履带式矿车自主感知与导航系统的设计

赵　盈[1],李　涛[2],岳文轩[3],曾　帆[4],冯　骥[5]

(1.山西支点科技有限公司,太原 030000;
2.中国建设银行天津市分行公司,天津 300000;
3.国家电网内蒙古超特高压有限公司,石家庄 050000;
4.河钢数字技术股份有限公司,石家庄 050000;
5.河北广电,石家庄 050000)

摘　要：在复杂的矿井环境中,矿车的自主感知与导航系统是确保其高效、准确和安全运行的关键技术。该系统使矿车能够自主适应矿井的特殊条件,显著提高生产效率,同时降低作业风险。文章提出了一套适用于复杂矿井的履带式矿车自动感知与导航系统,包括矿车的传感模块、边缘计算单元、通信模块和后端数据处理部分。通过“边+云”协同计算策略,实现矿车的实时感知与导航。测试结果表明,所设计的自主感知与导航系统能够满足工矿环境中履带式矿车的自动导航任务需求。

关键词：复杂环境;履带式矿车;自主感知;导航系统;计算策略

中图分类号：TP242　　**文献标识码**：A

Design of autonomous perception and navigation system for tracked mining car

ZHAO Ying[1],LI Tao[2],YUE Wenxuan[3],ZENG Fan[4],FENG Ji[5]

(1.Shanxi Zhidian Technology Co.,Ltd.,Taiyuan 030000,China;
2.Tianjin Branch Company,China Construction Bank,Tianjin 300000,China;
3.State Grid Inner Mongolia Ultra High Voltage Co.,Ltd.,Shijiazhuang 050000,China;
4.Hbis Digital Technology Co.,Ltd.,Shijiazhuang 050000,China;
5.Hebei Radio and TV Station,Shijiazhuang 050000,China)

Abstract: In complex mine environments, the autonomous perception and navigation system of mining cars is a key technology to ensure their efficient, accurate, and safe operation. This system enables mining trucks to autonomously adapt to the special conditions of the mine, significantly improving production efficiency while reducing operational risks. This paper puts forward a set of automatic sensing and navigation system for tracked mine cars, which is suitable for complex mines, including the sensing module, edge computing unit, communication module and back end data processing part. Real time perception and navigation of mining vehicles are achieved through the “edge+cloud” collaborative computing strategy. The test results indicate that the designed autonomous perception and navigation system can meet the automatic navigation task requirements of tracked mining cars in industrial and mining environments.

Key words: complex environment, crawler type mining car, autonomous perception, navigation system,calculation strategy

1　引言

近年来,矿难频发,“十四五”规划中的智慧矿山战略成为提升矿山安全与效率的关键措施,标志着煤矿行业向更高水平的现代化发展转型[1]。煤矿可分为地表矿和地下矿,地表矿的开采相对容易,而地下开采面临深度、温度、压强等挑战。因此,物联网系统和智能矿车成为实现地下矿山智慧化的关键技术。

智慧矿车的设计受矿下环境的影响,面临许多挑战(如矿下的粉尘、数据通信和信号干扰等),严重限制了地表矿车方案在地下的应用[2]。针对这些问题,本文提出了一套适用于履带式矿车的自主感知与导

航系统，该系统方案参考了地表矿车、特定场景下的机器人及自动驾驶系统[3]。

2　履带式矿车自主感知与导航系统

针对矿下环境复杂和干扰性强的特定情况，本文设计的履带式矿车自主感知与导航系统如图1所示，各个部分协同工作以完成工况任务。

图1　履带式矿车自主感知与导航系统

2.1　传感模组

传感模组由多种传感单元（包括经过煤矿安全认证的激光雷达（Lidar）、红外摄像头和车载IMU惯性传感单元）组成。

（1）激光雷达：作为车辆障碍物识别和环境重建的主要传感器之一，激光雷达分别布置在车辆前后。在特征不明显或受粉尘影响的场景中，激光雷达比视觉相机更适合获取环境特征。

（2）红外摄像头：用于矿下行人检测，结合激光雷达的深度估计确定行人的位置，作为车辆的安全机制。

（3）车载IMU惯性传感单元：由于环境的影响，履带式矿车在煤矿巷道中的移动速度较慢，通过IMU与激光雷达融合的方式来完成车辆的里程计。

2.2　边缘计算单元

边缘计算单元的主控由NVIDIA AGX Orin算力平台与控制部分组成，算力单元放置在隔爆箱中。

（1）硬件组成

传感器模组通过安全认证的有线接口与隔爆载体箱连接，经过安全认证的信号源和电源不会引起火花[4]。算力单元具备强大的计算能力，能够满足边缘端的高速运算和机器学习模型的部署要求。

（2）软件设计

NVIDIA AGX Orin单元使用Ubuntu 20.04 Arm版操作系统，驱动部分增加了CAN等工业接口以进行驱动设计和烧录，如图2所示。数据处理与信息交互采用ROS平台，里程计计算和深度学习算法部署在ROS中。

（3）算法设计

边缘算力的算法部分分为感知算法与规划算法。车辆的里程计与3D环境的构建通过改进的Fast-LIO实现，行人检测算法则基于改进的YOLOv5[5]检测网络，负责红外相机的行人检测。

规划算法的逻辑由矿道环境与矿车任务决定。当障碍物为人时，车辆会停止运动。在已知环境的单一路径中，车辆通过避障算法在巷道中直行，并在分岔口根据目标点的坐标和地图信息计算出最优路径。在未知的岔道口，需要人工选择目标岔道。

详细的算法将在系统测试中展示。

图2　算力单元用户界面

2.3　通信模组

车载的数据交互逻辑如图3所示。

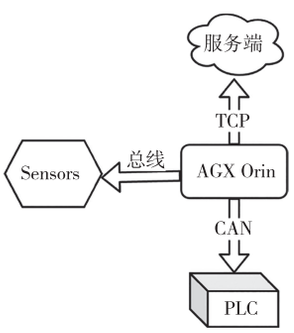

图3　数据交互逻辑

履带式矿车的直行依靠电力驱动，转向则通过液压系统完成。因此，车辆的运动控制器主要由PLC计算单元构成。AGX Orin将速度环和方向数据通过CAN总线与下位机PLC进行通信，实现对车辆的运动控制。同时，车辆的状态信息（如里程计、图像、IMU等数据）通过网口和线缆传输至后台服务端，工矿操作人员可通过登录数据平台查看车辆状态。

2.4　后端操作平台

后端数据平台由可视化与数据分析2部分组成，使用Qt编写，并采用MySQL作为数据存储。后端操作平台的详细功能如图4所示。

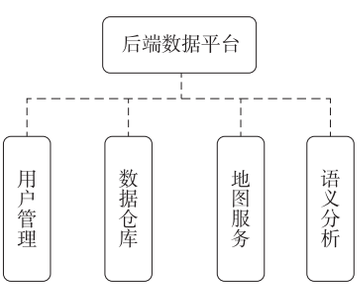

图4　平台功能图

3　系统测试

本文提出的履带式矿车自主感知与导航系统依

托现有的仿真环境和真实环境进行测试，测试内容包括算法测试和车辆运动避障测试2部分。

（1）算法测试

如图5所示，左图展示了改进的Fast-LIO算法在工况环境中的效果，右图则为改进的YOLOv5算法的测试结果。Fast-LIO通过融合激光雷达与IMU数据，实现点云的拼接，从而构建矿道的稠密点云并输出车辆位姿。

图5 算法效果测试

YOLOv5算法经过TensorRT框架的转换与量化，并通过DeepStream框架实现多路相机的检测系统。该系统能够在边缘算力平台中稳定运行。

（2）运动避障测试

车辆在已知和未知环境中的对中行走与避障的轨迹图如图6所示。

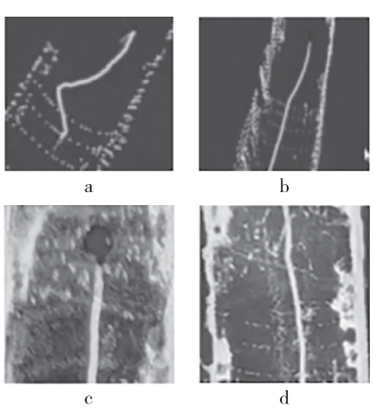

图6 车辆运动轨迹

4 结束语

本文针对复杂的矿井环境提出了一套适用于履带式矿车的自主感知与导航系统。该系统通过传感模组捕捉矿道环境的3D空间元素特征，并将改进后的感知算法部署在边缘端。通过“边+云”协同的计算方式，实现对车辆的控制与规划。测试结果表明，该系统功能完善，实用性强，特别适用于矿下等复杂危险环境，有助于保障安全生产。

参考文献：

[1] 应急管理部，国家矿山安全监察局.“十四五”矿山安全生产规划[J].中国安全生产，2022，17(10)：5.
[2] 汪雷.煤矿探测机器人图像处理及动态物体去除算法研究[D].徐州：中国矿业大学，2020.
[3] 陈成，梅贵周，王炜杰，等.基于Multi-Agent的露天矿山无人运输系统的研究[J].价值工程，2022，41(13)：105-108.
[4] 姚源，王磊，陈杰，等.国内外矿用产品安全认证管理体系对比分析[J].煤炭科学技术，2010，38(4)：65-68.
[5] 张桂杰，郭泽旸，韩睿，等.基于YOLOv5的人车流量监测系统设计与实现[J].吉林师范大学学报(自然科学版)，2021，42(4)：118-126.

作者简介：

赵盈(1993—)，本科，工程师，研究方向：嵌入式系统。
李涛(1987—)，硕士，工程师，研究方向：大数据与人工智能。
岳文轩(1992—)，本科，工程师，研究方向：电力系统与智能化。
曾帆(1982—)，本科，工程师，研究方向：工业信息化与人工智能。
冯骥(1993—)，硕士，工程师，研究方向：人工智能。

(上接第105页)

参考文献：

[1] 张泾杰，韩豫，姚佳玥，等.建筑工人安全装备自动检查系统设计及实现[J].施工技术，2017，46(24)：83-86.
[2] 王一帆，张文译，周海滨，等.图像识别技术的应用与发展[J].信息与电脑(理论版)，2021，33(23)：170-172.
[3] 卢宏涛，张秦川.深度卷积神经网络在计算机视觉中的应用研究综述[J].数据采集与处理，2016，31(1)：1-17.
[4] 张俊.基于AlexNet融合特征的图像检索研究[D].重庆：重庆邮电大学，2017.
[5] 郭玥秀，杨伟，刘琦，等.残差网络研究综述[J].计算机应用研究，2020，37(5)：1292-1297.
[6] 李欣欣.基于改进YOLO的轻量化个人防护装备联合检测方法研究[D].西安：西安科技大学，2024.
[7] 裴子瑀.基于深度学习的医护人员防护装备穿戴规范检测模型研究[D].兰州：西北师范大学，2024.
[8] 罗欣宇.基于深度学习的工地安全防护检测系统[D].杭州：杭州电子科技大学，2021.
[9] 邵延华，张铎，楚红雨，等.基于深度学习的YOLO目标检测综述[J].电子与信息学报，2022，44(10)：3697-3708.

作者简介：

周亚峰(1989—)，硕士，讲师，研究方向：人工智能、计算机视觉。
汪中亨(1982—)，本科，高级工程师，研究方向：工业安全。