



数字轨道列车自动驾驶与导向控制技术研究

戴鹏程¹, 孙兆聪², 王文军², 杨丽¹, 陈志¹, 张弛¹

(1. 中车南京浦镇车辆有限公司, 江苏 南京 210031;

2. 清华大学, 北京 100084)

摘要: 数字轨道列车 (digital rail transit, DRT) 是一种新型的城市轨道交通制式, 它结合了传统低地板有轨电车的优势, 能够在没有实体轨道的情况下通过自动驾驶技术实现运营。文章首先概述了自动驾驶在轨道交通和汽车行业的发展现状, 对比了两者在标准和应用上的差异; 其次详细论述了DRT自动驾驶系统的基本框架, 包括环境感知、决策规划和运动控制3个核心层次; 最后分析了DRT的融合定位和融合导向技术。通过以上的技术分析得出结论: DRT自动驾驶技术能够依托成熟的环境感知技术、数字轨道地图和车辆规划控制技术, 实现多编组列车的自动驾驶控制; 数字轨道列车的导向控制系统融合了高精度定位、循迹导向及多源传感器的协同工作, 能够在复杂环境下实现列车的稳定运行与自动导向控制; 持续优化这些技术将使DRT在未来能够实现更加智能化和自动化的运营, 为城市交通提供一种高效、环保的解决方案。

关键词: 虚拟轨道; 电子导向; 自动驾驶; 数字轨道; 城市轨道交通

中图分类号: U293.5; U268.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-128X(2025)04-0122-08

0 概述

数字轨道列车 (DRT, 简称数轨列车) 融合了传统低地板有轨电车的诸多优势, 如乘客舒适度高与载客容量大, 同时运用了先进的自动驾驶技术, 实现了无须实体轨道约束的灵活运行, 这为城市交通的未来发展提供了新的可能性^[1]。

与传统钢轮钢轨相比, DRT取消了钢轨和接触网, 具有使用成本低、编组形式灵活、智能化程度高等优点。DRT系统的核心技术在于利用地埋无源磁钉形成数字化轨道, 列车通过车载电磁定位传感器实现实时定位, 从而实现沿数字轨道实时定位和高速循迹行驶。

自动驾驶技术是DRT系统的核心组成部分, 它涉及到车辆环境感知、决策规划、控制执行等多个环节。目前, 自动驾驶技术已经在轨道交通系统和智能网联汽车中得到了广泛的研究和应用, 尤其是北京、香港等地全自动无人驾驶车辆 (GOA4) 的运营以及以特斯

拉为代表的汽车自动驾驶技术的运用。如何融合自动驾驶技术优势, 使数轨列车在特定场景中发挥更大的作用, 是相关技术人员研究的方向之一。

导向控制技术同样是DRT系统的关键所在。通过融合定位、循迹导向、数字地图、车路协同与智能感知等技术, 数轨列车能够在虚拟轨道上实现自动导向控制。利用虚拟轨道提供的横向与纵向定位数据, 结合车辆自带传感器获取的车身信息, 根据列车的运动学与动力学模型, 全面评估列车的运动状态, 提高车辆导向控制精度。

综上, DRT作为一种新型的城市轨道交通系统, 融合了传统有轨电车的优势和现代自动驾驶技术, 以及先进的导向控制技术, 不仅能够降低建设成本和缩短建设周期, 还能够提供高效、智能、环保的交通解决方案。

1 数轨自动驾驶场景研究

1.1 标准体系对比

DRT自动驾驶技术的研究和应用需要综合考虑多

通信作者: 戴鹏程, 男, 研究方向为数字轨道列车控制及列车控制网络; E-mail: dl_daipengcheng@163.com

引用格式: 戴鹏程, 孙兆聪, 王文军, 等. 数字轨道列车自动驾驶与导向控制技术研究[J]. 机电传动, 2025(4): 122-129. DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.04.101.

Citation: DAI Pengcheng, SUN Zhaocong, WANG Wenjun, et al. Research on autonomous driving and guidance control technology of digital rail transit[J]. Electric drive for locomotives, 2025(4): 122-129. DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.04.101.

个方面的因素。DRT结合了轨道车辆的特征和传统汽车的特征,在运营上具有独立但非封闭的路权。这意味着DRT的自动驾驶系统不仅要满足轨道交通的自动化要求,还要适应汽车行业的自动化标准^[2]。

根据标准 GB/T 32590.1—2024,城市轨道交通系统的自动化等级分为5级(GOA0~GOA4),其中GOA0~GOA3等级均需要驾驶员不同程度的参与,而GOA4等级则为无人的全自动驾驶。根据GB/T 40429—2021标准,汽车驾驶自动化等级分为6级(0~5级),其中5级为完全自动驾驶,不需要驾驶员和方向盘^[3]。

在DRT自动控制系统的的设计中,既要融合轨道交通的自动化要求,也要考虑汽车智能化控制技术。轨道交通自动化等级和汽车自动化等级在驾驶员与系统之间的控制权交割上存在显著区别^[4]:轨道交通GOA0是完全手动操纵,而GOA1~GOA3阶段的驾驶员仍然需要参与,承担启动、停止或紧急情况下的操作,直到GOA4才能实现完全无人控制;而汽车在0级到2级时要求驾驶员时刻监控,3级则允许系统在特定情况下自动驾驶、驾驶员在提示下进行接管,4级可在受限条件下完全自动驾驶,5级则实现完全不受限的自动驾驶。因此,DRT自动驾驶等级的设计目标为轨道交通的GOA3、汽车的3级;同步开展虚拟数字轨道列车的自动驾驶水平标准定义,该定义需结合轨道交通系统对连续控制的严格要求和汽车在特定场景下的灵活自主性。整个自动驾驶系统必须具备健全的预警避险机制和人工接管流程,以保障安全运行。

1.2 自动驾驶场景分析

自动驾驶场景分析是DRT自动驾驶系统设计的重要环节。通过对正常场景、异常场景和应急场景的分析,更好地理解实际运营中可能面临的问题,并据此设计出更加完善的自动驾驶系统。DRT的自动驾驶系统应确保车辆在复杂交通环境中高效、安全运行,如图1所示。

DRT自动驾驶系统的发展面临诸多技术挑战,需基于融合定位和融合导向技术实现高精度循迹导向控制,同时结合高精度感知定位技术实现虚拟道岔线路选择。该系统需集成全轴协同转向技术^[5]与车辆导向控制技术,结合系统的环境感知与行为预测,与行人、自行车、其他车辆等交通参与者进行智能交互,从而实现全自动运行控制。

2 数轨列车自动驾驶系统架构

2.1 系统框架

自动驾驶系统是DRT实现自动驾驶功能的核心,通过集成多种先进技术,为数轨列车在无实体轨道环境下的安全、高效运行提供保障。

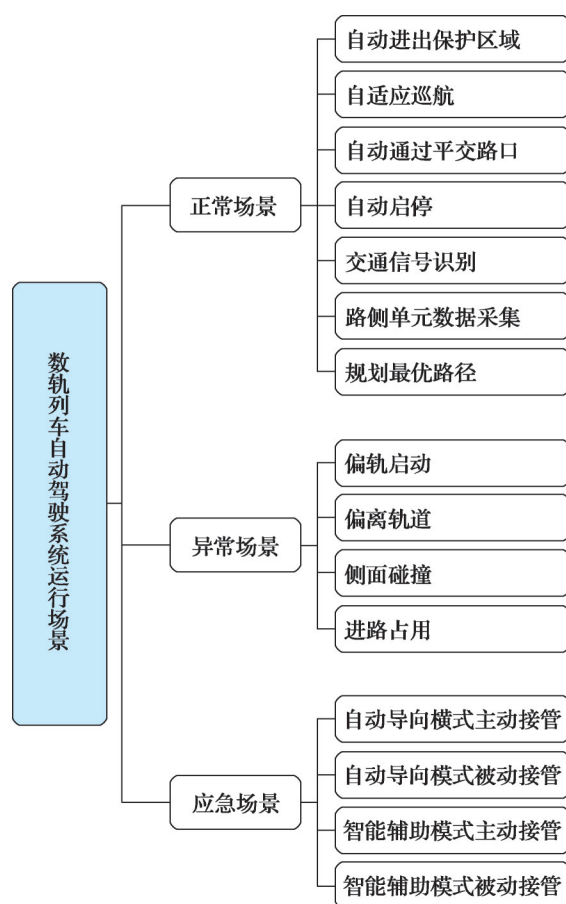


图1 数轨列车运行场景定义图

Fig. 1 DRT operating scenarios diagram

DRT自动驾驶系统基本框架如图2所示,主要分为3层:①环境感知层,它是自动驾驶系统的“感官”,负责收集车辆周围的环境信息(包括道路状况、交通信号、周围车辆和行人等^[6]),并将环境感知数据融合,为决策规划层提供准确的数据输入。②决策规划层,它是自动驾驶系统的“大脑”,它根据环境感知层提供的信息,以高精度数字地图和卫星定位系统辅助为基础,进行数据处理和分析,制定行为决策,进行运动规划。③运动控制层,它是自动驾驶系统的“执行器”,它将决策规划层的结果转化为具体的控制动作,精确控制车辆的行驶状态,确保车辆能够平顺、精准地执行预定的行驶路径;实时监测车辆的运行状态,并根据实际情况进行调整,以应对各种复杂交通的突发情况。

2.2 环境感知层

DRT自动驾驶系统的环境感知层通过多源传感器融合实现全方位的环境感知。核心传感器包括激光雷达^[7]、视觉传感器、超声波雷达等,不同传感器在探测距离、分辨率和响应时间等参数上表征各异,其主要特点如表1所示。

考虑到单传感器失效下系统可用性,研究团队采用多传感器融合方案。DRT融合感知效果如图3所示。

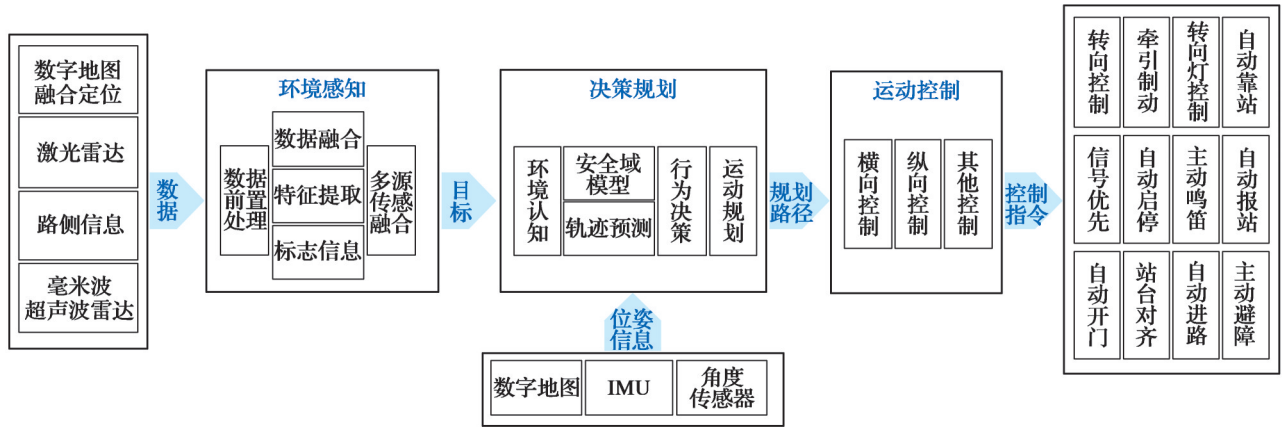


图 2 数轨列车自动驾驶基本框架
Fig. 2 DRT autonomous driving framework

表 1 环境感知传感器性能对比

Table 1 Performance comparison of environmental perception sensors

指标	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达	激光雷达
探测距离	< 60 m	< 8 m	160 m	160 m
分辨率	差	差	2 mm	12 mm
方向性	由镜头决定	> 1°	90°	< 1°
响应时间	100 ms	100 ms	2 s	10 ms
精度等级	一般	一般	一般	较高

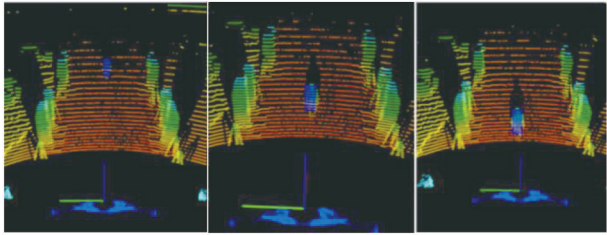


图 3 数轨列车融合感知效果图
Fig. 3 Perception fusion of DRT

2.3 决策规划层

决策规划层涵盖行为决策与运动规划两大模块，其功能示意如图 4 所示。行为决策模块智能判断车辆在面对特定情境（如避障、停车等）时应采取的最优行为策略；而运动规划模块则进一步细化，精确计算并规划出车辆的速度曲线与行驶轨迹，确保车辆运动的平滑与安全。此过程综合考虑了道路状况、交通规则、周边车辆动态及潜在安全威胁等多重因素^[8]。

在车速曲线决策规划过程中，车辆控制器通过激光雷达点云进行目标识别与分析，运用深度学习技术追踪前方目标确定其位置与速度，融合双目视觉图像信息，利用特征识别技术对目标和障碍物进行精准分类与识别，进而实现预测功能。结合车载传感器收集的多源数据（包括交通信号灯状态及数字轨道地图信息），自动驾驶系统迅速制定并执行紧急避障策略与车速优化规划，实现控制执行的智能化与安全性。

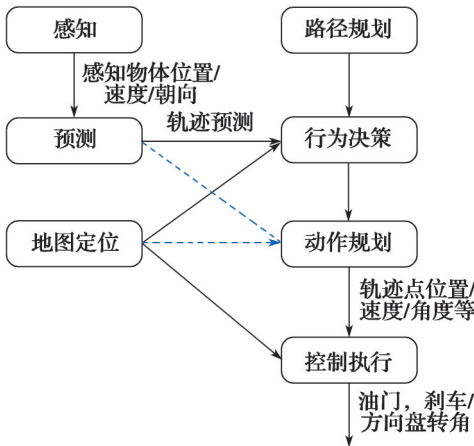


图 4 决策规划层
Fig. 4 Decision-making and planning layer

2.4 运动控制层

运动控制层是 DRT 运动执行的核心，负责牵引制动和导向转向控制，重点针对两个重要方向：①牵引制动的平滑控制，根据列车速度、重量、轨道梯度和外部环境综合计算，实现在复杂工况下精确抑制冲击极限；②导向转向的长迟滞响应与转向舒适性提升，结合电子地图的前瞻信息和列车载荷信息，实时预调整转向角，实现渐进转向，提升乘客体验。

运动控制层还与其他系统紧密协作，共同提升列车整体运行效率和安全性^[9]。面对复杂交通节点，自动驾驶车辆能智能获取交通信号灯指示信息，适时开启转向灯进行左转，确保绿灯顺畅通行，提升通行效率并缓解交通拥堵。这一系列功能从环境感知、即时响应、精准停靠、乘客安全保护到智能交通信号交互，共同构建了一个高度集成、可靠的自动驾驶系统。

3 数轨列车自动驾驶关键技术

在 DRT 自动驾驶系统中，融合定位子系统负责列车姿态和列车轨迹的高精度感知获取；融合导向子系

光)、磁钉定位与RTK信息,将不同的目标检测物体基于时间异步传感进行融合,实现同一空间时域目标的精确匹配。

①通过使用线性插值算法和近邻匹配算法对融合目标进行位置校正。

线性插值算法可表示为

$$p^x(t_i)=p^x(t_j)+\bar{v}_{ji}(t_i-t_j) \tag{2}$$

式中： $p^x(t_i)$ 为 t_i 时刻、目标编号为 x 的目标的位置信息； $p^x(t_j)$ 为 t_j 时刻、目标编号为 x 的目标的位置信息； $\bar{v}_{ji}$ 为从 t_j 时刻到 t_i 时刻列车运行的平均速度。

近邻匹配算法的基础是同一目标在视觉传感器和激光雷达下获取的空间距离小于目标间的空间距离,因此可以认为空间距离矩阵中数值较小的元素所对应的视觉目标与激光目标是同一目标,此时可以基于近邻匹配算法进行目标间的关联。从矩阵的左上角开始依次搜索极小值,依次确定相关联目标,确认后将该元素的横纵列删除,再依次搜索极小值,重复此操作。具体如图8所示,红色圆圈、绿色圆圈和蓝色圆圈分别为依次搜索出的最小值,所对应的视觉目标1与激光目标1、视觉目标2与激光目标4、视觉目标3与激光目标3为相互匹配的目标,据此可快速匹配定位特定目标。

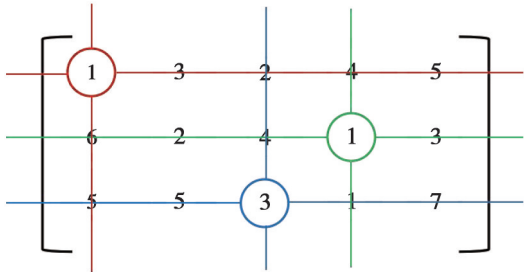


图8 激光雷达和双目视觉目标匹配

Fig. 8 LiDAR and binocular vision target matching

②基于时间异步融合目标探测结果模块输出融合目标的类别、横向距离、纵向距离、融合标志、置信度及时间戳,同时输出车道中心线方程、置信度及时间戳等信息。最后实现视觉引导,并采取漏检与错检规避策略,提升检测可靠性。

为验证环境感知技术的性能,研究团队从实车的测试过程中选取了两个场景,具体如图9所示。在夜间(低光照)场景下,对不同速度等级下同一物体(车辆)的雷达探测和视觉感知进行距离匹配试验,实现了100 m以内的稳定探测,响应时间40 ms左右。在日间(高光照)场景下,使用行人和模型作为试验对象检测系统雷达探测和视觉感知的距离匹配性关系,实现了距离55 m以内的探测,响应时间40 ms左右。

4.2 光电磁融合偏差定位技术

DRT融合导向架构集成了多种传感技术与控制策略。系统结合车辆视觉感知与导向控制模型,通过离

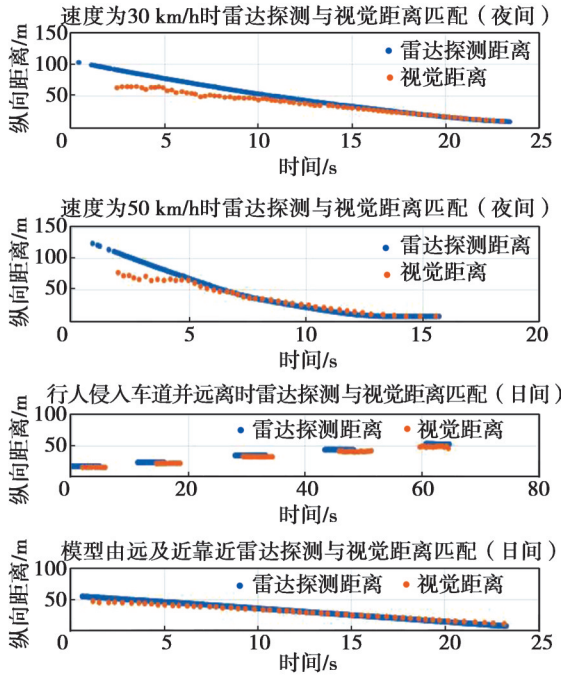


图9 不同环境下视觉和雷达距离匹配

Fig. 9 Vision and radar distance matching under different environments

散化与代码化优化导向控制设计。其中,车载电磁定位传感器与双目视觉传感器用于获取车辆姿态信息。为适应不同环境,系统采用视觉偏差与磁钉偏差的加权融合策略,如图10所示。上电时,若无磁钉数字轨道地图且仅有视觉信号,视觉偏差权重占90%以上;获取磁钉轨道地图后,磁钉偏差权重提升至90%以上,视觉偏差降至10%以下。具体计算方式包括:当视觉与磁钉偏差均可用时,通过两者变化量计算横向偏差;若仅有磁钉偏差与惯性导航信号,则结合磁钉偏差与横摆角速度积分计算;在仅有磁钉偏差的情况下,采

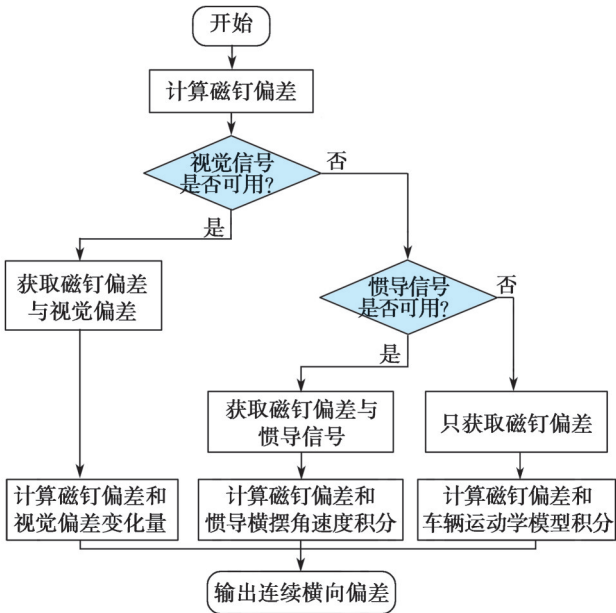


图10 光电磁融合横向偏差定位

Fig. 10 Lateral deviation localization utilizing opto-electromagnetic fusion

用磁钉偏差与车辆运动学模型积分计算偏差。

4.3 磁钉位置预测与轨迹拟合技术

为实现DRT系统的精准定位与偏差检测, 解决磁标签间隔导致的离散性问题, 本文通过将扩展卡尔曼滤波(EKF)^[12]与动态补偿算法相结合进行磁钉位置预测与轨迹拟合。

动态补偿算法通过实时调整过程噪声协方差 Q_k 和观测噪声协方差 R_k , 确保在不同速度、不同加速度和不同转向变化的情况下, 系统能够优化轨迹预测精度。

利用非线性动态方程描述车辆运动状态为:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = f(\mathbf{x}_k) + w_k \quad (4)$$

式中: p_k 为车辆运行 k 时刻位置; v_k 为车辆 k 时刻速度; $f(\mathbf{x}_k)$ 为状态转移函数, 表示从时刻 k 到时刻 $k+1$ 的运动模型; w_k 为过程噪声, 假设其为零均值、高斯分布噪声。

在本研究中, 假设列车的运动可以通过如下简化的状态转移模型来描述:

$$f(\mathbf{x}_k) = \begin{bmatrix} p_k + v_k \Delta t \\ v_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

对于上述状态转移模型, 雅可比矩阵为

$$\mathbf{F}_k = \frac{\partial f(\mathbf{x}_k)}{\partial \mathbf{x}_k} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据当前时刻的状态估计值 $\hat{\mathbf{x}}_k$, 预测下一个时刻的状态为

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^- = f(\hat{\mathbf{x}}_k) \quad (7)$$

更新误差协方差矩阵 $\mathbf{P}_k$ 的预测值为

$$\mathbf{P}_{k+1}^- = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_k \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_k \quad (8)$$

式中: $\mathbf{Q}_k$ 为过程噪声的协方差矩阵, 描述了系统过程的随机性。

由于磁钉的位置 z_k 是直接测量的, 因此观测模型可以写为

$$z_k = h(\mathbf{x}_k) + v_k \quad (9)$$

式中: $h(\mathbf{x}_k) = p_k$ 为位置的观测模型; v_k 为观测噪声, 假设其为零均值、高斯分布噪声。

利用实际观测值 z_k 来更新状态估计:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (10)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1} = \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^- + \mathbf{K}_k (z_k - h(\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^-)) \quad (11)$$

$$\mathbf{P}_{k+1} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k+1}^- \quad (12)$$

式中: $\mathbf{K}_k$ 为卡尔曼增益; $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵; $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声协方差矩阵。

通过扩展卡尔曼滤波预测下一个磁标签位置后, 接下来需要将当前磁标签位置和预测位置拟合为连续的轨迹。为此, 可以采用插值或最小二乘法进行曲线拟合。假设历史磁钉位置为 p_k , 预测的下一个磁钉位置为 $\hat{p}_{k+1}$, 可以利用二次插值或样条插值等方法得到平滑的轨迹曲线。通过拟合方法, 将历史位置 p_k 和预测位置 $\hat{p}_{k+1}$ 连接, 生成一条平滑的曲线, 从而消除因磁钉间隔造成的定位跳跃, 实现连续的轨迹预测。

根据磁场模型进行软件近似偏差估计并根据实际的传感器检测偏移进行统计, 如图11所示。由于磁传感器具有相对性, 即它安装于车辆上, 既是标尺也是被测量对象, 因此制作了移动标尺测量仪以方便在静

编号	实际值/mm	测量值/mm	编号	实际值/mm	测量值/mm	编号	实际值/mm	测量值/mm
1	700	700	1	700	703	1	700	701
2	650	650	2	650	649	2	650	650
3	600	597	3	600	599	3	600	599
4	550	552	4	550	550	4	550	551
5	500	499	5	500	502	5	500	499
6	450	450	6	450	450	6	450	451
7	400	402	7	400	402	7	400	401
8	350	348	8	350	349	8	350	349
9	300	300	9	300	300	9	300	299
10	250	248	10	250	250	10	250	250
11	200	201	11	200	202	11	200	201
12	150	153	12	150	150	12	150	152
13	100	102	13	100	99	13	100	100
14	50	51	14	50	50	14	50	49
15	0	1	15	0	1	15	0	-1
16	-50	-51	16	-50	-51	16	-50	-52
17	-100	-101	17	-100	-101	17	-100	-101
18	-150	-149	18	-150	-149	18	-150	-148
19	-200	-202	19	-200	-198	19	-200	-198
20	-250	-249	20	-250	-249	20	-250	-249
21	-300	-300	21	-300	-300	21	-300	-299
22	-350	-350	22	-350	-351	22	-350	-352
23	-400	-400	23	-400	-402	23	-400	-400
24	-450	-449	24	-450	-448	24	-450	-450
25	-500	-501	25	-500	-501	25	-500	-502
26	-550	-550	26	-550	-552	26	-550	-551
27	-600	-600	27	-600	-602	27	-600	-602
28	-650	-651	28	-650	-651	28	-650	-650
29	-700	-701	29	-700	-701	29	-700	-701

图 11 磁传感器检测偏移统计

Fig. 11 Offset statistics utilizing magnetic sensor detection

态和动态下测试磁传感器采集状态。由图 11 可知,在低速匀速移动下,磁传感器检测相对中心线的偏移,磁传感器实际位置与测量值的偏差范围可满足厘米级的控制要求。

5 结束语

本文针对数轨列车(DRT)这一新型城市轨道交通系统重点进行了自动驾驶技术与导向控制技术研究,对比了自动驾驶技术在轨道交通与汽车行业的不同应用和标准,详细分析 DRT 自动驾驶系统的基本框架,将其划分为环境感知、决策规划和运动控制 3 个层次。通过融合定位、循迹导向、数字地图、车路协同与智能感知等技术,实现了车辆在虚拟轨道上的精确导向,确保了车辆的稳定性和安全性。特别是在面临没有实体轨道约束而带来精确感知、定位和调度的问题,本文提出了多传感器融合技术,提高了环境感知的准确性和可靠性;同时融合导向控制系统结合了电磁标签和视觉感知技术,进一步增强了车辆在预定轨道上的稳定运行和精确控制能力。

随着技术的不断进步,DRT 自动驾驶系统有望在未来城市交通中发挥更加重要的作用,为乘客提供更加舒适、便捷的出行体验。

参考文献:

- [1] 徐友春,王荣本,李兵,等.世界智能车辆近况综述[J].汽车工程,2001,23(5): 289-295.
XU Youchun, WANG Rongben, LI Bing, et al. A summary of worldwide intelligent vehicle[J]. Automotive engineering, 2001, 23(5): 289-295.
- [2] 李德海.自动驾驶等级划分及技术路线分析[J].汽车实用技术,2019(6): 22-25.
LI Dehai. Automatic driving classification and technical route analysis[J]. Automobile technology, 2019(6): 22-25.
- [3] 全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114).汽车驾驶自动化分级:GB/T 40429—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
National technical committee of auto standardization. Road vehicles—diagnostic communication over controller area network (DoCAN) —dictionary: GB/T 40429—2021[S]. Beijing: China Standard Press, 2021.
- [4] 陆海英,丁铁成,杨岗.智能轨道列车综述[J].电子世界,2021(3): 166-167.
LU Haiying, DING Tiecheng, YANG Gang. Overview of intelligent rail transit trains[J]. Electronics world, 2021(3): 166-167.
- [5] SUN Z C, DAI P C, TIAN Z Y, et al. Steering modeling and off-tracking suppression control of train-like automobiles [J]. IFAC-papersonline, 2022, 55(37): 223-228.
- [6] 方帅.基于深度学习的智轨列车前方障碍物检测研究[J].汽车维修技师,2022(12): 116.
FANG Shuai. Research on obstacle detection for smart rail transit trains based on deep learning[J]. Auto maintenance, 2022(12): 116.
- [7] 张杨博文,梁海峰,余振康.较粗空间分辨率影响下FMCW激光雷达测距方法研究[J].激光杂志,2024,45(8): 32-37.
ZHANG Yangbowen, LIANG Haifeng, YU Zhenkang. Research on FMCW lidar ranging method under the influence of coarse spatial resolution[J]. Laser journal, 2024, 45(8): 32-37.
- [8] 罗铁深.基于车联网的“智轨”数据传输方式设计与验证[D].北京:北京交通大学,2019.
LUO Yili. Design and verification of "smart rail" data transmission method based on vehicle networking[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [9] 全国轨道交通电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278).轨道交通 市域铁路和城轨交通运输管理和指令/控制系统 第1部分:系统原理和基本概念:GB/T 32590.1—2024[S].北京:中国标准出版社,2024.
National technical committee for standardization of electrical equipment and systems in rail transit(SAC/TC 278). Railway applications—suburban railway and urban guided transport management and command/control systems—part 1: system principles and fundamental concepts: GB/T 32590.1—2024[S]. Beijing: Standards Press of China, 2024.
- [10] 彭志成,毕栋,朱政泽,等.融合Stanley与模糊PID无人车横纵向协同控制[J].湖北汽车工业学院学报,2024,38(4): 1-5.
PENG Zhicheng, BI Dong, ZHU Zhengze, et al. Lateral and longitudinal cooperative control of unmanned vehicles by integrating Stanley and fuzzy PID[J]. Journal of Hubei university of automotive technology, 2024, 38(4): 1-5.
- [11] 张俊娜,白国星.考虑系统约束的预瞄Stanley车辆路径跟踪控制[J].现代制造工程,2023(9): 61-68.
ZHANG Junna, BAI Guoxing. Path tracking control of vehicles based on preview Stanley control considering system constraints[J]. Modern manufacturing engineering, 2023(9): 61-68.
- [12] 孟秀云,王语嫣.一种SINS/GPS紧组合导航系统的改进自适应扩展卡尔曼滤波算法[J].北京理工大学学报,2018,38(6): 625-630.
MENG Xiuyun, WANG Yuyan. An improved adaptive extended Kalman filtering algorithm of SINS/GPS tightly-coupled integrated navigation system[J]. Transactions of Beijing institute of technology, 2018, 38(6): 625-630.
- [13] 王洪先.陆用惯性导航系统技术发展综述[J].光学与光电技术,2019,17(6): 77-85.
WANG Hongxian. Summary of the technology development of land inertial navigation system[J]. Optics & optoelectronic technology, 2019, 17(6): 77-85.

Research on autonomous driving and guidance control technology of digital rail transit

DAI Pengcheng¹, SUN Zhaocong², WANG Wenjun², YANG Li¹, CHEN Zhi¹, ZHANG Chi¹

(1. CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210031, China;
2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Digital rail transit (DRT) is a new type of urban rail transit system that combines the advantages of traditional low-floor trams while operating autonomously without the need for physical tracks. This paper first outlines the current development of autonomous driving in both the rail transit and automotive industries, and compares the differences in standards and applications between the two sectors. Subsequently, it describes the basic framework of the DRT autonomous driving system, which includes three core levels: environmental perception, decision-making planning, and motion control. Finally, it introduces the integrated positioning and guidance technologies specific to digital rail transit. Through technical comparisons and scenario analyses, this paper concludes that DRT autonomous driving technology can leverage mature environmental perception technology, digital track maps, and vehicle planning and control technology to achieve autonomous driving control of trains of multiple formations. The guidance control system of digital rail transit integrates high-precision positioning, trajectory guidance, and multi-source sensor coordination to ensure stable operations and autonomous guidance in complex environments. Continuously optimizing these technologies will enable DRT to achieve more intelligent and autonomous operations in the future, providing an efficient and environmentally friendly solution for urban transportation.

Keywords: virtual track; autonomous guiding; autonomous driving; digital track; urban rail transit