

车速监测隧道智能照明监控系统及方法

彭建

成贵铁路有限责任公司 四川成都 610036

摘要: 本文提出了一种创新的隧道智能照明监控系统,该系统集成了北斗技术、5G-R通信技术和车速监测技术。通过在隧道口两端部署北斗边缘计算装置,系统能够精确获取列车进入隧道的时间和位置信息,并结合雷达车速探测装置实现列车的实时位置定位和速度监测。一旦雷达探测到车辆异常,系统将自动将异常信息反馈至监控系统,并迅速指令智能照明处理装置开启列车停靠位置至最近安全出口处的所有照明灯,确保紧急情况下的人员安全疏散。此外,系统通过5G-R通信技术实现远程操作特定区域的照明灯,便于隧道巡检和施工活动,同时具备本地操作功能,确保隧道照明的连续性和可靠性。

关键词: 北斗; 5G-R; 雷达; 隧道照明

引言

铁路隧道照明关乎巡检、施工安全及紧急疏散。随着铁路扩张与技术革新,智能化、节能化改造势在必行。传统的铁路隧道照明系统通常依赖于光电传感器、红外对射或超声波传感器等技术来监测列车的运行状态。这些传感器通过检测信号是否被遮挡来判断列车的驻停情况。然而,由于隧道内部环境复杂,如灰尘、凝露等因素容易阻断信号的正常反馈,加之隧道振动可能引起的信号偏移,这些都可能导致系统误检,从而引发照明系统的长时间开启,即所谓的“长明灯”现象。这不仅极大地浪费了电力资源,降低了灯具等照明系统设备使用寿命,也增加了运营成本。为解决该问题,本文提出了一种集成北斗技术、5G-R通信技术和车速监测技术集于一体的隧道智能照明监控系统及方法。

一、相关技术综述

(一) 北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统(BDS)是中国自主建设、独立运行的全球卫星导航系统,旨在满足国家安全、经济社会发展以及全球用户对高精度定位、导航和授时服务的需求。该系统自2000年开始建设,历经多阶段发展,已

成为继GPS、GLONASS和Galileo之后的全球四大卫星导航系统之一。

(二) 5G-R通信技术

5G-R通信技术是基于5G技术的铁路新一代移动通信系统,是国铁集团的专用5G网络,利用5G技术的高速率、低时延和大连接特点,为铁路运输行业提供更为高效、可靠的通信解决方案。5G-R的应用有助于提升铁路通信的质量和效率,进一步推动铁路运输的智能化、数字化发展。

(三) 微波雷达技术

微波雷达技术是一种利用微波信号进行探测、测距、测速及成像的高新技术。它通过发射微波并接收目标反射的回波,经过信号处理分析目标的位置、速度等信息。微波雷达在军事、交通等领域具有广泛应用,是现代信息技术的重要组成部分。

(四) 电力载波技术

电力载波技术是一种利用电力线路作为传输介质,将信息信号叠加在交流电力线上进行通信和控制的通信技术。它通过将低频信号调制到高频载波上,使信息信号能够通过电力线路进行远距离传输。在发送端,低频信号经过调制处理后被叠加在交流电力线上;在接收端,通过解调处理将高频信号还原成原始的低频信号,从而实现数据的传输、通信和控制。

二、系统架构与组成

(一) 系统架构

融合北斗5G-R车速监测的隧道智能照明监控系统主要由监控系统后台、车速探测雷达装置、北斗边缘计

作者简介: 彭建(1981年4月),性别:男,民族:汉族,籍贯:重庆巴南区,学位:工程硕士,职位:协管,职称:工程师,研究方向:铁道供电电力专业,单位:长江沿岸铁路集团四川有限公司。

算装置、智能照明处理装置、隧道照明灯和5G-R系统组成。各部分相互协作，共同实现隧道照明的智能化管理，见图1系统组成图。

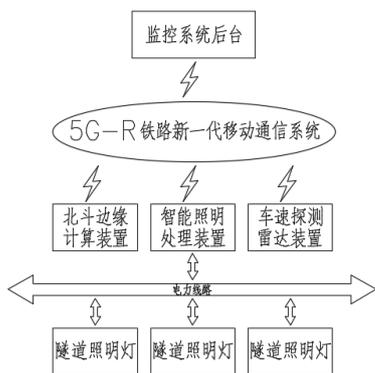


图1 系统组成图

(二) 监控系统后台

监控系统后台包括系统工作站、数据服务器和通信

设备。系统工作站负责用户与系统的人机交互，展示和操控业务界面；数据服务器负责数据的接入、清洗、存储和消费，处理来自各类终端的数据；通信设备实现监控系统与终端设备的网络通信。

(三) 车速探测雷达装置

车速探测雷达装置安装于隧道口和隧道内部隧道壁上，每隔500米设置一台，实现对列车行驶状态的连续监测和实时测量列车通过时的速度，通过测量无线电波发射与接收之间的时间差来估算列车距离，进而结合时间间隔计算速度。对于同时有多个目标（如两个方向的来车）的情况，微波雷达装置可以通过分析回波信号的波形、频率、相位等特征，结合雷达天线的方向性，来区分来自不同方向的目标，并将数据通过5G-R系统实时发送至北斗边缘计算装置。见图2雷达车速探测装置和北斗边缘计算装置安装示意图。

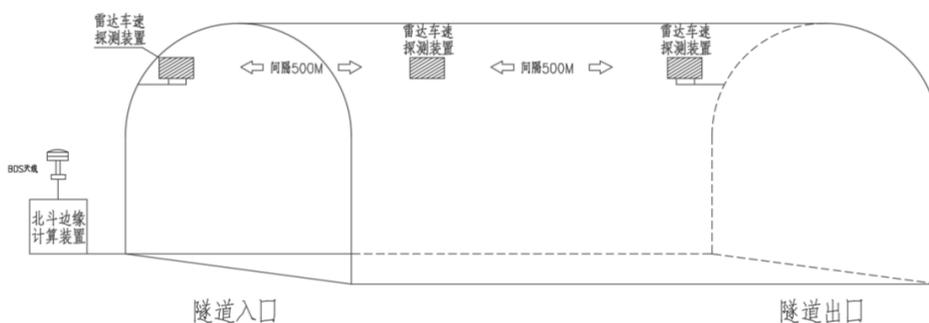


图2 雷达车速探测装置和北斗边缘计算装置安装示意图

(四) 北斗边缘计算装置

北斗边缘计算装置设置于隧道口附近北斗和5G-R信号覆盖区域，装置通过融合分析所有雷达车速探测装置回波信号的波形、频率、相位数据进行融合处理，利用时间戳和经纬度推算出列车在隧道内的具体位置和列车速度，当判断列车行驶速度骤降或停止时，立即通过5G-R系统反馈至监控系统，以便迅速采取应急措施，见

图2雷达车速探测装置和北斗边缘计算装置安装示意图。

(五) 智能照明处理装置

智能照明处理装置每隔500米设置一套，通过电力载波技术与隧道照明灯建立通信，实现对照明灯的开启、关闭和亮度调节控制。同时，智能照明处理装置还能接收来自监控系统的指令，对特定区域的照明灯进行远程控制，见图3智能照明处理装置和照明灯安装示意图。

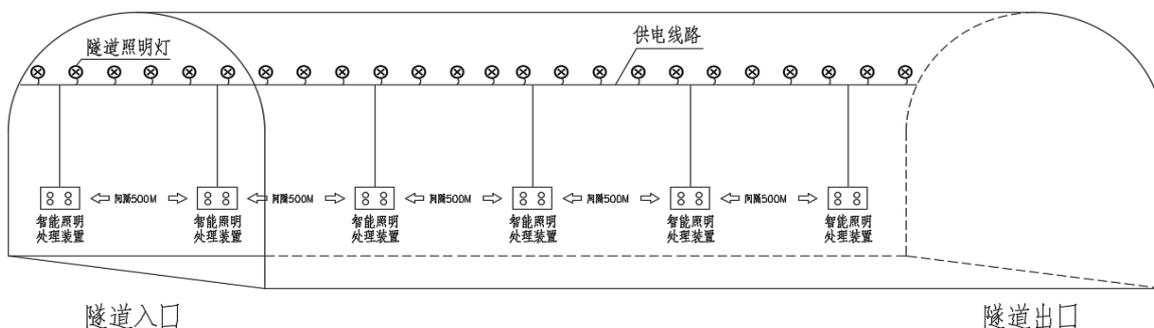


图3 智能照明处理装置和照明灯安装示意图

（六）隧道照明灯

灯具具有唯一编号，含隧道标识、方向及里程，支持远程修改，利于管理。采用单灯控制，监控后台可独立开关。灯具内置智能电量采集模块和自检模块。电量采集模块能够实时记录灯具的耗电量数据，用于能源管理和优化。自检模块负责监测灯具的工作状态，根据光源和驱动的电气特性（如电压、电流、温度等）以及预设的故障判断逻辑，自动判断灯具是否故障原因，一旦发现设备异常或损坏，立即触发告警机制，向智能照明处理装置发送异常报告，智能照明处理装置收到异常信息后统一上报监控系统后台，提醒相关人员及时对灯具进行维修或配件更换，方便运维中心维护人员准确检修。

三、技术方法与实现

（一）列车速度计算方法

雷达发射一个微波脉冲，并记录下脉冲发出的时间 t_1 。当脉冲碰到列车并反射回来时，雷达接收到反射信号的时间为 t_2 ，微波在空气中的传播速度接近光速 c （在标准大气条件下约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）。因此，列车与雷达之间的距离 d 可以通过以下公式计算：

$$d = \frac{c \times (t_2 - t_1)}{2}$$

为了测量列车的速度，雷达需要连续测量两个不同时间点（ t_1, t_2 和 t_3, t_4 ）上的距离。在 t_1, t_2 时刻测得距离为 d_1 ，在 t_3, t_4 时刻测得的距离为 d_2 ，且时间间隔 $\Delta t = t_3 - t_1 = t_4 - t_2$ 是已知的。则列车的速度 v 可以通过以下公式计算：

$$v = \frac{d_2 - d_1}{\Delta t}$$

（二）雷达与北斗融合计算列车位置方法

在多个车速探测雷达与北斗系统结合的应用场景中，我们可以通过以下步骤来计算列车在隧道内的位置。雷达测速装置提供相对速度 $v_{rel,i}$ 和相对距离变化（或距离差） Δd_i 的信息，其中 i 代表不同的雷达。同时，北斗系统提供绝对位置（经纬度）和时间戳。

1. 雷达数据处理

对于每个雷达，我们可以从连续的时间点 t_1, t_2, \dots, t_n 上获得相对速度 $v_{rel,i}(t_j)$ 和相对距离差 $\Delta d_i(t_j, t_{j+1})$ （即两个时间点之间的距离变化）。相对速度通常可以直接从雷达数据中获得，而相对距离差则需要通过多个时间点上的数据来计算或估计。

2. 融合雷达数据

隧道内布置了多个车速探测雷达装置，并且它们能够覆盖列车的整个运动轨迹，我们可以通过数据融合来提高位置和速度的准确性。

3. 结合北斗系统数据

北斗系统提供列车的绝对位置（经纬度） $L(T), B(T)$ 和时间戳 T 。

我们假设在某一时刻 T_0 ，列车进入隧道时，其北斗系统记录的绝对位置为 L_0, B_0 。

4. 计算隧道内位置

由于隧道内通常无法使用BDS信号，我们依赖雷达数据和进入隧道时的绝对位置来计算隧道内的相对位置。假设列车在隧道内沿直线行驶（或可以通过轨道信息修正曲线路径）：

$$\text{隧道内位置} = \text{隧道入口位置} + \sum_{k=T_0}^T \Delta d_{fused}(k, k+1)$$

这里， $\Delta d_{fused}(k, k+1)$ 是通过融合雷达数据计算得到的在时间点 k 和 $k+1$ 之间的相对距离变化。

（三）系统工作流程

系统工作时，雷达车速探测装置和北斗边缘计算装置共同监测列车的行驶状态和位置信息。当雷达探测到车辆异常（如速度骤降或停止）时，立即通过5G-R系统将信息反馈给北斗边缘计算装置和监控系统，北斗边缘计算装置同时将推算出的列车在隧道内具体位置信息发送到监控系统，监控系统根据接收到列车在隧道内的具体位置，并向智能照明处理装置发出指令。智能照明处理装置接收到指令后，控制对应区段的隧道照明灯开启，确保在紧急情况下为人员疏散提供可靠的应急照明。同时，系统还具备远程控制和本地操作功能，方便在特定情况下（如隧道巡检、施工活动）进行照明控制。

四、灯具稳固性和抗震动性措施

为满足400km/h高速运营需求，隧道内灯具及附属设施经风洞测试达标，采取了综合稳固与抗震动措施：灯具采用合金钢等耐冲刷材质与稳固结构设计，结合机械或化学锚栓牢固固定；同时，灯具外形流线化以减少空气阻力，安装减震支架与隔震垫以吸收和分散震动能量；内置陀螺仪传感器监测倾斜变化，超阈值即时报警，确保灯具在高速气流下稳固运行且有效抵御震动。

结论

本文提出了一种创新的隧道智能照明监控系统，集成了北斗技术、5G-R 通信技术和车速监测技术，旨在提高铁路隧道照明的智能化和安全性。系统通过北斗边缘计算装置和雷达车速探测装置精确获取列车位置和速度信息，一旦发现车辆异常，将迅速启动应急照明措施，确保紧急情况下的人员安全疏散。此外，系统支持远程和本地操作，便于隧道巡检和施工活动，提高了隧道照明的连续性和可靠性。为满足高速运营需求，灯具及附属设施采取了稳固与抗震动措施，确保在高速气流下稳定运行。该系统的实施将显著提升铁路隧道的运营效率和安全性，并为未来铁路照明系统的智能化和节能化改造提供有力支持。

参考文献

- [1] 庞萌萌. 铁路5G-R系统核心网架构研究[J]. 中国铁路, 2021, (08): 1-6.
- [2] 杨军. 北斗卫星导航系统建设与发展[J]. 卫星应用, 2021 (6): 12-15.
- [3] 于天泽. 北斗卫星导航定位技术在我国铁路应用探讨[J]. 中国铁路, 2013 (4): 4-7.
- [4] 刘旭宏. 探析多普勒测速雷达在地铁信号系统中的应用[J]. 通讯世界, 2024, 31 (05): 184-186.
- [5] 张斌, 邱立运. 基于电力线载波通信的铁路隧道照明控制系统[J]. 照明工程学报, 2022, 33 (04): 7-14.
- [6] 王瑞云. 铁路隧道照明控制方案探讨[J]. 铁道建筑技术, 2021, (10): 143-146.