

车车通信后备模式下智能轨旁对象控制器系统^{*}

崔惠珊¹ 王 艳²

(1. 北京交通职业技术学院轨道交通系, 102200, 北京;

2. 北京运捷科技有限公司综合管理部, 102400, 北京//第一作者, 讲师)

摘 要 为解决基于车车通信的列车运行控制系统在通信中断情况下, 信号系统降级后备模式运行的问题, 设计了一种基于超宽带通信技术和射频识别技术的智能轨旁对象控制器系统, 实现了双向列车定位、列车车号识别、列车完整性判断、列车行驶方向判断和轨道占用检测等一系列基础功能。研制了样机并进行实验室测试。测试结果表明, 后备模式下, 所提智能轨旁对象控制器系统可以提供地面设备办理进路的后备模式, 保障行车安全。

关键词 轨道交通; 车车通信; 后备模式; 轨旁对象控制器系统

中图分类号 U284.48; U285

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.01.037

Smart Trackside Object Controller System under Vehicle-to-vehicle Communication Backup Mode

CUI Huishan, WANG Yan

Abstract In order to solve the problem of degraded backup mode operation of signaling system in case of the communication interruption of vehicle-to-vehicle communication based train control system, an intelligent trackside object controller system based on ultra-wide band communication (UWB) technology and radio frequency identification (RFID) technology is designed, which realizes a series of basic functions such as two-way train positioning, train number identification, train integrity judgment, train direction judgment and track occupation detection. The prototype is developed and tested in laboratory. Results show that under backup mode, the mentioned smart trackside object controller system can provide backup mode of ground equipment managing entry and ensure safe driving.

Key words rail transit; vehicle-to-vehicle communication; backup mode; trackside object controller system

First-author's address Department of Rail Transit, Beijing Jiaotong Vocational Technical College, 102200, Beijing, China

在基于车车通信的列车运行控制系统中, 正常运行模式下, 列车通过车车通信获取前后车的实时状态, 通信数据包括位置、速度和加速度等。后车基于自身车载控制器的运算能力预测前车的行驶轨迹, 同时计算两车不发生位移重合的安全防护速度, 以实现基于相对速度制动追踪模型的安全防护。车车通信系统由传统的以地面为中心控制转为以列车为中心控制, 由于车的自主性提高, 列车可根据自身的精确位置及时申请并释放道岔资源, 提升了运行效率。

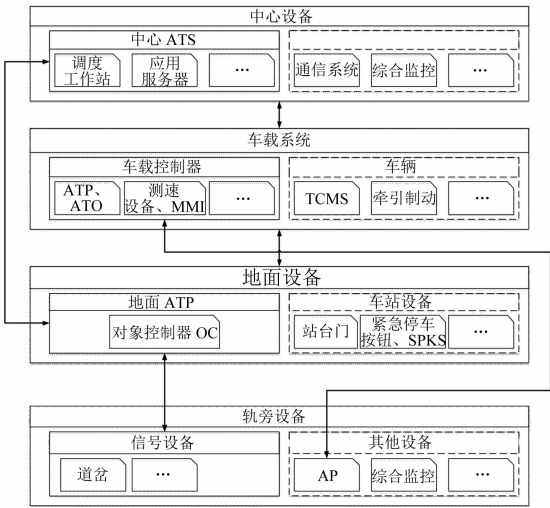
但在后备模式时, 当通信中断、列车降级运行, 若取消联锁、应答器、区域控制器和计轴器等系统, 如何实现检测区段占用、获得列车位置、将信息传给列控中心及其他列车已成为研究的重点。本文基于车路协同的思路, 利用 UWB(超宽带)和 RFID(射频识别)技术设计了一种智能轨旁对象控制器系统, 与车载系统等协同工作, 实现了双向列车定位、列车车号识别、列车完整性判断、列车行驶方向判断和轨道占用检测等一系列基础功能, 提供了地面设备办理进路的后备模式, 保障了降级模式下列车高效的运行。本研究为车车通信列车运行控制系统降级模式的运行提供了研究思路与试验基础。

1 车车通信后备模式研究现状

车车通信系统的核心组成设备包括中心设备 ATS(列车自动监控)、车载系统、车站 OC(对象控制器)、道岔及通信系统等。基于车车通信的全自动运行系统架构如图 1 所示。

针对车车通信的后备模式, 文献[1]提出一种基于雷达和摄像头两种传感器的远程瞭望系统, 通过列车装备激光雷达、相机等传感器, 实现前方障碍物感知。根据实际测试, 在直道上的远程瞭望系

^{*} 北京市科技计划课题(Z191100002519003)



注：ATP 为列车自动防护；ATO 为列车自动运行；
MMI 为人机界面；TCMS 为列车控制与管理系统；
SPKS 为作业人员防护开关；AP 为无线接入点。

图 1 车车通信系统架构图

Fig. 1 Diagram of vehicle-to-vehicle communication system architecture

统探测距离可达 300 m。然而在弯道情况下,受到激光雷达和相机自身工作原理的影响,检测效果会变差。文献[2]提出一种可以提供联锁级、点式级的车车通信后备模式,便于在未装备车载设备或车载设备故障的列车线路内混合运营。在线路建设初期或为了提高降级运行效率,文献[3]提出在地面布置独立设备以实现降级列车的运行,如区段自动闭塞、部署计轴及信号机设备、增加联锁系统等。但目前若仅在岔区部署计轴系统,无法获取列车的行驶方向和列车车号,OC 和 ATS 系统仍无法为列车办理进路。

对于后备模式下的非通信列车的线路资源管理,文献[4]提出经司机向行车调度员确认非通信列车的位置后,由行车调度员根据列车的运行计划在人机界面输入非通信列车位置、目的地等信息,再由列车管理设备为非通信列车申请当前位置到目的地之间所需的线路资源。然而,此种方案并不适用于 FAO(全自动运行)模式。

2 UWB 和 RFID 技术应用可行性分析

已有较多学者对如何将 UWB 技术应用于城市轨道交通系统进行了研究。文献[5]对信号系统故障下的列车应急运行控制系统进行了研究,将一个车载 UWB 信标与两个地面锚点组成测试系统,在北京地铁 10 号线莲花桥站、六里桥站、西局站三站两区间进行了测试,列车定位误差在 5 m 以内。

文献[6]对用于城市轨道交通定位算法的 UWB 技术进行了研究,根据城市轨道交通特点和 UWB 模块特性,采用最小二乘法、Taylor 递归法、Kalman 滤波等算法,使定位误差获得了显著改善,距离误差降低至 10 cm 以内,且绝大部分定位点距离误差小于 5 cm,能够满足精准停车需求。

RFID 技术在城市轨道交通中有较多的可行性研究。文献[7]研究了基于 RFID 技术的低地板有轨电车位置检测系统,并在北京亦庄新城有轨电车 T1 线上装车应用,位置检测系统显示列车在不同速度下(0~70 km/h),信标的读取率可达到 100%。

3 智能轨旁对象控制器系统设计研究方案

3.1 总体架构

智能轨旁对象控制器系统应用架构如图 2 所示。智能轨旁对象控制器设备包括安全计算机平台、UWB 锚点和 RFID 阅读器。轨旁 UWB 设备称之为锚点,为列车定位提供定位参考原点。安全计算机平台通过安全通信协议与 ATS、OC 等通信。车载设备传感器包括在车头和车尾分别部署两个异构的 UWB 模组(称为标签),以及在每一节车厢都安装 RFID 标签。

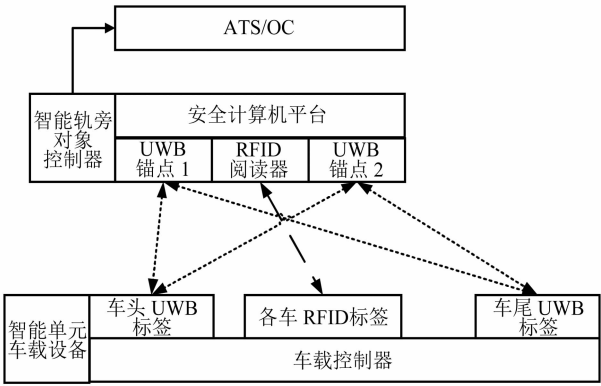


图 2 智能轨旁系统应用架构图

Fig. 2 Application architecture diagram of smart trackside system

当列车运行到智能轨旁对象控制器附近时,列车上的 UWB 标签与轨旁锚点通信测距,使列车获得车载标签相对于锚点的距离,进而实现列车自身的精确定位。由于 UWB 技术下,锚点和标签的角色可以互换,轨旁 UWB 也能够获得列车的位置并发送至 OC 和 ATS。以轨旁智能对象控制器为区段分界点,基于列车位置的 OC 能够通过计算获得区段的占用信息。

基于 RFID 和 UWB 技术,智能轨旁对象控制器

可以获得车次和车号信息,并发送给 ATS。在确保列车完整性的基础上,ATS 依据车次与运行图排列进路,并在列车进入岔区前的一个区段由 OC 驱动道岔,道岔的锁闭信息通过 UWB 发送给非通信列车,列车在保证安全的情况下通过道岔。

3.2 双向列车定位分析

双向定位是指列车获得自身相对于锚点的位置,以及智能轨旁控制器获得列车在轨道上的位置。列车定位算法如图 3 所示。设点 A 是地面的 UWB 锚点 1,点 B 是地面的 UWB 锚点 2,两个锚点数据由安全计算机处理。点 C 是列车的车头 UWB 设备,点 D 是车尾的 UWB 设备。在安装部署锚点设备时可以确定距离 AB ,UWB 直接测量距离 AC 、 AD 、 BC 和 BD 。由于列车完整性未知,距离 CD 是未知的。线段 AC 、 AB 和 BC 组成三角形。首先,基于三角形的边长关系,即两边之和大于第三边,两边之差小于第三边,判断三段距离是否合理。然后计算点 C 在直线 AB 上的投影点 E 的位置,可以获得 AE 长度和 BE 长度。若计算线段 AE 与线段 AB 的长度和约等于线段 BE 的长度,则认为计算点 E 的位置是合理的,即获得了车头距离 UWB 锚点的位置。同理可得车尾距离锚点的位置。定位算法流程图如图 4 所示。由于定位是通过两个异构的

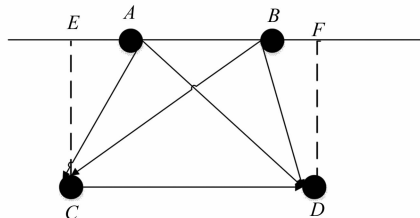


图 3 列车定位算法示意图

Fig. 3 Diagram of train locating algorithm

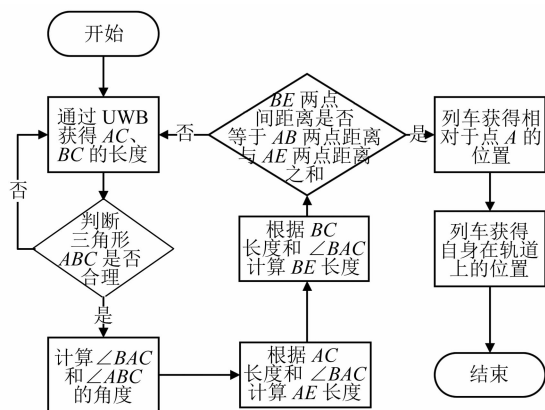


图 4 定位算法流程图

Fig. 4 Flow chart of locating algorithm

UWB 和安全计算机平台实现的,架构上可以保证定位结果安全可靠,达到 SIL4 (SIL 为安全完整性等级)级别。

3.3 列车车号识别分析

参考 ATIS (铁路车号自动识别系统) 中基于 RFID 获得车号的技术,当列车经过时,由轨道上部署的阅读器获得列车上 RFID 标签的数据内容,即列车车号数据。一般 UHF (特高频) 频段的 RFID 的辐射范围为 10 m,两侧距离则为 20 m,列车以 80 km/h 的运行速度经过时,行驶时间约为 1 s,按照地面安全计算机 300 ms 的运行周期计算,至少可以阅读 3 次 RFID 标签数据。

为了实现功能安全,UWB 技术也承载车号识别的功能。当列车经过时,列车车次和车号数据通过 UWB 技术以约定的通信协议对外广播出去,地面锚点接收后可获得列车车号和编组数据。

3.4 列车完整性判断分析

列车完整性判断基于车头和车尾之间 UWB 标签的距离。3.2 节中,通过计算获得了线段 AE 和线段 BF 的长度,将线段 AE 、 AB 和 BF 的长度和与列车长度进行比较,若两者误差在合理范围内,则说明列车是完整的。除此之外,列车完整性判断也可以通过当前编组的所有车号进行判断。UWB 和 RFID 依次获得经过的车厢车号,这些车号组成一个有顺序的数列,如果所有车号的顺序与 ATS 中存储的数据一致,则说明列车是完整的。

3.5 列车行驶方向判断

轨道 UWB 锚点 1 车头标签 C 、车尾标签 D 的位置关系如图 5 所示。在确定列车完整性的基础上, L 为定值,若列车定位准确,则 L_1 和 L_2 的测距正确。当 $L_1 < L_2$ 时,说明车头距离锚点 1 较近,而车尾距离锚点 1 较远 (见图 5 a))。经过一段时间

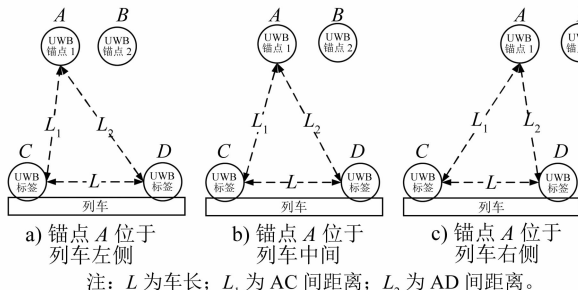


图 5 UWB 锚点与标签位置关系图

Fig. 5 Diagram of relationship between UWB anchor point and label position

后,当 $L_1 \approx L_2$ 时,说明车头、车尾与锚点 1 距离相同(见图 5 b))。再经过一段时间后,当 $L_1 > L_2$ 时,则说明车头远离锚点 1(见图 5 c))。因此基于 L_1 与 L_2 的长度变化过程,即可获得列车相对于锚点 1 的行驶方向。同理可获得列车相对于锚点 2 的行驶方向。由于锚点 1、锚点 2 的排列方向与轨道上、下行的关系是对应的,通过标签信息可以知道 C 为车头、 D 为车尾,故可以通过计算获得列车的行进方向。

3.6 轨道占用检测分析

在列车定位、行驶方向判断及车号等信息皆可获取的基础上,可以识别轨道占用检测。当图 3 中的线段 AE 长度约等于 0,且 RFID 阅读器只能获得车头的 RFID 标签时,说明列车开始进入下一个区段。当图 3 中的线段 AF 长度约等于 0,且 RFID 阅读器仅能获得车尾的标签时,说明列车驶出了上一个区段,全部进入下一个区段。通过判断车头和车尾分别进入区段的情况,可以获得轨道占用信息。

3.7 智能轨旁对象控制器样机

通过上述方案设计分析,基于 UWB 和 RFID 技术的智能轨旁对象控制器能够满足车车通信后备模式下的应用,其控制样机已研制完成。智能轨旁对象控制器样机的整体尺寸为 $42\text{ cm} \times 35\text{ cm} \times 10\text{ cm}$,功耗约为 35 W ,具有 IP65(IP 为侵入保护)防护等级。相对于传统计轴和轨道电路,智能轨旁对象控制器功耗和尺寸更小,可以更方便地部署在轨旁。目前,智能轨旁对象控制器样机在城市轨道交通通信与运行控制国家工程实验室进行了测试,测试结果验证了其可以实现双向列车定位、列车车号识别、列车完整性判断、列车行驶方向判断和轨道占用检测等功能。

4 结语

基于各研究机构对智能感知技术、UWB 和 RFID 技术的相关研究,本文从功能安全的角度为出发点,设计了一套智能轨旁对象控制器系统,为车车通信后备模式提供了列车自动运行基础数据,实现了由 OC 和 ATS 控制列车的后备运行。车车通

信的后备运行模式,是复杂的系统工程问题。本研究着重于地面传感部分的方案设计,实现了双向列车定位、车号识别、完整性判断、列车行驶方向判断以及轨道占用检测等功能。

参考文献

- [1] 张强,张宇旻,毛新德,等. 轨道交通远程瞭望系统[J]. 现代城市轨道交通,2021(5):39.
ZHANG Qiang, ZHANG Yumin, MAO Xinde, et al. Long-distance observation system of rail transit[J]. Modern Urban Rail Transit,2021(5):39.
- [2] 刘剑. 新一代城市轨道交通信号系统研究[J]. 城市轨道交通研究,2019,22(7):71.
LIU Jian. Next generation signal system of urban rail transit[J]. Urban Mass Transit,2019,22(7):71.
- [3] 杜恒,孙军国,张强,等. 基于地面无联锁及区域控制器的新一代 CBTC 系统方案[J]. 都市快轨交通,2017,30(4):91.
DU Heng, SUN Junguo, ZHANG Qiang, et al. A new generation of CBTC system without CI and ZC[J]. Urban Rapid Rail Transit,2017,30(4):91.
- [4] 朱志伟,李聪. 基于车车通信的地铁列车自主运行系统线路资源管理方案研究[J]. 城市轨道交通研究,2021,24(10):137.
ZHU Zhiwei, LI Cong. Research on wayside infrastructure management scheme in metro train autonomous control system based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Urban Mass Transit,2021,24(10):137.
- [5] 张爽,潘晓军,张强,等. 城市轨道交通信号故障下列车应急运行控制研究[J]. 现代城市轨道交通,2020(6):84.
ZHANG Shuang, PAN Xiaojun, ZHANG Qiang, et al. Research on train emergency operation control under signal failure on urban rail transit[J]. Modern Urban Rail Transit,2020(6):84.
- [6] 朱文刚,常海涛,薄云览,等. 基于超宽带技术的轨道交通定位算法研究[J]. 计算机测量与控制,2019,27(7):218.
ZHU Wengang, CHANG Haitao, BO Yunlan, et al. Research on location algorithms for rail transit based on UWB[J]. Computer Measurement & Control,2019,27(7):218.
- [7] 李生军. 基于 RFID 技术的低地板有轨电车位置检测系统设计[J]. 铁道通信信号,2021,57(6):90.
LI Shengjun. Design of low floor tram position detection system based on RFID technology[J]. Railway Signalling & Communication,2021,57(6):90.

(收稿日期:2022-01-19)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728