

车载激光扫描技术在大尺度三维点云地图构建中的应用

王帅钦 潘袁园

湖北亿咖通科技有限公司北京分公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2097

[摘要] 本文针对智能驾驶高精地图需求,探究车载激光雷达扫描技术在构建大尺度三维点云地图中的应用。鉴于传统激光雷达成图技术的局限,以及激光SLAM与多传感器融合技术在大尺度地图构建中的应用难度,本文设计了一套涵盖数据采集、成图、对齐优化、渲染及精度评测的方案。实践表明,该方案精度与合格率良好,基于激光SLAM的自动化方案支持多车、多工程采集数据的并行处理,具备落地价值。

[关键词] 车载激光扫描技术; SLAM; 多传感器融合; 智能驾驶; 高精地图; 三维点云
中图分类号: TN820.2 **文献标识码:** A

Application of on-board laser scanning technology in the construction of large-scale 3 D point cloud map

Shuaiqin Wang Yuanyuan Pan

ECARX (Hubei) Technology Co.,Ltd.Beijing branch

[Abstract] This paper focuses on the requirements of high-precision maps for intelligent driving and explores the application of vehicle-mounted LiDAR (Light Detection and Ranging) scanning technology in the construction of large-scale 3D point cloud maps. In view of the application difficulties of LiDAR mapping and SLAM-based multi-sensor fusion technologies in the construction of large-scale maps, this paper designs a set of solutions covering data collection, mapping, aligning, rendering, and accuracy evaluation. Practice shows that this solution has good accuracy and qualification rate. The automated solution based on LiDAR SLAM supports the parallel processing of data collected by multiple vehicles simultaneously.

[Key words] On-board laser scanning technology, SLAM; Multi-sensor fusion; intelligent driving; high-precision map; 3 D point cloud

1 点云地图的意义与价值

在智能驾驶蓬勃发展的当下,大尺度三维点云地图意义重大。高精地图依赖其提供精准地理空间数据,实现厘米级定位,为智能驾驶规划精确路径。同时,它作为智能驾驶训练数据的关键来源,涵盖多样场景,可以助力算法精准识别物体、预测轨迹,提升决策可靠性^[1]。然而,构建大尺度三维点云地图存在数据处理复杂、精度把控难等问题,需要完整的技术设计来应对解决。

1.1 传统测绘技术问题

在地理空间信息获取与地图构建领域,对高精度、大尺度三维点云地图的需求正与日俱增。早期的激光雷达成图技术暴露出显著缺陷,其高度依赖后解算位姿精度。在面对大尺度区域时,环境的复杂性与多变性使得后解算位姿易产生偏差,导致不同时间段采集的数据难以精准对齐。当涉及多车协同作业时,各车数据的同步与融合更是棘手,严重阻碍了大尺度三维点云地图的自动化构建进程。

同时,传统作业方式需耗费大量时间与人力进行数据整合与地图拼接,难以满足当下快速、精准获取地理空间信息的迫切需求。基于车载激光的大尺度点云地图自动化构建技术愈发重要,这也是实现地理空间信息采集与处理的高效化、智能化的迫切需求。

1.2 SLAM技术优势

同步定位与绘图(simultaneous localization and mapping, SLAM)作为一种在未知环境中进行姿态估计与定位的技术,广泛应用于移动机器人和无人驾驶等领域。近年来,激光SLAM与多传感器融合技术的出现,为解决上述难题带来希望^[2],相关算法在理论层面取得突破性进展并日趋成熟,有望提升系统自动化对齐比例。然而,当前这些算法多聚焦于在线SLAM等机器人方向,且针对大尺度地图构建的应用案例与实践经验较为匮乏。本文旨在填补这一空白,深入探讨车载激光扫描技术在自动化构建大尺度三维点云地图中的实际应用,结合工程实践详细剖析相

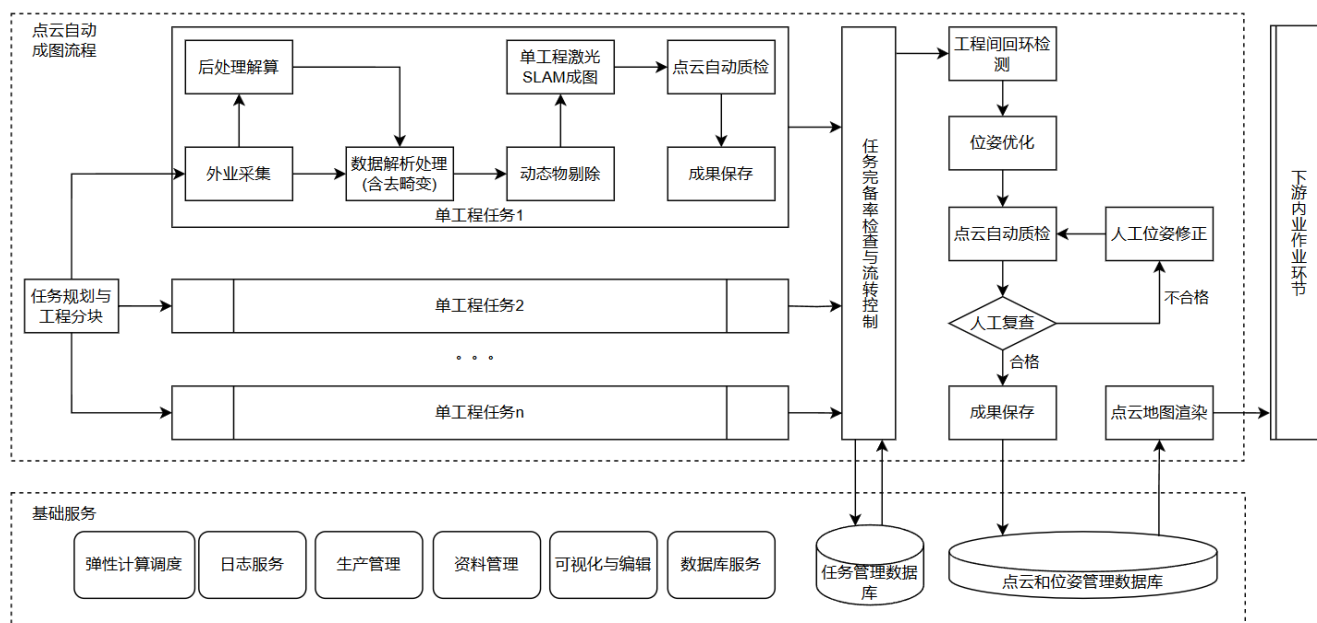


图1 整体方案流程图

关技术的应用要点与实施策略,为推动该领域的发展提供切实可行的参考。

2 项目技术要求

面向智能驾驶高精地图数据的实际需求,兼顾工程实践的成本与可行性考虑,高精三维点云地图的构建方案设计能够满足以下几点核心技术要求:

(1) 系统构建点云地图的自动化率 $\geq 95\%$; (2) 系统具有良好的并行性,能够应对大尺度三维点云地图的构建需求; (3) 构建的点云地图具备良好一致性,且满足精度要求(绝对精度 $50\text{cm}@95\%$); (4) 能够处理多车、多趟、多时间段采集数据的统一对齐与成图处理。

3 方案设计

3.1 整体方案设计

整体方案流程图如图1所示,总输入是外业采集数据,总输出是满足质量要求的点云渲染地图数据。方案采取模块化设计,依靠一个弹性计算调度服务系统以及一套基于有向无环图(Directed Acyclic Graph, DAG)配置的任务流转系统来运行。每个功能模块只需事先确定下各自的输入、输出和依赖项,在执行时则完全交由弹性计算调度服务来调配和释放对应的计算资源,从而保证了系统拥有灵活运行和并行化的能力。

系统流程详细描述如下:

(1) 首先确定需要建图的场景和范围(可以是某条省内的高速公路,也可以是某市的核心区域),根据需求信息进行任务规划、分块与下发。(2) 外业接收到分配的子任务开始采集作业,可以支持不同配置的多车同时作业(只要工程任务之间具有 100m 以上的点云重叠范围即可)。(3) 对采集回来的惯导和GNSS

信息做后解算处理,得到行车轨迹初始位姿。接下来,对采集到的传感器数据(包括点云、图像、惯导、轮速计等)做解析预处理,得到统一格式存储的采集资料数据。该过程中的轨迹初始位姿亦可以作为点云去运动畸变的依据。(4) 对点云数据依次做动态物体的剔除。(5) 在单工程任务内部进行基于SLAM技术的激光成图处理,并经过点云自动质检后留存成果点云与记录。(6) 等待成图任务内的所有单工程任务都处理完后,开始进行采集完备率检查。满足要求后即可触发下一步多工程对齐任务,包括工程间的回环检测与所有子图的位姿优化。(7) 对最终的优化结果进行点云自动质检,通过质检合格的地图直接入库保存;不合格的少量地图流转到人工位姿修正环节,直到所有点云工程都合格达标。(8) 根据作业范围进行点云的拼接、转换与渲染处理,交付给下游内业环节使用。



图2 数据采集车照片

至此整个自动化流程介绍完毕,除人工复查环节需要少量人工做检查外,其它处理环节均是自动化的运行与流转。此外,并行化与极具工程落地的系统设计,保证了系统能够支持多车、多趟、多时间段采集数据的统一对齐与成图处理。

3.2 数据采集与预处理

本文使用的专业采集车外观及详细配置参见图2和表1,通过使用多传感器融合算法,可以优化激光雷达在退化场景以及长时驻车漂移等情况下的里程计误差。

表1 采集车配置

类型	配置/型号	数量
激光雷达	禾赛XT32 32线	2
惯导	Novatel SPAN - CPT7	1
工业相机	海康 MV-CS050-10GM	4
车载工控机	i7 - 7700-16GB	1

采集数据经过后解算和预处理过程后,以统一格式文件的形式保存下来。其中,位姿信息是通过千寻位置FindTrace系列的GIPPK(GNSS INS Post-Processed Kinematic)服务进行后解算处理。其原理是基于我们采集的原始GNSS观测数据和惯导传感器数据,生成与之匹配的虚拟基站数据,进行卫星惯导融合定位解算,输出高精度轨迹和姿态数据。激光雷达数据需要进行分帧处理,并利用前述解算位姿将每帧点云向首点时刻做运动畸变补偿,最终存储为Laz格式的的点云文件。相机数据也进行解压缩,存储为.png格式的图像文件。

3.3 单工程激光建图与多工程间对齐优化

本项工作采取的方案是以激光里程计为主的多传感器融合方案。Slam算法是在LIO-SAM算法^[3]的基础上,将原GPS单点位置约束换成了后解算位姿构成的单点六自由度位姿约束。激光雷达首先通过帧间ICP(“Iterative Closest Point”,即最近点迭代法)构建激光里程计帧间约束,同时通过IMU预积分^[4]形成帧间的位姿约束,二者一起构建紧耦合的LIO里程计(Lidar Inertial Odometry, LIO)。在里程计之后,系统进行激光雷达帧间的回环检测。最后,系统将里程计约束、回环约束、后解算的绝对位姿单点约束等约束,一起构建一个位姿图优化问题,经过求解得到优化后的全局一致位姿结果。

多工程间的对齐与单工程建图的框架类似,只是省去了里程计计算的过程,把重点放在工程间的回环检测和处理部分。这就要求尽可能多的工程一次性完整地送入系统做一致性的对齐,否则容易在缺失区域的边缘发生欠对齐的结果。而后续的补救采集措施,不仅影响处理效率,还会增加对齐失败的风险。因此,工程完备性检查与流转控制非常重要。

3.4 精度评测方法

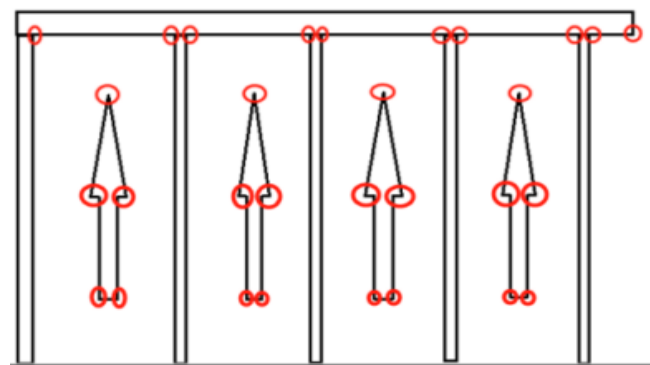
绝对精度:制作地面交通要素的靶点真值,与点云资料上的同名点测量值做差值的统计。评估方法:本次评估在“三维编辑平台”上进行,在导入靶点真值成果后,与待评要素形点逐一匹配,并计算两者的坐标偏差。

3.5 效果评估

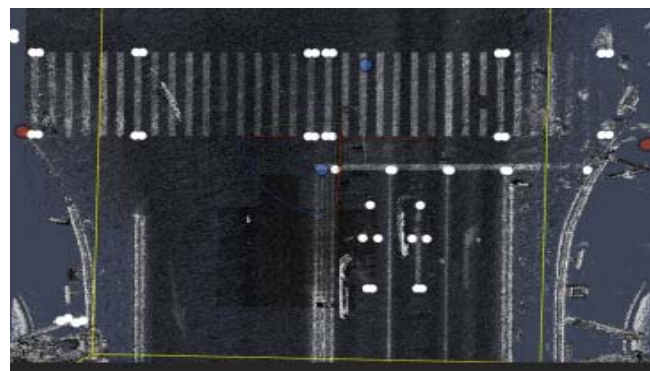
抽样验证靶点数据共1666个点,涉及16个路口(包含空旷区域、遮蔽区域、城市峡谷、半遮蔽区域、高架桥下),由采集人员使用实时动态测量(RTK)及全站仪进行采集所得,平面精度:±2.5cm,高程精度:±5cm,数据整体分布如图3所示。共1666个控制点参与了绝对空间位置精度的评估,它们在UTM坐标系下与真值的误差统计结果如表2所示。典型困难场景的建图效果参见图4所示,可看到,系统在城区及盘桥地带的成图效果良好。



图3 某市评估区域



与靶点选择示意



与案例

表2 点云绝对空间位置精度统计表(米)

	平面距离	三维距离
平均值/m	0.103	0.139
最大值/m	0.81	3.461
标准差	0.075	0.194
<0.2m	91.30%	88.48%
<0.5m	99.88%	98.62%
<1m	100.00%	98.80%
样本数	1666	1666



图4 典型困难场景的成图效果

4 结束语

本文的主要贡献首先体现在提出了一个基于激光SLAM技术, 涵盖数据采集、成图、对齐优化、渲染及精度评测的构建大尺

度三维点云地图的自动化方案。其次该方案精度与合格率良好, 可以支持多车、多工程采集数据的并行处理, 具备落地与参考价值。下一步优化方向主要包括: 一方面, 结合端上感知算法能力, 构建基于实时语义感知的自动矢量成图系统; 另一方面, 针对激光点云的处理效率的瓶颈, 做进一步的性能提升优化, 持续降低数据的制作成本。

[参考文献]

[1]杨振凯,华一新,訾璐,等.浅析高精度地图发展现状及关键技术[J].测绘通报,2021,(06):54-60.

[2]周治国,曹江微,邸顺帆.3D激光雷达SLAM算法综述[J].仪器仪表学报,2021,42(09):13-27.

[3]Shan T,Englot B,Meyers D,et al.Lio-sam: Tightly-coupled lidar inertial odometry via smoothing and mapping[C]//2020 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems(IROS).IEEE,2020:5135-5142.

[4]Forster C,Carlone L,Dellaert F,et al.IMU preintegration on manifold for efficient visual-inertial maximum-a-posteriori estimation[J].2015.

作者简介:

王帅钦(1990--),男,汉族,甘肃人,硕士,工程师,主要研究方向是三维重建。

潘袁园(1981--),女,汉族,北京人,本科,工程师,主要研究方向是地图产品设计。