

文章编号:1671-251X(2022)S2-0094-04

矿用卡车无人驾驶感知技术的设计与应用

史岩岩

(国家能源集团准能公司 机电管理部, 内蒙古 鄂尔多斯 010300)

摘要:针对我国矿区多尘、雨雪等恶劣天气、多碎石、路面颠簸等特殊环境导致障碍物检测不准确,易引起车辙误检的问题,设计了矿用卡车无人驾驶感知系统。构建了融合4D光场相机+激光雷达+毫米波雷达的感知系统,充分利用4D光场相机一次成像即同时可获得二维、三维一体化数据,免标定、无匹配误差、无融合误差、不受震动影响等优势,使感知系统具有极强的稳定性和高度的兼容性;构成了完整的数据通信系统,支持4G/5G/Mesh等多种通信方式,实现V2N、V2V和V2I通信,通过多种通信方式实现高精度差分定位信号的传输。将矿卡无人驾驶系统应用于黑岱沟露天煤矿,通过雷达点云数据、车辆位姿信息及地图融合模块,计算出车辆当前行驶道路路面的平整度、障碍物、可行驶区域检测等信息,在非结构化道路环境中,可实现行驶区域的稳定检测、感知模块可对路沿做稳定检测。

关键词:露天煤矿; 矿用卡车无人驾驶; 感知系统; 数据通信

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Design and application of unmanned driving sensing technology for mining trucks

SHI Yanyan

(Electrical and Mechanical Management Department, CHN Energy Zhunneng Group Co., Ltd.,
Ordos 010300, China)

0 引言

矿用卡车无人驾驶系统的研发和应用是矿山智能化的主要落地部分,我国矿山企业、高科技公司、设备厂家、通信公司等一起进行深度合作,共同研发矿山智能化系统,加速了我国矿区无人运输作业技术的发展,实现对国外同类产品的弯道超车。在矿用卡车无人驾驶系统中,感知系统是矿用卡车无人驾驶系统的“眼睛”,是提供系统决策的关键环节,也是决定无人驾驶系统成败的关键环节。

国外矿山大部分位于不存在极端天气的区域,作业条件不恶劣,一般具有宽阔的道路和卸载区域、良好的交叉道路规划与行车路面,且矿区采用强管理模式,良好的运行条件和作业工况有利于无人驾驶的应用与推广。国外的矿卡无人驾驶系统一般运用在单体露天金属矿,存在装、卸载点单一、路线单一的特点,因此对系统的感知能力要求不高,无人驾驶矿卡多采用单一激光雷达和毫米波雷达的配置,对感知能力要求不高。

我国露天煤矿矿区地处偏远、环境恶劣、地形复

杂,开采、运营、运输都较为分散,相比国外矿山,我国的矿区基础设施不规范、矿区分散、工况恶劣、地形不宽阔、配套设施不全,这为我国矿区无人驾驶的推广带来一定的困难。矿区多尘、雨雪等恶劣天气、多碎石、路面颠簸等特殊环境对障碍物检测形成了很大挑战,需要通过多传感器融合冗余配置,确保在各种工况条件下都具备很好的智能感知效果,同时还需解决露天煤矿环境下,地质条件差引起的车辙误检问题,需均衡处理车辙与小型障碍物之间的关系。

1 矿用卡车无人驾驶感知系统设计

1.1 无人驾驶感知系统架构

矿用卡车无人驾驶车载系统由车载无人驾驶控制终端、线控系统、感知系统、定位系统、健康管理等组成。其中,无人驾驶感知系统由前向感知传感器、后向感知传感器和车载摄像头等组成,在传统激光雷达+毫米波雷达融合感知方式的基础上,增加4D光场相机^[1],构建融合4D光场相机+激光雷达+毫米波雷达的感知系统,充分利用4D光场相机一

收稿日期:2022-08-25;编辑:郑海霞。

作者简介:史岩岩(1987—),女,江苏徐州人,工程师,硕士,现主要从事露天煤矿信息化、智能化建设管理工作,E-mail:20009987@ceic.com.cn。

次成像即同时可获得二维、三维一体化数据,免标定、无匹配误差、无融合误差、不受震动影响等优势,使感知系统具有极强的稳定性和高度的兼容性,并且恶劣环境适应性强、具有雨雪雾穿透能力,满足矿区粉尘、雨雪雾、剧烈震动和极端低温等恶劣工况的使用需求,能够在全无人驾驶的情况下对道路、落石、凹坑、挡墙、车辆、行人等障碍物进行准确感知识别,确保无人驾驶卡车安全稳定运行。

激光雷达可以提供非常精确的环境深度和反射率信息,且具有探测范围更广、探测精度更高的优点,具备三维建模能力,但在极端雨雪天气性能较差。毫米波雷达可全天候稳定工作,能够在雪、雾霾、灰尘、雨水中提供更远距离前方道路场景,但对于障碍物识别分类、精确建模能力较弱。4D 光场相机既可获得周围环境的视觉信息,又可获得图像的深度信息,无需二次标定和匹配,就能实现良好的图像分割效果,可以很好的针对激光雷达不易识别的、影响安全驾驶的小型障碍物进行高精度信息采集和识别,但对光照变化、阴影等比较敏感,在恶劣天气条件下采集图像质量差,并且数据量大,对计算资源需求加大^[2]。根据无人驾驶功能需求,结合实际传感器选型,本项目无人驾驶卡车感知传感器布局如图 1 所示。在正前方上部安装 1 台 ouster 线激光雷达,1 台 ORLACO 前视摄像机,1 台 4D 光场相机;在正前方下部安装 1 台 SICK 单线激光雷达、1 台 Tele 长距激光雷达,1 台长距离毫米波雷达 ARS;在正前方侧方左右两侧各安装 1 台短距毫米波雷达 SRR 和 1 台 ORLACO 侧视摄像机;在驾驶室内安装 1 台 Hikvision 高清摄像机;在正后方下部:安装 1 台 RoboSense 的 Bpearl 激光雷达、安装 1 台长距毫米波雷达 ARS、1 台 ORLACO 后视摄像机。

1.2 数据传输

数据通信是连接无人驾驶地面控制系统与感知系统的通信管道,支持 4G/5G/Mesh 等多种通信方式,实现 V2N、V2V 和 V2I 通信,且可通过多种通信方式实现高精度差分定位信号的传输^[3-4],构成了完整的数据通信系统。

V2X 通信模块为车辆差分定位信息的采集和传输提供技术保障,系统中的 V2X 通信模块兼容 Mesh/4G/5G/C-V2X 等多种通信方式,可以实现矿卡-管控中心的 V2C 通信,该通信模块算法实现的方式与具体通信设备完全解耦,可以实现对不同方式的兼容。V2X 通信模块架构如图 2 所示。

无人驾驶感知系统传输如图 3 所示。感知系统将数据采集后,上传至无人驾驶车载主控制器。无

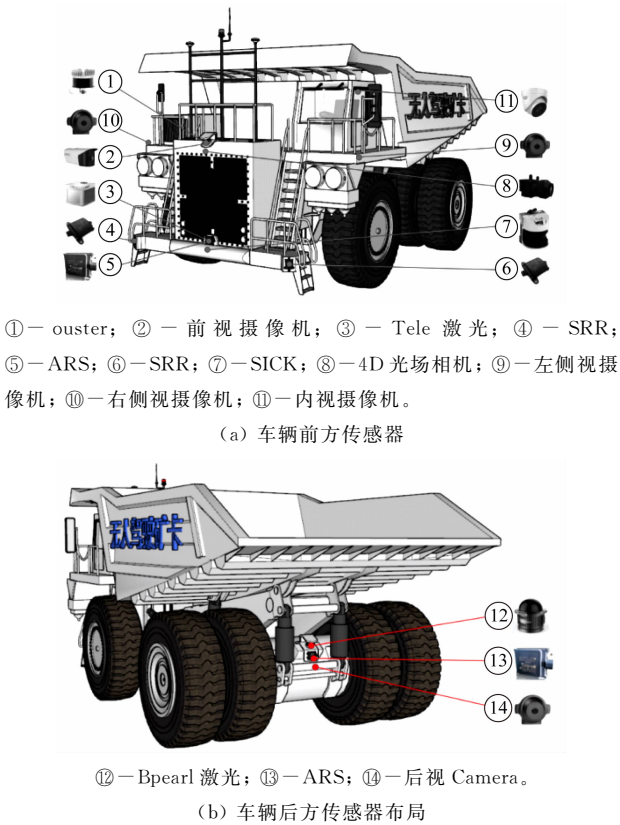


图 1 无人驾驶卡车感知传感器布局

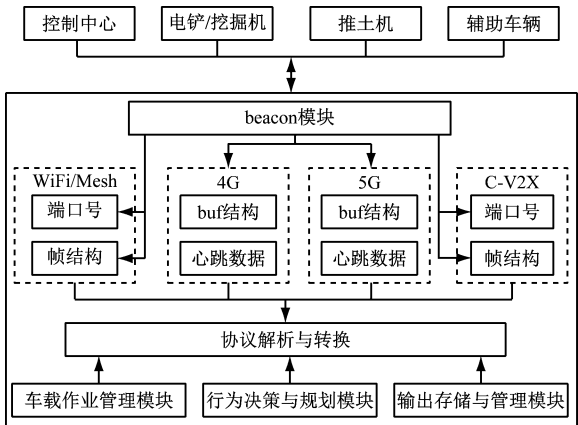


图 2 V2X 通信模块架构

人驾驶车载主控制器采用矿用卡车嵌入式车载主控制器,集无人驾驶的感知、定位、控制、决策等功能于一体,并实现与车身其他系统的数据交互。激光雷达、毫米波雷达、摄像机、惯性导航模块、4D 光场相机设备等传感器数据上传集成到主控制器进行计算。

感知系统将数据传输到主控制器后,主控制器通过 V2X 兼容 4G/5G 的冗余通信网络连接中心端无人驾驶地面控制系统与设备端系统。建立 V2X 兼容 4G/5G 的冗余通信网络,可以兼容 4G 专网 (1.8 GHz)、4G 公网、5G 网络,稳定、高效、可靠的车-路-云通信协议,实现车端、路端、云端设备之间的实时通信,也可以兼容 5G 网络,保证抗干扰、高可靠安全通信。

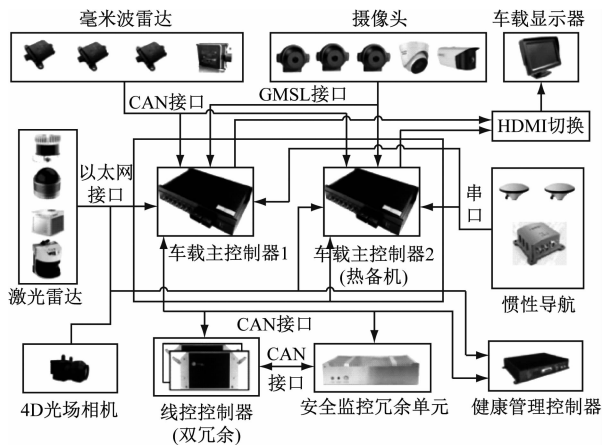


图 3 无人驾驶感知系统传输

2 矿用卡车无人驾驶感知系统的运用

矿卡无人驾驶系统从 2019 年开始在中国神华集团准格尔能源有限责任公司黑岱沟露天煤矿进行研发和运用,高粉尘、强雨雪、高严寒等较为极端的环境条件,为矿区无人驾驶的精确感知带来巨大的挑战。矿区内既有传统的车辆与行人,也有落石、凹坑、警示牌等特殊小障碍物,尤其地面落石,其外观颜色特征与矿区地面相似度极高,而且体积较小,这对感知系统提出了较高的要求。相比其他无人驾驶场景,矿区路面条件更差,存在凸起、车辙等干扰因素,雨后这些干扰因素影响更大。

2.1 极端天气适应

针对黑岱沟露天煤矿高粉尘、雨雪等极端天气情况,环境感知模块采用多传感器融合方案确保在极端天气的检测效果,通过利用毫米波不受雨雪、粉尘影响的特性,结合对激光雷达点云信息的反射率、回波信号等特征计算,建立障碍物局部地图等方式,确保在上述极端天气条件下,障碍物感知的性能不受影响。

2.2 路面平整度检测

环境感知模块通过激光雷达点云数据,结合车辆位姿信息,计算出车辆当前行驶道路路面的平整度信息。平整度的计算过程主要涉及到世界坐标系、车体坐标系、雷达坐标系。通过车载激光雷达获取的点云信息构建以车体为中心的局部栅格地图,利用定位数据及雷达传感器到车体的位姿变换参数把车体实时运动的信息融合进栅格地图中,并根据激光雷达数据实时更新该栅格地图。

(1) 激光雷达数据融合到栅格地图。构建的栅格地图中,每个栅格通常设置为 1 m 大小的正方形,将激光雷达的点云数据投影到相应栅格中,利用定位系统得到的车体到全局地图的位姿变换矩阵和激光雷达到车体的位姿变换矩阵,定位系统得到的

位姿协方差矩阵和激光雷达的误差参数作为误差,计算出每个激光雷达点的方差。

(2) 矿卡运动信息融合到栅格地图,即是把位姿估计不确定性体现到栅格地图里。处理由于运动估计不准确导致的地图不确定性。由于两帧之间姿态估计肯定会有偏差,通过每个栅格内的所有点对该栅格的高程值及方差进行计算。通过遍历每个栅格内的所有点的高程值及每个激光雷达点的方差来更新所处栅格的高程值和方差。

(3) 地图融合模块。针对某个栅格,考虑其附近(2 倍标准差以内)的其他栅格内所有的点来计算概率分布函数,通过上下界的差值来表示路面的平整程度。

矿卡行驶过程中计算的车辆周边路面平整度信息的实际测试结果如图 4 所示,数值由低到高分别为紫、蓝、青、绿、黄、橙、红,数值越高代表路面越不平整。

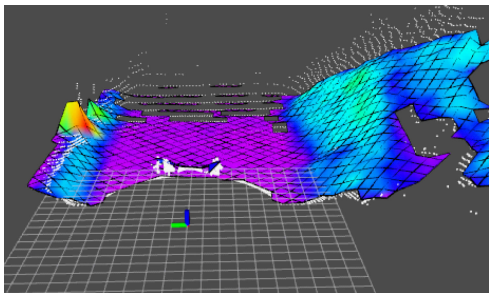


图 4 无人驾驶感知系统路面平整度检测

2.3 障碍物检测

感知精度可识别 50 m 以外影响卡车运行和损伤轮胎的碎石(30 cm×30 cm)或凹坑等障碍物及 80 m 以外的人员、100 m 以外的小型车辆、150 m 以外的大型设备,并输出大小、距离、种类等二维图像、三维点云数据一体化信息,能根据不同情况合理采取相应措施(如停车、避让等),确保装车、运行、卸载等作业过程中不会被碰撞。

2.4 可行驶区域检测

通过激光雷达点云数据分析可实现路沿、可行驶区域的检测与识别、矿区路沿地图的创建。可行驶区域检测核心是采用梯度滤波算法,算法整体流程如图 5 所示。

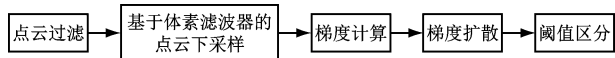


图 5 可行驶区域检测算法流程

首先输入实时点云,根据各个方向设置的感兴趣区域范围进行过滤,同时根据车长、宽等参数对点云中扫到的自身点进行过滤去除;其次采用体素滤波器对过滤后的点云创建三维体素栅格,用每个体素的重心来近似表达体素中的其他点;然后进行各

个点梯度计算,将其梯度值赋予该点所对应的体素内的原来所有点,即进行梯度扩散;最后遍历所有点,若梯度值大于设定的阈值,则为非地面点,否则为地面点,即最可行驶区域点云。

在黑岱沟露天煤矿的实际测试结果如图 6 所示。可看出在非结构化道路环境中,可实现可行驶区域的稳定检测、感知模块可对路沿做稳定检测。

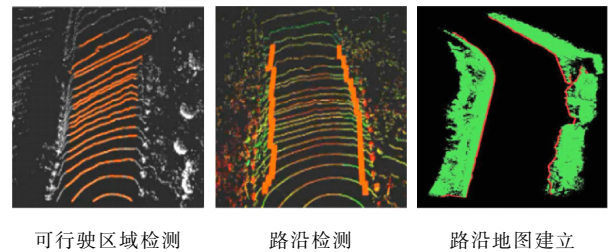


图 6 实际测试结果

3 结语

针对国内露天煤矿复杂多变的环境,在传统激光雷达+毫米波雷达融合感知方式的基础上,增加 4D 光场相机,构建融合 4D 光场相机+激光雷达+毫米波雷达的感知系统,不仅可获得周围环境的视觉信息,还可获得图像的深度信息,无需二次标定和

(上接第 91 页)

参考文献:

[1] 田会,白润才,赵浩. 中国露天采矿的成就及发展趋势[J]. 露天采矿技术,2019,34(1):1-9.

[2] 赵浩,毛开江,曲业明,等. 我国露天煤矿无人驾驶及新能源卡车发展现状与关键技术[J]. 中国煤炭,2021,47(4):45-50.

[3] 赵浩. 新时代露天煤矿发展趋势、面临的问题及相关建议[J]. 煤炭经济研究,2019,39(4):20-24.

[4] 张宇航. 无人驾驶汽车的起源、现状及展望[J]. 电子技术与软件工程,2017(19):109-110.

[5] BELLAMY D,PRAVICA L. Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining[J]. Resources Policy,2011,36(2):149-158.

[6] TORRE G D L,RAD P R,CHOO K R. Driverless vehicle security: challenges and future research opportunities[J]. Future Generation Computer Systems,2020,108(7):1092-1111.

[7] 李志国. 我国无人驾驶矿用自卸车发展现状和未来展

匹配,就能实现良好的图像分割效果,可以很好的针对激光雷达不易识别的、影响安全驾驶的小型障碍物进行高精度信息采集和识别,感知系统将数据采集后,上传至无人驾驶车载主控制器。无人驾驶车载主控制器采用矿用卡车嵌入式车载主控制器,集无人驾驶的感知、定位、控制、决策等功能于一体,并实现与车身其他系统的数据交互。激光雷达、毫米波雷达、摄像机、惯性导航模块、4D 光场相机设备等传感器数据上传集成到主控制器进行计算。实现了对矿区特有目标的精准识别,在矿区高粉尘、雨雪雾环境下的有效检测,提升了无人驾驶系统安全持续作业运行的能力。

参考文献:

[1] 周志良. 光场成像技术研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2012.

[2] 丁震,孟峰. 矿用无人卡车国内外研究现状及关键技术[J]. 中国煤炭,2020,46(2):42-49.

[3] 袁亮. 面向煤炭精准开采的物联网架构及关键技术[J]. 工矿自动化,2017,43(10):1-7.

[4] 王国法,张金虎. 煤矿高效开采技术与装备的最新发展[J]. 煤矿开采,2018,23(1):1-4,12.

望[J]. 铜业工程,2019(2):1-5,11.

[8] 徐祥运,赵燕楠. 无人驾驶汽车技术的社会影响及其应对策略[J]. 学术交流,2021(3):134-148,192.

[9] 孙溥茜. 推进矿区无人驾驶,矿山生态圈协同共赢[J]. 机器人产业,2021(5):52-55.

[10] 刘凯辉,姚建盛. 无人驾驶汽车的研究进展[J]. 机电技术,2020(5):115-117.

[11] 孙庆山,张磊,庞东君,等. 矿用卡车无人驾驶系统实现方式及效益优势分析[J]. 露天采矿技术,2020,35(2):35-38.

[12] 丁震,孟峰. 矿用无人卡车国内外研究现状及关键技术[J]. 中国煤炭,2020,46(2):42-49.

[13] 闫凌,黄佳德. 矿用卡车无人驾驶系统研究[J]. 工矿自动化,2021,47(4):19-29.

[14] 刘伟芳,吴迪. 国内外露天矿山无人驾驶技术发展现状[J]. 露天采矿技术,2020,35(4):32-34,38.

[15] 袁瑜. 矿用卡车的无人驾驶技术[J]. 矿业装备,2013(10):72-74.