

无人机视频车辆跟踪算法研究*

李少博^{1,2}, 马立³, 蔡晓禹^{1,2}, 彭博^{1,2}(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074;
3.重庆市公安局渝北区公安分局 交通巡逻警察支队, 重庆 401120)

摘要: 鉴于现有算法在复杂环境下易造成目标跟踪丢失的问题, 为研究精准高效的车辆跟踪算法, 实现无人机视频交通参数提取, 将传统 KCF(核相关滤波)算法中的固定尺度检测窗口替换为多尺度检测窗口, 提出多尺度 KCF 优化算法; 与 CamShift 算法和 KCF 算法的对比结果表明, 在不同场景下多尺度 KCF 优化算法的跟踪效果均优于其他两种算法, 在目标遮挡和存在阴影的情况下表现更优异, 具有较强的鲁棒性和适用性。

关键词: 交通安全; 跟踪算法; 无人机视频; CamShift; 核相关滤波(KCF)

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)04-0033-06

交通信息是智慧城市交通管理的基础, 更是智能交通系统 ITS 的数据支撑和保障, 对交通动态感知、精准管控起着至关重要的作用。视频检测设备因具有检测范围广、可视化、交通参数检测全面、安装维护便捷、成本低等优点在交通管理中得到广泛应用, 基于视频的交通信息检测技术一直以来都是研究重点。无人驾驶飞行器(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)具有监测范围广、灵活性高、机动性强、安全风险低、不受道路交通限制等优点, 近些年随着无人机技术的飞速发展和广泛普及, 无人机视频交通信息采集技术逐渐成为研究热点和重点。该文针对无人机视频进行车辆跟踪检测算法研究。

1 跟踪算法研究现状

视频目标跟踪的基本原理是基于视频图像序列进行数据模型分析, 求解得到每帧图像跟踪目标的相应位置, 并将当前图像所得目标位置相应数据特征与连续视频坐标位置相关联, 建立运动目标的对应关系, 实现目标跟踪。

现阶段跟踪算法的主要研究方法分为生成式跟踪方法和判别式跟踪方法。生成式跟踪方法的研究重点为建立描述目标外观的模型, 当前基于直方图模型和稀疏表示理论形成的生成式跟踪算法主要有基于粒子滤波跟踪算法、MeanShift 算法、线性回归

滤波算法等。判别式跟踪算法的主要思想是通过训练分类器区分目标和背景, 主要有 Struck、TLD 及相关滤波算法(CSK、KCF、CN 等)。Kalal Z. 等在 2012 年提出 TLD 跟踪算法, 将长跟踪任务分解为跟踪、学习、检测 3 个阶段。2015 年, Henriques J. F. 等提出核相关滤波(KCF)算法, 通过脊回归和矩阵对角化简化像素级计算, 大大提高了跟踪算法的检测速率。

1.1 CamShift 跟踪算法

1.1.1 CamShift 算法跟踪原理

CamShift 算法为连续自适应的 MeanShift 算法, 其主要思想为针对视频中的每帧图像均进行 MeanShift 运算, 将上一帧的检测结果(窗口大小及位置)作为下一帧搜索窗口的初始值, 之后进行迭代实现视频目标跟踪。

利用 CamShift 算法获取无人机视频车辆轨迹数据, 首先人工框选一个初始搜索窗口区域, 计算窗口区域的色度分布直方图, 根据直方图计算结果获取无人机视频的反向投影图; 之后对其进行 MeanShift 迭代搜索, 直至收敛得到质心坐标, 窗口质心坐标即为车辆位置。CamShift 车辆跟踪检测算法的主要流程见图 1。

1.1.2 颜色空间特征提取

(1) 将 RGB 图像转换为 HSV 图像。由于 RGB

* 基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(61703064); 重庆市技术创新与应用示范项目—社会民生类重点研发项目(cstc2018jscx—mszd0554); 重庆市基础科学与前沿技术研究专项项目(cstc2017jcyjAX0473); 城市交通管理集成与优化技术公安部重点实验室开放课题(2017KFKT01); 重庆市技术创新与应用示范项目—社会民生类一般项目(cstc2018jscx—msybX0295)

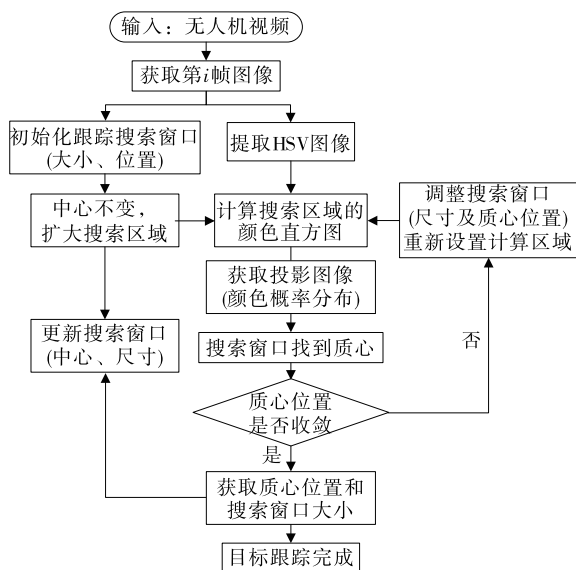
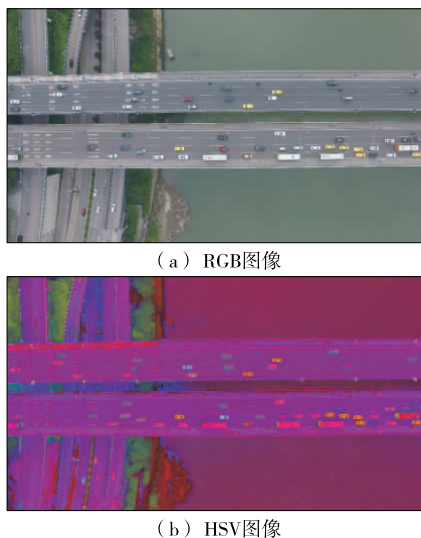


图1 CamShift跟踪算法的流程

颜色空间图像对光照亮度变化较敏感,为减少光线变化对目标跟踪造成干扰,将图像从RGB转换为HSV空间图像(见图2)。

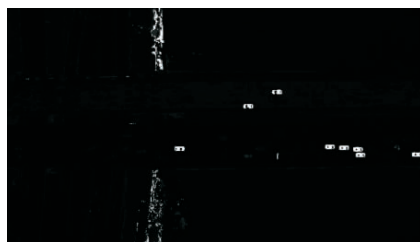
图2 无人机第*i*帧RGB和HSV图像

(2) 建立直方图。针对HSV空间中的色调(H)建立颜色分布直方图,直方图代表不同色度值在某一区域出现的概率。

(3) 获取反向投影图。将图像每一位置像素值利用色调分量所对应的概率进行替换,得到反向投影图像(灰度图,见图3)。

1.1.3 MeanShift迭代跟踪

MeanShift算法是一种基于密度梯度函数的无参密度估计算法,通过迭代寻找概率分布的最优解

图3 无人机第*i*帧反向投影图

来定位目标物体。其流程如下:

(1) 初始化搜索窗口。在视频初始帧图像中选择跟踪目标(即中心位置和窗口大小),并计算搜索窗口区域内的颜色直方图。

(2) 根据反向投影图和上一帧所得搜索窗口,通过MeanShift算法进行迭代计算,预测跟踪目标的质心位置和方向夹角。

(3) 将搜索窗口的中心位置 (x_0, y_0) 移动至质心位置 (x, y) ,并判断中心位置是否收敛。若不收敛,则重新计算质心位置;如果收敛,则此时的候选区域即为目标区域。

(4) 检测得到的质心位置和大小即为跟踪目标位置,记录每帧图像中目标(车辆)位置,在当前图像中显示得到车辆轨迹(见图4)。

图4 无人机第*i*帧车辆跟踪结果

1.1.4 算法评价

CamShift跟踪算法针对简单环境(畅通状态)能实现良好的车辆跟踪效果。但当背景较复杂,存在与目标颜色特征相似的像素干扰时,易导致跟踪失败。

1.2 KCF跟踪算法

KCF算法将跟踪问题转化为机器视觉中的分类问题,利用样本训练得到的分类器来区分每帧图像中的目标和背景,确定目标位置。该算法利用跟踪目标周围区域的循环矩阵采集正负样本,使用回归方法训练分类器区分目标和背景。以目标区域为正样本,通过循环移位的方式构造多个样本。为提高性能、降低计算量,使用基于核方法的回归,在频

域中利用循环矩阵的性质提高模型训练速度及检测速度。

KCF 算法的突出优点是跟踪速度快,其在复杂环境下的跟踪效果优于 CamShift 算法。但在存在多个相似目标或光照变化、遮挡情形等复杂环境下的跟踪效果不佳。该算法跟踪过程中目标框是设定好的,从始至终大小不发生变化,而实际跟踪序列中目标大小时有变化,该算法无法做到目标尺度变化的自适应,从而导致跟踪失败;该算法缺少目标遮挡模型,当目标被遮挡或干扰时跟踪效果较差。

2 多尺度 KCF 优化算法

为解决 CamShift、KCF 算法在背景复杂或光照变化下目标跟踪丢失的问题,提高跟踪算法的准确性和鲁棒性,对 KCF 算法进行优化,提出多尺度 KCF 优化算法。主要思想是将 KCF 算法中采用固定尺度的检测窗口替换为多尺度窗口进行跟踪,通过多尺度窗口(放大/正常/缩小)迭代计算获取多组 HOG 特征,降低目标由于环境干扰和比例变化所造成的影响,再比较 HOG 特征大小提取最优值,提高跟踪的准确性。

2.1 算法的主要流程(见图 5)

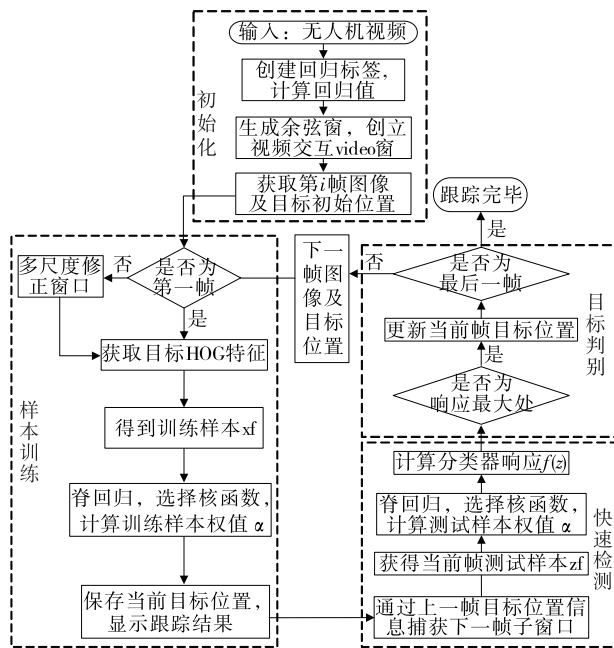


图 5 多尺度 KCF 优化算法的流程

(1) 初始化模块。输入视频图像序列获取第 i 帧图像,建立余弦窗及初始化相关参数。

(2) 样本训练。先对待检测图像进行归一化处

理,再利用多尺度修正窗口(放大/正常/缩小窗口,初始帧只利用正常窗口计算一次)采用循环移位采样得到正负样本,分别计算各样本的 HOG 特征,进行样本训练。

(3) 依据前一时刻目标的位置信息和计算所得相应偏移量预测当前时刻跟踪目标中心位置。

(4) 以预测位置为中心扩充检测区域进行多尺度滑动窗口采样计算 HOG 特征,并进行核相关滤波得到最大响应所在区域,获取目标中心位置。

(5) 下一时刻,输入新的图像帧,转入步骤 2。

2.2 HOG 特征提取

KCF 算法采用 HOG 特征提取前景目标,确定目标区域或目标特征。HOG 特征提取目标时主要利用目标区域的梯度或边缘方向密度分布,描述目标的局部形状及表象,主要模块有归一化处理、cell 划分、Block 块形成及特征提取。

(1) 归一化处理。先利用 Gamma 将整个图像进行归一化处理,降低视频中局部阴影及光照条件的影响。再基于所有像素点 (x, y) 计算其水平梯度及垂直梯度。像素点 (x, y) 处的梯度值和梯度方向计算公式为:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \right]$$

(2) 构建细胞单元梯度直方图。将整个图像划分成若干细胞单元 cell,并将每个 cell 的梯度方向划分成 9 个子块,每子块为 20 度区间范围(见图 6)。计算和统计每子块的直方图,获得该 cell 内所有像素的梯度信息。

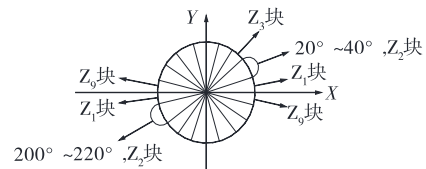


图 6 Cell 子块划分示意图

(3) 构建块内归一化梯度直方图。统计当前图像中全部 cell 直方图,构成 Block 块和局部特征描述。利用归一化方式去除重叠的 Block 块,得到的块特征向量即为 HOG 特征。

(4) 基于多尺度修正窗口进行 HOG 特征提取,将检测区域按正常/放大/缩小提取 3 次 HOG 特征,并进行比较,其最大特征即为最优 HOG 特征(见图 7)。

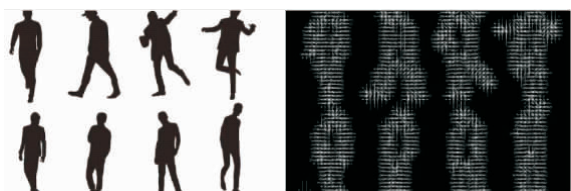


图7 HOG特征提取效果

2.3 样本训练

通过高斯核计算所得到的 HOG 特征, KCF 跟踪器以目标为中心选取目标及其周围一定范围内的矩形区域训练线性分类器, 将所有循环移位图像块看作训练样本并将对应的标签数据用一个高斯函数来描述。分类器训练如下:

$$\omega = \operatorname{argmin}_{\omega} \sum_{m,n} |[\varphi(x_{m,n}), \omega] - y(m,n)|^2 + \alpha \|\omega\|^2$$

2.4 快速检测

先训练分类器, 视频由目标区域中心正样本和若干负样本组成, 距离中心越近, 则为正样本的可能性越大。然后确定待检测样本集, 它是由预测区域和其位移得到的样本集合。最后利用样本训练分类器函数选择响应最大的样本作为检测出的新目标区域, 通过响应判断目标移动的位置。公式如下:

$$R = F^{-1}(K^{xz} \odot \hat{A})$$

图8为多尺度 KCF 优化算法跟踪结果。

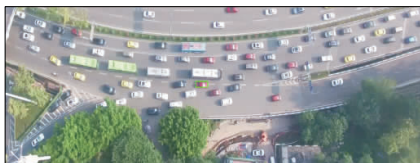


图8 多尺度 KCF 优化算法跟踪结果(170 帧)

3 跟踪算法结果对比

下面通过实验对 CamShift、KCF 算法和多尺度 KCF 优化算法的跟踪效果进行对比分析。

3.1 实验方案

实验环境: 系统环境为 Windows7 64 位; 软件环境为 VS2014+Opencv3.3.0; 处理器采用英特尔第三代酷睿 i7-3610QM, 内存 8G; 显卡为 Nvidia GeForce GT 640M。多尺度 KCF 优化算法中多尺度修正窗口比例, 放大为 1.05, 缩小为 0.95。

所用视频均来自于实际无人机采集的原始视频(分辨率为 4096×210), 通过降维处理转换为低维

视频(分辨率为 1920×1080), 作为跟踪算法检测与测试数据集, 以提高跟踪速率。

视频测试集包含多种场景: 1) 基本路段。背景简单、畅通状态、车辆间距大、相似目标少。2) 交织区路段。背景复杂、拥堵状态、车距小、存在多个相似目标和遮挡、光线变化等。按照由简单到复杂的原则, 从中挑选 3 种具有代表性的场景视频(畅通状态、拥堵状态及遮挡干扰)跟踪视频车辆, 通过与 CamShift 和 KCF 跟踪算法对比, 验证多尺度 KCF 算法的鲁棒性、准确性和普适性。

3.2 跟踪效果对比

畅通状态(场景 1)下 3 种跟踪算法的跟踪效果见图 9。由图 9 可知: 畅通状态下, 由于图像背景较简单, 无遮挡阴影干扰, 车辆间距较大, 颜色相似车辆较少, 各算法均能保持较稳定的跟踪效果。但 CamShift 算法的检测窗口存在偏移现象, 未能精准跟踪目标车辆, 说明其精度较低。



(a) CamShift算法



(b) KCF算法



(c) 多尺度KCF算法

图9 畅通状态下3种算法跟踪效果对比(290 帧)

拥堵状态(场景 2)下 3 种跟踪算法的跟踪效果见图 10。由图 10 可知: 拥挤状态下, 由于车辆增多, 车辆间距较小, 背景复杂, 存在相似车辆干扰, CamShift 算法在计算反射投影图像时被其他车辆影响, 导致车辆跟踪丢失。而 KCF 和多尺度 KCF 优化算法仍能保持较精准的车辆跟踪。

遮挡、阴影干扰(场景 2)下 3 种跟踪算法的跟踪效果见图 11。由图 11 可知: 背景图像更复杂, 存在遮挡(支路标志杆)和阴影干扰时, CamShift 算法和传统 KCF 算法均不能跟踪车辆; 唯有多尺度 KCF 优化算法仍能成功跟踪目标车辆, 说明该算法精度高、鲁棒性好。

3.3 量化分析对比

为进一步比较算法的精度, 验证算法的有效性

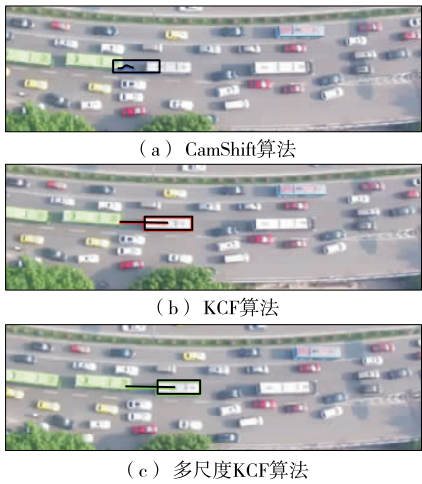


图 10 拥挤状态下 3 种算法跟踪效果对比(320 帧)

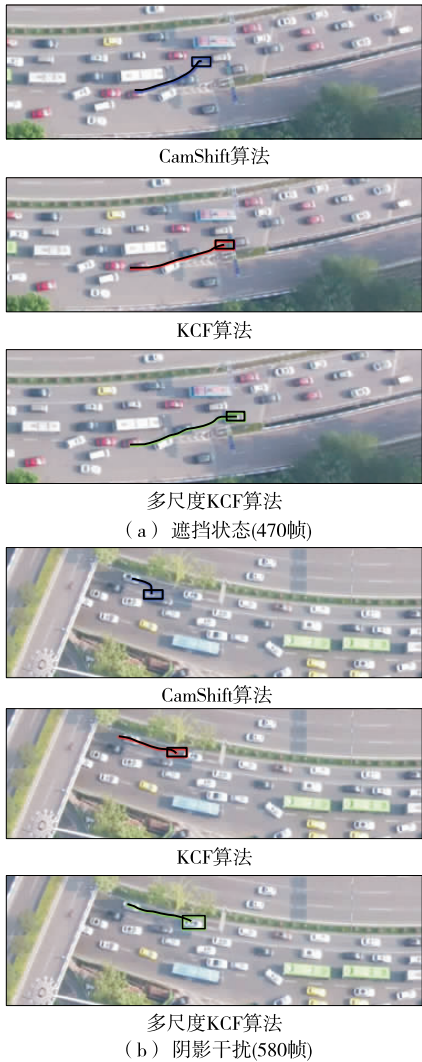


图 11 遮挡、阴影状态下 3 种算法跟踪效果对比

和稳定性,通过对比跟踪算法预测位置与实际中心位置的误差,对跟踪结果进行定量分析。按式(1)计

算每帧图像中跟踪目标的中心位置真实值 $M[x,y]$ 与实验值 $M'[x,y]$ 之间的欧氏距离 D ,其值越小,则算法精度越高。

$$D = \sqrt{(M_x - M'_x)^2 + (M_y - M'_y)^2} \tag{1}$$

先获取测试视频(其中场景 1 即畅通状态 404 帧,场景 2 即拥堵状态、遮挡和光照变化 428 帧,视频分辨率为 $1\,920 \times 1\,080$)中目标车辆的实际坐标,通过人工手动框选取目标车辆坐标信息作为真实值;再通过跟踪算法提取各目标的位置坐标信息;最后计算中心位置误差(欧式距离)进行算法对比分析。分析结果见图 12、表 1(样本数 832)。

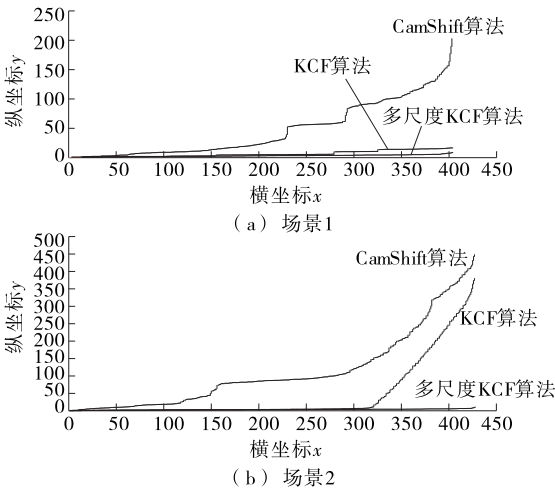


图 12 3 种跟踪算法中心位置误差对比

表 1 3 种跟踪算法中心位置误差数据分析

算法名称	均值	85%分位数	均值的 95% 置信区间		标准差	全距
			下限	上限		
多尺度 KCF	3.32	4.70	3.22	3.43	1.53	10.24
传统 KCF	25.04	9.21	20.53	29.55	66.23	379.80
CamShift	80.95	142.00	74.70	87.19	91.76	448.10

由图 12 可知:场景 1 情形下,KCF 与多尺度 KCF 算法均能保持较强的准确性,中心位置误差保持 30 以下,而 CamShift 算法的跟踪效果较差;场景 2 情形下,多尺度 KCF 算法仍能精准跟踪,而传统 KCF 和 CamShift 算法的跟踪效果较差。

由表 1 可知:多尺度 KCF 优化算法在各方面均表现优异,其均值为 3.32,85%分位数为 4.7,全距为 10.24;传统 KCF 算法的均值为 25.04,85%分位数为 9.21,全距为 379.8,这是由环境较复杂(拥堵状态、遮挡和阴影干扰)时跟踪效果较差所致;CamShift 算法的标线结果较差,该算法通过统计颜色空

间概率分布预测跟踪目标,由于环境复杂,存在相似车辆干扰,导致跟踪效果不理想。

4 结语

对比 CamShift 算法、KCF 算法,CamShift 算法能实现较简单环境(畅通状态)下车辆跟踪,较复杂环境(拥堵状态)下 KCF 跟踪效果更好。为解决传统 KCF 算法由于光照变化、目标遮挡和相似目标干扰造成的目标跟踪丢失问题,将 KCF 算法中的固定尺度检测窗口替换为多尺度检测窗口进行跟踪,基于多尺度窗口获取 HOG 特征,再提取 HOG 特征最优值所在检测窗口,提高算法跟踪准确性。

不同场景(畅通状态、拥堵状态、目标遮挡和光照变换等)下多尺度 KCF 优化算法、CamShift 和 KCF 算法车辆跟踪效果对比结果表明,多尺度 KCF 优化算法的跟踪效果优于其他两种算法,尤其在目标遮挡和存在阴影的情况下表现优异,对复杂环境均有较强的鲁棒性和适用性。但由于进行了 3 次循环检测,与传统 KCF 相比其运行速度有所降低。下一步将研究在保证跟踪精度的同时如何提高算法的运行效率。

参考文献:

- [1] 杨洪.城市交通动态研判应用技术研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [2] 傅贵.城市智能交通动态预测模型的研究及应用[D].广州:华南理工大学,2014.
- [3] 彭博,张有节,蔡晓禹,等.基于无人机的交通监控研究现状与展望[A].中国智能交通年会论文集[C].2016.
- [4] 林日三.多特征融合的粒子滤波跟踪算法研究[D].西安:西安电子科技大学,2015.
- [5] 仲莉恩.视频目标阴影消除与跟踪技术研究[D].北京:华北电力大学,2010.
- [6] 王楚.有遮挡情况下的视频目标跟踪算法研究及实现[D].杭州:浙江工业大学,2016.
- [7] 程旭.复杂场景下的目标跟踪算法研究[D].南京:东南大学,2015.
- [8] 杨勋.复杂场景下单目标视觉跟踪算法研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.
- [9] Henriques J F, Rui C, Martins P, et al. Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels[A]. Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision (Volume Part IV) [C]. 2012.
- [10] Danelljan M, Khan F S, Felsberg M, et al. Adaptive color attributes for real-time visual tracking [A]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. 2014.
- [11] Kalal Z, Mikolajczyk K, Matas J. Tracking-learning-detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2012, 34(7).
- [12] 肖庆国,叶庆卫,周宇,等.基于 Mean-Shift 优化的 TLD 视频长时间跟踪算法[J].计算机应用研究, 2015, 32(3).
- [13] Joao F Henriques, Rui Caseiro, Pedro Martins, et al. High-speed tracking with Kernelized Correlation Filters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014, 37(3).
- [14] 李道凯,原达,王晓静.基于 Mean shift 和轨迹预测的目标跟踪算法[J].计算机工程与设计, 2012, 33(6).
- [15] Zhang K, Song H. Real-time visual tracking via online weighted multiple instance learning[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(1).
- [16] David A Ross, Jongwoo Lim, Ruei-Sung Lin, et al. Incremental learning for robust visual tracking[J]. International Journal of Computer Vision, 2008, 77(1~3).
- [17] 刘双.动态融合梯度信息的 Camshift 算法改进研究[J].无线互联科技, 2014(4).
- [18] 黄斌.基于粒子滤波的视频目标跟踪方法研究[D].成都:电子科技大学, 2008.
- [19] 刘喆.基于计算机视觉的运动车辆检测与跟踪算法研究[D].北京:北京工业大学, 2009.
- [20] 孙恩情.监控视频摘要提取与展示技术[D].青岛:青岛理工大学, 2015.
- [21] 沈梦叶.基于 DIM3517 的视频人脸检测算法研究[D].杭州:杭州电子科技大学, 2014.
- [22] 王书玲.基于卡尔曼滤波的视频跟踪技术的研究及应用[D].天津:河北工业大学, 2011.
- [23] 王长江,胡元,梁允魁.基于 Kalman 滤波算法的视频跟踪技术在交通道路中的应用[J].科技信息, 2010(34).
- [24] 坎启娇.基于多特征融合的多目标跟踪算法[D].天津:河北工业大学, 2015.
- [25] 辛军.基于视频流的人群目标识别和跟踪的研究[D].沈阳:东北大学, 2011.
- [26] 肖庆云.复杂场景下运动目标检测与跟踪算法研究[D].厦门:厦门大学, 2013.
- [27] 王文涛.基于智能监控下的车辆检测与跟踪[D].长沙:湖南大学, 2014.
- [28] 胡强.基于 Adaboost 的多摄像机协同跟踪方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2016.
- [29] 吕韵秋,刘凯,程飞.基于点轨迹的核相关滤波器跟踪

续表 5

乡镇	总得分	乡镇	总得分
古城	1 565.348	张得	2 128.814
火龙	1 286.868	裴庄	1 124.604
文殊	1 623.892	小吕	1 846.046
鸠山	2 136.008	磨街	1 257.916
褚河	1 117.357	山货	1 566.468

对表 5 所示因子分析结果进行聚类分析,结果见表 6。

表 6 聚类分析结果

聚类中心	聚类成员
2 134.52	顺店、鸠山、张得
1 848.93	鸿畅、郭连、小吕
1 573.66	山货、古城、朱阁、文殊
1 278.81	浅井、火龙、神屋、花石、梁北、范坡、磨街
1 155.89	褚河、裴庄、无梁、方岗、方山

由表 6 可知:顺店、鸠山、张得、鸿畅、郭连、小吕 6 个乡镇的得分较高,优先考虑布局乡镇物流节点;山货、古城、朱阁、文殊 4 个乡镇随着其发展进而考虑布局乡镇物流节点。

5 结语

该文建立乡镇物流节点布局评价指标的因子分析模型和聚类分析模型,为确定农村物流网络节点体系建设中乡镇物流节点布局提供科学依据;选取河南省禹州市作为分析案例,评估了乡镇物流节点重要度,为其他县(市)评估乡镇物流节点重要度和农村物流网络节点布局规划提供参考。但乡镇物流节点指标发展是一个动态的过程,农村物流节点体系如何适应其变化有待深入研究。另外,农村物流节点布局中需考虑的因素较多,涉及面较广,如何选

取更多指标因素综合分析评价乡镇状况,也是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 李宏宇.我国农村物流发展研究[J].学习与探索,2006(2).
- [2] 孙静.城乡统筹背景下农村物流运作模式研究[D].武汉:武汉理工大学,2011.
- [3] 艾江.我国农村物流发展模式及对策研究[J].物流技术,2010(增刊 2).
- [4] 刘飞驰.整合资源构建多渠道农产品物流体系[D].长沙:中南大学,2009.
- [5] 赵凤丽.兰州市特色农产品物流业发展及其对策[J].沈阳农业大学学报:社会科学版,2012,14(4).
- [6] 毛育刚.中国农业演变之探索[M].北京:社会科学文献出版社,2001.
- [7] 刘昌棋.物流配送中心设计[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [8] 盛玉奎,曹燕.依托农业产业化发展农业物流的意义与措施[J].公路与汽运,2009(1).
- [9] 王龙,蒋芸.河南省综合客运枢纽发展定位分析[J].公路交通科技:应用技术版,2016(10).
- [10] 杨平,乔雯,易法海.现代农业物流对农业经济增长的影响[J].生产力研究,2008(19).
- [11] 刘娜,沈江,于鲲鹏,等.基于改进节点收缩法的加权供应链网络节点重要度评估[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2018,51(10).
- [12] 宋新生,王啸啸,李爱增,等.城市群区域公路网节点重要度评估方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2011,11(2).
- [13] 张学义.基于任务的物流保障网络节点重要度分析[D].长沙:国防科学技术大学,2010.

收稿日期:2019-04-09

(上接第 38 页)

算法[J].通信学报,2018(6).

- [30] 于蕾,王萌萌,刘立,等.基于核相关滤波器的 TLD 目标跟踪算法[J].应用科技,2018,45(1).
- [31] 邵博,熊惠霖,郁文贤.基于核相关滤波器的无人机目标跟踪算法[J].信息技术,2017(11).
- [32] 余礼杨.基于核化相关滤波器的目标跟踪技术研究及应用系统[D].北京:北京邮电大学,2016.
- [33] 魏运.道路移动视觉环境感知中的多目标识别与跟踪方法研究[D].南京:东南大学,2013.
- [34] 李婷婷.基于主题模型的 SAR 图像分类[D].西安:西

安电子科技大学,2013.

- [35] 余礼杨,范春晓,明悦.改进的核相关滤波器目标跟踪算法[J].计算机应用,2015,35(12).
- [36] 阮体洪.基于交通视频的车辆检测和车辆行为识别研究[D].杭州:浙江工业大学,2015.
- [37] 岳求生.基于特征融合的静态图像行人检测[D].长沙:长沙理工大学,2014.
- [38] 石君友.测试性试验验证中的样本选取方法研究[D].北京:北京航空航天大学,2004.

收稿日期:2018-11-27