

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0050-04

# 基于精确定位的超低功耗车辆定位卡研究与设计

胡亮<sup>1,2</sup>

(1.中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆400039;2.煤矿灾害防控全国重点实验室,重庆400039)

**摘要:**煤矿智能辅助运输系统的智能化升级,高度依赖井下车辆的精确实时定位信息。超宽带(ultra-wband,UWB)技术以其厘米级定位精度和强抗干扰能力,成为主要技术途径。然而,受防爆要求、设备体积以及建设成本的综合因素限制,定位卡难以从车辆取电;采用备用电池供电又面临UWB模块功耗大与电池容量受限的双重矛盾,导致定位卡续航时间短、更换维护频繁,严重制约了技术的规模化应用。针对这一核心难题,研究提出并实现了一种基于软硬件协同分区分时供电,并融合车辆运行状态识别的超低功耗控制方法,旨在研制适用于煤矿井下的超低功耗UWB车辆定位卡。该方法在硬件上采用分区供电设计,将UWB模块、主控制器、低功耗传感器等关键单元独立供电与管控,在软件层面,创新性地引入基于低功耗传感器的车辆运行状态智能识别算法,通过持续监测振动信号来判别车辆处于静止、行驶或启停等状态,并据此动态调度UWB模块的工作时机。实验结果表明,研究结果有效解决了UWB高精度定位技术在煤矿等严苛工业场景中长期服役的能耗瓶颈,为智能辅助运输系统的可靠、高效与可持续运行提供了关键技术支撑,具有重要的工程应用价值与推广前景。

**关键词:**煤矿辅助运输;精确定位;车辆定位卡;低功耗;UWB;备用时间

中图分类号:TP273;TD76

文献标志码:A

文章编号:1003-7241(2026)02-0050-04

## Research and design of ultra-low power vehicle positioning card based on precise positioning

HU Liang<sup>1,2</sup>

(1. Chongqing Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400039, China;  
2. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control, Controlling, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** The intelligent upgrade of the intelligent auxiliary transportation system in coal mines highly depends on the precise and real-time positioning information of underground vehicles. ultra-wideband (UWB) technology, with its centimeter-level positioning accuracy and strong anti-interference capability, has become the main technical approach. However, due to the combined constraints of explosion-proof requirements, equipment size, and construction costs, it is difficult for positioning cards to draw power from vehicles. Using backup batteries for power supply faces the dual contradiction of high power consumption of UWB modules and limited battery capacity, resulting in short battery life and frequent replacement and maintenance of positioning cards, which seriously restricts the large-scale application of the technology. To address this core challenge, this study proposes and implements a low-power control method based on the collaborative power supply of different zones and the integration of vehicle operation status recognition. The aim is to develop a low-power UWB vehicle positioning card suitable for underground coal mines. This method adopts a zonal power supply design in hardware, independently powering and managing key units such as the UWB module, main controller, and low-power sensors. At the software level, an innovative intelligent recognition algorithm based on low-power sensors for vehicle operation status is introduced. By continuously monitoring vibration signals, the algorithm can determine whether the vehicle is stationary, moving, or starting/stopping, and accordingly dynamically schedule the working time of the UWB module. Experimental results show that this study effectively solves the energy consumption bottleneck of UWB high-precision positioning technology in harsh industrial scenarios such as coal mines, providing key technical support for the reliable, efficient, and sustainable operation of intelligent auxiliary transportation systems, and has significant engineering application value and promotion prospects.

**Keywords:** auxiliary coal mine transportation; accurate positioning; vehicle locator card; low power consumption; UWB; standby time

定位系统作为国内煤矿井下安全生产保驾护航的“六大系统”之一,在工作人员日常管理、应急救援、事故

调查等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。2021年,国家能源局、国家矿山安全监察局下发《煤矿智能化建设指南(2021年

收稿日期:2024-08-11;录用日期:2024-11-08

基金项目:中煤科工集团重庆研究院自立重点研发项目(2023ZDYF04);中国煤炭科工集团科技创新重点项目(2022-TD-ZD001);天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2024-2-TD-CYD002)

作者简介:胡亮(1982—),男,硕士,副研究员,研究方向:煤矿人员定位系统、安全监控系统及设备。

引用本文:胡亮.基于精确定位的超低功耗车辆定位卡研究与设计[J].自动化技术与应用,2026,45(2):50-53.(HU Liang. Research and design of ultra-low power vehicle positioning card based on precise positioning [J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(2):50-53.)

版)》,其中智能辅助运输作为煤矿智能化基本建设内容,煤矿智能辅助运输系统建设,需要以车辆精确定位信息为基础<sup>[2-4]</sup>。矿井辅运车辆主要包括机车、无轨胶轮车、单轨吊、齿轨车等,需要安装定位卡在车辆上,实现车辆定位管理。上述车辆上,普遍存在本安供电难取的问题;而采用备用电池方式,存在功耗大、备用时间短、造成维护工作量大的问题<sup>[5-10]</sup>。针对上述存在问题,本文基于UWB(超宽带)定位技术,采用低功耗设计处理,研制低功耗车辆定位卡,实现了车辆定位卡一次性原电池备用工作时间3年以上。

### 1 车辆定位卡整体设计

井下辅运车辆数量众多,分布离散,掌握车辆位置、运

行状态,对煤矿高效生产具有积极作用<sup>[11-12]</sup>。车辆定位卡安装于辅运车辆上,与井下定位基站进行定位获取车辆位置信息,基站将车辆定位系统通过井下环网上传至地面调度平台,调度平台对井下车辆位置、状态信息进行展示、管理。根据AQ1119—2023《煤矿井下人员定位系统通用技术条件》要求,定位巡检周期不大于5s,因此,车辆定位卡的UWB定位,根据车辆的运动、静止状态以及定位巡检周期,进行间歇性工作休眠控制方式降低整机功耗。车辆定位卡通过加速度传感器感知车辆运动、静止状态,静止时位置无变动,定位周期可设定为小时及以上级别;运动时,通过MOS管开关电路控制UWB定位模块及其他外围电路进行间歇性供电,实现低功耗控制。图1为车辆定位卡整体设计框图。

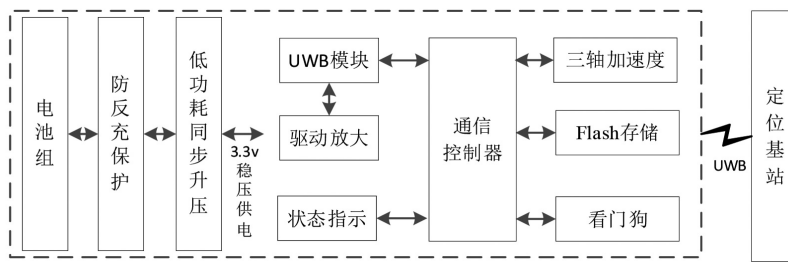


图1 车辆定位卡整体设计框图

Fig. 1 Overall design block diagram of vehicle positioning card

### 2 硬件设计

电池具有自放电效应,本文采用具有低自放电效应的锂亚硫酰氯电池供电。锂亚硫酰氯电池属于锂电池类型,具有自放电率超低、尺寸小的特点,非常适用于低功耗产品。由于安标国家矿用产品安全标志中心颁布的ABGZ-MK-08-2017-01《矿用产品安全标志审核发放实施规则—电池与电池组通用要求》规范中,要求锂亚硫酰氯电池的单体容量不能大于5Ah。为增加备用时间,系统采

用多节电池并联的方式,并在单体电池的输出端串接二极管防反冲,进行安全保护。系统在不定位时,处于 $\mu\text{A}$ 级低功耗休眠;定位时,UWB发射瞬间电流可高达300mA,导致如图2所示的低压脉冲。图中电池为满容量电池,发射瞬间拉低至2.5V;当电池容量变低时,电池输出电压降低,UWB定位芯片DW1000的供电电压最低为2.5V,可能导致系统复位、定位不可靠等问题。因此,系统采用将电池的输出经过低脉冲同步升压电路将电压稳定在3.3V的方式,解决上述问题。



图2 电池电压监测图

Fig. 2 Battery voltage monitoring chart

低脉冲同步升压电路的主芯片选用圣邦微电子公司的SGM66099B,其是一个超低静态电流同步升压转换器。SGM66099B工作电压为1.15V~5.2V,典型静态电流为1.7 $\mu\text{A}$ ,最大提供500mA的输出电流,转换效率高达93%,可最大限度地提高轻载效率并增加电池有效工作时间。此

外,该设备采用高侧同步整流器,提供输出断开功能,以最小化关机模式下从电池中汲取的不必要电流。此外,当输入电压比输出电压设定点高300mV时,其将进入直通模式,保证系统稳定供电。其宽工作电压范围、低功耗、大功率输出、高转换效率特点,保证系统的低功耗可靠工作。

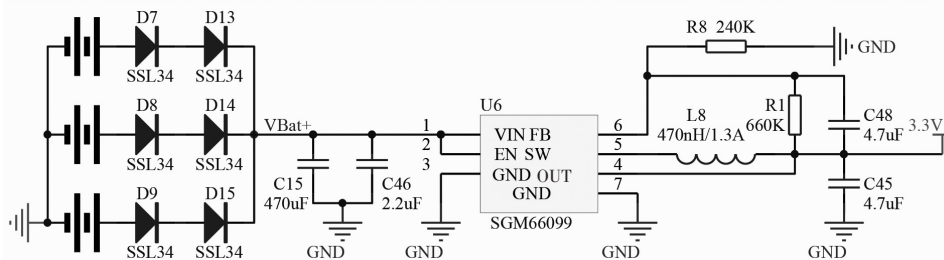


图3 SGM66099B 硬件设计电路图

Fig. 3 Hardware design circuit diagram of SGM66099B

### 3 低功耗设计

低功耗通过硬件和软件两方面设计共同实现。如图3所示,硬件按照模块化电路采用分区、分时供电技术来降低功耗,UWB定位模块及其他外围电路通过MOS管开关电路连接至供电电源,软件控制MOS开关,到达定位巡检周期时,MCU控制MOS开关打开,进行发送UWB定位数据,完成后关闭;MCU及三轴加速度传感器在定位时处于工作状态,在MOS管开关关闭后,处于休眠状态。

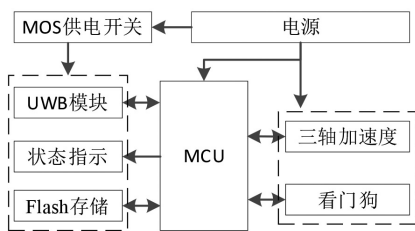


图4 供电逻辑图

Fig. 4 Power supply logic diagram

软件设计三轴加速度传感器获取车辆的运动、静止状态进行划分工作模式,静止状态下MCU关闭MOS管开关,MCU和三轴加速度传感器处于休眠状态;当三轴加速度传感器感应车辆处于运动状态时,发送中断数据激活MCU进入运动状态。运动状态下,车辆定位卡按照巡检周期进行间歇性工作,静止状态下,车辆定位卡进入低功耗进行休眠,降低系统功耗。

## 4 软件设计

### 4.1 定位算法研究设计

定位采用UWB单基站定位模式下的双边双向(double side-two way ranging, DS-TWR)算法,具有精度高、测距时间短、基站与终端无需时钟同步、易于实现的优点。终端主动发送定位申请Poll帧,并记录发送时间 $T_1$ ;基站接收后发送应答Resp帧,并记录信号接收时间 $T_2$ 及发送时间 $T_3$ ;终端接收应答帧Resp后,发送定位应答Final帧。基站通过定位过程中获得时间戳,通过式1计算基站到终端的信号传输时间 $T_{ft}$ ,通过式2进而获取基站与终端的距离 $L$ 。

$$T_{ft} = \frac{T_4 - 1 \times T_6 - 3 - T_3 - 2 \times T_5 - 4}{T_4 - 1 + T_6 - 3 + T_3 - 2 + T_5 - 4} \quad (1)$$

$$L = T_{ft} \times C \quad (2)$$

式中, $T_{ft}$ 为信号从终端到基站传输时间; $L$ 为终端与基站的距离; $C$ 为信号传输速度。

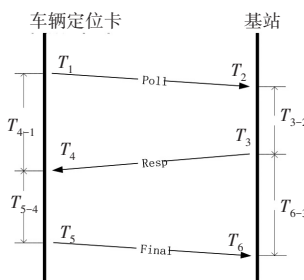


图5 测距时序图

Fig. 5 Ranging timing diagram

### 4.2 系统软件设计

车辆定位卡软件主要完成初始化配置、状态自检显示、定位算法实现,低功耗控制等功能。

软件系统工作后,首先读取Flash存储内的配置信息,主要包括定位巡检周期、三轴传感器振动阈值、本机卡号等基础信息,进而对MCU的RTC、I/O、Timer等功能模块进行初始化配置。初始化配置过程中,软件系统对各个模块功能自检进行本机指示或通过基站上传至管理平台。系统通过三轴传感器获取运动、静止状态,当检测到车辆处于静止状态,MCU关闭外围电路的MOS供电开关,并进入休眠直至振动超过阈值激活系统在休眠中醒来;当检测到车辆处于运动状态,系统按照巡检周期与基站进行间歇性定位,每次定位完成后,系统进入休眠状态,通过定时器进行定时唤醒。

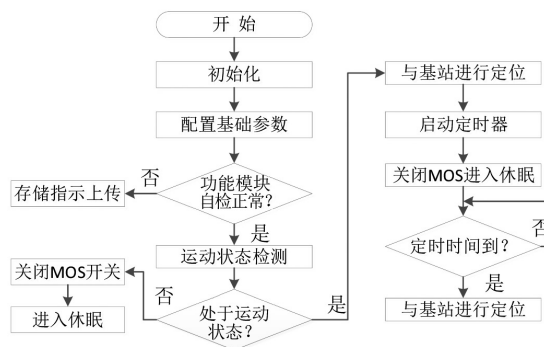


图6 软件主流程图

Fig. 6 Software main flow chart

## 5 测试分析

本文车辆定位卡的关键指标定位距离、精度和电池备用时间进行实验测试。

### 5.1 备用时间测试

遵循国家矿用产品安标中心下发的 ABCX-MK-08-2017-01 文件要求,系统采用 3 节 5 Ah 电池并联方式供电,总容量为 15 Ah。首先验证车辆定位卡电池使用利用率,将电池强制放电 80%后,车辆定位卡与定位基站进行定位时,使用示波器监测 SGM66099B 输出电压,测试结果如图 7 所示,

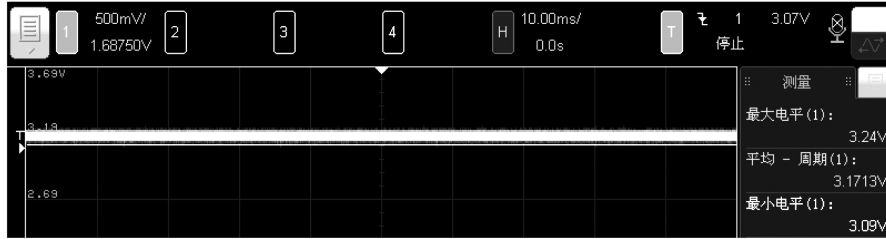


图 7 电源输出监测图

Fig. 7 Power supply output monitoring chart

### 5.2 定位距离及精度测试

在空旷环境下,如图 8 所示搭建测试平台,车辆定位卡 3 张分别放置在距离基站 10、300、600 m 附近位置;然后用全站仪测量车辆定位卡与基站的距离。正常工作通电 1 min 后,清空系统读卡数据库,测试共读取不少于  $10^4$  卡次的定位数据。试验后在中心站系统软件数据列表中导出每张卡记录的所有位置信息,计算所有卡测量位置与实际位置距离的差值,其最大差值为最大静态误差。

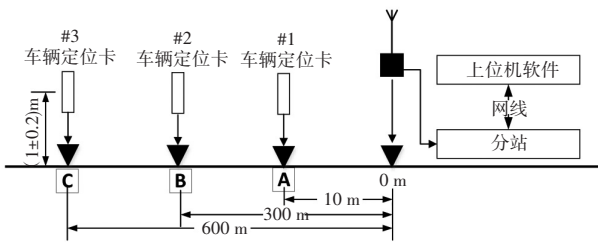


图 8 测试平台示意图

Fig. 8 Test platform schematic diagram

由表 1 的测试结果看出,车辆定位卡在 600 m 定位范围内,定位误差 < 30 cm,满足 AQ 119-2023 标准要求。

表 1 定位误差结果

Tab. 1 Positioning error results

| 卡号 | 全站仪测量值/m | 系统测量最大值/m | 误差/m |
|----|----------|-----------|------|
| #1 | 10.54    | 10.70     | 0.16 |
| #2 | 305.43   | 305.67    | 0.22 |
| #3 | 601.66   | 601.92    | 0.26 |

## 6 结论

本文基于 UWB 高精度定位,提出了软硬件协同分区分时供电,以及车辆运行状态识别的低功耗控制方法,研

最小电压在 3 V,满足系统正常工作的 2.5 V 要求。

为满足 AQ119-2023 标准要求,车辆定位卡定位刷新周期为 5 s。经测试,系统定位工作时最大电流为 300 mA,定位一次所需时间为 5 ms,休眠时电流为 0.05 mA。按照最严苛的现场应用条件,假设车辆一直处于运动状态,可得出系统工作平均电流为 0.35 mA。电池总容量为 15 Ah,利用率为 80%,根据上述系统工作平均电流为 0.35 mA,可得出车辆定位卡电池备用时间为 3.9 年,达到备用时间 3 年的设计指标。

制了超低功耗车辆定位卡。实验结果表明,基于耗精确定位的超低功耗车辆定位卡,备用时间可达 3 年,降低了现场维护工作量,满足了现场应用需求。

## 参考文献

- [1] 孙继平. 矿井人员位置监测技术[J]. 工矿自动化, 2023, 49(6): 41-47.
- [2] 王国法. 《煤矿智能化建设指南(2021年版)》解读—从编写组视角进行解读[J]. 智能矿山, 2021, 2(4): 2-9.
- [3] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 1-27.
- [4] 路焯. 煤矿井下智能运输系统建设分析[J]. 能源与节能, 2023(9): 187-190.
- [5] 霍振龙. 矿井定位技术现状和发展趋势[J]. 工矿自动化, 2018, 44(2): 51-55.
- [6] 常琳. 煤矿井下无线定位技术及系统的应用现状和发展方向[J]. 煤矿安全, 2021, 52(7): 94-98.
- [7] 叶伟. 煤矿井下目标定位的研究现状与展望[J]. 中国矿业, 2021, 30(1): 82-89, 105.
- [8] 许双全, 安悦, 张景程, 等. 基于物联网的抽水蓄能电站低功耗安全监测系统研究[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(10): 52-56, 61.
- [9] 游兆阳, 沈聪, 冯晨, 等. 基于 GIS 技术的电力通信光缆线路故障智能定位系统[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(7): 121-124.
- [10] 孟兆颖. 煤矿井下人员定位系统的现状和发展[J]. 山东工业技术, 2018(24): 74.
- [11] 常凯, 刘志更, 袁晓明, 等. 煤矿辅助运输系统智能化现状分析及框架设计研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6): 27-35.
- [12] 王凯军. 煤矿无轨胶轮车辅助运输系统及其改造过程探讨[J]. 煤炭与化工, 2021, 44(增刊 1): 54-55.