

智能推土机辅助驾驶系统设计研究

杨国云

(华润水泥(南宁)有限公司 广西 南宁 530029)

摘要: 露天矿工程机械智能化改造是智慧化矿山发展的必经之路,其能有效改善传统人为操作工程机械带来的危险性高、人工成本昂贵和工作效率低等问题。本文针对我国露天矿用推土机在排土场的作业现状和智能化需求,以实现功能可配置、硬件可选装的多模式和高安全保障系统为总体设计目标,设计了推土机智能成套件和推土机人机交互智能终端,提出了一种面向露天矿用的智能推土机辅助驾驶系统总体架构,并设计了辅助作业系统、环境建模系统、安全预警系统、生命周期管理系统和平整作业管理平台的完整方案,以助力露天矿工程机械的智能化转型升级。

关键词: 智慧矿山; 智能化工程机械; 推土机辅助驾驶系统

0 引言

当前,传统露天矿山以创新驱动发展为主题,由传统型、经验型向自动化、系统化、多元化及智慧化方向发展,在实践过程中取得了突破性进展,积累了许多技术和工程经验。露天矿山智能化改造是一个系统工程,需要将矿山现有的设计、生产、经营和管理等各系统整合统一,实现整个矿山系统的信息集成与共享。其中,工程机械的智能化改造是智慧矿山的核心技术支撑,建立智能化的工程机械设备是智能制造的战略方向,是智慧化矿山发展的必经之路。

本文面向推土机在进行推土和平整作业的工作场景,充分调研推土机在此场景下的作业任务,如平整作业、修建排土场挡墙、清理卸载、装载车位的堆料等,同时考虑露天矿无人驾驶整体解决方案需求,以少人则安、机械化换人、自动化减人、减员降本、提质增效为目标,设计了一套集端、网、云为一体的智能推土机辅助驾驶系统。

1 智能推土机系统设计目标

本文所研究推土机在排土场的工作场景具有作业路径单一往复、路面凹凸不平、靠近卸载矿坑等特点,以上路况挑战和司机非规范驾驶行为进一步增加了工作的安全风险。此外,推土机作为露天矿无人驾驶整体解决方案的重要组成部分,是一种优选的露天矿环境数据外业采集端及环境建模端,可采集地图数据,进行作业环境模型的构建与更新。

本文以实现功能可配置、硬件可选装的多模式和高安全保障的智能推土机辅助驾驶系统为总体目标,设计智能推土机辅助驾驶系统的硬件、软件系统,具体包括:

(1) 搭载轻量级、工业级的推土机智能成套件硬件平台;(2) 建立智能推土机辅助作业系统,实现推土机走行安全预警、运行状态监测及预警、辅助导航等功能;(3) 面向矿区无人驾驶整体解决方案,设计基于推土机平台的环境建模系统,实现环境数据的采集、三维建模与更新;(4) 设计推土机人机交互智能终端,为驾驶员提供交互、管理、控制的智能控制平台;(5) 研发生命周期管理系统,实现推土机车载系统的版本迭代、系统升级、系统维护、数据上传、远程更新及与后台系统的交互;(6) 构建推土机安全预警系统,为智能推土机平台提供稳定、可靠的安全保障;(7) 研发云端平整作业管理平台,为推土机辅助驾驶系统提供的监管、控制与决策支持。

2 智能推土机系统架构

基于推土机系统的硬件平台,本文以“可复用、可裁剪、可配置的多元功能模块”为软件系统的总体设计要求,提出一种推土机辅助驾驶系统架构,如图1所示,整个系统分为推土机端与云端,两者通过5G无线通信互联。推土机端硬件主要包括推土机智能成套件与安装于驾驶舱的推土机人机交互智能终端。功能模块包括辅助作业系统、环境建模系统、安全预警系统及生命周期管理系统。云端包括平整作业管理平台。推土机在端、网、云一体的辅助驾驶系统的保障下进行作业。

2.1 推土机智能成套件设计

推土机智能成套件安装于推土机驾驶舱顶部,搭载感知设备(激光雷达、视觉相机、毫米波雷达、超声波雷达)、定位设备(组合惯导、UWB定位模块)、网络设备及车载计算平台。除此之外,系统搭载两套互为冗余的供电设备:车端供电的电源模块和太阳能供电系统,两套供电设备一起保障系统稳定运行。此外,由安

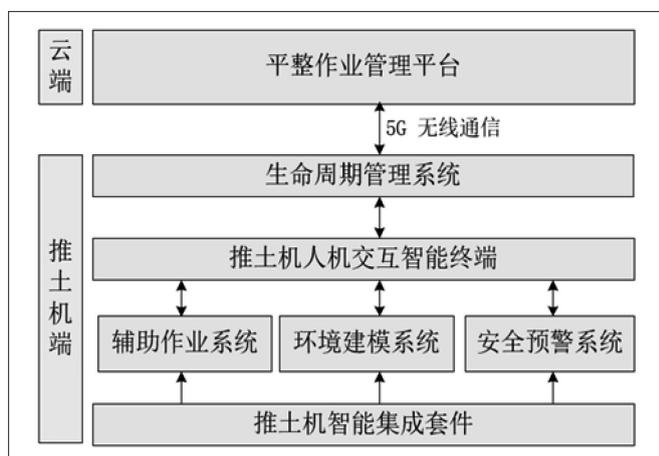


图1 智能推土机辅助驾驶系统架构

全指示灯、驾驶舱总控开关、声音警报设备一起构建的安全预警系统为系统提供安全保障,如图2所示,将推土机智能集成套件打造成为一体化、轻量级、易拆卸、可复用的工业级硬件平台^[1]。



图2 智能推土机硬件系统

2.2 辅助作业系统研究与设计

推土机常作业于卸载、装载、修路等场景,驾驶路径循环往复、作业环境恶劣危险,且枯燥的工作方式很容易使驾驶员产生倦怠,而疲劳驾驶会进一步增加在高危工作环境中的安全风险。此外,由于缺乏全局视角,可能会出现感知盲区、推土路径不合理及推土作业区域重叠、遗漏的情况,风险大、油耗高、效率低。为解决上述问题,本文研究设计了推土机辅助作业系统,从推土机作业需求出发,一方面,基于多源传感器,提供全天候、全方位实时的环境增强感知结果,为推土机决策、控制提供准确、鲁棒、稳定环境及交通参与者信息;另一方面,结合推土机作业的业务需求,设计研发适用于推土机作业性能的作业辅助功能,如辅助推土机进行平整推土作业、防止车身侧翻的车身稳定预警、卸载深坑的电子围栏及作业路径建议导航等,提供适用于推土机平台驾驶辅助,协助推土机安全、高效作业^[2]。

辅助作业系统功能架构如图3所示。辅助作业系统除了包括作业辅助、增强感知两大功能模块,也同时具备接入平整作业管理平台的功能。驾驶员通过搭载在车载人机交互智能终端上的生命周期管理系统使用作业辅助、增强感知的各项功能,并且通过5G无线通信接入平整作业管理平台,实现端、网、云一体化作业。

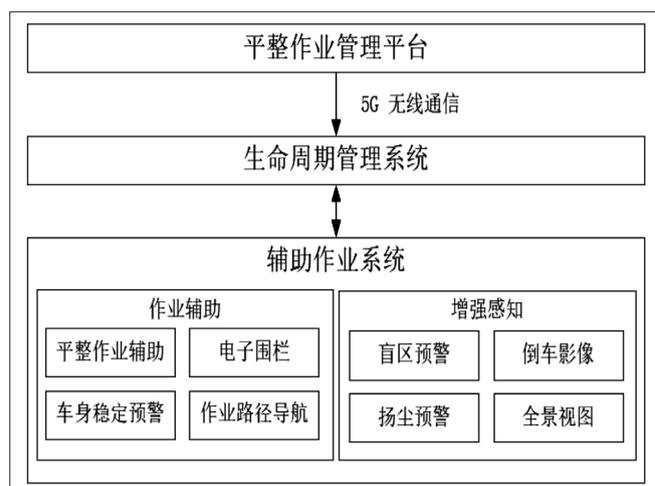


图3 辅助作业系统功能架构

作业辅助功能模块主要包括平整作业辅助模块、车身稳定预警模块、电子围栏模块、作业路径导航模块等。平整作业辅助模块通过感知设备和定位设备对地面进行三维建模,将作业路面的凹凸程度、作业覆盖范围显示在车载中控屏上,使驾驶员可以直观地监控作业进度,确定施工难点,控制平整作业完成程度,从而实现均匀一致的平整作业。车身稳定预警模块实时监测推土机的位姿,在车辆接近不安全角度时,通过人机交互系统显示屏及语音系统发出警告,防止举升操作,避免推土机倾翻,从而更加高效地作业。电子围栏模块通过获取云端平整作业管理平台下发的作业区域全局地理信息,实时获取作业区域边界,显示于中控屏上,为驾驶员提供安全边界预警。作业路径导航模块基于所构建的作业区域可行使区域地图,结合电子围栏及增强感知的结果,为推土机提供实时的路径导航辅助。

增强感知功能模块包括盲区预警、多源异构传感器融合感知、倒车影像、全景视图、扬尘预警等功能。盲区预警模块利用定位模块和视觉相机,进行推土机周围360°的障碍物距离与语义检测,获取障碍物的距离与类别信息,通过人机交互智能终端向驾驶员发出提示。激光雷达与视觉相机为推土机提供车身周围双冗余的360°影像覆盖,为驾驶员提供全景视图。倒车影像模块则通过带有距离标志线的图像信息,为驾驶员提供图像、声音一体的倒车辅助和距离预警。扬尘预警模块向驾驶员提供清晰的视野,其针对矿区的环境特点,通过

图像或者激光雷达感知到的扬尘信息，为激光雷达和相机检测提供置信度分析，以及向驾驶员提供预警，最大程度避免扬沙天气对作业和行驶的影响。

2.3 环境建模系统研究与设计

基于矿区推土机的作业环境，通过采集作业环境数据，开发作业环境三维建模。综合性环境模型通常包含5个信息集群的数据，即交通参与者、静态环境、交通控制信息、可靠的车道信息和车辆当前的位置。这就需要多源异构传感器的感知数据支撑，每个传感器都采用特有的方式分别识别和解读环境。

环境建模系统是通过激光雷达、视觉相机、毫米波雷达、超声波雷达等采集环境数据，利用同时定位与建图技术(SLAM)、语义分割技术，对环境实时感知、建模，构建动态三维语义地图模型。环境建模系统不仅可以对静态环境建模、获取车道信息及车辆的位姿，还可以感知动态交通参与者信息，以及通过接入平整作业管理平台获取交通控制信息，提高驾驶员视野敏锐度，提供稳定的全景驾驶视野。此外，环境建模系统将所建模的关键场景与推土机三维车辆模型结合，对真实的物理环境进行数字化建模，实现增强现实，协助推土机辅助驾驶系统的智能交互和决策控制，优化作业生产流程。智能推土机环境建模系统功能结构如图4所示^[3]。

基于多源异构传感器进行环境数据采集，针对推土机的作业特性，设计基于GPS定位的自动触发采集，当推土机位置发生改变时触发采集流程。采集到的数据通过数据转换模块和安全性检测模块解析为易于传输且符合规范的格式。环境建模系统基于采集的数据通过SLAM技术、语义分割技术进行静态环境的三维建模，构建细致到车道信息的三维语义地图。并将所构建的推土机三维车辆模型与实时位姿，映射到环境模型中共同构建真实物理场景的数字化模型，增强现实，为推土机驾驶员提供逼真、可预测的决策支持^[4]。

2.4 平整作业平台系统研究与设计

平整作业管理平台是推土机辅助驾驶系统的控制中心和决策中心。该系统包括平整作业调度、平整作业状态监控、平整作业安全监控、平整作业评定等，实现平整作业全局调度与监控，促进推土机高效作业。功能架构如图4所示。

平整作业状态监控实时监测所构建的环境模型与推土机作业进度、停车位的占用信息，协助实现对推土机的平整作业调度导航。平整作业安全监控系统通过监控环境的模型，对于危险区域进行标注，同时下发车端，实现危险区域的预警。平整作业评定对于给定区域的路面，例如区域边界、路沿、挡墙、停车位及其他感兴趣区域，依据矿场施工标准，监测并且评定平整作业是否达标，实现路面平整作业评定功能。

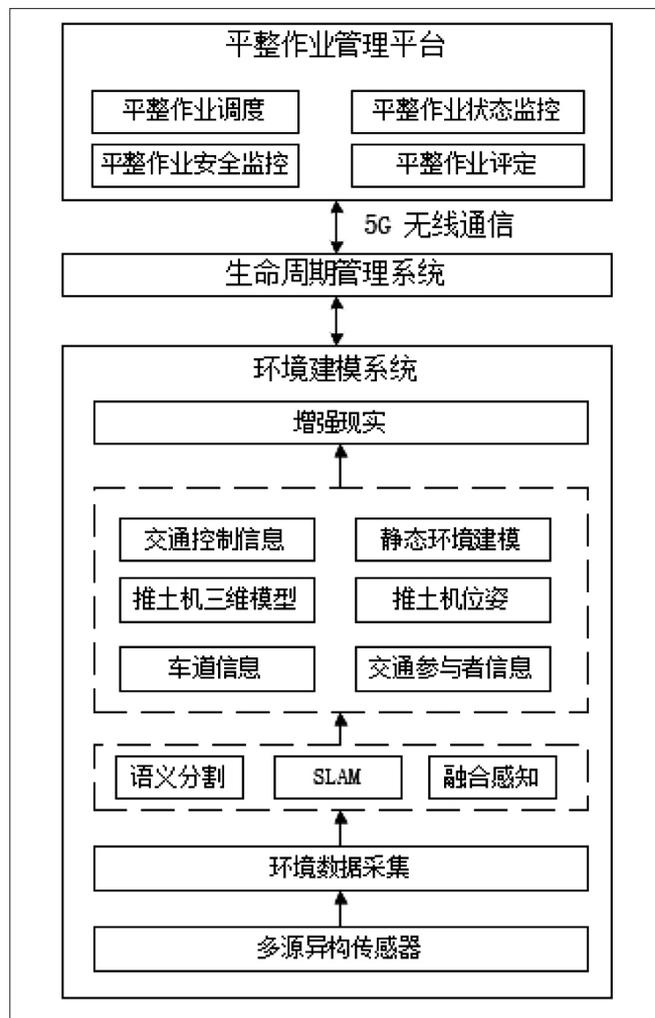


图4 地形数据采集与管理系统的功能结构

2.5 安全预警系统研究与设计

安全预警系统的设计贯穿整个推土机的系统，一方面保障推土机驾驶员及车辆本身的安全，另一方面也为处于推土机周围的交通参与者提供安全警示。

基于高精度地图获取作业区域的电子围栏，可向驾驶员提供实时稳定的边界预警，使车辆在安全的区域内工作。障碍物检测功能融合多源异构传感器进行感知，如激光雷达、视觉相机、毫米波雷达、超声波雷达，多种传感器取长补短、互为冗余，为推土机提供全方位高精度的障碍物距离、语义、姿态、大小等信息。驾驶舱控制开关位于驾驶位旁边，如图5所示，用于控制所安装的整套推土机智能集成套件的通、断电，作为车载供电控制系统的冗余控制方式，保障供电安全。声音与灯光警告会在系统启动、作业任务派单、障碍物预警场景下为驾驶员及周围的行人车辆提供声音与灯光警示，连同车载人机交互系统的界面提示、高可见度指示灯为驾驶员及周围的交通参与者提供声、光、界面的多维方式预警。虽然推土机辅助驾驶系统在安全预警系统的保障

(下转第8页)

信号灯的亮/灭来控制小车的运输轨迹,这也是小车的主要创新所在。结合实际应用市场,可知诸如此类的智能小车以及机器人被广泛用于高要求、高质量的运输车间,因此该设计在将智能技术融入产品运输方面也有一定的推动作用^[7]。

基金项目: 武汉商学院大学生创新创业训练项目:智能循迹物流小车,项目编号:201811654032。

参考文献:

[1] 李坤阳,张惠岭.智能船舶岸电远程控制系统的研究[J].船电技术,2022,42(03):57-60.

[2] 毛祖光,杨洁.自循迹智能小车控制系统的设计与实现[J].科技风,2022(14):7-9+69.

[3] 杨宇.基于单片机的2种PWM控制算法探析[J].有色金属设计,2021,48(03):71-73.

[4] 廖广益.基于STC单片机直流电机PWM调速[J].商业故事,2018(23):98.

[5] 黄凯龙.基于飞思卡尔单片机的智能车及其调试系统设计[D].长沙:湖南大学,2014.

[6] 黄志明.从物流机器人系统看智能仓库升级发展[J].物流技术与应用,2022,27(05):147-149.

[7] 李敬新.AGV小车在智能制造标准化中的应用[J].品牌与标准化,2022(04):13-14+17.

(上接第4页)

下可以在常规场景和工况中运行,但仍存在少部分长尾问题亟待解决。平整作业管理平台为推土机提供了另一层冗余安全保障,当监控到作业区域存在难以感知及预料的安全风险,及时提醒推土机驾驶员及周围的交通参与者,保障现场安全作业^[5]。

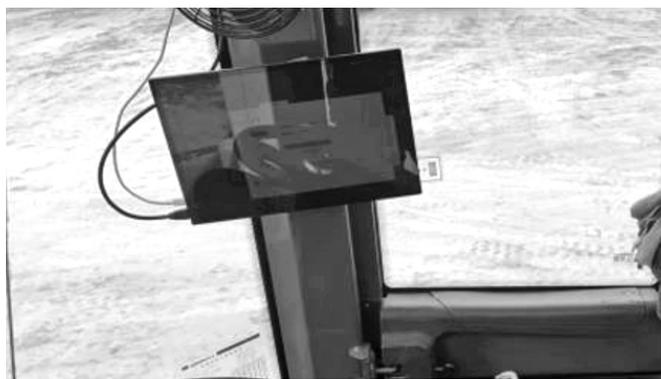


图5 智能推土机驾驶室

3 结语

针对我国露天矿用推土机在矿区的作业任务、工作场景和智能化需求,本文设计了推土机智能集成套件和推土机人机交互智能终端,提出了一种面向露天矿用的集端、网、云为一体的智能推土机辅助驾驶系统总体架构,并设

计了辅助作业系统、环境建模系统、安全预警系统、生命周期管理系统和平整作业管理平台的完整方案。智能推土机辅助驾驶系统的实施应用,可以有效促进露天矿用推土机的智能化改造,助力露天矿山工程机械的智能化转型。

参考文献:

[1] 高利敏,曹燕朝,周杨,等.露天矿山自动驾驶技术研究[J].中国新技术新产品,2021(15):13-15.

[2] 付恩三,刘光伟,邸帅,等.露天矿山无人驾驶技术及系统架构研究[J].煤炭工程,2022,54(01):34-39.

[3] 黄智煌,郭娜,仇巍巍.基于3D GIS和物联网的智慧矿山三维可视化系统设计与实现[J].自然资源信息化,2022(02):50-56.

[4] 陈杰.智慧矿山多系统传感层设备融合关键技术[J].煤矿安全,2022,53(07):119-125.

[5] 李亚林,宁浩,李金典,等.平朔东露天矿智能化矿山建设的研究与应用[J].露天采矿技术,2022,37(03):36-39.

作者简介: 杨国云(1981.07-),男,汉族,湖南湘乡人,大专,工程师,研究方向:水泥、骨料露天矿山工程机械管理。