

# 深蓝学院激光 SLAM 大作业

## 一. 大作业内容 3 选 1:

1. 实现一个完整的激光 SLAM 算法。

把前面各小节的内容串联起来，可以用前面作业提供的 rosbag，也可以其它的数据集。

2. 运行并测试 GMapping, Hector Slam, Karto, Google Cartographer 等开源激光 SLAM 算法，并给出详细的测试对比报告。

不同场景下/数据集的精度，速度，是否有回环，算法差异等。

3. 选择一个激光+IMU/视觉/里程计/GNSS 或激光与其它多传感器融合的技术方向做调研，撰写总结报告，最好附上简单的代码实现。

推荐阅读材料：

<https://blog.csdn.net/heyijia0327/article/details/82855443> 贺一家博士博客

Zhang, Ji & Singh, Sanjiv. (2015). Visual-lidar Odometry and Mapping: Low-drift, Robust, and Fast. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2015. 10.1109/ICRA.2015.7139486. 大名鼎鼎的 V-LOAM

Graeter, Johannes & Wilczynski, Alexander & Lauer, Martin. (2018). LIMO: Lidar-Monocular Visual Odometry. 视觉+激光 LIMO，代码已开源

R-LINS: A Robocentric Lidar-Inertial State Estimator for Robust and Efficient Navigation 2019 激光+IMU 滤波框架

Tightly Coupled 3D Lidar Inertial Odometry and Mapping 2019 激光+IMU 优化框架，代码已开源

Stereo Visual Inertial LiDAR Simultaneous Localization and Mapping 双目视觉+Lidar+IMU 融合，解决一些极端场所的定位问题

A Survey of Simultaneous Localization and Mapping 有关于 SLAM 方向内容的总结

LIC-Fusion: LiDAR-Inertial-Camera Odometry 紧耦合框架下激光+视觉+IMU 融合，以及在线外参数标定

Visual-Inertial Localization with Prior LiDAR Map Constraints 利用激光地图先验信息进行 vio 定位

LIO-SAM: Tightly-coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping, IROS2020. 激光 imu 紧耦合，代码已开源

**激光 SLAM 初学者代码及论文推荐：**

## 2D 激光 SLAM:

Gmapping

简介：

粒子滤波方法的激光 SLAM，结合里程计和激光信息，扫地机公司用该方案比较多。

Git 链接:

[https://github.com/ros-perception/openslam\\_gmapping](https://github.com/ros-perception/openslam_gmapping)

[https://github.com/ros-perception/slam\\_gmapping](https://github.com/ros-perception/slam_gmapping)

相关论文:

Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard: Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-Blackwellized Particle Filters, *IEEE Transactions on Robotics*, Volume 23, pages 34-46, 2007

Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard: Improving Grid-based SLAM with Rao-Blackwellized Particle Filters by Adaptive Proposals and Selective Resampling, In *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2005

Hector\_slam

简介:

利用优化方法进行帧间匹配的激光 slam 算法, 不需要里程计信息, 缺点是在雷达频率不够的设备上, 效果不佳。

Git 链接:

[https://github.com/tu-darmstadt-ros-pkg/hector\\_slam](https://github.com/tu-darmstadt-ros-pkg/hector_slam)

相关论文:

Kohlbrecher, Stefan , et al. "A flexible and scalable slam system with full 3d motion estimation." *2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics* IEEE, 2011.

Karto

简介:

图优化 SLAM, 包含回环, 主要利用矩阵的稀疏化进行求解, 在大范围环境下建图有优势。

Git 链接:

[https://github.com/ros-perception/open\\_karto](https://github.com/ros-perception/open_karto)

[https://github.com/ros-perception/slam\\_karto](https://github.com/ros-perception/slam_karto)

相关论文:

Olson, E. B. . "Real-time correlative scan matching." *Robotics and Automation, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference on IEEE*, 2009.

Konolige, Kurt , et al. "Efficient sparse pose adjustment for 2D mapping." *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* IEEE, 2010.

Cartographer

简介:

源自谷歌, 代码优美, 是非常完整的激光 slam 系统, 包含相对鲁棒的前端, 基于 submap 和 node 约束的独立的 pose graph 后端及各类评测工具。模块化、系统化、工程化程度很高, 封装很完善, 初次学习需要一定的 c++ 和算法基础。同时它的注释完善, 各类资料与教程众多, 很适合进阶学习。2D3D SLAM 均可。

Git 链接:

<https://github.com/cartographer-project/cartographer>

相关论文:

Hess, Wolfgang , et al. "Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM." *2016 IEEE International*

*Conference on Robotics and Automation (ICRA) IEEE, 2016.*

### **3D 激光 SLAM:**

#### **LOAM**

简介:

长期霸榜 kitti odometry 门类第一，分为前端和后端，提取线面特征进行匹配定位，很好的权衡了精度和效率。虽然原版代码已经闭源，但在该算法基础上，有多个改进的代码版本。

相关论文:

Ji Zhang and Sanjiv Singh. "LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time." Proceedings of Robotics: Science and Systems Conference, 2014.

#### **A-LOAM**

简介:

将原版 LOAM 代码中的旋转从欧拉角改成了 Eigen 库中的四元数，优化使用 ceres 库，极大的简化了代码的复杂性，非常适合初学者进行学习。

Git 链接:

<https://github.com/HKUST-Aerial-Robotics/A-LOAM>

#### **LeGO-LOAM**

简介:

在 LOAM 的基础上细化了特征提取与优化，带有回环功能。可以在低功耗嵌入式系统上实现实时姿态估计。

Git 链接:

<https://github.com/RobustFieldAutonomyLab/LeGO-LOAM>

相关论文:

Shan, Tixiao & Englot, Brendan. (2018). LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain. 4758-4765. 10.1109/IROS.2018.8594299.

#### **Lio-mapping**

简介:

使用 imu 预积分和 LOAM 融合进行 SLAM，紧耦合优化框架。

Git 链接:

<https://github.com/hyye/lio-mapping>

相关论文:

Ye, Haoyang , Y. Chen , and M. Liu . "Tightly Coupled 3D Lidar Inertial Odometry and Mapping." (2019).

#### **hdl\_graph\_slam**

简介:

非常简单的图优化 3D 激光 SLAM 框架，前端可以使用并行处理的 ICP 或者 NDT，带有回环，可以融合 imu、GPS 和路面约束等信息。论文不推荐读了，直接看代码最好。

Git 链接:

[https://github.com/koide3/hdl\\_graph\\_slam](https://github.com/koide3/hdl_graph_slam)

## BLAM

简介：

仅用激光的 SLAM 算法，前端使用 GICP，后端使用 GTSAM，效果还不错，回环速度快。

Git 链接：

<https://github.com/erik-nelson/blam>

## SegMap

简介：

利用 3D CNN 语义信息的 3D 激光 SLAM 框架，在某些场景比传统 SLAM 更具有优势。

Git 链接：

<https://github.com/ethz-asl/segmap>

相关论文：

R. Dubé, A. Cramariuc, D. Dugas, J. Nieto, R. Siegwart, and C. Cadena. "SegMap: 3D Segment Mapping using Data-Driven Descriptors." *Robotics: Science and Systems (RSS)*, 2018.

R. Dubé, MG. Gollub, H. Sommer, I. Gilitschenski, R. Siegwart, C. Cadena and , J. Nieto. "Incremental Segment-Based Localization in 3D Point Clouds." *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2018.

R. Dubé, D. Dugas, E. Stumm, J. Nieto, R. Siegwart, and C. Cadena. "SegMatch: Segment Based Place Recognition in 3D Point Clouds." *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2017.

## SuMa

简介：

使用 Surfel 地图去实现前端里程计和闭环检测，此前 Surfel 地图曾被用在 RGBD-SLAM 中，第一次见到被用在激光 SLAM 中，很值得大家去了解学习。

Git 链接：

<https://github.com/jbehley/SuMa>

论文：

J. Behley, C. Stachniss. *Efficient Surfel-Based SLAM using 3D Laser Range Data in Urban Environments*, Proc. of Robotics: Science and Systems (RSS), 2018.

## Suma++

简介：

在 SuMa 基础上，利用 RangeNet++ 过滤动态信息，提升定位建图精度。

Git 链接：

[https://github.com/PRBonn/semantic\\_suma](https://github.com/PRBonn/semantic_suma)

论文：

Chen, Xieyuanli & Milioto, Andres & Palazzolo, Emanuele & Giguère, Philippe & Behley, Jens & Stachniss, Cyrill. (2019). SuMa++: Efficient LiDAR-based Semantic SLAM. 4530-4537. 10.1109/IROS40897.2019.8967704.

## LIO-SAM

简介：

2020 年最新的激光雷达 imu 紧耦合框架，可融合 GPS 信息，可以回环，LeGO-LOAM 基础上的进一步升级。

Git 链接：

<https://github.com/TixiaoShan/LIO-SAM>

论文：

LIO-SAM: Tightly-coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping, IROS2020