示,这是对中科院自动化所的 NLPR 数据库执行运动检测和跟踪的示例。



图 2 运动检测与跟踪

## 3 特征提取

人体的步态特征是从人走路时的体态外形和行走频率两方面表现出来的。其中,行走体态外形随时间的变化是确定人的行走步态的一条重要线索。所以,我们就把二维的体态外形变化转换成一维的角度直方向向量,以近似表达步态运动的时空变化模式。步态特征的提取过程如图 3

所示。

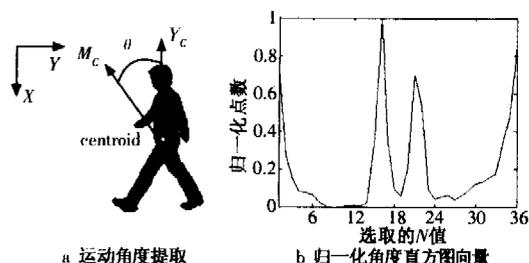


图 3 步态特征提出过程示意图

(1)质心的计算。获取了人的运动区域以后,就可以计算运动区域的质心:

$$x_c = \frac{1}{N_b} \sum_{i=1}^{N_b} x_i, y_c = \frac{1}{N_b} \sum_{i=1}^{N_b} y_i \quad (2)$$

其中,  $(x_c, y_c)$  是质心坐标,  $N_b$  是运动区域像素总数,  $(x_i, y_i)$  是运动区域上的像素。

(2)运动像素的角度。如图 3a 所示,选取头顶边缘点与质心  $(x_c, y_c)$  构造基准向量  $Y_c$ ;以图像坐标系为参考,按照逐行扫描的顺序扫描运动区域,将运动区域上的每一个像素点  $(x_i, y_i)$  与质心  $(x_c, y_c)$  构造向量  $M_c$ ;  $M_c$  沿顺时针方向与  $Y_c$  的夹角  $\theta$  即定义为该像素点的角度,它可以用下式计算:

$$\theta(x_i, y_i) = \begin{cases} \arccos\left(\frac{M_c \cdot Y_c}{\|M_c\| \cdot \|Y_c\|}\right), & y_i < y_c \\ 2\pi - \arccos\left(\frac{M_c \cdot Y_c}{\|M_c\| \cdot \|Y_c\|}\right), & y_i > y_c \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\theta(x_i, y_i)$  表示运动像素  $(x_i, y_i)$  的角度。

(3)角度直方图的统计。为了统计角度直方图,我们计算一个有  $N$  个分量的矢量  $H$ ,这个矢量就是角度直方向量,它的第  $j$  个分量表示角度在  $(j-1)\frac{2\pi}{N} \sim j\frac{2\pi}{N}$  之间的运动像素的个数:

$$H(j) = \sum_{x_i, y_i} \begin{cases} 1, & (j-1)\frac{2\pi}{N} < \theta(x_i, y_i) < j\frac{2\pi}{N} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $j=1, 2, 3, \dots, N$ ,  $N$  的取值不宜过大,本文取 36。当提取的步态图像受到噪声和阴影的干扰时,不会妨碍步态角度直方图的统计,只是会干扰矢量  $H$  的某些分量,从总体上对特征分类的影响是比较小的。因此,本文所介绍的步态特征的识别算法对噪声和阴影的影响不敏感,具有较强的鲁棒性。

(4)归一化。为了消除图像尺度对识别带来的影响,本文使用  $L_2$  范数的方法对统计得到的直方向向量在幅度上进行归一化。

(5)步态的周期分析。步态图像序列信号是周期性的时空联合信号,要提取步态特征只需要一个步态周期(两步)的图像即可。确定步态周期的起始与结束是一个关键问题,它保证了提取出的步态特征在度量上的一致性。本文采取周期分析的方法来确定步态周期的起始与结束。我们利用提取出的步态剪影图像(见图 2b)高宽比的周期性变化可以得到一条近似正弦的曲线,曲线的波峰代表人行

走时两腿并拢的姿态,波谷表示人行走时两腿最大岔开的姿态,对曲线进行自相关操作并求一阶微分,通过检测微分曲线正向过零点找出峰值位置,两个相邻峰值位置之间即为一个步态周期。

(6)步态特征的表示。假设  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$  是从一个步态周期(两步)中提取出的归一化角度直方图向量序列,则步态特征 GS 可以表示为:

$$GS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (5)$$

步态是时空运动,采用公式(5)这种取时间平均的步态特征表示方式会忽略掉某些运动信息。如果要考虑步态的运动信息,那么使用时空相关 STC(Spatio-Temporal Correlation,简称 STC)可以更好地捕捉步态的空间结构特性和时间平移特性(运动信息)。虽然时空相关的步态特征表示可以有效地反映步态的运动信息,但是由于步态分割误差和衣服抖动的影响,时空匹配的精度会降低,从而导致时空相关的分类效果要比其它步态特征表示的分类效果差一些<sup>[2,7]</sup>,而且时空相关的计算代价要相对大很多。因此,通过权衡计算代价和分类效果两方面的因素,本文使用取时间平均的步态特征表示方式,其计算代价要比时空相关方式小得多。

## 4 分类

本文采用了经典的非参数方法设计分类器。K-近邻规则(KNN)分类器就是一种比较经典的分类器。同时,我们也使用了最近标本规则(ENN)设计分类器,就是把每个训练类别中的所有训练样本取均值作为分类标本,测试样本离哪一个分类标本最近就分为哪一类。K-近邻规则(KNN)和最近标本规则(ENN)分类器都不是最有效的分类器,只是用它们来测试步态特征的可分性,如果使用更加成熟、有效的分类器将会得到更好的分类性能。使用 KNN 和 ENN 分类器得出的识别率可以作为步态特征识别率下限的估计值,作为设计其它步态分类器的参考。

以上两种分类器都使用欧氏距离作为相似性测度。其欧氏距离的定义为:

$$d^2 = \left\| \frac{GS_c}{\|GS_c\|} - \frac{GS_r}{\|GS_r\|} \right\|^2 \quad (6)$$

其中,  $GS_c$  是测试样本,  $GS_r$  是数据库中的参考训练样本,  $\| \cdot \|$  为取向量的模。

## 5 实验

### 5.1 实验结果与分析

中科院自动化所提供的 NLPR 数据库包含 20 个人,每人三个视角(如图 4 所示,侧面视角为  $0^\circ$ ,倾斜视角为  $45^\circ$ ,正面视角为  $90^\circ$ )、每视角四个序列共 240 个步态序列。我们在这个数据库上作了上百次的计算机仿真,测试了算法的识别性能和校验性能,获得了一些仿真数据。由于数据库的样本数量有限,通过使用留一校验(Leave-one-out Cross Validation)的方法,即对每一个视角的 80 个序列,每次留出一个样本做测试,然后训练所有余下的样本。这样

的过程对于每一个视角都要重复 80 次,最终得出了算法的正确分类率 CCR(Correct Classification Rate,简称 CCR),如表 1 所示。

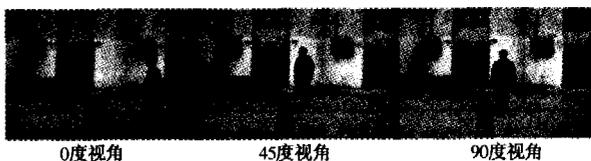


图 4 NLPR 数据库部分样本图像

表 1 算法正确分类率 CCR

分类器	CCR(%)		
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$
KNN	65.05	67.25	83.50
ENN	75.25	80.00	95.05

另外,我们借用了脸部识别算法中用到的一种分类性能度量 ROS(Rank Order Statistic,简称 ROS)来评估算法的性能。该方法是在 FERET<sup>[9]</sup>评估协议中首先被提到的,它定义为一个测试度量的实际类别在它的最前  $k$  个匹配值之间的累积概率,性能统计特性以累积匹配分值来表示。图 5 给出在使用 ENN 分类器的情况下算法的累积匹配分值图(图中横轴为阶次  $k$ ,纵轴为正确匹配的积累百分值)。

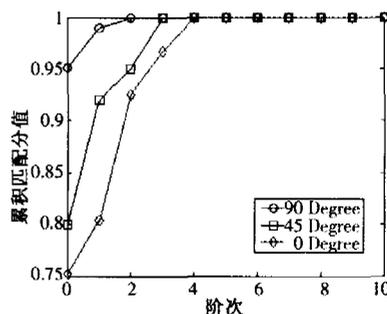


图 5 基于 FERET 协议的 ROS 曲线

为了全面估计算法的性能,我们使用留一规则估计了算法的错误接受率 FAR(False Acceptance Rate,简称 FAR)和错误拒绝率 FRR(False Reject Rate,简称 FRR)。图 6 给出了算法在使用 ENN 分类器的情况下的 ROC(Receiver Operating Characteristic,简称 ROC)曲线。从图 6 中可以看到, $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  视角的等错误率 EER(Equal Error Rate,简称 EER)分别为 18%、13%、7%。

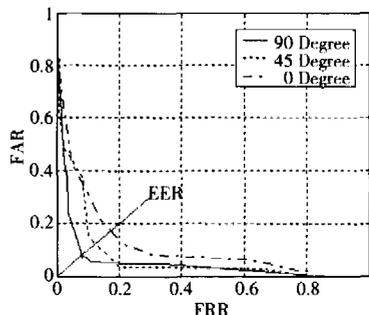


图 6 基于 ENN 分类器的 ROC 曲线

从所得的实验结果我们可以看出:算法使用 ENN 分类器的分类性能要比使用 KNN 分类器的好,这表明每个

人在不同时间段的步态是有细微差别的,单一训练样本序列不如对多个训练样本序列取平均后得到的分类标本可以更准确地反映人的步态模式。在三个视角中,正面视角(90°)可以获得较多的行走体态特征信息,这个视角的识别性能最好;倾斜视角(45°)则次之;在侧面视角(0°)下人的行走体态外形随时间变化比较大,所以获得的体态特征信息最少,识别性能最差。

## 5.2 性能比较

目前文献中所报道的大部分算法通常是在其各自小规模数据库上作性能评估,使用的步态数据库不统一,算法间无法得到有效比较。本文算法使用了中科院自动化所的NLPR数据库作测试,所以与文献[7]中的步态识别算法是有可比性的。就识别性能来讲,两种算法使用ENN分类器的识别性能都是最好的。相比较而言,本文算法在0°、90°两个视角下的正确分类率CCR比文献[7]中算法的略高。但是,在45°视角下的CCR又略低于文献[7]中算法1.25个百分点。就校验性能来讲,本文算法在三个视角下基于ENN的等错误率EER都比文献[7]中算法的要低一些。因此,本文的步态识别算法在总体性能上要高于文献[7]中的算法。而且,本文算法对噪声、阴影等问题不敏感,有更强的鲁棒性。

另外,本文提出的算法与以往的方法相比,特征选择更简单,更易于理解和实现,避免了使用光流、图像自相关图等复杂的处理方法,大大减小了计算复杂度。

## 6 结束语

基于步态的身份识别是生物特征识别领域新兴的研究方向,它以其良好的非侵犯性优点得到了人们的广泛重视。本文提出了一种新的步态识别算法,并做了大量的性能测试和评估工作,获得了令人满意的算法性能。该算法计算量小、易于实现,并且对噪声、阴影等干扰有较强的鲁棒性。同时也应该注意:我们所作的工作都是在理想条件下进行的,没有考虑服装、天气、遮挡等问题带来的影响;目前对人体步态的动态特征也缺乏有效的利用。因此,建立利用外部环境模型、3D人体建模、多摄像机跟踪以及基于步态的多生物特征融合都将是未来研究发展的方向。

### 参考文献:

- [1] G Johansson. Visual Perception of Biological Motion and A Model for Its Analysis[J]. Percept Psychophys, 1973, 14(2): 201-211.
- [2] S Niyogi, E Adelson. Analyzing and Recognizing Walking Figures in XYT[A]. Proc of IEEE Computer Society Conf on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. 1994. 469-474.
- [3] D Cunado, M Nixon, J Carter. Using Gait as a Biometric via Phase-Weighted Magnitude Spectra[A]. Proc of Int'l Conf on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication [C]. 1997. 95-102.
- [4] P Huang, C Harris, M Nixon. Human Gait Recognition in Canonical Space Using Temporal Templates[J]. Vision Image and Signal Processing, 1999, 146(2): 93-100.

- [5] J B Hayfron-Acquah, M S Nixon, J N Carter. Automatic Gait Recognition by Symmetry Analysis[A]. Proc of Int'l Conf on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication [C]. 2001. 272-277.
- [6] J Foster, M Nixon, A Prugel-Bennett. New Area Based Metrics for Gait Recognition[A]. Proc of Int'l Conf on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication [C]. 2001. 312-317.
- [7] 王亮,胡卫明,谭铁牛. 基于步态的身份识别[J]. 计算机学报, 2003, 26(3): 353-360.
- [8] 王亮,胡卫明,谭铁牛. 人运动的视觉分析综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(3): 1-13.
- [9] J Phillips, H Moon, S Rizvi, et al. The FERET Evaluation Methodology for Face Recognition Algorithms [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(10): 1090-1104.

(上接第70页)

## 7 结束语

本文算法很好地结合了运动补偿和形态学的优点,并通过实验验证了算法的有效性和正确性;同时,该算法也能够运用到视频图像序列中运动物体的分割、人的运动视觉分析等。当然,基于参考半格的形态学的应用还有很多,它的具体应用还是我们今后继续研究的问题;并且,针对具体的应用使形态学建立在不同的代数结构中,也是我们今后要考虑的问题。

### 参考文献:

- [1] S Colonnese, G Russo. Automatic Moving Objects and Background Segmentation by Means of Higher Order Statistics [A]. Proc of Visual Communication and Image Processing [C]. 1997. 8-14.
- [2] Jae Cark Choi, Munchurl Kim, Myoung Ho Lee, et al. MPEG 97/1743, Automatic Segmentation Based on Spatio-Temporal Information[S]. 1997.
- [3] S Ayer, L Bigun. Segmentation of Moving Objects by Robust Motion Parameter Estimation over Multiple Frames[A]. Proc of the 4th Int'l Workshop on Time-Varying Image Processing and Moving Objects Recognition[C]. 1993. 295-302.
- [4] 杨威,张田文. 复杂景物环境下的运动目标检测的新方法[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(8): 724-728.
- [5] R Keshet (Kresch). Mathematical Morphology on Complete Semi-Lattices and Its Applications to Image Processing[J]. Fundamenta Informaticae, 2000, 41(1-2): 33-56.
- [6] M-P Dubuisson, A K Jain. Contour Extraction of Moving Objects in Complex Outdoor Scenes[J]. International Journal of Computer Vision, 1995, (14): 83-105.
- [7] 贾振堂,贺贵明,韩艳芳. 运动视频对象分割的一种快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 7(11): 1123-1127.
- [8] 李凌娟,贾振堂,贺贵明. 一种鲁棒的视频分割算法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(11): 1128-1133.