

基于 Hough 和 Camshift 的铁轨异物入侵检测



郝海阳¹, 张丽艳^{1,*}, 郎振刚¹, 许慧钢²

¹大连交通大学计算机与通信工程学院电子与通信工程系, 辽宁大连 116028

²大连交通大学自动化与电气工程学院铁道信号与控制工程系, 辽宁大连 116028

摘要: 随着中国铁路的飞速发展, 铁路运输总量得到了飞速增加和铁路运行速度也得到的快速提升, 这对整个铁路网的可靠性和安全性提出了更高的要求。异物侵入铁路对铁路系统可靠性和安全性造成了极大的威胁, 为了有效避免此类现象的发生, 本文基于图像处理的原理, 给出了一种铁轨异物入侵检测的方法。首先利用车头的摄像头从列车前方获取视频数据, 并运用灰度化、中值滤波和边缘处理的图像处理技术将其转换为清晰的图像, 以更加准确地展示铁轨的位置。使用 Otsu 方法进行图像的阈值分割, 利用 Hough 变换去除残杂线条, 突出轨线条轮廓。使用 OpenCV 库中背景减除法对运动目标进行检测, Camshift 算法对图像跟踪, 并根据被追踪的目标与铁轨的重合程度, 判断出是否有可疑物体入侵铁轨。GUI 视图给出了被跟踪目标区域和铁轨区域的重叠比例, 判断物体是否对行车造成影响。仿真验证了本文方法的有效性。

关键词: 铁轨异物; 霍夫变换; Otsu 方法; 目标跟踪; Camshift 算法

DOI: 10.57237/j.jsts.2024.01.004

Intrusion Detection of Foreign Objects in Railway Tracks Based on Hough and Camshift

Hao Haiyang¹, Zhang Liyan^{1,*}, Lang Zhengang¹, Xu Huigang²

¹Department of Electronic and Communication Engineering, School of Computer and Communication Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China

²Department of Railway Signal and Control Engineering, School of Automation and Electrical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China

Abstract: With the rapid development of China's railways, the total amount of railway transportation has increased rapidly and the operating speed of railways has also been rapidly improved, which puts higher requirements on the reliability and safety of the entire railway network. Foreign object intrusion into railways poses a great threat to the reliability and safety of railway systems. In order to effectively avoid such phenomena, this article proposes a method for detecting foreign object intrusion in railway tracks based on the principle of image processing. Firstly, video data is obtained from the front of the train using the front camera of the train, and image processing techniques such as grayscale, median filtering, and edge processing are used to convert it into clear images to more accurately display the

基金项目: 大连市重大科市重点科技局研发计划 (2022YF11GX008).

*通信作者: 张丽艳, zhangliyan@126.com

收稿日期: 2024-01-01; 接受日期: 2024-02-05; 在线出版日期: 2024-03-11

<http://www.joscitechsoc.com>

position of the railway tracks. The Otsu method is used for image threshold segmentation, and the Hough transform is used to remove residual impurities line and highlight the outline of the rail line. The background subtraction method in OpenCV library is used for detecting the moving targets, and the Camshift algorithm is used to track images, and determine whether suspicious objects have invaded the rail based on the degree of overlap between the tracked target and the rail. The GUI view provides the overlap ratio between the tracked target area and the rail area to determine whether the object has affected the driving. The effectiveness of the method proposed in this paper was verified through simulation.

Keywords: Foreign Objects on Railway Tracks; Hough Transform; Otsu Method; Target Tracking; Camshift Algorithm

1 引言

截至 2022 年底,中国铁路的总里程达到 15.5 万公里,其中高速铁路里程达到 4.2 万公里,标志着中国已建成世界最大的高速铁路网和先进的铁路网。中国高速铁路网,覆盖全国 31 个省、自治区、直辖市。然而,铁路运输总量的增加和速度的提升对整个铁路网的可靠性和安全性提出了更高的要求。

铁路异物入侵检测[1-3]可以实时检测和报警铁路轨道上的异物,为相关人员提供全面的铁轨列车行驶数据。通过对系统数据的科学分析,可以降低维护成本和工作强度,提高人力资源利用效率,保障列车安全运行。该系统还可以帮助相关部门快速高效地处理突发事件,从而保障铁路运输的顺畅和安全。铁轨异物入侵的检测技术[4, 5]主要有以下几种方式,如磁性检测,声波检测,光学检测,激光雷达,热成像检测等技术,这些技术的应用不断推进铁路安全的技术化、智能化水平,能够有效地提高铁路的安全性和运营效率。

本文提出了一种基于 OpenCV 的铁轨异物入侵的检测方法,开发环境采用 MATLAB。该方法通过图像处理技术对图像进行灰度化处理、中值滤波、二值化等预处理,利用 Otsu 方法进行图像的阈值分割,再运用霍夫变换算法进行进一步的修补,最终利用 OpenCV 对视频帧进行图像处理,实现对目标的检测和跟踪。通过分析被跟踪目标区域与铁轨区域的重叠比例,可以判断出是否有可疑物体入侵铁轨。

2 图像预处理

铁轨异物入侵检测是对检测到的目标进行入侵行为的判定。以此,首先需要确定入侵的界限。本文基于铁轨的位置信息,实现了对视频帧图像中铁轨的自动提取,从而确定入侵的界限。实验中将摄像头置于列车上

方正中位置,在对视频帧图像处理的过程中,由于周围环境和列车行驶的影响,采集到的帧图像信噪比一般比较低,造成图像的不清,所以首先对图像进行预处理,获取能够直观表明其特征的图像。铁轨线条识别流程过程[6-10]主要包括图像截取、灰度化、中值滤波、二值化、形态学处理和边缘处理。灰度化图像进行灰度化处理目的是减小图像的原始数据量,提高处理效率,使图像便于存储,方便后续的处理操作。一般有四种方法:最大值法、平均值法、YUV 亮度法和 Gamma 校正法。本文采用 YUV 亮度法对图像进行了灰度化处理。YUV 是一种常用的色彩编码方式,其中 Y 代表亮度(luma),U 和 V 代表色度(chroma)。亮度是指图像中像素的亮度信息,它对应于黑白图像,而色度则是指图像中像素的颜色信息,它对应于彩色图像。YUV 亮度的基本原理是将原始的 RGB 颜色信号转换为亮度和色度信号。Y 通道是由 RGB 颜色通道线性加权平均得到的,表示图像亮度信息,如式(1)所示。

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

2.1 中值滤波

中值滤波是图像去噪中常用的一种滤波方法,中值滤波主要用于去除图像中的噪声,因为噪声通常会导致像素值发生明显的突变,而中值滤波可以通过取中值的方式平滑图像,保留图像的细节信息与边缘信息,同时去除噪声的影响。

2.2 边缘处理

对铁轨的提取采用 Sobel 边缘检测算子来实现,它通过计算像素点周围像素灰度值的差异,来识别图像

中的边缘。Sobel 算子包含两组 3×3 的矩阵，模板中心位置的像素点被认为是边缘点，其它像素点根据其位置和模板中对应的系数被赋予不同的权重。根据模板中的权重和像素点的灰度值，可以计算出该像素点的梯度值，从而判断该点是否为边缘点。实际使用中，水平方向的模板计算水平方向上的梯度值，垂直方向的模板计算垂直方向上的梯度值。将两个方向上的梯度值进行组合，可以得到更准确的边缘检测结果。图 1 为图像预处理结果。

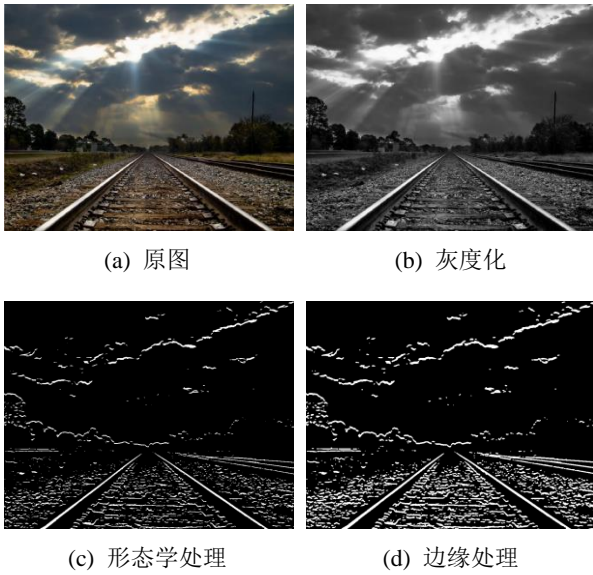


图 1 图像预处理结果

3 铁轨识别

在进行铁轨异物入侵检测时，首先需要确定铁轨的位置，作为界限，才能进一步定位入侵的位置，从而判断异物是否会对行驶中的列车造成安全上的危害或影响。因此，铁轨识别是进行铁路异物入侵检测的第一步工作。通过识别铁轨所在位置，划分出检测区域，然后对入侵的异物进行检测，本文运用 Otsu 方法和霍夫变换对铁轨线条进行了清晰的标注，为下一步铁轨异物入侵检测做前置条件。

3.1 阈值分割

Otsu 算法[11]是用于自适应地确定图像的二值化阈值。在 Otsu 算法中，首先需要计算图像的直方图，并计算每个像素的灰度值出现概率。然后，通过遍历灰度级别，计算每个灰度级别处的类间方差（即前景和背景的灰度差异），并将其存储在一个数组中。接着，

选择使得类间方差最大的灰度级别作为二值化阈值。则有：

$$\begin{cases} \omega_0 = N_0 / (M \times N) \\ \omega_1 = N_1 / (M \times N) \\ N_0 + N_1 = M \times N \\ \omega_0 + \omega_1 = 1 \\ \mu = \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1 \\ g = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 \\ g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \end{cases} \quad (2)$$

其中， ω_0 为前景像素点数占整幅图像比例， μ_0 为其平均灰度； ω_1 为背景像素点数占整幅图像比例， μ_1 为其平均灰度；整幅图像的平均灰度记为 μ ，类间方差记为 g 。假设图像大小为 $M \times N$ ，图像中像素的灰度值小于阈值 T 的像素个数为 N_0 ，像素灰度大于阈值 T 的像素个数为 N_1 。

3.2 Hough 变换

在针对直线的检测中，Hough 变换法[8, 12]是最为广泛运用的检测方法之一，Hough 变换的思想是把图像中的每一个点转换到参数空间中，并在参数空间中搜索形状，从而实现形状检测。

(1) (x, y) 空间到 (a, b) 空间的变换

通过统计符合阈值条件的点的个数就可以统计出图像空间的直线条数。原理图如图 2 所示，即使用参数平面方程 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 来表示空间直线方程 $y = ax + b$ 。

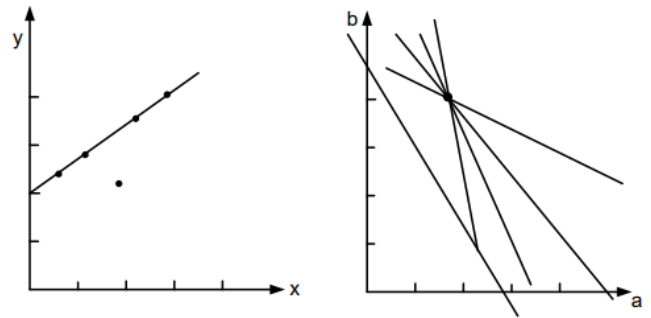


图 2 (x, y) 空间到 (a, b) 空间的变换

首先，已知一条直线在直角坐标系下可以用 $y = ax + b$ 表示，霍夫变换的主要思想是将图像中的每个点通过某种参数化方式映射到参数空间中。在变量空间中的一个点 $(x_i, ax_i + b)$ 在参数空间中能够表示成

一条直线 $b = y_1 - ax_1$, (x, y) 中的“点共线”问题就转换为了参数空间 (a, b) 中的“线相交”问题, 且有几个点共线就有几条线相交。

(2) (x, y) 空间到 (ρ, θ) 空间的变换

直线 $y = ax + b$ 用极坐标表示 (如图 3 所示) 为 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$, 其中, ρ 表示直径, θ 表示极角。

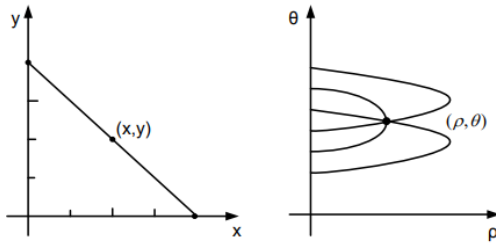


图 3 (x, y) 空间到 (ρ, θ) 空间的变换

对于竖直方向的直线, $\theta = 0^\circ$, ρ 为正的 x 轴的截距; 对于水平直线, $\theta = 90^\circ$, ρ 为正的 y 轴的截距; 或 $\theta = -90^\circ$, ρ 为负的 y 轴的截距。

由此, (ρ, θ) 空间中, 某点处相交的正弦曲线的数量等于相应的 (x, y) 空间中共线的点的数量。

根据 Ostu 算法和 Hough 变换, 可以得到铁轨的线条和区域识别如图 4 所示。



(a) 铁轨线条识别



(b) 铁轨区域识别

图 4 铁轨线条与区域识别

4 OpenCV 目标检测与跟踪

OpenCV 是一个基于 C/C++ 的开源计算机视觉库, 为用户提供了大量的计算机视觉处理算法和图像处理函数库。

4.1 运动目标检测

运动检测中常用的方法是背景减除法[13], 该方法是利用当前图像与背景模型进行比较, 减去背景信息来得到前景目标的一种技术。背景减除法常见于运动分割中, 利用背景减除能较好的识别和提取前景运动目标。背景减除的基本操作流程是: 首先定义一个背景图像, 在目标检测过程中视频图像的每一帧和背景图像做差分处理得到差分图像。得到的差分图像经过二值化阈值处理和形态学处理后可以得到运动目标的二值化图像。背景差分法运动检测的实现原理框图如图 5 所示。

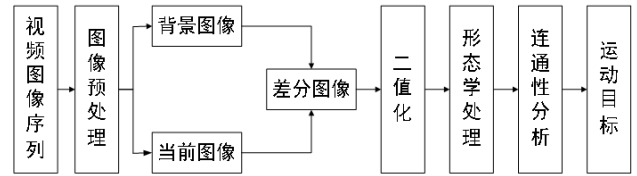


图 5 背景减除运动检测的流程

设 $F_i(x, y)$ 、 $B_i(x, y)$ 、 $D_i(x, y)$ 、 $R_i(x, y)$ 分别为目标检测中输入的当前帧图像、设定的背景图像、差分运算后的灰度图像和进行二值化和形态学滤波处理后的二值化图像, 其中 (x, y) 是像素点的位置坐标, 则用背景差分法处理后的图像。 $D_i(x, y)$ 和 $R_i(x, y)$ 可分别用式(3)和式(4)表示。

$$D_i(x, y) = F_i(x, y) - B_i(x, y) \quad (3)$$

$$R_i(x, y) = \begin{cases} 1 & |F_i(x, y) - B_i(x, y)| > T \\ 0 & |F_i(x, y) - B_i(x, y)| \leq T \end{cases} \quad (4)$$

其中, T 为图像二值化的阈值, 将差分图像的灰度值大于 T 的部分设为 1, 即为明亮的前景目标区域, 反之则为背景。

4.2 运动目标跟踪

Camshift 算法[14-17]是一种基于颜色直方图的目标跟踪算法, 该算法通过计算目标区域的颜色直方图

并不断调整直方图的均值和方差，来实现对目标的自适应跟踪。在跟踪过程中，算法不断更新目标区域的位置和大小，以适应目标运动的变化。Camshift 算法的实现过程如图 6 所示。在图 6 中，虚线方框部分是 Mean-Shift 算法，它主要用于获取视频图像中运动目标的位置信息。Camshift 算法将 Mean-shift 算法扩展到连续图像序列，对每一帧都自适应地实现对运动目标的跟踪。通过 Camshift 算法，对视频中动态目标跟踪的仿真结果如图 7 所示。

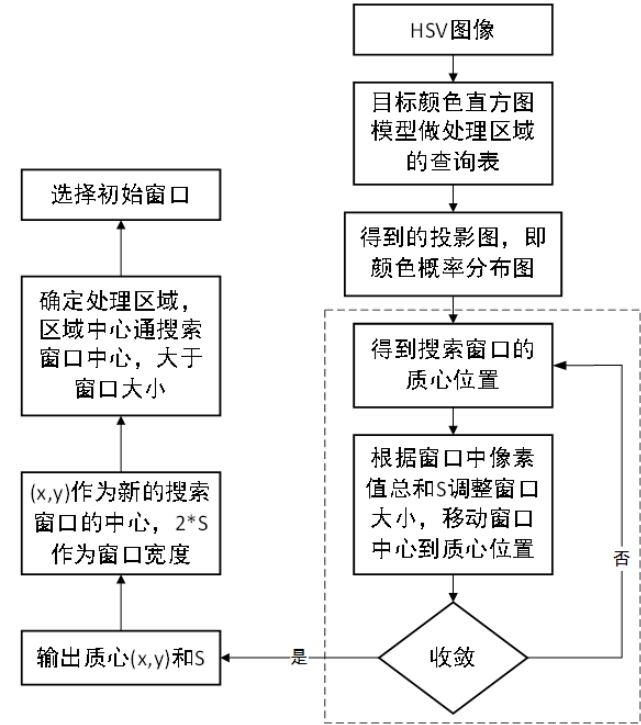


图 6 Camshift 算法的实现过程

5 实验结果

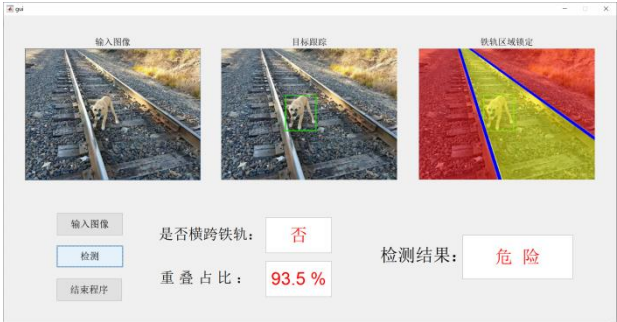
本实验 GUI 视图如图 8 所示。通过判断被跟踪目标区域是否与两条铁轨同时相交，判断物体是否横跨铁轨。并计算出被跟踪目标区域和铁轨区域的重叠比例，判断物体是否对行车造成影响。实验表明，当被跟踪目标区域和铁轨区域的重叠比例等于 0，且没有横跨铁轨时，检测结果为“警告”；当被跟踪目标区域和铁轨区域的重叠比例大于 0，且没有横跨铁轨时，检测结果为“危险”；当被跟踪目标区域和铁轨区域的重叠比例大于 0，且横跨铁轨时，检测结果为“危险（横跨）”。



图 7 目标图像跟踪



(a) 人物 A



(b) 小狗



(c) 汽车



(d) 人物 B

图 8 GUI 仿真视图

6 总结

本文针对铁路领域的异物入侵检测问题，提出了一种基于图像处理的检测方法。实验结果表明，计算机输出的仿真结果与实际观测到的结果一致，表明本方法在一定条件下能够实现铁轨异物入侵检测。

参考文献

- [1] 胡行涛, 刘大明, 虞发桐. 基于 FCN 不确定性特征的铁路入侵异物检测算法 [J]. 计算机应用与软件, 2023, 40(04): 141-146.
- [2] 孟彩霞, 王兆楠, 石磊等. 改进 YOLOv5s 的铁路异物入侵检测算法 [J/OL]. 小型微型计算机系统: 1-10 (2023-12-06).
- [3] 管岭, 贾利民, 谢征宇. 融合注意力机制的轨道入侵异物检测轻量级模型研究 [J]. 铁道学报, 2023, 45(05): 72-81.
- [4] 王文杰. 铁路周界异物侵入的机器视觉智能检测技术 [D]. 四川: 西南交通大学, 2022.
- [5] 赵文钰. 高速铁路周界入侵多尺度目标检测算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2023.
- [6] Zheng S Y, Jin W Y, Dong Y. Rail Detection Based on LSD and the Least Square Curve Fitting [J]. International Journal of Automation and Computing, 2020, 18(1).
- [7] 董昱, 郭碧. 基于 Hu 不变矩特征的铁路轨道识别检测算法 [J]. 铁道学报, 2018, 40(10): 64-70.
- [8] 张丽艳, 韩熠, 赵艺璇等. 霍夫变换和 Faster-RCNN 铁轨上行人检测方法 [J]. 大连交通大学学报, 2020, 41(02): 100-103.

- [9] 王文豪, 高利. 一种基于 OpenCV 的车道线检测方法 [J]. 激光杂志, 2019, 40(01): 44-47.
- [10] 侯涛, 宝才文, 陈燕楠. 基于自适应高斯混合模型的铁轨异物入侵检测研究 [J]. 光电子·激光, 2022, 33(04): 403-413.
- [11] 牛晗, 伍希志, 任桂芹等. 基于 OTSU 与 CANNY 算法的竹片缺陷图像检测 [J]. 森林工程, 2022, 38(06): 75-81.
- [12] 刘萌雅, 张丽艳, 费继友. 基于视觉的道路信息识别技术研究 [J]. 大连交通大学学报, 2016, 37(03): 103-106+111.
- [13] 廖道, 张弛, 应国德等. 基于背景差分法的电网巡检运动目标检测技术 [J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(01): 78-83.
- [14] 李文举, 王子杰, 崔柳. 基于 SIFT 和感知哈希改进的 CamShift 跟踪算法 [J]. 电子测量技术, 2023, 46(04): 184-192.
- [15] 敖邦乾, 杨莎, 刘小雍等. 基于改进 CamShift 的目标跟踪系统算法 [J]. 探测与控制学报, 2021, 43(06): 92-100.
- [16] 邱晓欢, 郑尚坡, 刘俊峰等. 基于改进 Kalman 滤波与 Camshift 结合的嵌入式跟踪系统设计 [J]. 计算机时代, 2023(11): 41-45+51.
- [17] 凌晨昱, 李文其, 余雷. 基于彩色图像与深度图像信息融合的改进 Camshift 算法研究 [J]. 电工技术, 2021(18): 33-35.

作者简介

郝海阳

2000 年生, 硕士生. 研究方向为图像信号处理.

E-mail: 15941990641@163.com

张丽艳

1974 年生, 副教授, 博士. 研究方向为无线通信、信号与信息处理、嵌入式系统开发.

E-mail: zhangliyan@126.com

郎振刚

1999 年生, 硕士生. 研究方向为图像信号处理.

E-mail: 512020111@qq.com

许慧钢

1996 年生, 硕士生. 研究方向为无线通信信号处理.

E-mail: 921635926@qq.com