

李超军. 复杂动态背景下交警上肢运动区域检测算法研究[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(7): 125–132. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.24070202

复杂动态背景下交警上肢运动区域检测算法研究

李超军

(山西能源学院 计算机与信息工程系, 太原 030600)

摘要: 针对复杂动态背景下交警手势检测难的问题, 本文在图像金字塔稀疏光流法 (Lucas-Kanade 光流法) 的基础上进行优化, 并提出了光流长度和光流角度的概念, 结合交警手势以及背景中运动物体的运动特征, 使用光流长度剔除交警视频背景中的噪音特征点, 使用光流角度提取交警上肢的运动区域。对采集的 20 个交警视频样本进行实验, 检测结果可以达到 98%, 实验结果表明该算法可以初步解决复杂背景下交警手势检测难的问题, 为后续交警手势识别提供了研究基础。

关键词: 交警手势; 图像金字塔 LK 光流法; 光流长度; 光流角度

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)07-0125-08

Research on detection algorithm for upper limb movement area of traffic police in complex dynamic background

LI Chaojun

(Department of Computer and Information Engineering, Shanxi Institute of Energy, Taiyuan 030600, China)

Abstract: In response to the difficulty of detecting traffic police gestures in complex dynamic backgrounds, this paper optimizes the image pyramid sparse optical flow method (Lucas Kanade optical flow method) and proposes the concepts of optical flow length and optical flow angle. Combining the motion characteristics of traffic police gestures and moving objects in the background, the optical flow length was used to remove noise feature points in the traffic police video background, and the optical flow angle was used to extract the motion area of the traffic police upper limbs. The experiment was conducted to verify the results, and the detection results reached 98% on 20 collected traffic police video samples. The experiment shows that this algorithm can preliminarily solve the problem of difficult gesture detection for traffic police in complex backgrounds, providing an research basis for subsequent traffic police gesture recognition.

Key words: traffic police gestures; image pyramid LK optical flow method; optical flow length; optical flow angle

0 引言

在智能交通系统日益成熟的今天, 无人驾驶汽车成为智能交通领域发展的主流趋势^[1]。复杂背景下的交警手势检测研究成为计算机视觉领域的一个热点课题, 交警手势作为交通指挥的重要手段, 其准确识别对于保障交通安全和提高交通效率具有重要意义^[2-3]。由于交通环境的复杂性, 如光照变化、背景杂乱等因素, 使得交警手势检测面临诸多挑战。

目前, 复杂动态背景下交警手势识别主要分为穿戴设备识别与视觉识别。基于可穿戴设备的手势

识别技术存在一定局限性。文献[4]通过引入加速度传感器实现了交警手势识别的性能提升; 文献[5-6]的系统性综述指出, 这类方法因设备佩戴要求和成本限制等因素, 在实际推广应用方面面临挑战。

近年来, 基于视觉的交警手势识别研究取得显著进展。文献[7]系统综述了动态手势识别技术; 文献[8]较早探索了 CNN 在手势识别中的应用; 文献[9]通过改进 YOLOX-tiny 算法来提升交警手势检测精度; 文献[10]引入全局上下文信息来优化交警手势识别效果。传统方法方面, 文献[11]结合目

基金项目: 山西能源学院校级教学改革创新项目 (NJ202433)。

作者简介: 李超军 (1993—), 男, 硕士, 助教, 主要研究方向: 图像处理, 机器学习, 深度学习等。Email: lichaojun1130@qq.com。

收稿日期: 2024-07-02

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

标检测与模板匹配来提升交警手势识别的准确率;文献[12]通过改进的 YOLOv5 算法实现交警手势的高效识别;文献[13]用深度学习方法检测识别交警手势,使用 Top-down 姿态估计建立人体骨架图,采用时空图卷积的方式进行交警手势识别,准确率 96.32%。在其他目标检测领域,文献[14]在图像金字塔 LK 光流法的基础上进行目标检测,利用光流图反映出图像中物体的运动状态,结合背景中运动物体的特征,将运动目标检测出来。

复杂背景下交警手势检测率仍需提升,特别是背景中行人、车辆对检测准确率干扰很大。本文基

于图像金字塔 LK 光流法,提出光流长度和光流角度概念,并结合交警手势及背景中运动物体的运动特征,设计了交警上肢运动区域检测算法。

1 复杂动态背景下的交警视频分析

1.1 采集的交警视频说明

本文模拟交警指挥交通手势,在多路口、多背景下,利用摄像机采集交警视频样本,视频中背景复杂,含行人横穿、车辆来往,包括交通部门规定的八种手势动作,共获 20 个视频样本,具有较强的代表性,如图 1 所示。

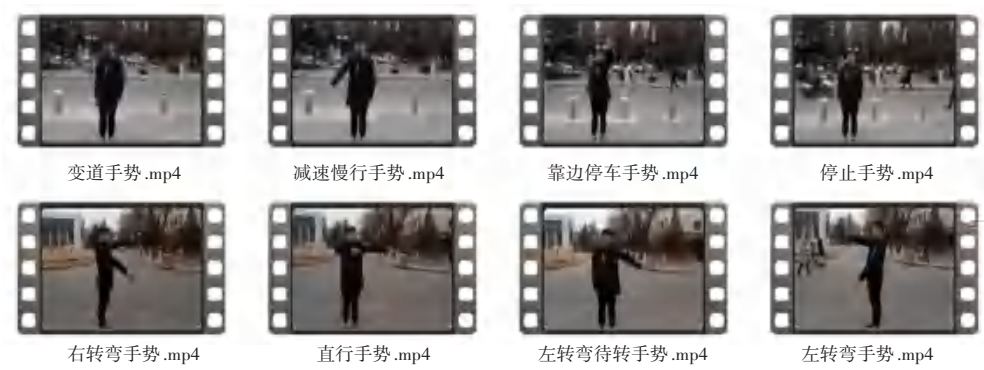


图 1 视频样本
Fig. 1 Video sample

以减速慢行手势和左转弯手势的部分序列帧为例进行分析,如图 2 所示,面对摄像机镜头的是交

警,正在做手势动作,背景中有横穿马路的车辆以及行人,这与交警所处的真实环境相符。



图 2 视频部分序列帧
Fig. 2 Video partial sequence frames

1.2 交警视频分析

在实际环境中,交警所处环境的背景中会有人行道路上的行人或行驶中的车辆。本文对视频背景中的运动物体的运动特征进行分析,得出交警手臂、行人、车辆的运动特征,见表 1。

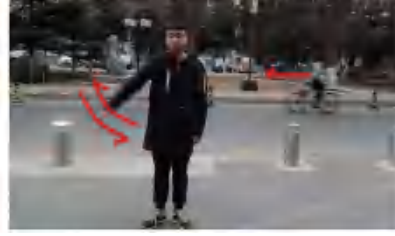
表 1 交警视频中运动物体的运动特征			
Table 1 Motion characteristics of moving objects in traffic police video			
运动物体类别	运动区域	运动周期性	运动方向
交警手势	固定	有	周期性
行人	不固定	无	单一
车辆	不固定	无	单一

交警、行人、车辆的运动如图 3 所示,其中红色箭头代表运动方向。

(1)交警运动:交警在固定区域站立指挥,手臂动作具重复性、周期性,每个手势周期包括手臂张开至合拢,运动方向亦呈周期性。



(a) 背景中有行人



(b) 背景中有车辆

图 3 交警、行人、车辆的运动

Fig. 3 Movement of traffic police, pedestrians, and vehicles

2 基于图像金字塔 LK 光流法的优化算法

在运动目标检测中,传统光流法适用于背景运动场景,计算量大且实时性较差,而 LK 光流法可以弥补传统光流法实时性差的问题,但只适用于运动位移量较小的目标检测,当检测速度过快的物体时,其检测效果并不理想^[14]。而图像金字塔 LK 光流法通过多分辨率特征降低 LK 光流计算难度,可以显著提升快速目标检测效果^[15]。基于此,本文采用了图像金字塔 LK 光流法进行目标检测。在复杂背景的交警视频中,图像不仅存在背景的细微变化,还同时存在摄像机运动导致产生的反向光流,去除来自背景特征点的影响成为了问题的关键^[16]。本文基于图像金字塔 LK 光流法提出了光流长度和光流角度概念,光流长度即视频中特征点在上一帧与当前帧之间的距离,而光流角度是视频中特征点当前帧相对于上一帧的运动方向,利用光流长度和光流角度将交警上肢运动区域提取出来,算法方案如图 4 所示。具体步骤如下:

(1)交警视频跟踪:首先用 Harris 角点检测获取特征点,然后通过金字塔 LK 光流法对特征点进行跟踪,并计算相邻帧的光流矢量;

(2)去除噪音特征点:交警视频中,摄像机抖动或背景微变产生短光流长度的噪音特征点,而交警上肢、行人及车辆运动产生长光流,利用计算出的光流长度将光流长度短的特征点去除掉,即去除了背景中噪音点;

(3)提取交警上肢运动区域:交警手势运动方向具有周期性,而背景物体运动方向单一,利用光流角度来反应运动物体的运动方向,从而去除了背景

(2)行人运动:行人于人行道上行走,距摄像头较远,运动区域不固定且无周期性,始终朝单一方向行进。

(3)车辆运动:车辆为刚性物体,运动区域多变且无周期性,始终沿单一水平方向行进。

中运动方向单一的运动物体,从而提取出交警上肢运动区域。

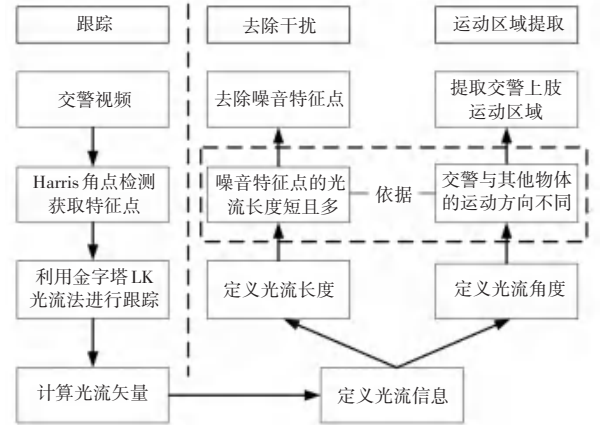


图 4 算法方案

Fig. 4 Algorithm scheme

3 算法实现

3.1 定义光流长度和光流角度

使用 Harris 角点检测获取特征点,并使用金字塔 LK 光流法进行跟踪,计算光流长度与光流角度。

定义光流长度 L :

$$L^2 = (x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2 \quad (1)$$

其中, (x_t, y_t) 代表 t 时刻特征点的坐标, (x_{t-1}, y_{t-1}) 代表 $t-1$ 时刻特征点的坐标。

定义光流角度 θ :

$$\theta_t = \arctan \frac{(y_t - y_{t-1})}{(x_t - x_{t-1})} \quad (2)$$

为了表示出物体运动方向的特征,本文规定运动物体的光流角度 a_t :

$$a_t = \begin{cases} +|\theta_t|, & x_t > x_{t-1} \\ -|\theta_t|, & x_t < x_{t-1} \end{cases} \quad (3)$$

当前视频帧中特征点的横坐标 x_t 大于前一帧特征点的横坐标 x_{t-1} 时,光流角度规定为正;反之,光流角度规定为负。

3.2 利用光流长度剔除噪音点

3.2.1 原理

在拍摄交警视频时,摄像机抖动或背景微变会产生噪音特征点,这些点的光流长度较交警及背景运动物体短,且数量多。因交警在前景中比例小,可通过舍弃光流长度短且数量多的特征点来排除背景噪音。根据光流长度剔除噪音点的过程如图 5 所示。

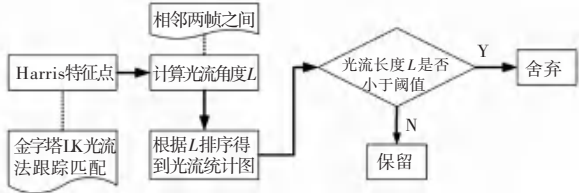


图 5 根据光流长度剔除噪音点的过程

Fig. 5 Process of removing noise points based on the length of optical flow

对所有跟踪到的特征点,按公式(1)计算 t 相对 $t-1$ 时刻光流长度,排序后得统计图,舍弃短且多的噪音特征点,保留的为交警与背景运动物体特征点,提高特征点质量。

3.2.2 实验验证

以减速慢行手势图像为例进行实验,首先使用 Harris 角点检测法获取到当前帧图像的特征点,并使用图像金字塔 LK 光流法对特征点进行跟踪,得到特征点光流图如图 6 所示,交警与车辆运动产生光流,背景微变或相机抖动禅师噪音特征点,噪音特征点光流长度 L 较小且数量多,与交警及车辆特征点光流长度 L 形成鲜明对比。



图 6 特征点光流图

Fig. 6 Feature point optical flow diagram

计算相邻帧特征点光流长度 L , 得到特征点光流统计图如图 7 所示, X 轴为光流长度, Y 轴为特征点个数, 10 像素间隔统计。舍弃 L 在 $0 \sim 10$ 之间、数量多的特征点,得到去噪后的特征点光流图,如图

8 所示。图中背景噪音特征点被去除,交警及车辆等大幅运动物体的特征点被保留。

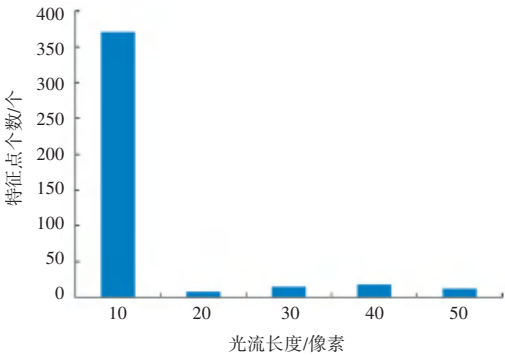


图 7 特征点光流统计图

Fig. 7 Feature point optical flow statistical chart



图 8 去噪后的特征点光流图

Fig. 8 Denoised feature point optical flow chart

3.3 利用光流角度区分交警与其他运动物体

基于光流角度特征,对交警与其他运动物体的特征点进行区分,从而实现更精细的运动目标分类。

3.3.1 区分依据

交警手臂运动方向呈周期性,背景中行人或车辆运动方向单一,计算特征点光流角度并分析其规律,区分出周期性(交警)与单一性(行人、车辆)特征点,实现交警与其他运动物体的区分。

减速慢行手势一个周期内的部分动作,视频中特征点的光流角度所呈现的规律如图 9 所示,交警手臂从展开到闭合,特征点光流角度呈现负到正的周期性变化。在多个周期内,交警手臂特征点光流角度正负亦呈周期性。总结交警手臂特征点光流角度特征见表 2,表明手势变化与光流角度周期性紧密相关,可用于区分交警手势与其他运动物体。



图 9 减速慢行手势中一个周期的部分动作图

Fig. 9 Traffic police gestures part of the action diagram of a cycle

表 2 交警手臂特征点的光流角度变化特征

Table 2 Characteristics of changes in optical flow angles of characteristic points on the arms of traffic police officers

交警	第一个周期		第二个周期		第三个周期				第 N 个周期	
手臂运动	抬起	闭合	抬起	闭合	抬起	闭合	抬起	闭合	抬起	闭合
光流角度(正/负)	负	正	负	正	负	正	负	正	负	正
光流角度特征	周期性									

交警背景中行人及车辆如图 10 所示。行人单方向运动,距离摄像头远,甩臂动作可忽略,特征点光流角度单一,正或负。车辆运动方向亦单一,特征点光流角度同样始终为正或负。行人或车辆特征点的光流角度特征见表 3。



图 10 背景中行人或车辆

Fig. 10 Pedestrian or vehicle in the background

表 3 行人或车辆特征点的光流角度特征

Table 3 Optical flow angle characteristics of pedestrian or vehicle feature points

属性	行人、车辆
运动方向	朝着一个方向向左或向右运动
光流角度(正/负)	始终为正或始终为负
光流角度特征	角度单一

3.3.2 原理

根据光流角度中正负分布,提取交警对应特征点,以区分交警与其他运动物体。具体步骤如下:

(1)对保留的特征点根据光流角度公式(3)进行计算,得到第 i 个特征点在所有视频帧中的光流角度集合 A_i :

$$A_i = \{a(1), a(2), a(3), \dots, a(t)\} \quad (4)$$

其中, t 代表视频帧数。

(2)计算在第 i 个特征点的光流角度集合 A_i 中,正角度和负角度所占比例即 P_{i+} 和 P_{i-} , 公式如下:

$$P_{i+} = \frac{Count(A_i^+)}{len(A_i)} \times 100\% \quad (5)$$

$$P_{i-} = \frac{Count(A_i^-)}{len(A_i)} \times 100\% \quad (6)$$

其中, $Count(A_i^+)$ 代表正角度在集合 A_i 中的个数; $Count(A_i^-)$ 代表负角度在集合 A_i 中的个数; $len(A_i)$ 代表集合 A_i 的长度。

(3)判断 P_{i+} 约等于 P_{i-} 是否成立,若成立,代表第 i 个特征点就是交警手臂所对应的特征点;反之,代表第 i 个特征点就是背景中行人或者车辆所对应的特征点。根据交警手势运动方向周期性的运动特征以及背景中运动物体(行人或车辆)运动方向单一性的运动特征可得,交警手臂的特征点的光流角度集合中正角度比例 P_{i+} 与负角度比例 P_{i-} 大致相同,会在 50%左右浮动,而在背景中运动物体的特征点的光流角度集合中正负角度比例呈现一边倒的趋势。

3.3.3 实验验证

以减速慢行手势样本为例进行实验验证。减速慢行手势的部分序列帧如图 11 所示。该交警视频共有 273 帧,视频中交警全程在视野中,而背景中车辆在 78 帧后离场。



图 11 减速慢行手势视频部分序列帧

Fig. 11 Partial sequence frames of slowing down gesture video

(1)对交警视频去噪后,计算特征点光流角度的正负比见表 4。

从表 4 中可看出,特征点 1、2、4(交警手臂)光流角度分布比例相近,约 50%;特征点 3、5(背景车辆)光流角度分布一边倒,验证了利用特征点光流角度分布可区分交警与背景运动物体的论断,特征点光流角度成为区分关键。

表 4 特征点光流角度正负比

Table 4 Positive negative ratio of characteristic point optical flow angle

特征点	$Count(A_i^+)$	$Count(A_i^-)$	$P_{i+}/\%$	$P_{i-}/\%$
特征点 1	210	208	50.2	49.7
特征点 2	181	174	50.9	49.1
特征点 3	8	119	6.29	93.7
特征点 4	177	183	49.2	50.8
特征点 5	13	121	9.7	90.2

(2) 为了更形象的说明特征点光流角度的分布情况,对特征点 1 与特征点 3 的光流角度分布以图的形式展现如图 12 所示,可见特征点 1 正负光流角度均匀分布在 x 轴两侧,代表交替运动,为交警手臂特征点;特征点 3 多为负角度,代表单向运动,为车辆特征点。

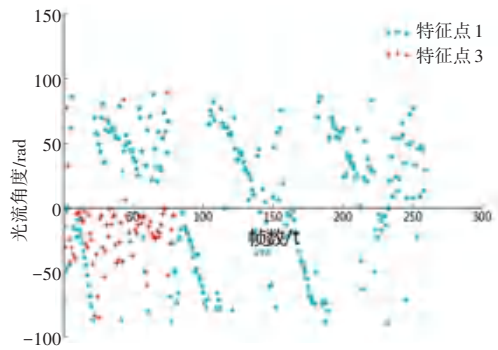


图 12 特征点光流角度分布图

Fig. 12 Optical flow angle distribution of feature points

(3) 通过对表 4 和图 12 的分析,去噪之后保留的特征点共有两类,一类是交警手势的特征点,该特征点的光流角度均匀分布在 x 轴的两侧,即 $P_{i+} \approx P_{i-}$ 成立;另一类是背景中运动物体(车辆或行人)的特征点,该特征点的光流角度分布比例呈现一边倒,即 $P_{i+} \approx P_{i-}$ 不成立。将光流角度均匀分布在 x 轴两侧对应的特征点保留,从而定位交警上肢的运动区域。

3.4 提取交警上肢运动区域

根据保留下来的特征点的运动区域提取对应交警上肢的运动区域。

3.4.1 原理

(1) 据表 4,保留如特征点 1、2、4 的点,舍弃如特征点 3、5 的点,保留点为交警手势特征点,舍弃点为背景运动物体特征点。

(2) 根据保留特征点提取交警手势区域。获横纵坐标最大最小的特征点 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$,利用下式算得四边界点,以 4 点绘矩形方框,提取交警手

势运动区域。

$$\begin{aligned} \uparrow X_{\max} &= (x_i, y_i), \max(x_1, x_2, \cdots, x_i, X_n) \\ \uparrow X_{\min} &= (x_i, y_i), \min(x_1, x_2, \cdots, x_i, X_n) \\ \uparrow Y_{\max} &= (x_i, y_i), \max(y_1, y_2, \cdots, y_i, Y_n) \\ \uparrow Y_{\min} &= (x_i, y_i), \min(y_1, y_2, \cdots, y_i, Y_n) \end{aligned} \tag{7}$$

3.4.2 实验验证

(1) 以减速慢行手势样本为例进行实验验证,将得到的特征点,用公式(7)计算得四边界点 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$,如图 13 所示,红线是交警手臂动作轨迹,四蓝圈为边界坐标点,从而界定交警手势运动区域。

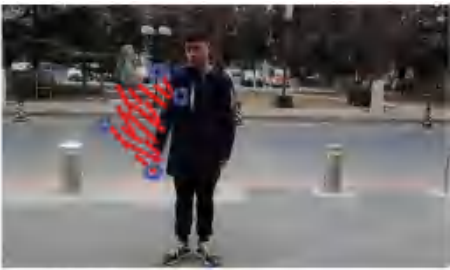


图 13 交警上肢运动区域边界点提取

Fig. 13 Border point extraction of traffic police upper limbs

(2) 以 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 4 个坐标点为边界,绘制矩形边框如图 14 所示,黄色矩形边框区域就是交警手势的运动区域。

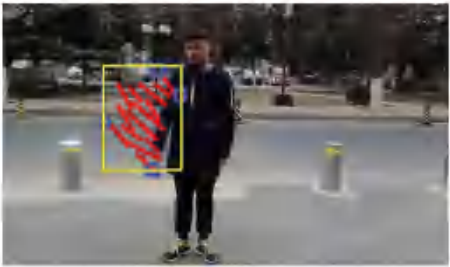


图 14 交警上肢运动区域边界框绘制

Fig. 14 Boundary box drawing of the upper limb movement area of the traffic police

4 实验结果及分析

4.1 实验结果

本文实验验证 20 个交警视频样本,部分检测结果如图 15 所示,红框为检测出的交警上肢运动区域,背景有行人或车辆时检测率达 98%;当背景中行人距交警较近时,检测率有所下降。

4.2 实验对比分析

将本文算法与文献[13]所使用的检测算法进

行对比实验分析,结果见表 5。

(1)文献[13]基于深度学习方法设计了动态背景下交警动态手势检测与识别算法,使用 Top-down 的姿态估计方法建立人体骨架图,并采用时空图卷积的方法进行交警手势识别,准确率 96.32%;

(2)本文用改进光流法检测交警手势,当背景中没有运动物体时检测率为 100%,当背景中存在运动物体时检测率为 98%,与文献[13]比,本算法检测效果好,初步解决复杂动态背景下交警手势检测难的问题。

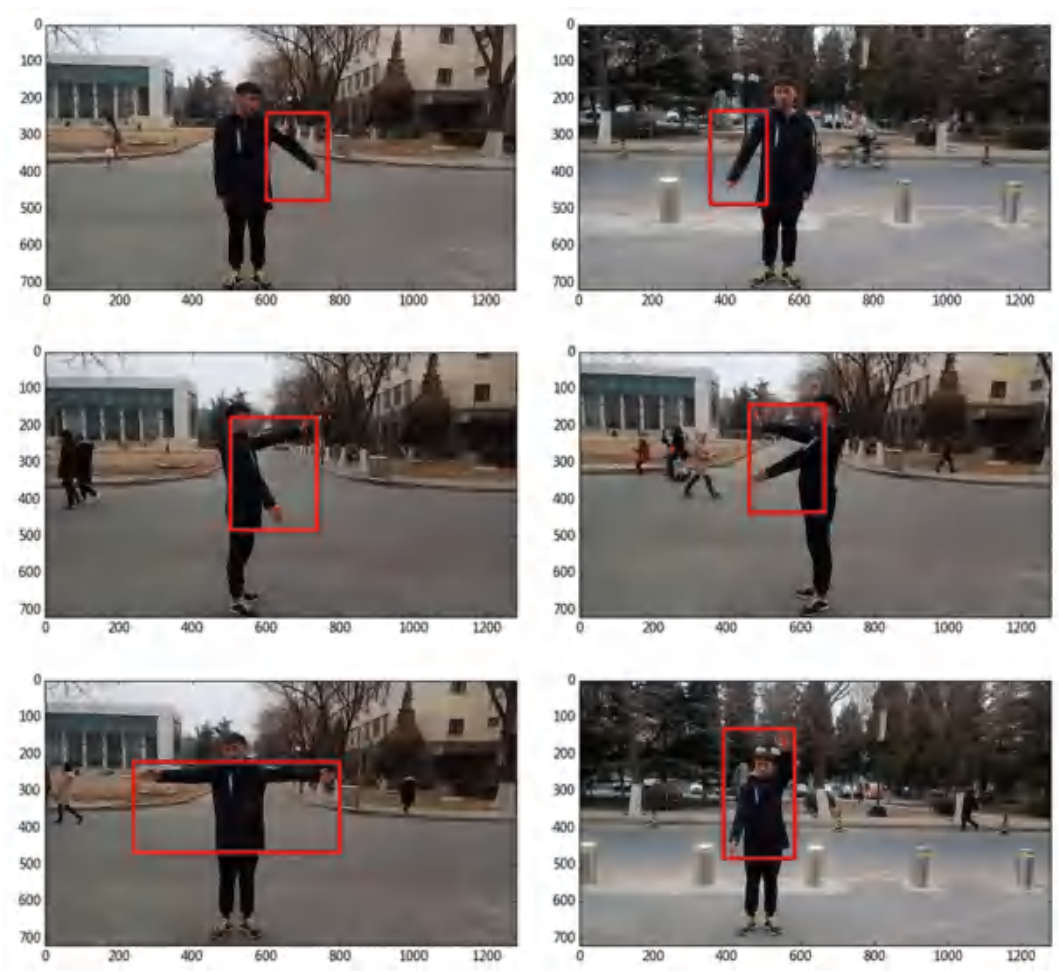


图 15 交警上肢运动区域部分检测结果

Fig. 15 Partial detection results of upper limb movement area by traffic police

表 5 检测算法对比

Table 5 Comparison of detection methods

实验对比	检测算法	交警所处背景	无运动物体干扰下的 准确率/%	有运动物体 干扰下的准确率/%
文献[13]	深度学习	动态		96.32
本文	改进光流法	动态(存在车辆、行人)	100	98

5 结束语

本文分析交警视频中运动物体的运动特征,得出交警上肢运动周期性及背景物体运动方向单一性的特征。基于图像金字塔 LK 光流法,提出光流长度和光流角度概念,利用光流长度剔除背景噪音特

征点,结合运动物体的运动特征,利用光流角度提取交警上肢运动区域。对采集的 20 个视频样本进行实验,检测率达 98%,初步解决复杂动态背景下交警手势检测的难题,为交警手势的进一步识别提供了研究基础。

参考文献

[1] 杨震. 自动驾驶技术进展与运营商未来信息服务架构演进[J]. 电信科学,2016,32(8):16-20.

[2] 吴春辉. 无人驾驶汽车的现状与未来发展[J]. 汽车与驾驶维修(维修版),2018,457(1):84.

[3] 张备伟,吴琦,刘光徽. 基于 DTW 的交警指挥手势识别方法[J]. 计算机应用研究,2017,34(11):3494-3499.

[4] YUAN T, WANG B. Accelerometer-based Chinese traffic police gesture recognition system[J]. Chinese Journal of Electronics, 2010, 19(2): 270-274.

[5] 郑颖,李培峰,罗桓杰,等. 交警手势识别的研究进展[C]//2018 年第二十二届网络新技术与应用年会论文集. 2018:87-91.

[6] 游昌欣,韩晶,方帆,等. 面向无人机的可穿戴手势识别综述[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2024,45(2):146-157.

[7] 付智凯,李文新,罗新奎. 基于视觉的动态手势识别技术综述[J]. 计算机测量与控制,2025,33(1):9-19.

[8] 张斌,孙旭飞,吴一鹏. 基于卷积神经网络的手势识别算法设计与实现[J]. 微型机与应用, 2017, 36(20):51-53.

[9] 方吴逸,陈章进,唐英杰. 基于改进 YOLOX-tiny 算法的交警手势识别[J]. 电子测量技术, 2024, 47(8):100-109.

[10] 程贝芝,伍鹏,寇静雯,等. 结合全局上下文信息的交警手势识别方法[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2023, 42(3):349-356.

[11] 马天祥. 基于目标检测和模板匹配的交警手势识别研究[J]. 现代信息科技, 2022, 6(20):60-64.

[12] 王新,王赛. 基于改进 YOLOv5 算法的交警手势识别[J]. 电子测量技术,2022,45(2):129-134.

[13] 刘永涛,刘永杰,孙斐然,等. 基于深度学习的交警动态手势检测与识别方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2024, 48(3):441-447.

[14] 周伟. 基于光流法的目标提取与跟踪算法研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2017.

[15] BOUGUET J Y. Pyramidal implementation of Lucas Kanade feature tracker description of algorithm [J]. OpenCV Documentation, 1992, 22(2):363-381.

[16] BARRON J, FLEET D, BEAUEHEMIN S. Performance of optical flow techniques [J]. International Journal of Computer Vision,1994,12(1): 42-77.