

基于双目定位和同步触发的城市轨道交通 工务综合检测车

李 军¹ 樊晓东² 薛丁维² 周 航³ 高 涛³ 陈昌邦³ 张宜霞³

(1. 南宁轨道交通运营公司, 530029, 南宁; 2. 宽衍(北京)科技发展有限公司, 100089, 北京;

3. 广西轨交智维科技有限公司, 530025, 南宁)

摘 要 [目的] 目前城市轨道交通隧道及轨道的工务巡检大多仍采用传统的人工巡检方式,亟需有效提升巡检效率及准确率。[方法] 提出了一种基于双目定位和同步触发技术的城市轨道交通工务综合检测车(以下简称“综合检测车”),阐述了该综合检测车的系统架构,并介绍了同步定位模块、供电模块及人机交互模块的功能,以及工务病害故障检测所采用的识别算法。介绍了该综合检测车的定位计算和同步控制技术,并对其在城市轨道交通工程中的实际应用效果进行了分析,对其技术优势进行了总结。[结果及结论] 该综合检测车可在 2 h 内完成城市轨道交通线路隧道及轨道的巡检工作,实现对多类病害故障的智能综合检测。与人工检测相比,其准确率提升了 60%,巡检成本降低了 30%。

关键词 城市轨道交通; 工务巡检; 综合检测车; 双目定位技术; 同步触发技术

中图分类号 U216.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.04.047

Urban Rail Transit Engineering Comprehensive Inspection Vehicle Based on Binocular Vision Positioning and Synchronous Triggering

LI Jun¹, FAN Xiaodong², XUE Dingwei², ZHOU Hang³, GAO Tao³, CHEN Changbang³, ZHANG Yixia³

(1. Operation Branch of Nanning Rail Transit Group Co., Ltd., 530029, Nanning, China; 2. Kuan Yan (Beijing) Technology Development Co., Ltd., 100089, Beijing, China; 3. Guangxi Rail Transit Intelligent Operation & Maintenance Technology Co., Ltd., 530025, Nanning, China)

Abstract [Objective] Most urban rail transit tunnel and track work inspection still adopt conventional manual inspection method, which calls for effective improvement on inspection efficiency and accuracy. [Method] A comprehensive inspection vehicle for urban rail transit track work (abbreviated as

CIV) based on binocular positioning and synchronous triggering technology is proposed. The CIV system architecture is expounded, as well as the functionality of synchronous positioning module, power supply module and human-machine interaction module, and the recognition algorithm used in track work defect and fault detection. The CIV positioning calculation and synchronous control technology are introduced, the practical application effect in urban rail transit engineering is analyzed, and the technical advantages are summarized. [Result & Conclusion] The CIV can complete the inspection work of urban rail transit line tunnel and track within 2 hours, and carry out intelligent comprehensive detection of many kinds of defects and faults. Compared with manual inspection, the CIV accuracy rate is increased by 60%, and the inspection cost is reduced by 30%.

Key words urban rail transit; track work inspection; comprehensive inspection vehicle; binocular positioning technology; synchronous triggering technology

城市轨道交通隧道及线路需定期开展工务巡检,以确保处于安全运营状态。工务巡检时,需要对钢轨状态(如裂缝)或隧道状态(如衬砌裂缝、渗水、掉块等病害)等进行识别,对故障点进行定位,采取具体的维护措施,并形成相关记录文档。传统的工务巡检主要依靠人工目视和手持简易器具的方式进行,巡检人员劳动量大、耗时长、巡检效率低。此外,基于人类的视觉特点,一些小尺度病害故障难以通过人工目视监测出来。因此,采用智能化的技术手段,对城市轨道交通隧道及线路病害故障进行高效、准确的检测,是势在必行的^[1]。

近年来,使用智能检测设备辅助人工巡检,已逐渐成为城市轨道交通和隧道工程中工务运维工作的新方式。但目前的智能检测设备存在两大局限性:

1) 探测手段功能单一,集成度低,难以对多类

病害故障同时展开智能检测。

2) 缺乏有效的病害定位及同步计算手段,难以对多种类型探测设备进行同步控制,也无法精确计算当前的线路里程信息,病害定位的误差大。

为克服上述人工巡检及智能检测方式的不足,本文提出了一种基于双目定位和同步触发技术的城市轨道交通工务综合检测车(以下简称“综合检测车”)。该检测车集成了多种探测手段,可基于时间和距离两部分信息对多个采集设备进行同步控制,并使用双目视觉技术计算当前的线路里程信息,进而实现对城市轨道交通工务运维涉及的多类病害故障的智能化综合检测。

1 综合检测车总体架构

使用该综合检测车对隧道和线路的数据进行采集,进而识别出各类病害,或定位需要维修更换的部件。该综合检测车的系统架构如图 1 所示,由主控单元、检测模块、辅助设备 3 个部分构成。其中,辅助设备包括图 1 中的同步定位模块、供电模块及人机交互模块。

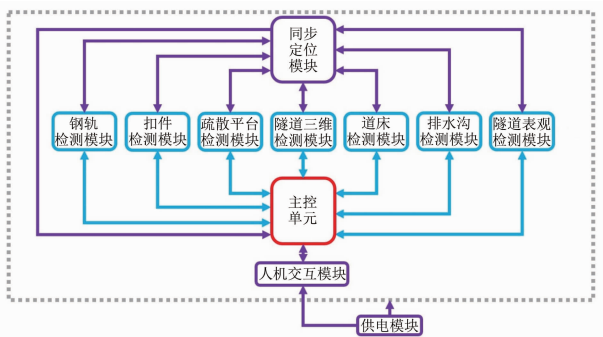


图 1 城市轨道交通工务综合检测车的系统架构

Fig. 1 System architecture of urban rail transit track work comprehensive inspection vehicle

1.1 主控单元

主控单元负责控制各模块的工作状态,并对数据进行存储。主控单元包括工控机、数据采集设备及存储设备。

1) 工控机采用 PCIE(高速串行计算机扩展总线标准)接口与数据采集设备连接,便于检测模块的装配、维护及升级。

2) 数据采集设备使用多种采集卡,实现各检测模块与工控机间的数据交互。

3) 存储设备为固态硬盘,应满足数据采集时所需的带宽需求,并可实现稳定的数据存储功能。

1.2 检测模块及其设备选型

将具有不同功能的检测设备模块化,分为钢轨、扣件、疏散平台、隧道三维、道床、排水沟和隧道表观 7 个检测模块。这些检测模块用于对轨道或隧道进行全方位的数据采集。

不同检测模块应选用不同的设备:

1) 线阵照相机。线阵照相机可输出连续的图片,适用于钢轨断裂病害和表面剥落病害的检测,也可对隧道衬砌进行拍摄,以识别衬砌的相关病害^[2]。

2) 面阵照相机。面阵照相机单次拍摄范围大,适用于对隧道内排水沟、隧道表观、疏散平台的检测,其检测内容主要包括:①排水沟盖板是否正常安装或断裂;②隧道衬砌是否存在剥落、渗水、裂缝等病害;③识别挂壁设备设施状态,并判断疏散平台是否存在支撑结构断裂、绑扎带断裂、螺帽缺失等病害。

3) 三维照相机与面阵照相机的结合。三维照相机可为面阵照相机的二维图像数据提供额外的高度信息。三维照相机与面阵照相机相结合,可应用于钢轨检测模块和道床检测模块,其检测内容主要包括:①弹条、底座、轨距块等扣件是否存在丢失、断裂等病害;②道床是否有杂物;③道床板是否存在变形等病害。

4) 三维激光扫描设备。三维激光扫描大多使用螺旋扫描激光仪,可实现隧道的限界检测及几何形态检测,用于判断安装在隧道衬砌上的设备/部件是否侵入列车行驶区域,以及对隧道收敛变形进行检测。

1.3 辅助设备

1) 同步定位模块可为各检测模块提供同步触发信号,并计算移动距离。

2) 供电模块可为各检测模块提供所需电力。

3) 人机交互模块可为用户提供友好的图形化操作界面,避免出现重复、繁杂的不必要操作^[3]。

1.4 病害故障识别算法

综合检测车采集得到的图像经过畸变矫正后被融合拼接,可覆盖隧道和线路巡检所涉及的全部区域。基于融合后的图片,可实现病害的识别与定位、各类部件的识别及状态判断,以及检测结果的展示和分析等。

基于传统优化算法和多个深度学习模型,病害故障识别算法可对以下病害故障进行识别:①裂缝类病害,可使用 U-Net 语义分割网络对裂缝进行精

确定位^[4];②剥落、渗水等类型的衬砌层表面病害因不涉及状态判断,可直接使用 YOLO 目标检测算法进行识别与定位;③隧道内其他类型的病害可使用 YOLO 目标检测和 DeepLab 语义分割网络^[5]的组合算法,YOLO 目标检测算法可以快速定位图像中待检测目标的位置,提取该区域的图像后,交由 DeepLab 语义分割网络进行状态判断计算,进而判断检测区域内是否存在某类病害或某部件是否需要维修。

2 综合检测车的定位计算和同步控制技术

同步定位模块包括 2 个子模块:双目视觉定位计算子模块和触发信号子模块。这 2 个子模块结合后,可实现病害故障的定位计算和同步控制。

2.1 双目视觉定位计算子模块

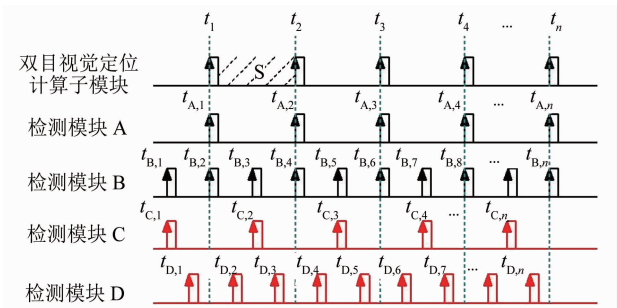
双目视觉定位计算子模块使用 2 部面阵照相机对道床区域进行连续拍摄,依靠像素当量、景深、焦距等参数配置进行双目视觉计算,得到综合检测车的移动距离,进而实现综合检测车精确的定位(其定位精度可达毫米级)。

此外,使用面阵照相机对线路里程标进行图像拍摄,应用图像分析算法后可获得整车的线路里程信息,进而为双目视觉的距离计算提供校准功能。在双目视觉技术失效时,该信息也可用于里程计算的冗余设计。

2.2 触发信号子模块

触发信号子模块可触发综合检测车的各类探测设备、补光设备,其触发设备主要包括使用编码器和滚轮的距离触发设备,以及使用基于 NTP(网络时间协议)网络授时的时间触发设备。其中:距离触发设备可产生高频触发信号,适用于高频工作的设备(如线阵照相机);时间触发设备可输出稳定的非高频触发信号,适用于非高频工作的设备(如面阵照相机)。

各检测模块与双目视觉定位计算子模块进行同步触发,可获得各检测模块当前的线路里程信息。图 2 为多个检测模块设备同步触发示意图。



注: t_i —第 i 个触发时刻; $t_{A,i}$ —检测模块 A 第 i 个触发时刻; $t_{B,i}$ —检测模块 B 第 i 个触发时刻; $t_{C,i}$ —检测模块 C 第 i 个触发时刻; n —自然数列。

图 2 多个检测模块设备同步触发示意图
Fig. 2 Diagram of multiple inspection module device synchronous triggering

1) 触发信号子模块在某一时刻对双目视觉定位计算子模块、检测模块 A、检测模块 B 进行触发,三者处于同步触发状态。检测模块 A 和检测模块 B 能获得准确的线路里程信息。

2) 检测模块 C 和检测模块 D 在双目视觉定位计算子模块触发间隙的 S 区域被触发,这 2 个检测模块未能与双目视觉定位计算子模块同步触发。由此,检测模块 C 和检测模块 D 无法获得准确的线路里程信息。此时工控机需根据已采集数据的时间记录和数据序号,对这 2 个模块的信息进行同步修正。

3 综合检测车的工程应用

3.1 应用效果分析

根据某城市地铁公司提出的工务智能综合巡检需求,本文对综合检测车进行了模块选配,如图 3 所示。该综合检测车集成了隧道三维检测、隧道表面检测、扣件及排水沟检测、道床检测、钢轨检测、疏散平台检测等 6 个检测模块。

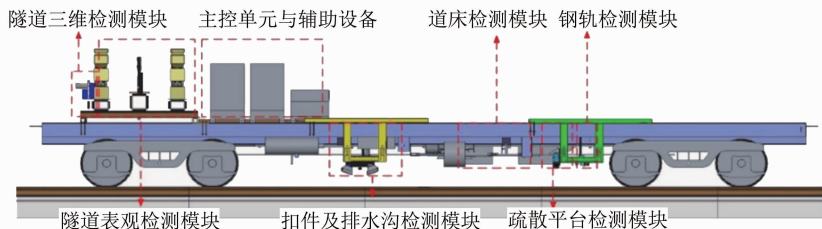


图 3 基于客户需求对综合检测车进行模块选配
Fig. 3 Modul selection and match of comprehensive inspection vehicles based on customer requirements

利用该综合检测车,在总长 32.1 km 的城市轨道交通线路上进行了上、下行轨道及隧道的病害检测,共检测出隧道及轨道病害 1 083 处,其中:裂缝 532 处,渗水 468 处,剥落 83 处。

隧道及轨道病害的等级共分为 5 级(数字越大,病害等级的严重性越大),本次检测出的病害大多为 2 级及以下的小规模病害。以剥落病害为例,其 1 级病害为 68 处,占比为 81.93%。此类小规模病害难以被人工巡检发现,如 1 级剥落病害中检测出 1 处面积仅为 0.018 m^2 (长度为 0.14 m、宽度为 0.13 m)的小规模病害。及时发现并处置这些小规模病害,有助于防止其发展成为重大病害。

在为期 10 个月的 2 次工务巡检中,该综合检测车进一步凸显了技术优势:①可准确定位小于 0.010 m^2 的衬砌剥落病害及最小宽度为 0.20 mm 的衬砌开裂病害等小规模病害;②可检测出已闭环的网状裂缝病害,大大降低了混凝土随时掉块引起的运营风险;③比人工巡检多检测出了约 8 000 条病害故障记录,病害检测的查准率达到了 99% 以上;④与人工检测相比,其准确率提升了 60%,巡检成本降低了 30%。

3.2 其他应用优势分析

除上文所示的技术优势外,该综合检测车还具有以下技术优势:

1) 可在 2 h 内完成单条城市轨道交通线路的数据采集,可在常规的“天窗期”(约 3 h)内完成数据采集工作。

2) 可用于对盾构法、矿山法施工的隧道进行检测。

3) 具有模块化装配的优势,便于设备的拆解、转场、安装和校准。

4) 其模块化设计具有标准化接口,可保证检测功能的拓展性。用户可根据实际需求,对该型检测车的各项功能进行调整。

5) 可为客户提供“产品即服务”的销售模式。为了适应不同客户的检测需求,可加入不同的算法,将实际巡检需求与综合检测车功能紧密结合。

4 结语

本文提出的城市轨道交通工务综合检测车使用

模块化设计,集成了多种类型的数据采集设备,并使用双目定位技术、同步触发技术及先进图像识别算法,确保其具有稳定的里程计算、数据获取及病害故障分析等功能。

使用该综合检测车,可在 2 h 内完成城市轨道交通线路隧道及轨道的巡检工作,对多类病害故障实现智能综合检测。客户可根据实际需求,对该综合检测车的使用功能进行调整,以达到城市轨道交通运营、降本增效、助力智慧城市发展的目的。

参考文献

- [1] 贾文峥,胡雪霏,熊振兴,等.城市轨道交通智能维保发展现状及趋势[J].都市快轨交通,2020,33(2):14.
JIA Wenzheng, HU Xuefei, XIONG Zhenxing, et al. State of the art and trend of intelligent maintenance of urban rail transit facilities and equipment in China[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(2): 14.
- [2] HUANG H, SUN Y, XUE Y, et al. Inspection equipment study for subway tunnel defects by grey-scale image processing[J]. Advanced Engineering Informatics, 2017, 32: 188.
- [3] 段芳敏,胡鹰,宋天田.城市轨道交通建设信息化管理推广应用难点及对策[J].现代城市轨道交通,2021(2):70.
DUAN Fangmin, HU Ying, SONG Tiantian. Difficulties and countermeasures of popularization of information management in urban rail transit construction[J]. Modern Urban Transit, 2021(2): 70.
- [4] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2015: 234.
- [5] CHEN L C, PAPANDREOU G, KOKKINOS I, et al. DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018, 40(4): 834.

· 收稿日期:2022-09-29 修回日期:2022-12-30 出版日期:2024-04-10

Received:2022-09-29 Revised:2022-12-30 Published:2024-04-10

· 通信作者:李军,正高级工程师,83666545@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license