

基于北斗导航的城市交通车辆精准定位技术研究

张鑫¹ 冯琦² 王海荣³

1. 陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西 西安 710086
2. 西咸新区泾河新城第一中学 陕西 西安 712046
3. 陕西高速星展科技有限公司 陕西 西安 710086

摘要：北斗导航在城市交通车辆定位中优势显著，其应用基于卫星信号传输接收，通过三角定位确定车辆位置，但信号易受干扰致定位误差。精准定位关键技术涵盖多模融合、高精度时间同步、数据处理与滤波以及卫星信号增强等方面。这些技术协同作用，有效提升定位精度与稳定性，在智能交通管理、辅助自动驾驶及车辆安全监控等领域展现出广阔应用前景。

关键词：北斗导航；城市交通车辆；精准定位技术

引言

随着城市化进程加速，城市交通问题日益凸显，车辆精准定位成为提升交通管理效率、保障交通安全与实现自动驾驶的关键。传统定位技术在城市复杂环境下存在诸多局限性，难以满足日益增长的需求。北斗导航系统凭借高精度、广覆盖优势，借由卫星信号传输接收及先进定位技术，为城市交通车辆精准定位赋能，对推动城市交通智能化意义重大。

1 北斗导航在城市交通车辆定位中的应用原理

北斗导航系统在城市交通车辆定位领域展现出了明显优势，其应用原理主要围绕卫星信号的传输与接收展开。北斗卫星作为信号发射源，持续向地面播发包含时间、位置等关键信息的信号。这些信号以光速在空间中传播，当车辆上的北斗接收机成功捕获到卫星信号后，便开启了定位计算的关键步骤。接收机通过精准测量信号从卫星传播至自身所耗费的时间，依据光速恒定这一特性，可准确计算出与卫星之间的距离。为确定车辆在地球表面的具体位置，接收机采用三角定位原理。由于至少需要三颗卫星的信号才能完成三维空间定位，接收机同时处理来自多颗卫星的信号，通过复杂的几何计算，确定车辆在经度、纬度和高度三个维度上的坐标。在实际应用场景里，北斗导航信号传播易受诸多因素干扰。电离层中带电粒子会使信号传播路径弯曲、速度改变，引发电离层延迟；对流层不同高度的气压、温度、湿度差异，导致对流层折射，让信号传播时间出现偏差。这些干扰因素致使车辆定位结果产生误差。为提升定位精度，地面差分站技术应运而生。地面差分站精准监测卫星信号误差，生成修正信息并以特定格式传输给车辆接收机。接收机获取修正信息后，对原始定位数据

进行科学校正，大幅消除误差，实现厘米级甚至更高精度的车辆定位，有力支撑城市交通实现精准管理与高效运行。

2 实现城市交通车辆精准定位的关键技术

2.1 多模融合定位技术

在城市交通复杂环境下，实现车辆精准定位需突破单一定位技术的瓶颈，多模融合定位技术应运而生。该技术整合北斗导航与惯性导航、地基增强系统等多种定位手段，构建优势互补的定位体系。惯性导航系统基于牛顿力学原理，借助加速度计和陀螺仪实时测量车辆的加速度与角速度，通过积分运算推算车辆的位移、速度和姿态信息。当城市高楼遮挡北斗卫星信号或存在电磁干扰致使卫星信号失锁时，惯性导航可无缝衔接，持续输出车辆运动参数，维持定位连续性。而地基增强系统依托地面基准站网络，对北斗卫星播发的原始信号进行实时监测与分析。计算卫星信号与基准站已知精确坐标间的偏差，生成差分改正信息并发送至车载接收机，对卫星定位结果进行修正，大幅提升定位精度至厘米级甚至毫米级。多模融合定位技术并非简单的技术叠加，而是通过复杂的融合算法实现数据深度融合。在数据融合过程中，依据不同定位技术在特定环境下的性能表现，动态分配权重。如在开阔路段，北斗导航信号稳定，赋予其较高权重；进入隧道等卫星信号受限区域，提高惯性导航权重，确保定位结果的准确性和可靠性。该技术还能有效抑制各定位技术的系统性误差，降低随机误差影响，通过互补特性显著提升定位系统的鲁棒性，满足城市交通对车辆高精度、连续、可靠定位的严苛需求^[1]。

2.2 高精度时间同步技术

(1) 北斗导航定位本质依赖信号传播时间测量，

高精度时间同步是定位准确性的关键支撑。卫星与地面接收机间时间同步精度，直接左右距离测量精度，决定车辆定位精准度。（2）原子钟技术凭借卓越的时间稳定性和准确性，成为高精度时间同步的核心。原子钟利用原子能级跃迁时辐射或吸收电磁波的频率稳定性，产生精确时间信号，时间误差极小，每百万年误差不超过一秒。在北斗导航系统里，卫星搭载高精度原子钟作为时间基准，持续生成稳定时间信号，并随导航电文播发至地面。（3）车载接收机配备原子钟或高精度时钟模块，通过接收卫星信号中的时间信息，与卫星时间比对校准。此过程涉及复杂时间同步算法，如双向时间传递和共视时间比对。双向时间传递借助卫星与接收机间的双向信号交互，精确测量信号往返时间，消除信号传播路径延迟等误差；共视时间比对利用多个接收机同时观测同一组卫星，通过比较接收时间信息，实现高精度时间同步。通过这些技术，将卫星与接收机间时间误差控制在纳秒级以内，确保基于时间测量的距离计算精准无误，为车辆高精度定位筑牢根基。

2.3 数据处理与滤波技术

城市交通环境中，车辆接收的北斗卫星信号易受多路径效应、电离层和对流层延迟、电磁干扰等因素影响，导致定位数据存在大量噪声和误差，严重影响定位精度。数据处理与滤波技术通过对原始定位数据的深度分析和处理，提取真实有效的位置信息。卡尔曼滤波算法作为经典的数据处理方法，基于状态空间模型，通过预测和更新两个步骤对车辆位置进行动态估计。在预测阶段，卡尔曼滤波算法依据车辆上一时刻的状态（位置、速度等）和运动模型，预测当前时刻的状态及其误差协方差。更新阶段则利用新接收到的卫星测量数据，对预测状态进行修正。算法通过计算卡尔曼增益，平衡预测值与测量值的权重，自动适应不同环境下的测量噪声变化。对于噪声较大的测量数据，降低其权重；对于可靠的测量数据，则赋予更高权重。除卡尔曼滤波外，扩展卡尔曼滤波、无迹卡尔曼滤波等改进算法针对非线性系统进行优化，能更精准地处理卫星定位中的复杂非线性问题。数据处理与滤波技术迭代优化定位数据，滤除噪声、平滑轨迹，提升定位精度与稳定性，支撑城市交通精准定位^[2]。

2.4 卫星信号增强技术

（1）在信号发射端，采用先进的信号调制与编码技术，增强卫星信号的抗干扰能力和传输效率。通过优化信号波形设计，使其具备更强的穿透能力和抗多径效应能力，减少因建筑物遮挡和反射导致的信号衰减与畸

变。增加信号发射功率，在不影响卫星系统稳定性和兼容性的前提下，提升信号覆盖范围和强度，确保车辆在复杂城市环境中能稳定接收卫星信号。（2）在接收端，研发高性能的卫星信号接收设备。采用高增益天线和低噪声放大器，提高对微弱卫星信号的捕捉能力，降低噪声干扰对信号接收的影响。引入智能信号处理芯片，实现对卫星信号的快速捕获、跟踪和锁定。这些芯片具备强大的运算能力，实时处理复杂的信号数据，快速解调出卫星信号中的定位信息，为后续的数据处理和定位计算提供高质量的原始数据。（3）针对信号传输路径，利用智能反射面（IRS）技术对卫星信号进行优化。IRS由大量低成本、无源的反射单元组成，通过对这些单元的相位和幅度进行智能调控，可改变卫星信号的传播路径。在城市高楼密集区域，IRS能够引导卫星信号绕过障碍物，避免信号遮挡，同时还可增强信号在特定区域的覆盖强度，有效解决因建筑物遮挡导致的信号盲区问题。通过与多模融合定位技术相结合，IRS技术能提升定位系统在复杂环境下的适应性，确保车辆在城市交通的各种场景中都能获得精准、稳定的定位服务^[3]。

3 基于北斗导航的城市交通车辆精准定位技术的应用前景

3.1 智能交通管理

（1）在城市交通系统智能化转型的浪潮中，基于北斗导航的精准车辆定位技术发挥着核心支撑作用。该技术能实时向交通管理系统传输车辆的动态位置信息，构建起精细化的交通运行感知网络。凭借这些精准数据，交通信号控制系统可根据实时交通流量分布，动态调整信号灯配时方案。如在潮汐车道场景下，通过对不同方向车辆位置及流量变化的持续监测，系统能灵活优化绿灯时长，提升道路资源利用率。（2）此技术为车辆智能调度提供了关键数据基础。物流运输车队可借助车辆精准定位信息，结合实时路况分析，优化配送路线，减少空驶里程，降低运输成本。对于公共交通系统，通过掌握每辆公交车的精确位置，调度中心能合理安排发车间隔，避免车辆过度集中或间隔过长，提高公交服务的可靠性与便捷性。（3）基于北斗导航的精准定位数据与交通仿真模型相结合，可提前模拟交通流量变化。对未来交通状况的精准预测，为交通规划与基础设施建设提供科学依据，助力城市交通系统实现高效、有序运行，从根本上缓解交通拥堵问题，推动城市交通向更加智能、绿色、高效的方向发展。

3.2 辅助自动驾驶

北斗卫星导航系统凭借其卓越的高精度定位能力，

为自动驾驶技术的演进提供了核心技术支撑。在自动驾驶车辆运行过程中,系统所具备的厘米级乃至毫米级定位精度,构成了精确识别车道线、交通标识以及动态保持安全纵向间距的基础技术保障。通过与激光雷达、视觉传感器等多模态感知系统的深度数据融合,北斗系统明显提升了车辆对复杂交通环境的全维度感知效能。面对城市路网中普遍存在的信号遮挡与多路径效应,北斗系统构建了基于多源信息融合的定位增强架构。在交叉路口转向、车道级变道等关键决策场景中,系统通过实时融合高精度定位数据与先验地图信息,实现了对道路拓扑结构及交通流态势的精准预判,进而生成最优运动轨迹规划。针对隧道、高架桥下等卫星信号衰减区域,北斗系统采用紧耦合惯性导航技术,通过动态误差补偿算法维持定位数据的连续性与可靠性,有效克服了传统单一定位技术的局限性。这种多传感器协同定位模式增强了自动驾驶系统在复杂城市工况下的环境适应性,更通过冗余信息融合机制提升了决策系统的鲁棒性与安全性,为L4级及以上自动驾驶技术的商业化落地提供了关键技术路径。

3.3 车辆安全监控

(1)在实时运行状态监测方面,系统依托北斗导航获取的车辆位置、速度及航向信息,结合预设的安全参数进行动态分析。利用车载终端与监控平台间的实时数据交互,对车辆行驶速度进行毫秒级监测。当车速超过道路限速阈值时,系统通过融合卫星定位与车载传感器数据,精准判断超速行为并触发声光警报,同时将异常信息同步至监控平台,为驾驶员行为纠正提供及时反馈。针对偏离规划路线的情况,系统通过地理信息系统(GIS)与卫星定位数据的深度匹配,实时绘制车辆行驶轨迹,当轨迹偏移超出预设范围时,自动启动异常预警机制,保障车辆行驶路径的合规性。(2)在疲劳驾驶预防领域,北斗导航定位技术与时间序列分析算法深度

融合,实现对驾驶行为的持续性监测。通过连续记录车辆行驶里程与时间数据,结合道路服务设施分布信息,系统可动态评估驾驶员疲劳状态。当车辆连续行驶时间超过设定阈值且未进入服务区休息时,系统依据定位数据精准判断车辆位置,通过震动提醒、语音提示等方式强制驾驶员休息,有效降低因疲劳驾驶引发的交通事故风险。该技术还可结合驾驶行为模式分析,对异常驾驶习惯进行识别与预警,提升驾驶安全性。(3)在车辆防盗追踪场景下,北斗导航优势尽显。车载终端遇盗窃持续加密传输定位数据,结合高精度地图将误差控制在数米。多颗卫星交叉定位与信号分析可实时追踪轨迹,信号遮挡时也能通过惯性导航与校准实现不间断追踪^[4]。

结束语

基于北斗导航的城市交通车辆精准定位技术,在应对城市复杂交通环境挑战中取得了显著进展。多模融合定位技术整合多种定位手段,高精度时间同步技术保障定位准确性,数据处理与滤波技术优化定位数据,卫星信号增强技术提升信号质量,这些关键技术相互协作,共同实现了车辆在城市交通中的精准定位。该技术赋能智能交通多领域,助力高效安全运行,未来将更促城市交通智能化。

参考文献

- [1]袁智烽,郭浩然,王一岚.基于北斗精准时空下智慧农机系统的探析与应用[J].中华手工,2024(13):64-70.
- [2]周启平,何伟,贾蕾,郭俊凯,赵建国.基于北斗和边缘计算的车联网导航技术研究[J].电子科技,2023,36(1):51-59.
- [3]甄强,邱明月,陈志鹏,刘冬,刘孚,于晓晴.基于北斗卫星定位和RFID射频识别技术远距离高海拔运输车辆跟踪系统研究[J].城市住宅,2021,28(9):224-226.
- [4]陈戈,赵晨.基于北斗高精度定位车辆监控平台设计与实现[J].电子设计工程,2020,28(4):52-55.