

文章编号:1671-251X(2023)S1-0113-04

露天矿山无人运输作业交通管理系统设计

梁栋

(国家能源集团准能集团有限责任公司 哈尔乌素露天煤矿, 内蒙古 鄂尔多斯 017100)

摘要:针对露天矿山地质构造特殊,路网复杂,弯路、岔路多且道路工况差,在扬尘、雨、雪、低温等恶劣环境中,无人驾驶矿用自卸车感知系统受到干扰、感知能力受限,存在出现撞车、冲出路面等事故的风险,提出了一种露天矿山无人运输作业交通管理系统。该系统结合通信装置、定位装置、自动驾驶装置,针对哈尔乌素露天煤矿大规模无人驾驶矿用卡车运营场景,考虑矿山生产作业条件的限制,矿山路网结构中可能存在多种类型的交叉路口、上下坡路段、仅供单车通过的狭窄路段、会车频繁的装载作业区或卸载作业区等场景。建立一套行之有效的路网通行规则和路权控制算法,实现矿山无人驾驶车辆及辅助作业车辆在矿山道路路网上安全、平稳、高效的通行。

关键词:交通管理;路网结构;路权控制

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Design of unmanned transportation operation traffic management system for open-pit mines

LIANG Dong

(Haerwusu Open-pit Coal Mine, CHN Energy Zhunneng Group Co. Ltd., Ordos 017100, China)

0 引言

露天煤矿安全生产是煤炭工业发展及国家能源安全的重要保障,露天矿区智能化、无人化已成为国家战略思想和煤矿行业自身发展的重要方向及奋斗目标。近几年,国家发改委、工信部等八部委及国家煤矿安全监督局陆续发布多个政策通知和指导意见,明确指出发展“露天矿卡车无人驾驶系统”,力争在2035年实现“智能感知、智能决策、自动执行”。但露天矿山地质构造特殊、路网复杂、弯路、岔路多且道路工况差,在扬尘、雨、雪、低温等恶劣环境中,无人驾驶矿用自卸车感知系统受到干扰、感知能力受限,存在出现撞车、冲出路面等事故的风险^[1]。矿用自卸车是露天煤矿运输矿料的一种重型自卸车,在使用过程中往返于采掘点和卸矿点,其工作特点为坡度大、运程短、承载重、运行速度低、载荷变化大、线路多变等。在露天矿区,运输矿石或土石方的自动驾驶卡车需进行交通控制,以提高通行效率从而提高生产效率,提高燃油效率、降低车损从而节约成本。

露天矿山无人运输作业交通管理系统基于实时行车预测,实现对运行中的无人驾驶车辆进行行驶

路权管控,保证车辆安全、高效运行^[2]。此外,由于矿山生产作业条件的限制,矿山路网结构中可能存在多种类型的交叉路口、上下坡路段、仅供单车通过的狭窄路段、会车频繁的装载作业区或卸载作业区等场景。另外,因为卡车空载、重载行驶固有的运动学特点,存在重载车辆上下坡不能停车、空车让重车等矿区特有的行车规则限制,需建立一套行之有效的路网通行规则和路权控制算法,实现矿山无人驾驶车辆及辅助作业车辆在矿山道路路网上安全、平稳、高效地通行^[3]。

1 交通控制架构

在露天煤矿环境下,大部分的交叉路口没有信号管控设备,为保证矿用自卸车通行过程中的安全与效率,需要制定合理有效的通行规则。现有矿区无人驾驶的安全距离模型结构及相关参数不成熟或不合理,安全约束条件也不完善,没有充分考虑露天煤矿的安全条件,无法将现有交通控制架构直接应用于露天煤矿环境中。

无人驾驶矿用自卸车交通控制系统,需要在无人驾驶矿用自卸车的车端安装通信装置、定位装置、自动驾驶装置^[4]。通信装置用于和交通控制服务器

收稿日期:2023-06-26;编辑:郑海霞。

作者简介:梁栋(1989—),男,内蒙古鄂尔多斯人,工程师,主要从事煤矿智能化建设管理工作,E-mail:834694066@qq.com。

建立通信连接,将车辆定位、车速、航向角等行驶信息发送到服务器,同时接收来自交通控制服务器的指令。定位装置采用全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS),如 GPS、北斗等定位系统获取当前车辆位置。自动驾驶装置用于控制车辆的启动、行驶、停止等,将获取的车辆车速信息并发送给车端通信装置。

需要在控制中心安装交通控制服务器。交通控制服务器内置交通控制软件、数据库。交通控制服务器接收矿区所有车辆的定位、车速、载重等信息,以及无人车的行驶任务,根据交通规则计算出减速、停车、恢复行驶的指令,并通过通信装置发送到无人车。交通控制服务器支持人工管控和自动管控 2 种服务。其中人工管控的指令会融合到自动管控中,如图 1 所示。

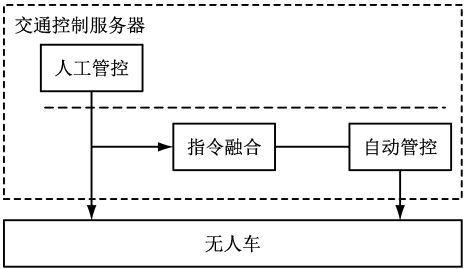


图 1 交通控制服务器

路段信息存储在交通控制服务器的数据库里。路段是无人车行驶路径的中心线,其由一系列的 GPS 位置点构成,无人车会根据路径中心线的 GPS 位置点进行循迹行驶。

路段需根据实际的路况进行划分,将无人车行驶的路径划分为多个路段。对于同一段路,去向和回向划分为不同的路段。无人车行驶任务从 A 点到 B 点,行驶任务 L 为多个路段相连,如图 2 所示。路段需根据路况特征包含完整的一段,例如下坡路段或交叉路口。下坡路段因制动难度系数更高,因此危险系数也更高。

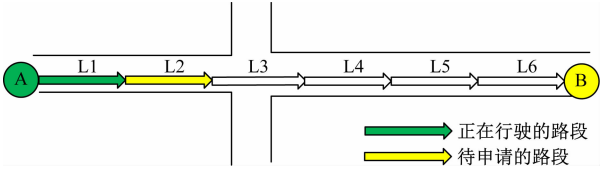


图 2 路段划分

2 交通管理系统

交通管理系统能够对生产作业车辆进行交通管理,通过配置交通规则、路权管理指导矿用自卸卡车编队行驶,使有人或无人驾驶车辆安全、有序、高效运行。交通管理系统主要包括交通规则、路权管理、主动调节等模块。

1) 交通规则。露天煤矿交叉路口是运输过程安全事故高发区域,矿区道路属于半结构化道路,没有车道线、箭头等指示标识,也没有红绿灯,甚至连交通标志都没有,属于无信号交叉路口。为最大化保障行车安全,需要定义安全通行规则。利用交通规则约束无人驾驶矿用自卸车行驶规范,使矿用自卸车安全通过交叉路口区域。对露天矿区无人驾驶矿用自卸车行驶研究集中在路径规划、路径避障或路权分配等。因此对露天矿区环境下无人驾驶矿用自卸车安全通行交叉路口需制定行之有效的交通规则^[5]。① 基础规则。申请并获得路权的无人车才可在相应的路段行驶。没有获得路权的无人车需要等待,待获得路权再行驶。② 优先级规则。对上坡、下坡及车辆重载、空载的情况,交通调度中心设定相应的优先级,作为路权分配的依据。③ 特殊路段规则。对矿区的双向单行道、狭窄车道及特殊情况路段设定为独占路段,各车依次通行,提高行车安全;对交叉路口,交通调度中心根据优先级分配路权,使车辆有序通过路口。

2) 路权管理。交通管理系统通过对路权的管理和分配,避免无人车行驶过程中发生路径冲突,如图 3 所示。① 路权申请。无人车申请并获得路权后,方可在相应的路段行驶。② 路权释放。无人车行驶完成一个路段时,向调度中心报告释放该路段的路权。调度中心回收该车在该路段的路权。③ 路权分配。路权分配依据交通规则和车辆的实时状态。对矿区的双向单行道、狭窄车道及特殊情况路段设定为独占路段,提高行车安全;对于上坡、下坡及车辆重载、空载的情况,根据优先级进行路权分配。

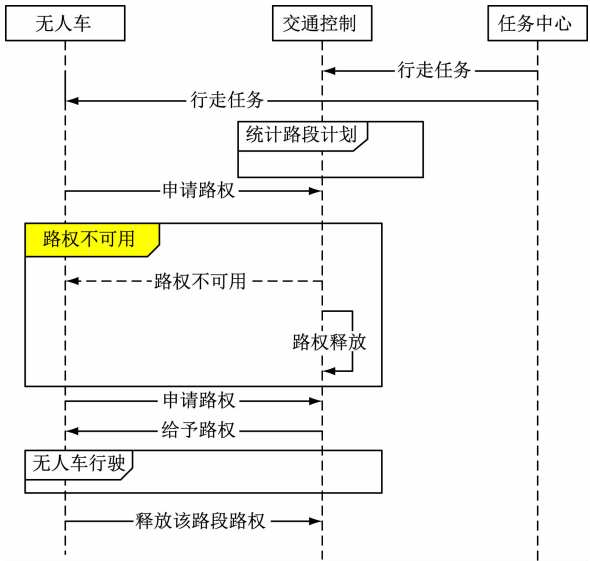


图 3 路权的申请和释放流程

3) 主动调节。露天煤矿多位于干旱、半干旱地

区,气候条件恶劣,路面也凹凸不平。一定程度上增加了安全隐患。由于露天矿区交叉口没有交通信号控制,也可能没有路面标志,当矿用自卸车具有平行的通行权时,容易出现拥堵或碰撞风险,存在交通安全风险,因此在传统无信号交叉口运行交通控制的基础上,设计一套可靠的无人驾驶矿用自卸车通行辅助决策算法,以提高露天矿区无人驾驶矿用自卸车通行交叉路口的安全与效率^[6]。

露天煤矿在作业区除露天矿用运输车辆外,还有电铲、履带推土机、轮式推土机、平路机、火药运输车、洒水车、维修车辆等采矿辅助设备交叉作业。系统从车车冲突、协同作业的角度出发,对运输道路、十字交叉路口内车车冲突进行研究。通过分析交叉路口冲突成因,为辅助通行路权决策提供参考。由于露天矿区作业场景相对封闭,不存在行人或其他社会车辆,所以系统不考虑无人驾驶矿用自卸车与行人或其他社会车辆等的交互,而仅考虑无人驾驶矿用自卸车与周围辅助设备之间的交互问题^[7]。

主动调节模块在以下情况对无人车主动调节以保证安全和提高整体效率:① 跟车情况。无人车在跟车时,交通调度系统对其主动调节,以保证跟车距离安全。当跟车距离小于设定距离时,交通调度系统降低后车的车速;当跟车距离过近时,交通调度系统发送指令后车停车,以保证安全。② 会车情况。无人车在会车时,交通调度系统会降低会车过程中的车速以保证会车安全。③ 交叉路口、双行变单行路情况。无人车通过这些路口时,交通调度系统根据交通规则进行调度,让优先级高的车优先通过路口。④ 车道设定。故障车辆占道时,进行双车道变单车道控制,直到故障排除或故障车辆拖走。⑤ 路段锁定。因道路损毁、落石或其他原因导致道路临时无法通行,管理员设置路段锁定,交通调度系统对此路段锁定路权,禁止车辆通行,直到道路恢复时再解锁。⑥ 主动避让。交通调动系统根据设定的规则令无人车主动避让有人车,以保安全。

4) 作业场景管理。露天煤矿无人驾驶作业场景主要分为装载区、运输道路、卸载区、停车区、备停区等场景,在各场景中要进行差异化的路权控制,才能提升露天矿区无人驾驶矿用自卸车通行和运输的安全与效率。针对无人驾驶各作业场景的生产管理、工艺等现场需求,开发包括车辆智能调度、路权管理、车辆安全防护等功能模块^[8]。

备停区内的路权管控技术:备停区多与运输干道相邻,基于高效的交通控制技术,实现对路权的管理和分配,避免无人车行驶过程中发生路径冲突。

收发车协同技术:停车位协同管理技术实现停

车位的分配、回收管理,对备停区域无人驾驶运输车辆进行主动协调实现有序进出,以保证安全和提高整体效率。

作业区域联合作业管理技术:为了实现装卸与运输 2 大生产环节的高效协同,提高生产效率,多车辆并行装卸载是实现作业区域联合作业的重要技术。

装载场景:在无人矿山作业过程中,每辆电铲按照其作业饱和度不同,对多台无人驾驶卡车进行编组作业,系统基于待装载队列、最优路径等因素对全矿无人驾驶卡车进行动态调度,分配至各个装载工作面进行同时装载作业。

卸载场景:无人矿山的一个卸载工作面由一个面积较大的卸载区构成,卸载区中根据其面积、地形等条件包含有数量不定的多个卸载点。通过确定多个卸载点,可对单个卸载工作面划分区域,实现多车辆分区域同时进行卸载作业的任务;同一区域内基于安全距离防护预测技术、避让规则及卸载点轮序机制,实现多车并行行驶作业。

5) 智能调度。除交通规则、路权管理等路权动态管控技术外,智能调度也是露天煤矿十分重要的前提,目前路权控制常见调度方案多面向小规模车队调度,针对大规模车辆调度的处理能力明显不足。针对国家能源集团准能集团有限责任公司哈尔乌素露天煤矿大规模(99 辆)无人驾驶矿用卡车运营场景,构建适用于多型号(4 个型号)矿车车型的无人驾驶车辆的调度算法。系统结合预测信息与实时调度信息,快速更新调度计划并及时响应调度请求以实现高效调度。同时,通过综合考虑多工作面生产状态、车辆特性等关键参数,根据实时统计数据及设备状态信息自适应调整调度策略,实现复杂工况下大规模异构车队动态智能调度,如图 4 所示。

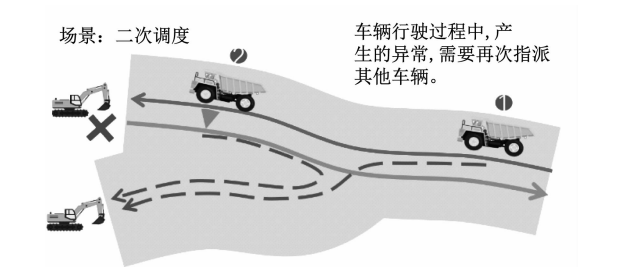


图 4 多装载区智能调度路权控制

3 结语

无人驾驶矿用自卸车交通控制系统结合通信装置、定位装置、自动驾驶装置,针对露天矿区地质构造复杂,弯路、岔路多且道路稳定性差,在扬尘、大

Ubuntu18。采用 UML 建模技术实现软件功能快速开发。系统超车管理类如图 4 所示。可看出系统中超车管理类包括 Mine_vehicle_intercomBLL、Mine _ vehicle _ intercom、Mine _ vehicle _ intercomDALL、Mine_vehicle_intercomMoble，分别用于矿山车辆超车业务管理、超车管理界面管理、超车数据管理、超车数据集管理。Mine_vehicle_intercom 类包含 Mine_vehicle_intercom_insert()、Mine_vehicle_intercom_select()、Mine_vehicle_intercom_update()、Mine_vehicle_intercom_delete()，分别用于超车信息添加界面管理、超车信息数据查询管理、超车信息数据更新管理、超车信息删除管理。

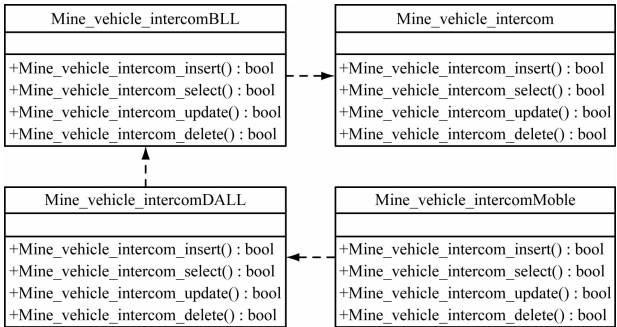


图 4 超车管理类

4.3 数据库设计

系统采用开源 SQLite、MySQL 数据库进行数据存储。SQLite 数据库用于存储本地数据，MySQL 数据库用于存储网络数据。SQLite 数据库部分信息见表 1。

表 1 车辆信息

字段标志	字段类型	主键	备注
Mining_vehicles_ID	integer	是	矿山车辆编号
Mining_vehicles_name	text	否	矿山车辆名
Mining_vehicles_sudu	Real	否	矿山车辆最大速度
Mining_vehicles_date	Date	否	车辆运输时间
Mining_vehicles_where	Text	否	车辆运输地点
Mining_vehicles_text	text	否	车辆运输备注

5 结语

露天矿山车辆即时对讲系统具有超车、即时通知、即时特定范围广播等功能，基本满足矿山车辆即时对讲需求。在后期开发中可增加设备故障预警功能，确保矿山车辆正常运行。

参考文献：

[1] 黄友胜. 一种带式输送机沿线对讲系统[J]. 煤矿安全, 2019,50(3):110-113.

[2] 王国政,刘全利. 带有啸叫抑制的地铁对讲系统声学回声控制算法及应用[J]. 控制理论与应用,2018,35(4): 539-546.

[3] 刘艺平. 煤矿井下 2.4 GHz 低功耗调度对讲系统的研究[J]. 煤炭技术,2017,36(2):277-279.

[4] 贺凯,孟国营,张妙恬,等. ZigBee 矿用便携式自组网语音对讲系统的设计[J]. 煤炭工程,2015,47(5):14-17.

[5] 戎玲,游寒旭. 数字视频对讲系统的全程唇音同步测试方法[J]. 电视技术,2017,41(6):143-146.

(上接第 115 页)

雾、雨雪等恶劣环境中,通过路网通行规则和路权控制算法,实现对露天煤矿无人驾驶运输作业系统交通的智能控制,从而保障了矿用自卸车在运输作业过程中的安全,最终提高了煤矿的安全生产率。

参考文献：

[1] 高睿. 露天矿区无人驾驶矿车的安全通行辅助决策研究[D]. 重庆:西南大学,2021.

[2] 栾博钰,周伟. 露天煤矿无人驾驶下交叉口协调通行策略研究[J]. 煤炭学报.

[3] 薛棋文,丁震,孙振明,等. 露天煤矿无人驾驶运输系统应急管理体系研究[J]. 工矿自动化,2022,48(10):

107-115.

[4] 韩勇. 露天煤矿车辆防碰撞升级与无人驾驶联动的智能运输管理系统[J]. 工矿自动化,2022,48(增刊 1): 67-71,94.

[5] 戴林,温江洪,齐玉龙. 基于半连续工艺与无人驾驶联动的露天煤矿运输系统[J]. 工矿自动化,2022,48(增刊 1):76-79.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 刘小杰,曹胜武,罗怀廷,等. 露天矿山无人驾驶卡车安全管控研究[J]. 中国安全科学学报,2021,31(增刊 1): 43-48.