

一、当前学习进度：

通过表单反馈总结发现，目前大家学习进度基本上保持在学习第三章视频，完成第二章作业。

二、当前学习进度中遇到的问题，需要答疑

1. 针对 kitti 数据集，各种位姿优化算法的区别，优缺点还希望大佬们总结解读一下；ICP 不考虑效率时精度高，适合用在地图生产，NDT 鲁棒性好，适合用在实时定位，loam 及各种改进版，适合当实时里程计
2. 在课程中，希望大佬们可以提一下，在工程中，哪些算法是不需要自己实现的，比如 kdtree 加速配准，我们也就清楚了没必要在一些不重要的东西上花费时间了；取决于自己想成为哪一级：1 级工程师跑开源系统，2 级工程师自己写系统（调用三方库），3 级工程师有能力重写三方库中一些不好的模块。
3. 针对不同环境，主流的多传感器融合包含哪些传感融合方案；目前“雷达+视觉+IMU”包打天下，只是不同系统有细节差异，借助一些经典系统（vins、lio-sam、lvi-sam）掌握方法，在实际工程中举一反三
4. 想要学习在 VScode 下如何编通 ROS 程序和 debug 技巧；各种 IDE 调试 ROS 都有缺陷，写 log 是最容易的调试方法，且有效。更严谨的方法是写单元测试 (gtest)，需要一定的学习成本
5. 想请老师讲解一下程序整体框架，梳理调用关系，以及哪些地方可以修改程序，如何修改程序等内容；（暂时先看知乎，算是清晰，且介绍了动机）
6. 在完成第三章作业时，在 ceres 下实现求导，感觉涉及李群李代数部分的数据转换有些生疏，想不通为什么做了这样的格式转换；参考 <https://blog.csdn.net/hzwwpgmwy/article/details/86490556>

7. 作业时只完成程序块,但是对于整个 slam 系统的软件架构感觉还是认识的不深刻,对于一个问题如何下手解决感觉没思路; **正确的学习方法是先把架构弄熟,再去写作业,现在的作业设置是刻意调低了难度的**

8. slam_data 里的数据是不是全是导航系下 k 时刻到 k+1 时刻的转换矩阵呀? 导航系方向是东北天吧? **纯里程计是局部坐标系,和 GPS 融合后,会统一变成地理坐标系**

9. 前端 front_end.cpp 中的前端里程计更新部分,update 中进行了当前点云和 local 地图的匹配,匹配得到的位姿后面还做了两行计算没看懂 (更新两帧相对运动)

```
step_pose = last_pose.inverse * current_frame_.pose;
```

```
predict_pose = current_frame_.pose * step_pose;
```

匀速运动假设,认为 $T_{(k-1)}(k) = T_{(k)}(k+1)$,基于此,两行代码的含义为:

$T_{(k-1)}(k) = T_{(w)}(k-1).inverse() * T_{(w)}(k)$

$T_{(w)}(k+1) = T_{(w)}(k) * T_{(k)}(k+1)$

10. 自己实现的 ICP-SVD 算法,从效果上看比 pcl 库中的 NDT 算法好,这是什么原因呢? 难道 icp 算法比 ndt 算法效果好吗? **(ICP 本身精度就比 NDT 好, NDT 的优势在于鲁棒性)** 而且自己实现的 ICP 算法并没有感觉出来有延迟,这是因为点云数量较少的原因吗? **匹配确实和点的数量相关,严谨来讲应该和 pcl 中的 ICP 做一个时间比较,给出一个定量数字 (同等数量激光点的情况下)**

11. 无法理解使用 evo 命令后得到的图形的含义,如何从图形中看出算法精度?

(<https://blog.csdn.net/dcq1609931832/article/details/102465071>)

12. 第二章代码,匹配里面每次的预测位姿都是 lidar 到 imu 坐标变换,按理这

是一个错误的预测值，但是似乎对匹配结果没有影响？

13. 为什么旋转矩阵归一化，会使得累积误差减小？旋转矩阵是单位正交矩阵，本质上，所以使用旋转矩阵的计算和推导都默认使用了这个假设（以及它所有的特性），当旋转矩阵畸变后，脱离了它原来的特性，就等于破坏了假设，算法误差就会增大。

14. 听视频（应该是第三章）中老师讲的很清晰，但是在代码中对应不起来。

(1) .代码中坐标系的定义及转换关系理不清楚，比如 R_{12} ，代表的是坐标系 1 到坐标系 2 的转换，还是相反？表达方式上，不同资料有歧义，我们课程中统一认为 R_{12} 是 2 到 1，即 $r1 = R_{12} * r2$

(2) .为什么要进行旋转矩阵归一化，在不同的位置进行归一化，有什么区别、影响？参考 13

(3).迭代计算时,transformPointCloud()函数,将 transformed_input_source 转换赋值给自身，与将 transformed_input_source 转换赋值给另一个 tmp 变量，有什么区别、影响？理论上可以，但是偶尔会出 bug，建议所有的 source 和 target 都使用不同变量(虽然现在的框架中并没有完全遵守这一点，这是一个不好的习惯)

15.坐标系的转换有疑问，由于学过机器人学，感觉三维坐标转换和机器人学不同，概念有混淆 参考 14.1 a to b 统一认为是 $R_{(b)}(a)$ ，即 $rb = R_{(b)}(a) * ra$

16.rtk 的工作原理。rtk 和 gnss 有什么区别？RTK 消除了一些 GNSS 中的环境误差，原理复杂，感兴趣可以找博客了解

17. 关于线特征在 scan2map 中的适用性讨论。我在运行 lio-sam 时注意到，在做点线优化时，选取的线特征其实并不是线特征，比如 kitti 数据集中一面墙

上有很多线特征点，感觉这样会影响系统精度。我也尝试过注释掉点线约束，只用点面约束，确实精度有所提升。我个人认为点线约束只适用于 scan2scan，即 loam 的那套根据曲率提取特征的方法只适用于 scan2scan，scan2map 应该使用点面约束或者 ndt，gicp 这种方法。不知老师是什么看法？点到线确实有不合理地方，只用点到面，特征会比较少，场景退化会严重，loam 里面 scan2scan 和 scan2map 使用同样特征是为了系统统一，点到线的误差问题可以想办法识别出不好的线特征。

18. 关于建图时 z 轴漂移的讨论。在大群中我也问过老师如何解决 z 轴漂移的问题，老师给的答案是融合 gps。但一般的 gps 通常只是 xy 轴准确，z 轴是不准的，这样的话 z 轴还是会有漂移，请问实际工程中老师是怎么解决这个问题的呢？另外，融合了运动约束，既 x 轴方向有速度，yz 方向没速度是否能一定程度减少 z 轴漂移？融合了 gps，z 轴的漂移不会很严重，虽然 gps 的 z 轴有误差（这种误差是噪声性，不是累计性）

19. 为什么 kitti 数据集播放结束后，front_end 还要运行很长时间才能停止？处理延迟那么严重吗？麻烦解释一下哈就是处理有延迟，可以降低点云数量来提速，但是精度会下降，这里的 front_end 是为了建图，没有实时性需求，所以不建议这么做

20. 第二章作业已经写完 ICP-SVD 算法代码，编译没有问题，但是运行中遇到错误，仍未解决，已上传包含错误问题的代码。

运行 bag 文件几秒后会遇到 front_end_node:
/build/pcl-OilVEB/pcl-1.8.1+dfsg1/kdtree/include/pcl/kdtree/impl/kdtree_flann.hpp:136: int pcl::KdTreeFLANN<PointT,

```
Dist>::nearestKSearch(const PointT&, int, std::vector<int>&,
std::vector<float>&) const [with PointT = pcl::PointXYZ; Dist =
flann::L2_Simple<float>]: Assertion `point_representation_->isValid
(point) && "Invalid (NaN, Inf) point coordinates given to
nearestKSearch!" failed.如果在corr_num那里打了LOG显示每次匹配点对的
数量,则只会出现跑飞的情况而不是出现 process has died 问题。
```

凭这些信息无法直接给出结论,建议继续打log调试,或者写单元测试

21.想要了解遇到这种问题如何定位问题,并解决BUG,非常谢谢老师! 简易方法是打log,长远方法是写单元测试

三、其他方面想要了解的内容,期待分享

1. 面试经验交流 (常问问题、代码面准备); leetcode easy->medium
2. C++如何学习 (学习资料推荐); c++ primer stl 标准库
3. SLAM 框架如何搭建 (以课程作业为例) 从最简单写起、逐渐重构,《重构》
4. SLAM 面试会区分视觉 SLAM 和激光 SLAM 吗? 一般会问什么问题? 会不会要求现场写一些主流算法? 基础知识+工程深度
5. 想要多学习些工程上的编程技巧和经验! 多写、多看、多思考(重构)
6. 想请教老师:
 - (1).如何快速上手多传感器融合技术并取得一些小成果? 工程? 学术? 从小问题入手
 - (2).多传感器融合或者 SLAM 中哪些方面的技术点好发文章些? 如何去切入学习? 传统算法领域, 雷达+视觉+IMU+anything, 想发文章去搞深度学习
- 5.有关激光 SLAM 的面试经验,对于岗位招聘流程和考察重点不了解 参考 4

6.工程经验，比如说 imu，激光雷达，gnss 等传感器的选择，什么情况下要使用何种参数的传感器？主要是 IMU，有一个计算理论（后续章节），或者直接仿真

7.imu 融合里程计学习资料。想用好 imu 有哪些关键的地方？

8.面试 SLAM 相关岗位，需要学习到什么程度，常见的面试题目等。参考 4

9.学习资料推荐，比如像计算机视觉坐标系转化，等一些书，一些经典，能够补足基础的书《视觉 slam 十四讲》《机器人学中的状态估计》《捷联惯导算法与组合导航原理》在精不在多

10.学习激光 slam 由入门到精通等需要走哪几个学习阶段，在各个学习阶段中有什么学习资料推荐，谢谢老师回答。开源->书->自己写框架->理论知识查漏补缺->模块强化

11.多传感器融合现在还有哪些值得研究的点呢？不要基于深度学习的研究。我现在在读研究生，现在自己能手写一个 lio 系统，能实际应用在机器人中，但没有什么创新点。也尝试过解决激光里程计 z 轴漂移的问题，搞了半年也没什么成果。导师也不是这个方向的，帮不了我，我自己想发点论文。现在我自己实在找不到值得研究的，有实用意义的研究方向.....希望老师指条明路 参考 6.2

12. 老师平时是怎么读一篇新论文的，自己读了论文如果不复现一次的话，我感觉我自己就跟没读一样。所以我现在只读开源代码的论文..... 有开源的精读，没开源的粗读，重点在于看代码，论文只是参考思路

13.怎么快速上手一个新库,例如怎么根据 pcl 头文件使用它的函数呢？看官网，了解系统结构

14.代码框架该怎么学习，一行行的读代码吗？从大到小

15.想要了解对 SLAM 算法各个模块进行适配、移植方法的思路。模块单独提出来，学会写单元测试，并掌握单因素对比原则（控制变量法）

16.想更多了解一些工业界落地的现状，包括当前算法普遍的精度、大概的改进策略以及落地的一些注意事项。精度基本够用，重效率（大规模生产），重场景中的 case

17 任老师，您能不能在答疑中以您在学校和研究所，以及企业的经历，讲一下硕博生如何学习定位导航这一块，比如哪些经典参考书 bible，哪些国内外网课？
我感觉自己学得有点杂，一会视觉 slam，一会 gnss 惯导这些 参考 10，注意要精不要杂，精可以举一反三，一通百通