

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2022.06.052

基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别

王维华

(陕西交通职业技术学院, 陕西 西安 710018)

摘要:传统的盲区障碍物识别方法受到高速列车惯性的影响,导致识别结果不精准。为此,提出基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别方法。在确定静态障碍物区域后,利用机器视觉方法分析不同目标轮廓,确定图像之间的变换关系,得到归一化图像坐标。计算不同图像之间的轮廓相似程度,完成静态障碍物识别。通过机器视觉的差分法提取出动态运动障碍物区域,计算立体置信度和平面置信度,由此识别动态运动障碍物。结果表明:该方法的灰度直方图检测结果与标准图像基本一致,证明其具有精准的识别效果。

关键词:机器视觉;轨道车辆;侧向盲区;障碍物识别;轮廓相似度

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)06-0212-03

Obstacle Recognition in Lateral Blind Area of Railway Vehicle Based on Machine Vision

WANG Weihua

(Shaanxi Communication Technology College, Xi'an 710018, China)

Abstract: To deal with the imprecise identification problem resulted from traditional blind area obstacle identification method affected by the inertia of high-speed train, an obstacle recognition transformation method based on machine vision is proposed. After the static obstacle area is determined, the machine vision method is used to analyze the contours of different targets and determine the relationship between images obtaining the normalized image coordinates. The contour similarity between different images is calculated to achieve static obstacle recognition. By the difference method of machine vision, the dynamic moving obstacle region is extracted, and the stereo and plane confidence are calculated to identify the dynamic moving obstacle. The results show that the gray histogram detection results of the proposed method are basically consistent with the standard image, which proves that the method has accurate recognition effect.

Keywords: machine vision; rail vehicle; lateral blind area; obstacle identification; contour similarity

0 引言

在行车过程中,轨道交通塌方、泥石流引起的沙石堵塞、桥隧悬空、误报警、人员和设备困于轨道等情况,严重威胁着轨道车辆行驶安全和旅客的生命财产安全。在轨道车辆行进过程中,由于车辆自身的遮挡、车辆高度限制等原因,即使是使用大尺寸双曲率后视镜,驾驶者对车身侧方区域的观察也不够全面。

针对上述问题,相关学者提出了多技术融合的障碍物识别方法^[1]。这些方法结合生物技术、信息技术和认知技术,利用仿真模拟轨道车辆行驶,由此设计轨道车辆侧向盲区障碍物识别方案;也有学者设计了64线激光雷达的障碍物识别方法^[2],利用多特征、多层高程图对路面、障碍物和悬架进行分离,然后利用基于动态距离门限的网格聚类算法对障碍物进行聚类,结合相邻两个障碍物的运动状态信息对聚类结果进行修正,最终发现障碍物。然而由于轨道列车惯性大、制动距离长,上述方法的识别效果不理想。针对此问题,本研究提出了基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别方法。

1 静态障碍物识别

1.1 确定静态障碍物区域

在车辆前设置单一摄像机,采用机载随动检测装置在列车运行过程中,实时拍摄前方轨道,得到实时视频序列^[3]。车辆设备须在最小制动距离范围内,向司机发出预警信号。司机接收到信号后,将报警信息实时反馈给基站,基站根据接收到的信息调整应急状态^[4]。

图1为车载摄像机安装图。

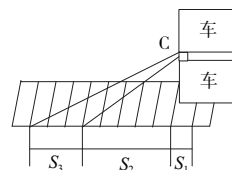


图1 车载摄像机安装示意图

图1中:C表示列车上安装的车载摄像机位置; S_1 表示

基金项目:陕西交通职业技术学院2020年校级科研项目(YJ20002)

作者简介:王维华(1987—),男,甘肃甘谷人,讲师,硕士,研究方向为城市轨道交通车辆技术。

识别到障碍物的反应时间; S_2 表示列车刹车时受到惯性作用力影响下的最小制动距离; S_3 表示车载摄像机的扫描范围。

1.2 基于轮廓特征检测障碍物

对于障碍物区域检测到的目标,需要确定目标轮廓,依据轮廓特征判断目标是否为障碍物。

通过追踪到的轮廓得到实际的轮廓位置^[5-6]。利用平面投影变换矩阵 A , 可预测目标轮廓所在的位置。如果预测的等值线在地面, 即等值线与地面的高度为 0 时, 预测等值线与实际等高线重合^[7]。接下来, 按照下面的步骤来确定该轮廓是否为障碍轮廓。

步骤一: 获取目标轮廓, 提取两幅图像作为检测目标。

步骤二: 跟踪第二幅图像目标轮廓。

步骤三: 通过对两幅图像的轮廓特征点进行对比分析, 将提取出的轮廓特征点与第二幅图像的轮廓特征点对应, 然后用式(1)对其进行预测, 从而得到整体轮廓^[8]。

设 R_i 和 R'_i 是两幅图像中同一点的归一化图像坐标, 两个点的转换关系如下:

$$\lambda_i R'_i = (DW + Ln^T) R_i \quad (1)$$

式中: D 表示车载摄像机与地面之间的距离; n 表示地面图像在摄像机坐标系中法向量; W 表示旋转矩阵; L 表示平移向量; λ_i 表示变换尺度因子, 该因子不是唯一的, 而是归一化结果^[9]。

步骤四: 求真轮廓与预测轮廓间的相似性^[10]。

若相似性小于某一阈值, 则对应的目标轮廓是障碍物轮廓, 否则不是^[11]。两幅图像轮廓 G_1 和 G_2 相似性的计算公式如下:

$$S = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{N_{G_1}} \sum_{i \in G_1} w_i^k + \frac{1}{N_{G_2}} \sum_{j \in G_2} w_j^k \right) \quad (2)$$

式中: N_{G_1} 和 N_{G_2} 分别表示轮廓 G_1 和 G_2 边界点的数量; w_i^k 和 w_j^k 分别表示轮廓 G_1 和 G_2 到边界点的距离, 这两个参数均可通过式(3)来计算。

$$w_b^k = \begin{cases} \frac{1}{(l_b^k + 1)} & 0 \leq l_b \leq k \\ 0 & \text{其余} \end{cases} \quad (3)$$

式中 l 表示轮廓 G_1 和 G_2 到边界点 b 的最小距离^[12]。结合上述公式, 完成对静态盲区障碍物的识别。

2 动态障碍物识别

2.1 确定动态运动障碍物区域

基于运动补偿的差异图所有信息都只包含实体对象(静态的和移动的实体对象), 直接分析差分图上的点灰度, 并提取实体的区域^[13]。根据两帧间的灰度不变性原理, 估算出到地面上的点对应于检测区域范围内点的运动方程, 计算出相应像素在 $k+1$ 帧内的灰度值。但由于障碍点不符合平面运动方程, 因此相应位置的像素灰度变化较大^[14]。所以, 每一区域的平面置信度都需要再次计算平面置信度 α_1 和立体置信度 α_2 , 并通过式(4)确定每一区域隶属度 β 。

$$\beta_i = \frac{\alpha_{1i}}{\alpha_{2i}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

结合式(4), 锁定图像的立体区域, 如下所示:

$$\begin{cases} \theta_i \in \text{障碍物} & \beta_i > \text{阈值} \\ \theta_i \notin \text{障碍物} & \beta_i \leq \text{阈值} \end{cases} \quad (5)$$

按照上式确定动态运动障碍物区域。

2.2 计算立体置信度和平面置信度

空间可信度和平面可信度是图像块的基本属性, 表示其属于道路平面或三维目标的概率。

1) 计算平面置信度

根据上述确定的动态运动障碍物区域, 结合运动补偿剩余 SSD 方法来计算平面置信度^[15]。其基本思想为: 首先确定列车行驶的速度空间, 在该空间内进行遍历搜索; 然后求取每个线速度和角速度, 获取每个像素点通过水平运动后从 k 帧到 k' 帧的时间^[16]; 最后利用光学短时间内恒定不变原理, 计算平面置信度, 如式(6)所示。

$$Q_{11} = \max \left(\exp \left(\frac{-S_i(m)}{\delta^2} \right) \right) \quad (6)$$

式中: $S_i(m)$ 表示像素点从 k 帧到 k' 帧水平运动的距离; δ 表示运动补偿残差。

在计算剩余运动补偿残差后, 对结果进行标准化处理, 目的是保持运算精度和提高算法的灵敏度。

2) 计算立体置信度

障碍物区域不符合道路平面运动模型, 但符合基于块匹配原理的运动模型, 故采用块匹配原理可以计算立体置信度。图 2 显示了块匹配的原理。由图 2 可知, 设图像序列 t 时刻与 $t-1$ 时刻所对应的图像帧分别为 k 帧和 $k-1$ 帧。搜索 $k-1$ 帧中相似的子块, 将其转换为匹配块, 确定当前匹配块位置是 k 帧的匹配块位置。

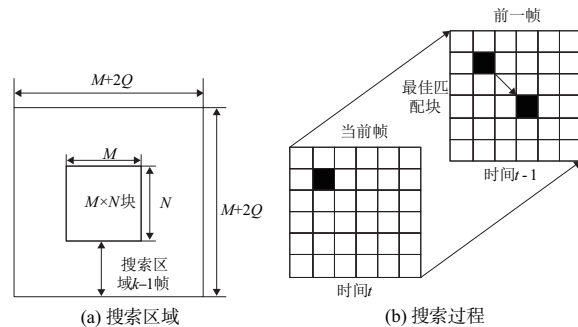


图 2 块匹配的原理

根据块匹配的搜索范围, 设定图像运动方程。设宏块大小为 $M \times N$ 时, 可确定搜索范围为

$$f = (M + 2I_x, N + 2I_y) \quad (7)$$

式中 I_x 和 I_y 分别表示水平和垂直最大位移矢量。

在已知图像运动矢量较大时, 要设置较大的搜索窗口, 以实现块匹配的精确搜索。但若图像向量较小, 搜索窗口缩小, 则无需设置大搜索窗口, 否则只能增加计算量, 无法提高搜索速度。在最后一帧中, 估计当前区域的像素移至前一帧, 然后扩大前一帧对应像素进行模式匹配。按式(7)求出匹配的残差, 然后归一化处理, 由此完成立体置信度计算。

2.3 剔除灰度值

障碍图像中存在的灰度问题影响了识别的准确性, 因

此应消除灰度值。设 C_0 和 C_1 分别为 t_0 和 t_1 时刻车载摄像机拍摄的第一帧和第二帧图像光心。在 $\Delta t = t_1 - t_0$ 时间内,车载摄像机图像光心由 C_0 点到 C_1 点运动的线速度为 v ,角速度为 ω 。由点 $C_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$ 到点 $C_1 = (x_1, y_1, z_1)^T$ 运动方程,可用下式表示:

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \mathbf{Z} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中 \mathbf{Z} 表示线性外参矩阵。

设 $P_c = (X, Y, 0)^T$ 为地面上的一点, $P_o = (X, Y, Z)^T$ 为障碍物上的一点。障碍物上的某点 P_o^1 通过光心 C_1 点映射为图像点 P_c^2 。此时,光线 $C_0 P_o^1$ 和障碍物交点就是 P_c^2 点。图像点 P_c^2 灰度值和障碍物上某点 P_o^2 的灰度值一致。

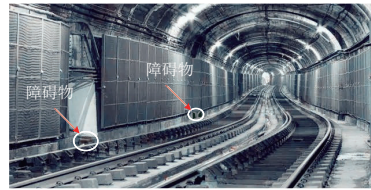
在 t_1 时刻,地面上的某点 P_c^1 在车载摄像机平面上的投影点为 P_c^3 。假设两幅图像不同帧间的时间间隔非常小时, P_c^1 点的灰度值不会在不同时间下发生改变,这时就可以剔除灰度值,由此识别动态运动盲区障碍物。

3 实验与分析

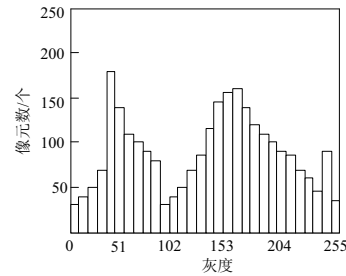
为了验证基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别方法的有效性,设计如下实验。

采集轨道转弯处图像,如图3所示。图3(a)中,轨道左侧地面位置存在可移动性障碍物。将图3(a)中的原始图像分割成黑白像素,并结合其他指标完成对窗口内障碍

物的检测,如图3(b)所示,对原始图像进行预处理,建立检测窗口,检测窗口移动时检测窗口中有没有障碍物等多种情况。图3(b)中,图像灰度较低的区域像素较多,对应于画面中的暗区,即障碍物。



(a) 轨道转弯处图像



(b) 灰度直方图

图3 标准图像

在识别障碍物的标准检测窗口中,分别应用传统的基于多技术融合的障碍物识别方法、基于64线激光雷达的障碍物识别方法和本文方法,对灰度直方图检测结果进行对比分析,结果如图4所示。

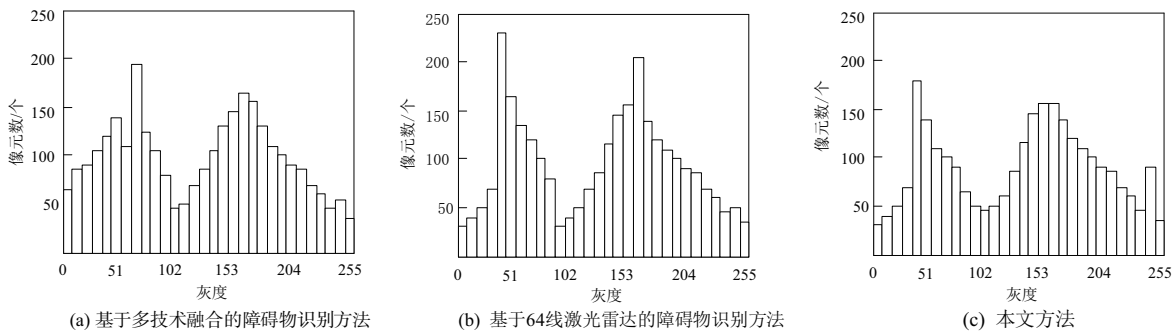


图4 3种方法灰度直方图检测结果

分析图4可知,两种传统方法的灰度直方图检测结果与标准图像不一致的情况。而本文方法的灰度直方图检测结果与标准图像基本一致,证明本文方法可以准确地识别出障碍物。

在此基础上,以识别耗时为指标,验证不同方法的有效性,结果如表1所示。

表1 不同方法的识别耗时对比 单位:s

实验次数/次	基于多技术融合的障碍物识别方法	基于64线激光雷达的障碍物识别方法	本文方法
2	2.16	1.65	0.85
4	2.07	1.47	0.97
6	1.95	2.33	0.98
8	1.62	2.68	1.02
10	2.03	1.64	0.88

分析表1可知,在多次实验中,本文方法对轨道车辆侧向盲区障碍物的识别耗时始终低于其他两种方法,这说明本文方法的时效性更高,能够在极短时间内识别到障碍物,有效保证轨道车辆行驶安全。

4 结语

本研究提出了一种基于机器视觉的轨道车辆侧向盲区障碍物识别方法,依据轮廓特征识别静态盲区障碍物;通过计算立体置信度和平面置信度识别动态运动障碍物;并通过实验证明了该方法的有效性。

参考文献:

[1] 肖阳俊,李拥军,李金波,等.一种多技术融合的全自动无人驾驶轨道障碍物检测系统设计[J].城市轨道交通研究,2019,22(1):111-114,119.

(下转第230页)

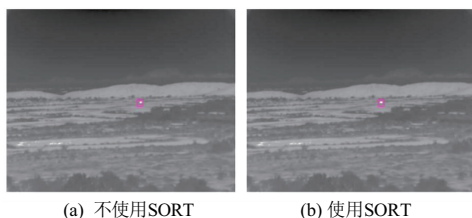


图 11 4 500 m 距离视频对比

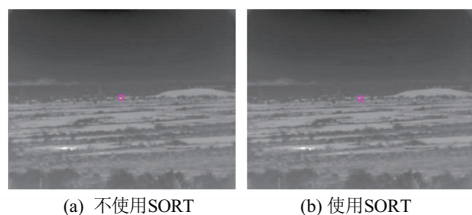


图 12 5 000 m 距离视频对比

3 结语

本研究主要针对远程红外视频中的小目标检测,结论如下。

1)提出了一个集成的、灵活的、模块化的框架,包括视频超分辨率、小目标检测、连通域分析和目标轨迹关联。

2)所提出的无监督目标检测方法对于目标尺寸非常小的远距离视频(3 500 m 及以上)具有良好的检测能力。

3)使用了 SORT 算法后,通过对 3 500 m~5 000 m 远距离视频数据集的测试,证明了所提检测框架的有效性。

参考文献:

- [1] CHEN C L P, LI H, WEI Y T, et al. A local contrast method for small infrared target detection [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(1): 574-581.
- [2] 杨其利,周炳红,郑伟,等. 基于全卷积网络的红外弱小目标检测算法[J]. 红外技术, 2021, 43(4): 349-356.
- [3] 娄新雨,王海,蔡英凤,等. 采用 64 线激光雷达的实时道路障碍物检测与分类算法的研究[J]. 汽车工程, 2019, 41(7): 779-784.
- [4] 王维,梁汝军,黄涛. 地铁列车障碍物视频识别系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(6): 166-169.
- [5] 彭锐. 单目摄像头的车辆前方障碍物检测研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(4): 43-45.
- [6] 袁朝春,王桐,何友国,等. 传感器感知盲区条件下智能汽车主动制动系统控制研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 363-373.
- [7] 宗长富,文龙,何磊. 基于欧几里得聚类算法的三维激光雷达障碍物检测技术[J]. 吉林大学学报(工学版), 2020, 50(1): 107-113.
- [8] 王灿,孔斌,杨静,等. 基于三维激光雷达的道路边界提取和障碍物检测算法[J]. 模式识别与人工智能, 2020, 33(4): 353-362.
- [9] 龚鹏,林京鹏,胡为,等. 暗夜下基于激光辅助的路面障碍物视觉识别方法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(32): 225-229.
- [10] 熊沂斌,王栋. 基于蚁群算法的车辆路径问题研究[J]. 信息技术, 2019, 43(7): 15-17, 23.
- [11] 吕恩利,阮清松,刘妍华,等. 基于动态识别区和 B 样条曲线

- [3] ZHANG H, ZHANG L, YUAN D, et al. Infrared small target detection based on local intensity and gradient properties [J]. Infrared Physics & Technology, 2018, 89: 88-96.
- [4] 韩金辉,董兴浩,蒋亚伟,等. 基于局部对比度机制的红外弱小目标检测算法[J]. 红外技术, 2021, 43(4): 357-366.
- [5] 蒋维娜. 基于多特征的行人计数算法研究[D]. 广州:中山大学, 2013.
- [6] BEWLEY A, GE Z Y, OTT L, et al. Simple online and realtime tracking [C]//2016 IEEE International Conference on Image Processing. Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2016: 3464-3468.
- [7] LOHIT S, KULKARNI K, TURAGA P. Direct inference on compressive measurements using convolutional neural networks [C]//2016 IEEE International Conference on Image Processing. Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2016: 1913-1917.
- [8] 刘杨帆,曹立华,李宁,等. 基于 YOLOv4 的空间红外弱小目标检测[J]. 液晶与显示, 2021, 36(4): 615-623.
- [9] 刘法龙. 面向图像融合应用的红外/SAR 图像仿真、采集、传输技术研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2014.
- [10] LATORRE-CARMONA P, TRAVER V J, SÁNCHEZ J S, et al. Online reconstruction-free single-pixel image classification [J]. Image and Vision Computing, 2019, 86: 28-37.
- [11] 卜德飞,孙韶媛,黄荣,等. 基于改进 SSD 的无人驾驶夜间目标检测[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 63-69.
- [12] 蒋光友. 红外视频运动点目标识别关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2013.
- [13] 尹丹艳. 基于核模糊聚类多模型 LS-SVM 背景预测的红外弱小目标检测[J]. 物联网技术, 2021, 11(3): 24-27, 30.
- [14] 朱硕雅,杨德振,贾鹏,等. 时空联合红外弱小目标检测算法的设计与实现[J]. 激光与红外, 2021, 51(3): 388-392.
- [15] 陈青华,董锋,谢晓方,等. 基于低码率传输的红外视频编码方法研究[J]. 红外, 2013, 34(8): 16-20.
- [16] 李维鹏,杨小冈,李传祥,等. 红外目标检测网络改进半监督迁移学习方法[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(3): 243-250.
- [17] GAO C Q, MENG D Y, YANG Y, et al. Infrared patch-image model for small target detection in a single image [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(12): 4996-5009.

收稿日期:2021-07-07

(上接第 214 页)

- [2] 的智能叉车避障路径规划[J]. 农业机械学报, 2019, 50(1): 359-366.
- [11] 边玉亮,李淑静,严晓龙. 基于 STC¹²C5A60S2 的汽车侧向盲区探测系统[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(10): 133-136.
- [12] 韩正新,乔耀华,吕守国,等. 基于 HC 显著算法与 BP 神经网络的机器视觉系统[J]. 信息技术, 2020, 44(3): 54-58.
- [13] 罗晋楠,张济民. 基于扩展 Haar 特征和 DBSCAN 的钢轨识别算法[J]. 计算机科学, 2020, 47(增刊 1): 153-156.
- [14] 郭碧,丁春平. 基于帧间差分累积的铁路限界异物检测提取算法[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(9): 153-158.
- [15] 张袅娜,鲍旋,李昊林. 基于激光雷达和摄像机融合的智能车障碍物识别方法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(4): 1461-1466.
- [16] 张春辉. 车辆位置数据处理及动态出行路径诱导技术[J]. 信息技术, 2020, 44(12): 129-133, 138.

收稿日期:2022-03-15