

一、 本章课程内容学习中遇到的问题：

1. 在 lego-loam 里面，感觉 imu 相关的坐标系以及坐标变换特别乱，而去掉 imu 相关程序 lego-loam 照样运行。那么 imu 在 lego-loam 代码里面的主要作用是什么？是去点云畸变，还是其他作用？**只用来去畸变，但匀速模型基本够用，所以精力不够时可跳过这种复杂方法**
2. 想请教一下传感器同步那里，专栏里说 lidar 和 imu 都是 10hz，但是雷达采集时间要慢几十 ms，这个可以理解成假如当前时刻是 300ms，我在 300ms 获得的是 250ms 时刻的 lidar 数据？如果是这样的话，匹配中其他传感器都以 lidar 时间为基准，但是 lidar 数据本来就是延时 50ms 的数据，那么输出的位姿岂不是也带来额外的延时了？**传感器的时间戳上使用采集时间，不是融合用的处理器接收到数据的时间。采集之后，接收到之前（严格讲是融合完成之前）的位姿可以使用 IMU 做位姿解算。**
3. 第四章作业写完 matching，但效果不好，bag 播到 40 多秒，matching 就开始飞了，不知道从哪里 debug。（希望老师或者助教可以关注每个同学的问题，而不是只回答最新看到的问题，疑问没有解答真的会让我们失去学习的动力，因为不知道从哪里下手，本身课程就是为了可以和大佬交流，如果疑问得不到解答，那么报课没什么意义）**匹配不好一般是两个原因，一是地图在那个地方质量不好，二是当前帧点云过于稀疏。可以检查地图是否有重影，或者先把当前帧点云保留的稠密一些。有时候也会有第三个原因，就是位姿预测不准，不过这个预测应该是框架里已经写好了。（感谢你的建议，后面会多注意，如果因为别的原因确实没有看到问题，麻烦在问题下面@我一下）**

4. ICP 方法中，第一帧扫描了 x 个点，第二帧扫描了 y 个点，我们如果想把第二帧的点转换到扫描第一帧时雷达的坐标系下，就要通过这两帧中对应同一物体的两个点对来计算旋转和平移，**我的问题是**：第一帧和第二帧中的点肯定有一些是没有同时在这两帧中都有，在计算 R 和 t 的时候是不是用的两帧中都有的点，然后把第二帧在第一帧中没有的点和有的点转换到第一帧，这样就把这两帧点云拼接起来了，接着计算第二帧和第三帧、第三帧和第四帧……(依次进行下去)的 R 和 t ，最终转换到第一帧下，就成了一个完整的地图。**是**

5. (1) .如何标定汽车的传感器和本体，比如 imu 和本体前进方向假如有一个夹角如何确定呢，夹角估计不准的话会影响控制吗；**能标，但现在讲会很复杂，等到了具体章节再详细回答，如果到时候忘了，麻烦再次提醒我**

(2) . 一般选择设备的时间戳还是收到的时间戳作为传感器的基准呢？
比如 gps 收到的时间戳通常是 以开始时刻为 0，每次加一个新的数据时间+1，但是收到的时间戳是 ros 的时间，会有一些小数。一般选择设备的时间戳还是收到的时间戳作为传感器的基准呢？**使用设备时间戳**

(3) . 传感器融合是否会带来新的问题呢？比如一个传感器坏了，如果融合进去反而影响系统。**需要加异常判断**

6. 老师您好，我是上次提问重头复现您代码框架的同学。任务比想象的要麻烦，我选择了把代码框架完全的梳理完，在您写的 viewer_node 的部分，发现了几个问题：

(1) viewer_node 发布的/optimized_odom, /current_scan, 在发布前，

都要乘以 pose_to_optimize_这个矩阵，看您知乎上的解释，是要把点云和里程计投影到优化后的坐标下，但是在求 pose_to_optimize 的矩阵的时候，代码如下：

```
bool Viewer::OptimizeKeyFrames() {
    size_t optimized_index = 0;
    size_t all_index = 0;
    while (optimized_index < optimized_key_frames_.size() && all_index < all_key_frames_.size()) {
        if (optimized_key_frames_.at(optimized_index).index < all_key_frames_.at(all_index).index) {
            optimized_index ++;
        } else if (optimized_key_frames_.at(optimized_index).index < all_key_frames_.at(all_index).index) {
            all_index ++;
        } else {
            pose_to_optimize_ = optimized_key_frames_.at(optimized_index).pose * all_key_frames_.at(all_index).pose.inverse();
            all_key_frames_.at(all_index) = optimized_key_frames_.at(optimized_index);
            optimized_index ++;
            all_index ++;
        }
    }

    while (all_index < all_key_frames_.size()) {
        all_key_frames_.at(all_index).pose = pose_to_optimize_ * all_key_frames_.at(all_index).pose;
        all_index ++;
    }

    return true;
}
```

这里我发现

pose_to_optimize_是优化后的关键帧和没有优化的关键帧，在对齐情况下的最后一组之间的相对关系，为什么要这样选择呢？感觉看到这里有点晕。[这地方坐标系有些问题，私聊我，我发你之前讨论的聊天纪录](#)

- (2) 第二个问题是，在 back_end_node 中，利用 GNSS 位置增加了一元边，这个一元边需要自己定义，关键帧间的相对位姿是二元边，

这样构建完这个因子图后，不是已经可以很好的完成优化的任务了么？为什么之后还要往里增加 IMU 的先验？以及您在知乎中提到的 GNSS 的姿态和 GNSS 的位置，我没有明白这其中的区别

GNSS 位置对应 xyz 的先验，IMU 对应的是姿态的先验，(kitti 里的 IMU 和 GNSS 都来自组合导航，所以这样的概念并不严谨)，gnss 姿态对应的就是这个 imu，也就是姿态先验

7. 目前正在做第四章第三题，

(1) . loop_closing 过程中，为什么只用到了两个 covariance？见`pose.covariance[0]`,`pose.covariance[1]`那个是回环相连的两个帧的 index，只是借用了 covariance 这个字段而已，因为 ros 的 pose 结构体里没有两个 index 字段，又不想自己重新定义 message

(2) .`back_end_flow.cpp` 的 125 行：`odom_init_pose = current_gnss_pose_data.pose * current_laser_odom_data.pose.inverse()`，为什么初始位姿是这么计算的？怎么得来的？

```
if (!odometry_init) {
    odometry_init = true;
    // lidar odometry frame in map frame:
    odom_init_pose = current_gnss_pose_data.pose * current_laser_odom_data.pose.inverse();
}
// current lidar odometry in map frame:
current_laser_odom_data.pose = odom_init_pose * current_laser_odom_data.pose;
```

三个放在一起，是 $T_{n_b0} * (T_{b0_w} * T_{w_bk}) = T_{n_b0} * T_{b0_bk} = T_{n_bk}$ ，目的是把 odometry 转到 gnss 坐标系下，防止初始误差过大，影响优化

(3) .gnss 在后端被用作优化了，那 gnss 的数据还能作为 ground truth 吗？理论上不行，在 kitti 里没有单独的 gnss，只有组合导航，所以没别的办法

8. 老师第四章的代码。在后端优化的过程中，有进行了两次优化，但是我看程序并没有使用这两次优化的结果。最后在保存地图之前，又进行了优化。感觉

就这次优化就完全可以了。请老师讲一下程序运行中的优化有什么具体的作用。

优化前误差会累计，累计过大时，初始误差过大，会影响优化结果，所以就每隔一定数量的帧就优化一次，防止误差累计过多

9. icp 匹配重定位，在场景发生变化的情况下，几米的搜索范围，都很容易匹配错误，有什么好的解决方法。初始化时尽量把初始位置弄精确，如果没有条件，就搞有全局描述的特征来初始化。在已经初始化完成后，应尽量让预测准确，当长时间定位丢失后，走重新初始化的流程。

10. 老师能否详细讲解下组合惯导出来的速度、加速度、欧拉角是相对于哪个坐标系的？坐标转换是理解的，但很多时候组合惯导的协议里面只有“x 方向速度”等简单说明，而不是如“组合惯导相对于 aa 的速度在 bb 坐标系的 x 轴上的投影”这种明确的说法；希望老师能对常见约定做讲解（已被 lego-loam 的坐标系转换搞晕。。。）。组合导航是地理系下的，指的是载体相对于原点的运动在东北天坐标系下的投影(用 V_n 表示)。kitti 强行把它转到了载体坐标系下($V_b = R_{bn} * V_n$)，kitti 载体坐标系使用的是前(x)左(y)上(z)

关于程序中各个坐标系的讨论。我按照个人理解列出程序中的坐标系：

1. ENU坐标系：相当于gnss的原点，也可以称为导航系{n}
2. 激光里程计原点坐标系：与ENU坐标系位置重合，但相差了一个旋转矩阵
3. 机体坐标系：gnss经纬度数据投影到ENU坐标系后，就得到**机体相对于ENU系的姿态，在ENU系下表示**。实际运行中，机体与车固联，跟随车运动
4. lidar坐标系：激光里程计得到就是**lidar系相对于激光里程计原点坐标系的位姿，在激光里程计原点坐标系下表示**。同时，机体与lidar系之间相差了一个外参。实际运行中，lidar系与车固联。

问题：

- (1) 上述理解是否正确？若错误，老师能介绍一下各个坐标系吗？
- (2) 通常组合导航返回的是：**机体系相对于导航系的速度，在导航系下表示**，即：

$$V_{nb}^n$$

但在kitti数据集中返回的是：**机体系相对与导航系的速度，在机体系下表示**，即：

$$V_{nb}^b$$

它是如何实现的呢？是乘上了一个旋转矩阵吗？即：

$$V_{nb}^b = R_n^b V_{nb}^n$$

二、 其他方面想要交流讨论的问题：

1. 做激光 slam 算法相关行业的薪资待遇是多少？主要是集中在北上广吗？
北、上广深最多，杭州、苏州次之，武汉、成都有少量
2. 我每次看论文的时候，那些数学推导公式还好理解，但是到写代码的时候，就感觉有些无从下手，尤其是读代码框架的时候，感觉难，老师是怎么一步步走过来的。**可以单独写一些小功能去验证**
3. 自动驾驶导航岗位和无人机导航岗位的要求有什么区别呢？**目前逐渐趋同，区别是自动驾驶对雷达的要求高一些，无人机对视觉的要求高一些**
4. 我想问下老师，我在实际操作进行定位时，使用 scancontext 进行重定位效果并不好，成功率很低，想问下老师重定位在没 gps 辅助下，有没有什么好的方法。**借鉴 cartographer 的那种栅格和分支定界方法，但只适用于小场景，再大一点场景可以借助视觉。**
5. (1)问题 1：我们想在地下停车场里做基于视觉的 slam 定位。然后用

orb slam3 开源代码，用双目的模式建了一个的稀疏特征点地图，然后后面用单目做基于特征点地图的定位，如果想在单目的基础上把 IMU 加上的话，这个 IMU 应该怎么用呢，就是它怎么样和单目融合呢？Orb slam3 有单目模式的 vio，它也可以在已有地图上重定位

(2)问题 2：接问题 1，类似 GPS 和 imu 的融合方式，imu 输出的频率比如 100hz，用 GPS 的数据每隔 1s 去修正一次 imu 的累计误差，这样就能输出 100hz 的不会漂移的定位数据了。在地下停车场，那么是不是可以把这里的 GPS 替换为视觉 slam 做一个视觉 slam 加 imu 的能够输出高频率的定位呢，现在有这方面开源的代码吗？Vio 都具有这种融合功能，比如 vins 和 orb slam3

(3)问题 3：想用 kitti 的数据跑一下 ORBSLAM3 的双目加 imu 模式的代码，怎么样拿到 kitti 里 imu 的噪声参数呢。ORBSLAM3 在 Euroc 四旋翼和 Tum 手持设备上都跑了双目加 imu，你觉得他未在 kitti 上跑会不会有别的原因呢。kitti 有没有给出 imu 的具体型号？没有的话就强行调参吧

(4)问题 4：目前无人驾驶公司用双目的方案，基线长度一般选多远比较合适，我看有的文章说一个车上装好几对双目，有长基线，有短基线。无人驾驶上双目用的还比较少(这里指的不是双目硬件，指的是使用双目基线去恢复深度的方法)，多数还是借助其他传感器，在运动中恢复深度

6. 激光雷达和 imu 的时间对齐可以直接用 ros 里的时间做插值来标定吗应该使用数据采集时间
7. 请问一下大佬，无人车里定位部分需要像传统导航那样做粗对准和静对准吗？如果上面有组合导航，就需要做初始对准(绕八字或双天线)

8. 老师您好，现在市面上的 50m 倒车辅助，是不是采用里程计融合 imu 的方法，或者有其他更好的方法。一般 avp 不是视觉感知、定位(与 imu 融合)+超声波避障的吗(没做过，只是粗浅认识)
9. 想请教一下，实际国产惯导里，有一些用的是十秒平滑百秒平滑，他们具体是咋计算的，这种计算出来的误差要比阿伦方差好看一些吗？每隔 10s/100s 取一个平均值，然后统计标准差，数值上会比 allan 方差好看太多，一般是 20 倍左右。
10. 使用 lidar_align 标定 lidar 和 imu 的时候，lidar_imu 的输入是 lidar 和 pose，那么如何通过 imu 得到 pose 呢，如果是直接使用 imu 积分，得到的 pose 很不准，这样标定的结果也不会好吧如果 imu 没有 pose，或者只有积分得到的 pose，就不能用这种方法
11. Lio-sam 如何改才能使它可以直接使用 6 轴 imu 运行？思路是把使用 imu 解算好的姿态的地方都去掉，具体细节，和去掉之后要使用什么样的补救措施，要麻烦你自己去研究代码细节了。

答案补充：

GPS 相关坐标系转换可参考的书：

《gps 原理与接收机设计》谢钢

《捷联惯导算法与组合导航原理》严恭敏