DOI:10.13203/j.whugis20240458 文章编号:1671-8860(2025)02-0412-01

面向大尺度复杂场景的多传感器紧耦合高精度定位与建图方法研究

王铉彬 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

High-Precision Localization and Mapping Based on Multi-sensor Tightly-Coupled Integration in Large-Scale Complex Scenarios

WANG Xuanbin School of Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

中图分类号:P228 文献标志码:D

随着北斗三号全球卫星导航系统全面建成,北斗系统进入规模化应用、国际化推广新阶段。面对弱/无全球导航卫星系统(global navigation satellite system,GNSS)信号的复杂应用场景,相机、激光雷达等感知型传感器已成为智能移动载体实现环境感知与自主定位的重要组件,特别是随着即时定位与建图技术(simultaneous localization and mapping,SLAM)的快速发展,仅利用相机和激光雷达提供的丰富环境信息,即可实现移动载体在局部未知环境下的厘米级相对定位与精确三维建图。然而,在室外大尺度复杂场景下,基于SLAM技术的导航定位存在误差累积以及轨迹漂移等问题,往往需要闭环优化修正累积误差。因此,SLAM技术与卫星导航定位技术存在良好的互补特性,将GNSS与视觉、激光雷达等传感器进行融合,不仅能够大幅提升SLAM系统的广域无漂定位建图能力,还可以有效解决GNSS在卫星信号不佳或者中断情况下的连续高精度定位难题,具有重要研究意义和应用价值。

针对大尺度复杂场景,特别是弱/无GNSS信号环境下连续、无缝高精度定位与全局一致三维建图的迫切需求,围绕GNSS/惯性/视觉/激光雷达多传感器紧耦合高精度定位与建图关键技术开展研究,重点突破城市峡谷环境下GNSS高精度鲁棒定位、GNSS/惯性/视觉/激光雷达紧耦合定位建图模型、紧耦合系统中的载波相位模糊度传递与连续固定方法,以及兼顾全局一致性与局部一致性的大尺度场景高精度点云地图构建等关键技术,建立一套多传感器紧耦合的高精度定位与三维建图系统。主要工作如下:

1)为提升GNSS在城市峡谷环境中定位的精度和可用性,提出基于因子图优化的GNSS RTK(real-time kinematic)高精度鲁棒定位算法。利用载波相位观测值的连续特性和卫星共视关系,设计基于滑动窗口的因子图RTK估计器,在此基础上提出基于边缘化的载波相位模糊度传递方法,实现了浮点模糊度的稳健估计与连续模糊度固定。

2)针对单一GNSS系统在城市复杂环境下定位不连续、不可靠难题,提出GNSS/INS(inertial navigation system)/视觉紧耦合连续高精度定位算法(GNSS-inertial-visual state estimator,GIVE)。首先设计多源融合系统多级动态初始化方法,构建以惯导为中心的GNSS/INS/视觉紧耦合数学模型,然后基于载波相位的连续特性,提出载波相位增强的多源信息联合BA(bundle adjustment)优化方法,利用视觉惯性信息增强GIVE系统的连续模糊度固定。

3)利用视觉与激光雷达的互补特性,提出激光雷达增强的GNSS/INS/视觉紧耦合SLAM算法(GIVL(GNSS-inertial-visual-LiDAR)-SLAM)。首先提出激光雷达优质特征选取策略,基于精选的激光雷达特征构建激光雷达帧到局部子图匹配因子,在原始观测值层面增强GIVE系统的高精度定位性能,然后提出整数模糊度辅助的全局地图构建方法,实现了一套多传感器紧耦合的即时高精度定位与三维建图系统。

4)针对大尺度复杂场景下GNSS观测退化导致局部区域建图不一致问题,在GIVL-SLAM基础上提出一种不依赖于轨迹闭环的大尺度场景兼顾全局一致性与局部一致性的高精度建图方法。首先提出平均轨迹熵指标,利用多传感器紧耦合定位结果中存在的局部轨迹不一致性对全局地图进行自适应分段;然后提出分段分层BA优化方法,通过将全局地图分割成独立子图,并基于环境结构特征对每个子图构建BA优化问题,利用并行优化技术快速调整点云内部一致性;最终通过全局位姿图优化得到兼顾全局一致性和局部一致性的高精度点云地图。

作者简介:王铉彬,2024年12月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:李星星教授、李昕副研究员),研究方向为多源融合导航定位。wangxuanbin@whu.edu.cn

引文格式:WANG Xuanbin. High-Precision Localization and Mapping Based on Multi-sensor Tightly-Coupled Integration in Large-Scale Complex Scenarios[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(2):412.DOI:10.13203/j.whugis20240458.(王铉彬.面向大尺度复杂场景的多传感器紧耦合高精度定位与建图方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(2):412.DOI:10.13203/j.whugis20240458.)