

基于SLAM算法的野外机器人实时定位与建图

第一次项目报告

团队成员：李佳骏，孔令凯，顾隽逸

指导老师：郝祁，李大川

1.项目背景

野外机器人实时定位与建图的目标，就是使机器人在陌生的野外非规则环境下（如树林，起伏的地面等），通过自身装备的传感器确定自身方位并感知周边环境绘制出地图，从而在此基础上实现自主移动和避障。

目前常用于实现此目标的机器人内置算法是SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)，即同步定位与地图构建算法。SLAM算法可与多种硬件适配，常见的如激光雷达、摄像头等。硬件探测周边环境并将数据输入机器人的处理器，处理器运用SLAM算法构建出地图并更新机器人的方位与姿态。

SLAM有非常广泛的应用。最早的SLAM服务于军事用途，如帮助潜艇扫描海底结构辅助定位。今天，SLAM已走入人们的日常生活。最常见的例子——扫地机器人就是运用SLAM绘制室内地图辅助路径规划。同时，SLAM也广泛应用于VR/AR，自动驾驶，无人机等领域。



使用iPad Pro的激光雷达扫描宿舍一角

2. 项目挑战与目标

目前，已有多项SLAM算法被开发出来并得到广泛应用。然而SLAM有一个缺陷应得到改进——SLAM在城市道路上能够表现良好，但是在野外效果不够理想。城市的道路平坦，典型障碍物如楼房、墙面等形状规则，故处理难度小；野外的道路起伏，障碍物如树枝树叶等形状不规则，使得探测精度降低，建图精度亦降低。

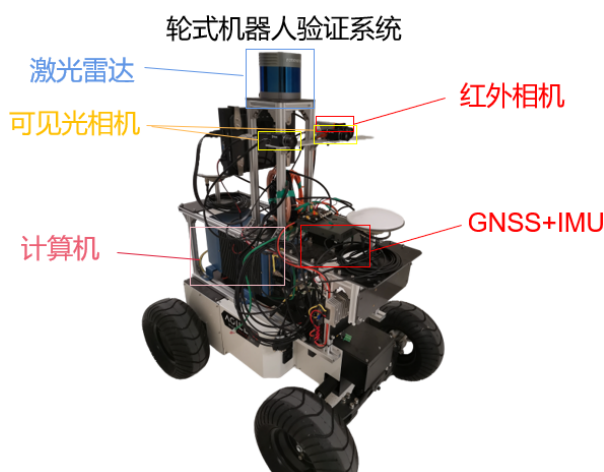


校内实验场景

我们小组的最终目标是优化SLAM算法，实现其在野外定位与建图精度的提升。为达到此目标，我们将此过程分为几个阶段。第一个阶段为完成实验环境配置，并熟悉著名开源算法并提出建设性意见；第二个阶段为熟悉硬件操作，利用专门的轮式机器人测试平台在校内实现算法复现；第三个阶段侧重于深入研究已有算法，并试图优化算法使其在野外环境表现更佳，并且利用轮式机器人在校内进行实地验证。

3. 实验平台与数据来源

- 软件平台：Ubuntu计算机操作系统，ROS机器人操作系统。
- 硬件平台：自研轮式机器人实验平台。
- 数据集：KITTI自动驾驶数据集，开源代码附带数据集，校内自主收集的数据集。



轮式机器人测试平台

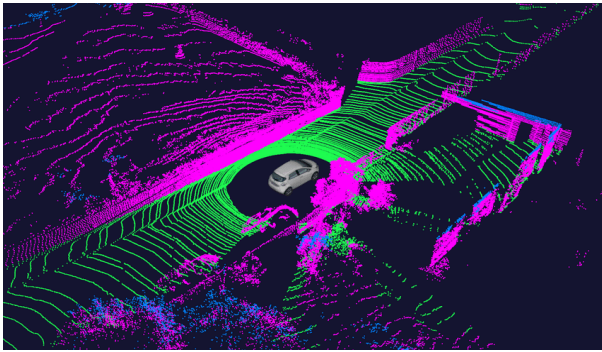
4. 现有解决方案及其不足

目前为止，主流的定位建图SLAM解决方案根据传感器划分有两种：依靠激光雷达和依靠摄像头。我们团队研究了开源的Lego-loam算法和ORB-SLAM算法，分别代表激光SLAM和视觉SLAM。

4.1 Lego-LOAM（激光SLAM）

全名为Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain，即可变地形下的轻量级和地面优化的雷达里程计与建图。

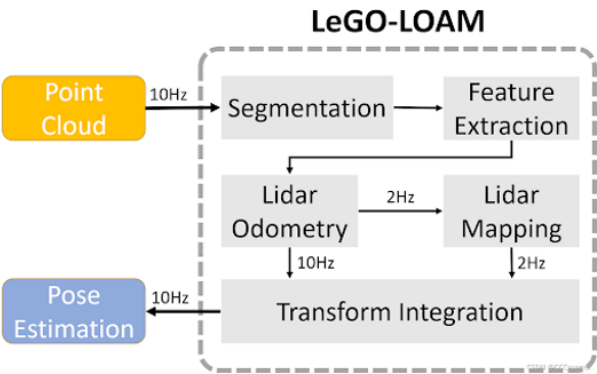
LeGO-LOAM算法适用于3D激光雷达传感器。激光雷达扫描周边环境，生成云点图并输入LeGO-LOAM算法，运算处理后更新机器人在各个时刻的位姿。



激光云点图

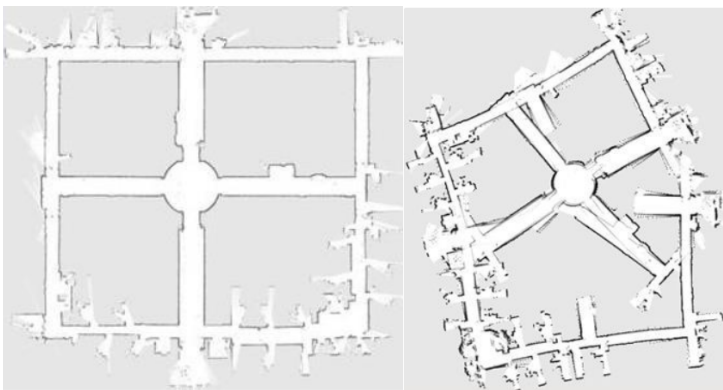
LeGO-LOAM处理激光点云的核心步骤分为以下六步：

- Segmentation: 将点云分割为地面和非地面区域。
- Feature Extraction: 提取出边缘点和平面点。
- Lidar Odometry: 基于特征点，推算两帧激光之间的相对位姿变换。
- Lidar Mapping: 构建地图，得到坐标系中的位置。
- Transform Integration: 综合以上两个步骤的结果，得到坐标系中两个时刻之间的位姿变换。



LeGO-LOAM结构

该算法完全依赖于激光雷达。激光SLAM在野外不规则环境下的测量易产生误差，而误差随时间积累，难以校正和消除，导致激光SLAM的回环检测能力相对缺乏。



回环检测对比：左图成功，右图失败

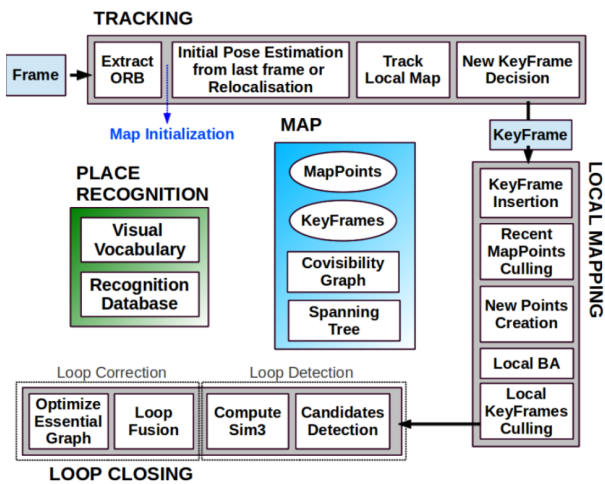
4.2 ORB-SLAM（视觉SLAM）

ORB全称为Oriented FAST and Rotated BRIEF，是一种快速特征点提取和描述的算法。该特征点提取算法不仅运用于SLAM，还广泛应用于计算机视觉等领域。该算法通过采集视觉数据找出图象中明显与周边相似度低的点作为特征点，能有效辨别环境中的障碍物等。



特征点示例

ORB-SLAM算法由三个核心模块构成：跟踪、局部建图和回环检测。



ORB-SLAM结构

- 追踪进程负责对每一帧相机的定位和跟踪，通过特征匹配对相机在正常运作和跟丢的情况下进行位姿估计和优化。
- 地图构建进程根据输入的关键帧更新地图模型。
- 闭环检测进程通过选取相似帧来检测闭环并优化建图。

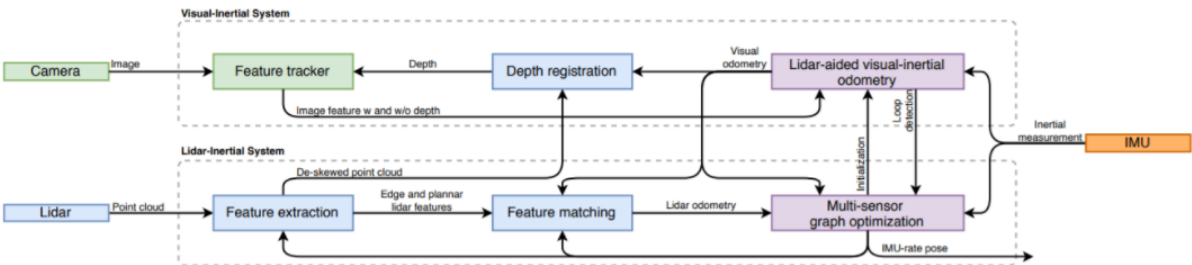
ORB-SLAM作为依赖摄像头的算法，亦有不足之处。比如面对无纹理环境，如光滑的白色墙面时，其提取特征点的进程运转结果较差；在光照特别弱的环境里，因摄像头拍摄质量降低，也难以有效运作。

5. 改进想法

截至第一次项目报告时间，我们小组已初步熟悉了几种开源的SLAM算法，其中一种名叫Lvi-SAM的算法脱颖而出。我们的想法是在Lvi-sam的框架基础上针对校内环境进行调整与改进，从而在野外建图方面取得良好效果。

5.1 Lvi-sam简述

激光SLAM与视觉SLAM各有优劣，而Lvi-sam算法通过结合两者实现互补——既利用激光雷达又利用视觉传感器。



Lvi-sam结构

该算法的输入来自雷达端、视觉端、IMU（惯性测量单元）端，整体结构分为2个可独立工作、也可耦合的子系统：雷达惯性系统和视觉惯性系统。两个子系统的结合提高了系统的鲁棒性和准确性，有希望胜任野外环境的工作。

5.2 优化和本地化

Lvi-sam框架难以简单地套用在我们的实验环境中。我们计划通过实验论证，调整参数，针对校内测试环境修改源码等方式，在该算法的基础上优化出适合我们测试平台的算法。

6. 项目时间规划

- 2021.10.1-2021.10.26：学习轮式机器人平台的操作，配置算法依赖环境，学习开源代码及相关论文。
- 2021.11.1-2021.12.10：在南科大校内完成本地数据测绘，离线运行算法验证可行性，试图对算法进行本地化和优化。
- 2021.12.10-本学期结束：将改良算法导入轮式机器人平台进行在线测试，验证优化的可行性。

7. 小组分工

- 李佳骏：研究Lego-LOAM和ORB-SLAM算法，撰写实验报告。
- 顾隽逸：初步研究Lvi-sam算法。
- 孔令凯：轮式机器人平台数据测绘以及算法搭建,PPT制作。

参考文献

[1] Mur-Artal, Raul, Jose Maria Martinez Montiel, and Juan D. Tardos. "ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system." IEEE transactions on robotics 31.5 (2015): 1147-1163.

[2] Shan, Tixiao et al. "LVI-SAM: Tightly-coupled Lidar-Visual-Inertial Odometry via Smoothing and Mapping." 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (2021): 5692-5698.

[3] T. Shan and B. Englot, "LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain," 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018, pp. 4758-4765, doi: 10.1109/IROS.2018.8594299.