

# 基于步态的行人重识别算法研究

官洪运, 缪新苗, 王亚青, 井倩倩, 张抒艺

(东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620)

## 摘要:

随着安防和刑侦技术的发展,以及多媒体技术的普及,监控网络迅速扩大,基于行人重识别的海量视频搜索已成为当前网络监控的研究热点。在研究基于步态行为特征进行行人重识别的基础上,利用局部二值模式、HSV 颜色特征进行相似行人预检测弥补步态实时性不足,提出一种基于步态的行人重识别算法。实验结果表明,该算法具有较强的区分度,性能稳定可靠,对解决跨摄像头条件下的行为分析、目标跟踪和目标搜索等有着重要意义。

## 关键词:

行人重识别; 特征提取; 步态能量图; 机器学习

## 0 引言

行人重识别是在不同地点和时间点拍摄的特定人物图像之间构建对应关系的过程。其在视频监控、行为分析、目标跟踪和搜索等领域逐渐普及。由于视角、光照强度、姿态、背景杂波、图像分辨率和遮挡等方面的不确定性会导致大量的视觉外观变化,行人重识别在实际生活中广泛应用还存在巨大的挑战。

在较短的时间内,视觉特征在行人重识别的方面较为有效。但随着时间的推移,这些特征的有效性就会降低,而生物学特征的优势逐渐突出。考虑到在实际的道路监控系统中,视角的限制造成遮挡或故意遮挡等现象,面部识别、虹膜识别等难以实现。本文研究基于步态的行人重识别算法,利用图像特征进行相似行人目标预检测,再跟踪相似行人提取其步态特征进行身份识别,从而提高识别效率。相似行人目标预检测过程中引入关节点坐标确定上下身比例提高区分度。

## 1 行人目标预检测

行人目标预检测指的是在给定目标行人图片的情况下,从行人图像数据库中找出相似行人目标区域。预检测快速排除外观特征不同的行人,缩小海量视频

中跟踪行人的数量,提高识别效率。本文通过改进的 HSV 颜色特征与 LBP 特征进行相似行人目标预检测。

### 1.1 HSV 颜色特征

目前在计算机视觉领域有多种类型的颜色空间,根据不同的应用场景、需求以供选择。HSV (Hue, Saturation, Value) 是一种常见的利用圆柱坐标表示的颜色空间,相较于 RGB 色彩模式,它能够更直观地反映色彩的阴暗、色调以及鲜艳程度,适用于颜色对比。这个模型中颜色的参数分别是:色调(H)、饱和度(S)、亮度(V)<sup>[1]</sup>。

本文将 HSV 颜色空间的划分为 11 个区域,作为 HSV 颜色空间量化策略,见表 1。

表 1 HSV 颜色空间量化策略

	Black	Gray	White	Red	Red2	Orange	Yellow	Green	Cyan	Blue	Purple
Hmin	0	0	0	156	0	11	26	35	78	100	125
Hmax	180	180	180	180	10	25	45	77	99	124	255
Smin	0	0	0	43	43	43	43	43	43	43	43
Smax	255	43	30	255	255	255	255	255	255	255	255
Vmin	0	46	221	46	46	46	46	46	46	46	46
Vmax	46	220	255	255	255	255	255	255	255	255	255

本文将遍历图像的所有像素点,根据上文提到的 HSV 颜色空间量化策略判定各像素点所属的颜色空间  $C_i$ , 计算属于同一颜色空间像素点的数目  $N_{c_i}$  及占整体

像素点的比例  $p_c$  作为颜色特征。此方法忽略了颜色集体分布情况等细节信息,相对维度较低。

## 1.2 LBP 纹理特征

LBP (Local Binary Pattern, 局部二值模式) 是一种用来描述图像局部纹理特征的算子<sup>[2]</sup>。原始的 LBP 算子具有灰度不变性, 旋转图像会得到不同的 LBP 值。同时原始 LBP 算子只能覆盖中心像素点四周固定半径范围内的其他像素点, 无法满足不同制度和频率纹理的需求, 且对于有  $P$  个采样点的 LBP 算子其模式达到  $2^P$ , 模式过多, 信息冗余度过大。研究者在原始 LBP 特征算子的基础上做了改进, 如图 1 所示。

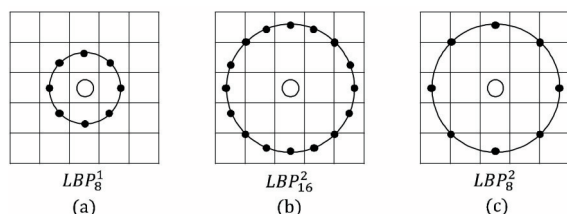


图 1 LBP 算子变形

本文考虑将尺度不变及旋转不变的 LBP 结合提取中心像素点的纹理特征, 取  $R=2, P=8$ , 即采用  $LBP_8^2$  计算局部纹理特征值, 如图 3(c) 所示。每个子区域内建立一个 LBP 特征的统计直方图, 整个图片就由若干个统计直方图组成。

## 1.3 相似行人目标预检测

结合上文提到的颜色特征与 LBP 特征进行相似行人目标预检测, 具体步骤如下:

(1) 图像特征提取。与以往的研究不同, 本文为了更加详细的描述行人特征, 首先利用卡内基梅隆大学感知计算实验室发布的开源提取骨架结构程序库 OpenPose<sup>[3]</sup> 对单帧图像进行骨骼关键点提取如图 2 所示。利用关节点坐标确定上下身比例在竖直方向对行人的上下半身进行划分, 加强特征的区分度。

(2) 分别提取矩形框上下两部分的特征, 包括此区域出现的颜色及所占比例。将颜色特征按照黑、灰、白、红、橘、黄、绿、青、蓝、紫的顺序排列占比并转化成颜色特征向量。同时计算子区域内各像素点的 LBP 值, 统计得到 LBP 直方图。图像特征表示为

$$F = \begin{bmatrix} c_u & h_u \\ c_l & h_l \end{bmatrix}, c_u, c_l \text{ 分别代表上下身的颜色特征, } h_u, h_l$$

则代表上下半身的纹理特征。

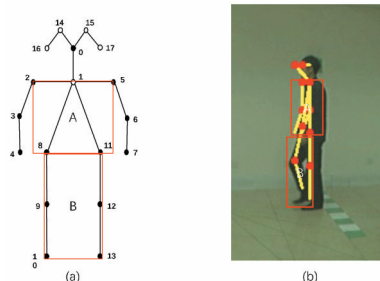


图 2 骨架结构特征

(3) 从测试图像 ( $w \times h$ ) 左上角 (0, 0) 开始, 以  $(0.1 \times w)$  作为步长, 循环遍历图像, 依次截取与目标行人图像相同大小的图像子区域。并重复步骤 (1)、(2) 提取行人特征。

(4) 计算矩形框内图像与给定行人图像相似度, 分别计算颜色特征相似度  $s_c$ 、纹理特征相似度  $s_t$ 。本文采用欧氏距离 (式 (1)) 计算特征相似度。两张图像的相似度如式 (2) 所示:

$$\text{dist}(X, Y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (1)$$

$$s = \frac{(s_c + s_t)}{2} \quad (2)$$

整体的相似度用  $s = w_u s_u + w_p s_p$  表示, 其中  $w_u, w_p$  是上下半身的比例系数,  $s_u, s_p$  为上下身图像相似度。对矩形框相似度  $s_i$  进行排序, 相似度最高的区域即为测试行人的相似区域。

## 2 基于步态特征的行人重识别

医学研究表明, 步态是一种独特的人体特征, 它依赖于人体的数百个运动参数。不同的个体具有不同的步态长度和步态周期等。同时步态具有无需用户配合, 不易伪造等特点, 它在监控领域的应用是非常有前途的、有意义的。步态分析可分为基于模型的方法和非模型的方法。本文采用非模型方法步态能量图 (Gait Energy Image, GEI) 来描述步态。

### 2.1 步态能量图

步态能量图是基于步态周期中步态轮廓的平均图像信息建立的步态特征<sup>[4]</sup>, 具有很强的识别能力和抗断裂误差。步态能量图通过单张图像展现了人在一个行走周期内步态的轮廓、相位及频率特征, 同时排除了

运动时间带来的干扰。具体公式如式(3)所示:

$$GEI(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i(x,y) \quad (3)$$

其中,  $N$  代表一个步态周期包含的帧数;  $t$  代表当前帧在步态周期中的序号;  $B_i(x,y)$  表示第  $t$  个经过预处理的二值步态轮廓图像。与采用单帧二值轮廓序列的步态表示方法相比, GEI 表示方法在一定程度上节省了计算机资源和时间成本, 抗噪性增强。

## 2.2 步态能量图合成及特征提取

常用的步态能量图合成方法有两种: 一种是以身宽的一半作为重叠的中心合成, 而另一种是以人头顶为中心进行合成<sup>[9]</sup>。本文利用第二种方法进行合成。行人轮廓二值图像的背景部分为 0, 行人部分为 1, 因此可以通过计算每行的像素值来判定人头顶位置及四肢位置坐标。根据人体形态学, 当人步幅最大的时候, 人的头顶点处于轮廓外接矩形框上边沿中点, 对于同一周期内的其他图像进行背景填充, 确保人头顶点处于外接矩形中点。

在步态能量图中, 采用叠加的方法计算出一个步态周期内多个二值轮廓图的平均值。但是, 盲目地应用图像叠加来计算平均值, 会导致轮廓内部大量有用信息被忽略, 降低了识别的准确性。本文考虑在合成步态能量图的基础上, 提取其 HOG 特征作为分类识别的输入特征, 提高区分度。步态能量图合成及 HOG 特征提取如图 3 所示。



图3 步态特征提取

## 2.3 步态分类识别

### (1) 步态数据库

为了便于研究和促进技术的发展, 国内外研究人员已经建立了一些可用的步态数据库包括 USF、CASIA、CMU MoBo、HIDUMD 等。本文利用步态数据库 CASIA-B 来验证提出方法的可行性及有效性。

CASIA-B 数据集<sup>[6]</sup>是一个大型的多视角步态数据

集, 由 124 名测试者从 11 个视角 ( $0^\circ, 18^\circ, 36^\circ \dots 162^\circ, 180^\circ$ ) 获取的步态数据组成, 每个人的步态数据包括 10 个不同的变量 ( $C_v$ ): 行走速度快慢 (nm01-06)、背包 (bg01-02)、穿大衣 (cl01-02)。除了视频文件, 数据集中还包含视频文件中提取的人体轮廓, 如图 4 所示。

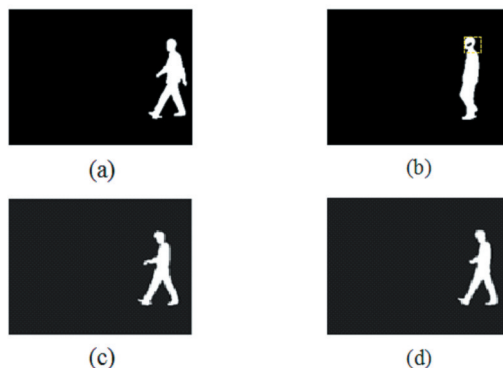


图4 单帧步态轮廓图

CASIA-B 数据库提供的部分单帧步态轮廓图存在内部缺失如图 4(b)虚线框选部分, 以及图 4(c)、4(d)所示的连续帧中的间断。通过扩张、腐蚀及图像开闭等形态学操作使图像特征更为完整。

### (2) 分类识别方法

为解决多视角情况下的步态识别问题, 将识别问题看作分类问题进行训练, 即找到测试图像与行人标签之间的对应关系。本文选用一种适合非线性、小样本分类识别方法——随机森林 (Random Forest, RF)。通过调整训练参数和数据比较, 验证本方法的有效性和可行性。与支持向量机 (SVM) 相比, 在相似识别率的情况下, RF 单训练比 SVM 以线性函数作为核函数训练花费的时间短。如果使用其他非线性核函数, SVM 训练需要更多的时间和成本。

本文采取在已有公开步态数据集上进行步态识别算法的分析, 计算最终的正确识别率 (Probability of Correct Recognition, PCR)<sup>[7]</sup>来衡量算法的有效性, 如式(4)所示。

$$PCR = \frac{N_c}{N} \times 100\% \quad (4)$$

测试样本  $T_i$ , 经过分类识别, 输出类型为  $k$ , 当  $k=i$  时, 则判定为正确识别,  $N_c$  为所有正确识别的样本总和。计算  $N$  个测试样本的正确率来评估算法



性能。

### 3 实验结果与分析

本实验的计算机环境: Intel Core i5 2.9 GHz CPU, 8 GB 内存, macOS 10.12.6 操作系统, PyCharm + OpenCV3.0。

#### 3.1 相似行人目标预检测实验

采用本文改进的 HSV 颜色空间量化策略融合 LBP 纹理特征在 CASIA-B 数据集提供的视频进行相似行人目标预检测实验, 检测效果如图 5。

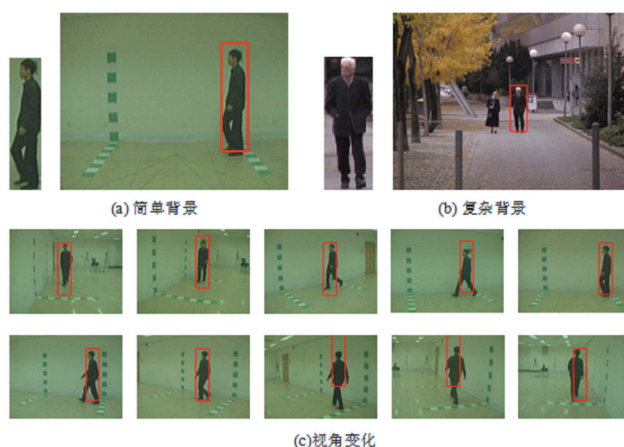
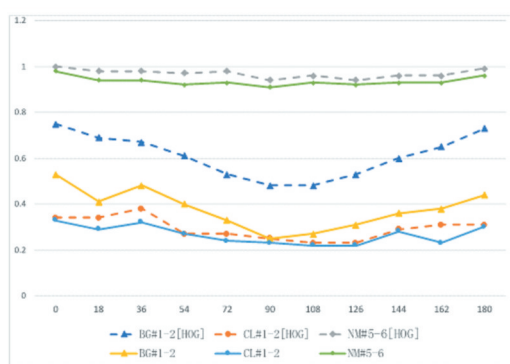


图5 预检测结果

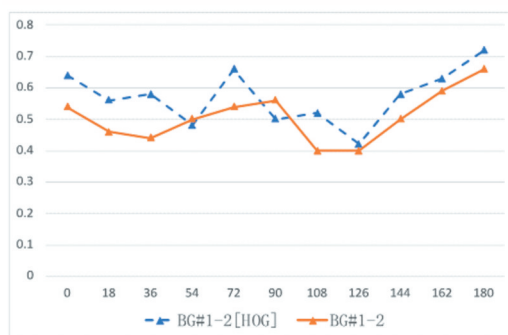
#### 3.2 步态分类识别实验

实验中利用 scikit-learn 库提供的随机森林模块进行分类识别, hyper 参数设置为使用 500 个决策树 ( $n_{\text{estimators}}=500$ ), 树深度最大为 100, 以达到可接受的性能和误差率。

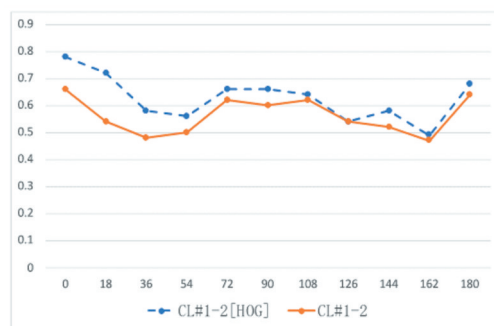
正常情况下仅考虑视角变化, 在此部分实验中, 将各个角度正常情况下的步态能量图 nm01-04 为训练集, 分别以 nm05-06、cl01-02、bg01-02 作为测试集测试集, 提取 GEI 的 HOG 特征, 通过实验得出不同角度下的识别结果。同时以同样的测试集和训练集, 不提取 HOG 特征直接进行分类训练, 进行对比实验。对于服装 (CL) 和携带条件 (BG) 变化的情况, 将数据集 cl01-02 按 4:1 的比例分成训练集和测试集进行识别分类, bg01-02 也采用同样的方法进行实验。实验结果如图 6 所示。



(a) NM 情况下步态识别率



(b) BG 情况下步态识别率



(c) CL 情况下步态识别率

图6 步态分类实验结果

#### 3.3 实验结果分析

从相似行人预检测实验结果(图 5)看出, 本文提出方法能在视角变化、背景复杂的情况下进行行人相似区域预检测。在实际系统应用中, 可以通过设定相似度阈值, 选定跟踪行人目标数, 提高后续步态特征提取、识别效率。在步态分类识别实验中, 利用本文方法合成的步态能量图进行行人分类识别, 正常情况 (NM)

下平均识别率达 96%。相对于直接输入步态能量图进行分类识别,以在合成步态能量图基础上提取的 HOG 特征作为输入训练样本有效提高识别率。当存在外观因素影响时,由图 6(b)、(c)实验结果看出本文方法对于提高步态识别率同样有效。人背包的情况(BG)下,平均识别率由 51%提高到 57%。对于人穿着大衣遮盖大量肢体信息的情况(CL),平均识别率由 56%提高到 62%。

## 4 结语

本文利用行人图像特征进行相似区域预检测,快

速排除外观特征不同的行人,缩小海量视频中跟踪行人的数量,提高检索效率。当相似目标再次进入识别区域时,确保及时跟踪提取步态特征用于后续分类识别。同时在预检测过程中利用行人关节点坐标确定上下身比例,提高区分度。最后以合成步态能量图的 HOG 特征作为最终行人重识别的标准进行身份识别,在避免过多的步态信息损失的同时减少了光照、外观变化带来的干扰,提高了识别准确率。

### 参考文献:

- [1]彭志勇,常发亮,刘洪彬,别秀德.基于 HSV 模型和特征点匹配的行人重识别算法[J].光电子·激光,2015,26(08):1575-1582.
- [2]Ojala T, Pietikinen M, Menp T. Gray Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns[J], 2000.
- [3]Open Pose Demo-Output. <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/doc/output.md>, 2018.
- [4]Han J, et al. Individual Recognition Using Gait Energy Image. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006.
- [5]邵佳耀,宋春林.基于步态识别的跨摄像头行人再识别算法研究[J].信息技术与信息化,2019(12):85-89.
- [6]YU Shiqi, TAN Daoliang, TAN Tieniu. A Framework for Evaluating the Effect of View Angle, Clothing and Carrying Condition on Gait Recognition. Proc. of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR06). Hong Kong, China, 2006(8).
- [7]贾晓烨.基于人体运动分析的步态识别算法研究[D].哈尔滨工程大学,2010.

### 作者简介:

官洪运(1960-),男,教授,硕士生导师,研究方向为图像通信与信息处理

通信作者:廖新苗(1996-),女,硕士研究生,研究方向为计算机视觉,E-mail: mxmer1996@163.com

王亚青(1993-),女,硕士研究生,研究方向为火灾图像处理

井倩倩(1995-),女,硕士研究生,研究方向为图像处理和计算机视觉

张抒艺(1995-),男,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统和新能源汽车电池管理

收稿时间:2020-04-14 修稿时间:2020-05-20

## Research on Pedestrian Reidentification Algorithm Based on Gait

GUAN Hong-yun, MIAO Xin-miao, WANG Ya-qing, JING Qian-qian, ZHANG Shu-yi

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620)

### Abstract:

With the development of security and criminal investigation technology, as well as the popularization of multimedia technology, the monitoring network is expanding rapidly. Based on the study of pedestrian recognition based on gait behavior characteristics, uses local binary mode and HSV color feature to carry out similar pedestrian pre-detection to make up for the lack of real-time gait, and proposes a pedestrian recognition algorithm based on gait. Experimental results show that the proposed algorithm has a strong degree of discrimination, stable and reliable performance, and is of great significance for solving the behavior analysis, target tracking and target search under the condition of cross-camera.

### Keywords:

Pedestrian Recognition; Feature Extraction; GEI; Machine Learning