

测绘导航高精度定位关键技术及应用

刘金 唐广晖 刘勇

大连市勘察测绘研究院集团有限公司, 辽宁 大连 116021

[摘要] 高精度定位技术经历了从传统地面基站到现代卫星和传感器系统的演变。全球导航卫星系统 (GNSS) 极大地提升了定位精度, 惯性导航系统 (INS) 和地基增强系统 (GBAS) 进一步增强了在复杂环境中的性能。近年来, 多传感器融合和先进的数据处理技术, 如卡尔曼滤波和人工智能, 显著提升了定位技术的精度和应用范围。这些技术的进步为测绘、工程测量、无人驾驶和智能交通等领域提供了关键支持。

[关键词] 测绘导航; 高精度定位; 智能交通

DOI: 10.33142/ec.v7i10.13755

中图分类号: P228

文献标识码: A

Key Technology and Application of High Precision Positioning in Surveying, Mapping and Navigation

LIU Jin, TANG Guanghui, LIU Yong

Dalian Geotechnical Engineering and Mapping Institute Group Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116021, China

Abstract: High precision positioning technology has evolved from traditional ground stations to modern satellite and sensor systems. Global Navigation Satellite Systems (GNSS) greatly improve positioning accuracy, while Inertial Navigation Systems (INS) and Ground Based Augmentation Systems (GBAS) further enhance performance in complex environments. In recent years, multi-sensor fusion and advanced data processing technologies such as Kalman filtering and artificial intelligence have significantly improved the accuracy and application scope of positioning technology. These technological advancements provide critical support for fields such as surveying, engineering surveying, autonomous driving, and intelligent transportation.

Keywords: surveying, mapping and navigation; high precision positioning; intelligent transportation

引言

高精度定位技术在现代测绘和导航领域中扮演着至关重要的角色, 广泛应用于从地形测量到智能交通等多个领域。随着全球导航卫星系统 (GNSS)、惯性导航系统 (INS) 以及地基增强系统 (GBAS) 的不断进步, 这些技术的精度和可靠性显著提高, 推动了智能化和自动化的发展。本文将探讨高精度定位技术的核心内容及其在测绘和导航中的实际应用, 提供对相关领域的深刻见解。

1 高精度定位概述

高精度定位技术是指通过先进的测量和数据处理技术, 实现对物体或位置的精确确定。它广泛应用于测绘、导航、智能交通、无人驾驶等领域。高精度定位的核心在于通过精准的定位数据来提高系统的可靠性和准确性。近年来随着全球导航卫星系统 (GNSS)、惯性导航系统 (INS)、地基增强系统 (GBAS) 以及多传感器融合技术的发展, 高精度定位的精度和应用范围得到了显著提升。GNSS 技术提供了全球范围内的定位服务, INS 系统则在缺乏卫星信号的环境中补充定位信息, GBAS 通过地面基站增强了定位精度, 而多传感器融合技术则将不同类型的数据结合起来, 进一步提高了定位的稳定性和准确性。这些技术的进步不仅推动了测绘和导航技术的发展, 也为智能城市和自动驾驶等领域带来了革新。通过高精度定位技术的不断优化和应用, 未来的定位系统将更加智能化和精准化, 为各

种行业的需求提供坚实的支持。

2 高精度定位关键技术

2.1 全球导航卫星系统 (GNSS)

全球导航卫星系统 (GNSS) 通过卫星网络提供精准的地理定位和时间同步服务, 基本原理是利用卫星发射的电磁信号结合地面接收器的时间测量, 计算其精确位置。主要 GNSS 系统包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 Galileo 和中国的北斗。这些系统通过配置多个轨道卫星, 形成全球覆盖的导航网络, 从而实现全天候、全地形的定位服务。GNSS 的精确度依赖于多个因素, 包括卫星信号的质量、接收器的敏感度和地面环境的影响。为了提高定位精度, GNSS 系统引入了差分技术和增强系统。例如, 实时动态定位 (RTK) 和精密单点定位 (PPP) 技术可以在传统的卫星定位基础上, 利用地面基站或网络数据进行实时校正, 提升到厘米级精度^[1]。此外, GNSS 系统的多星座融合技术通过整合不同卫星系统的数据, 进一步优化了定位精度和系统可靠性。尽管 GNSS 技术在多种应用中表现出色, 但仍面临信号遮挡、延迟和干扰等挑战。为了应对这些问题, 结合地基增强系统 (GBAS) 和先进的数据处理算法是关键, 这些措施有助于提高系统的鲁棒性和定位精度。随着技术的不断进步, GNSS 的应用领域也在扩展, 从传统的导航与定位到无人驾驶、精准农业和智能交通等多个前沿领域, 均展示了其强大的能力和广阔的应用前景。

2.2 惯性导航系统 (INS)

惯性导航系统 (INS) 是一种通过测量物体的加速度和角速度来推算位置和姿态的导航技术。INS 主要依赖惯性测量单元 (IMU), IMU 内部包含加速度计和陀螺仪, 分别用于测量线性加速度和角速度。通过对这些测量数据进行积分, INS 能够在没有外部定位信号的情况下, 连续计算物体的位移、速度和方向。INS 的工作原理基于牛顿的运动定律和欧拉角理论, 系统通过集成加速度和角速度数据, 计算出物体的运动轨迹。尽管 INS 能够提供高频率、高精度的定位信息, 但由于积累的测量误差 (如漂移) 可能会随着时间推移而显著影响定位精度。因此, INS 通常需要与其他导航系统, 如全球导航卫星系统 (GNSS), 进行融合实现长期稳定的定位。在实际应用中, INS 广泛用于航空航天、无人驾驶、机器人和军事领域。在这些高动态、高复杂性的环境下, INS 提供了宝贵的连续定位数据, 特别是在 GNSS 信号弱或丧失的情况下。为了提升 INS 的定位精度, 现代系统采用了先进的数据处理算法和误差补偿技术, 如卡尔曼滤波和数据融合, 进一步减小误差积累和漂移影响, 从而提高系统的整体性能和可靠性。

2.3 地基增强系统 (GBAS)

地基增强系统 (GBAS) 是一种通过地面基站提供额外的定位数据修正和增强信号质量的技术, 能提高全球导航卫星系统 (GNSS) 的定位精度和可靠性。GBAS 通过布设多个地面基站, 这些基站接收卫星信号并通过实时数据处理生成定位误差校正信息, 然后将这些修正信息广播给周围的移动接收器。GBAS 的核心功能包括差分 GPS (DGPS)、实时动态定位 (RTK) 和精密单点定位 (PPP)。差分 GPS 通过设置参考站点并比较实际接收到的卫星信号与预期信号的差异, 提供修正数据来改进接收器的定位精度。实时动态定位 (RTK) 在此基础上进一步提供厘米级的高精度定位, 主要用于高精度测绘和工程应用。精密单点定位 (PPP) 则通过全球网络的高精度基准数据提供更加稳定的定位结果, 尤其在远离基站的地区有效。GBAS 技术不仅能显著提高定位精度, 还能有效减少因环境因素 (如多路径效应和信号遮挡) 引起的误差。该系统在航空、海洋和陆地交通等领域中发挥着关键作用, 特别是在要求高精度和高可靠性的应用场景中。现代 GBAS 系统还融合了先进的误差校正算法和实时数据处理技术, 以应对动态环境中的挑战, 确保导航和定位的高效性和稳定性。

2.4 多传感器融合定位技术

多传感器融合定位技术通过综合来自不同传感器的数据, 提高系统的整体定位精度和鲁棒性。这种技术结合了多种测量方法的优点, 能够在复杂环境中提供更为准确和稳定的定位结果^[2]。常见的传感器包括全球导航卫星系统 (GNSS)、惯性测量单元 (IMU)、激光雷达 (LiDAR)、超宽带 (UWB) 和视觉传感器等。在多传感器融合系统中,

GNSS 提供全球范围的基础定位数据, 但信号可能受到遮挡或干扰。惯性测量单元 (IMU) 则在缺乏 GNSS 信号的情况下, 通过测量加速度和角速度补充位置数据。激光雷达 (LiDAR) 用于获取高精度的环境三维信息, 特别适用于地形复杂或动态变化的场景。超宽带 (UWB) 在短距离内提供极高精度的定位数据, 广泛应用于室内环境中。视觉传感器则利用摄像头捕捉环境图像, 进行特征识别和图像处理, 辅助定位和导航。通过先进的数据融合算法, 如卡尔曼滤波、粒子滤波和深度学习等, 系统能够整合来自不同传感器的数据, 实时修正和优化定位结果。这种融合技术不仅提高了定位的精度, 还增强了系统对环境变化和干扰的适应能力, 尤其在动态和复杂环境中表现出色。多传感器融合定位技术在无人驾驶、智能交通、机器人导航等领域中发挥着重要作用, 推动了高精度、实时定位系统的发展。

2.5 数据处理与算法优化

数据处理与算法优化是高精度定位系统中至关重要的环节, 提升定位精度、稳定性和响应速度。高精度定位系统通常涉及大量复杂的数据, 这些数据需要通过先进的算法进行处理实现准确的定位结果。卡尔曼滤波是一种常用的数据处理方法, 它通过递归算法对噪声数据进行估计和修正, 从而提供最优的定位解。卡尔曼滤波器结合了系统的预测模型和实际测量数据, 逐步减少预测误差和测量误差的影响, 是动态系统中的核心算法。粒子滤波则适用于非线性和非高斯噪声环境, 通过使用一组粒子来表示可能的状态分布, 逐步更新粒子的权重和位置。这种方法在处理复杂动态环境和多模态数据时表现尤为突出, 能够提高定位系统对环境变化的适应性。此外, 深度学习和人工智能技术正被越来越多地应用于数据处理和算法优化中, 通过训练神经网络模型, 可以自动从海量数据中提取特征并进行模式识别, 进一步提升定位精度和系统的智能化水平。例如, 卷积神经网络 (CNN) 和递归神经网络 (RNN) 在处理图像和时序数据方面展现了强大的能力, 有助于优化视觉定位和路径预测。

3 高精度定位在测绘中的应用

3.1 地形测量

地形测量是通过高精度定位技术获取地表地形特征的过程, 这对于地理信息系统 (GIS)、城市规划、环境监测等领域具有基础性作用。在地形测量中, 高精度定位技术能够提供准确的地理坐标和高度信息, 确保地形数据的真实性和可靠性。全球导航卫星系统 (GNSS) 在地形测量中应用广泛, 它能够提供更全球范围内的高精度定位服务, 通过设立基准站进行实时动态定位 (RTK), 实现亚米级甚至厘米级的精度。这种高精度数据对于大范围的地形绘制尤为重要, 可以精确地反映地形的起伏变化。结合激光雷达 (LiDAR) 技术, 可以获取地形的三维数据, 生成详尽的数字高程模型 (DEM), 极大地提高了地形数据的空间分辨率和精度。惯性导航系统 (INS) 也在地形测量中发挥

作用,尤其在 GNSS 信号弱或丧失的区域,INS 通过测量加速度和角速度提供连续的定位数据。在复杂地形和地下测量中,INS 与 GNSS 的融合可以确保数据的稳定性和连续性。现代地形测量还依赖于数据处理和算法优化技术,如卡尔曼滤波和粒子滤波,用于提高测量数据的精度和一致性。这些技术通过消除误差、平滑数据和增强处理能力,确保地形测量结果的高质量和高可靠性。

3.2 工程测量

工程测量在建筑工程和基础设施建设中至关重要,主要目标是提供准确的地理和几何数据,以确保设计和施工的精确性。高精度定位技术在这一过程中发挥了核心作用。全球导航卫星系统(GNSS)广泛用于工程测量,通过实时动态定位(RTK)提供亚米级甚至厘米级的精度,这对于基准点设立、地形分析和施工进度监控非常重要。惯性导航系统(INS)在 GNSS 信号不足的情况下,提供连续的姿态和位移数据与 GNSS 数据结合使用,提高了测量的稳定性和精确性。此外,激光雷达(LiDAR)通过高频激光扫描生成三维地形数据,帮助设计和施工,此外,全站仪用于精确的地物测定和工程控制。数据处理技术,如卡尔曼滤波,进一步提高了测量数据的精度和一致性,确保工程质量和进度控制。

4 高精度定位在导航中的应用

4.1 无人驾驶

在无人驾驶技术中,高精度定位是实现安全、可靠自动驾驶的核心要素。无人驾驶系统依赖于高精度定位技术来实时确定车辆的精确位置和运动状态,从而确保车辆能够在复杂的道路环境中自主导航。全球导航卫星系统(GNSS)提供了基础的定位数据,利用实时动态定位(RTK)技术,无人驾驶车辆能够获得厘米级的定位精度。这对于实现高精度的车道保持、路径规划和自动泊车功能至关重要^[3]。此外,GNSS 信号通常与惯性导航系统(INS)结合使用,INS 在 GNSS 信号弱或丧失时,通过加速度计和陀螺仪提供连续的定位数据,确保导航的稳定性和连续性。多传感器融合技术在无人驾驶中同样不可或缺,激光雷达(LiDAR)和摄像头等传感器提供环境感知和障碍物检测数据,这些信息与 GNSS 和 INS 数据融合,形成全面的车辆周围环境模型。通过实时处理这些传感器数据,无人驾驶系统可以准确识别道路标志、交通信号灯和其他交通参与者,从而作出相应的驾驶决策。高精度定位和数据处理算法如卡尔曼滤波和深度学习技术进一步提升了系统的精度和鲁棒性。卡尔曼滤波通过动态校正和融合不同传感器的数据,优化定位结果。深度学习则用于图像识别和环境理解,提高系统对复杂交通情境的适应能力。

4.2 智能交通

智能交通系统(ITS)通过高精度定位技术提升交通管理和服务的智能化水平,以应对现代城市交通的复杂挑

战。高精度定位技术在智能交通中的应用,包括实时车辆监控、交通流量管理和道路安全提升等方面,显著优化了交通系统的运行效率和安全性。全球导航卫星系统(GNSS)为智能交通提供了基础定位数据,通过实时动态定位(RTK)技术,能够精确到厘米级的车辆定位。这种高精度定位使得实时交通信息系统能够准确跟踪每辆车的位置,提供动态交通流量数据,并进行实时交通信号调整,优化交通灯配时和减轻拥堵。惯性导航系统(INS)与 GNSS 结合使用,在 GNSS 信号受到干扰或遮挡的情况下,INS 通过惯性传感器提供连续定位数据。INS 的稳定性和可靠性使得车辆导航系统能够在复杂环境中维持高精度,确保交通系统的稳定运行。智能交通系统还集成了多种传感器技术,如车载摄像头、雷达和激光雷达。这些传感器与高精度定位数据结合,支持自动驾驶、碰撞预警和车道保持等功能。例如,通过车载摄像头和雷达的实时数据分析,可以检测到潜在的交通风险并提前预警,从而提升驾驶安全。数据处理和分析技术如机器学习和人工智能进一步增强了智能交通系统的智能化水平。这些技术通过分析大量交通数据,优化交通流量预测、智能路由规划和交通控制策略,从而提高交通管理的效率和效果。

5 结语

高精度定位技术在现代测绘和导航应用中发挥了至关重要的作用。通过全球导航卫星系统(GNSS)、惯性导航系统(INS)、地基增强系统(GBAS)及多传感器融合技术,这些先进技术不仅提升了定位的精度和稳定性,还为各种应用场景提供了坚实的数据基础。从地形测量和工程测量到无人驾驶和智能交通,这些技术的应用显著提高了工作效率和决策质量。随着技术的不断进步,数据处理与算法优化在提升测量精度和系统性能方面也不断取得突破。未来,高精度定位技术将在更多领域展现其潜力,推动行业的发展和创新。通过持续的技术迭代和应用实践,高精度定位将为各行业提供更加精准、可靠的支持,助力实现更加智能和高效的解决方案。

[参考文献]

- [1]王坚,刘飞,韩厚增,等.测绘导航高精度定位关键技术及应用[J].导航定位与授时,2020,7(6):1-11.
 - [2]李博峰,苗维凯,陈广鄂.多频多模 GNSS 高精度定位关键技术与挑战[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(11):1769-1783.
 - [3]杨涛.北斗高精度定位数据处理算法研究[D].沈阳:沈阳航空航天大学,2022.
- 作者简介:刘金(1996.6—),毕业院校:辽宁工程技术大学,所学专业:测绘工程,当前就职单位:大连市勘察测绘研究院集团有限公司,职务:测绘项目负责人,职称级别:助理工程师。