

实验指导书

--建图与定位

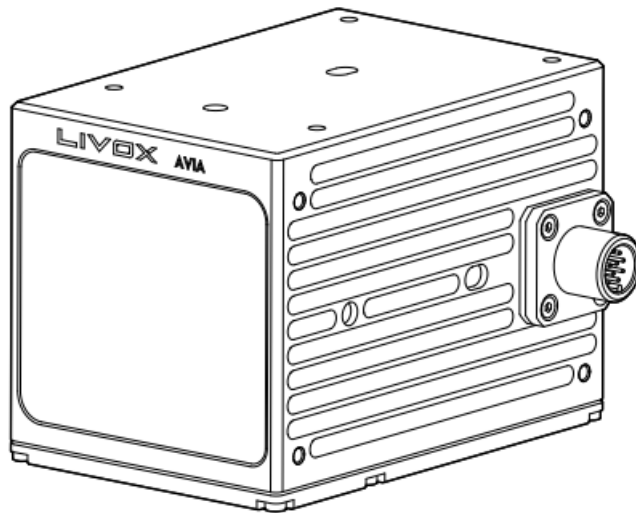
实验目的：

- 1、了解固态激光的使用与维护
- 2、初步接触建图与定位的概念及应用
- 3、学习使用轨迹评估工具 EVO
- 4、通过命令行操作，完成无 imu 的雷达建图（balm）和 imu 紧耦合的雷达建图（lio-livox），通过 EVO 和实际建图情况分析对比 imu 在建图与定位过程中发挥的作用
- 5、调整 slam 参数，提高建图精度

实验内容：

章节一 固态激光的简介与使用说明

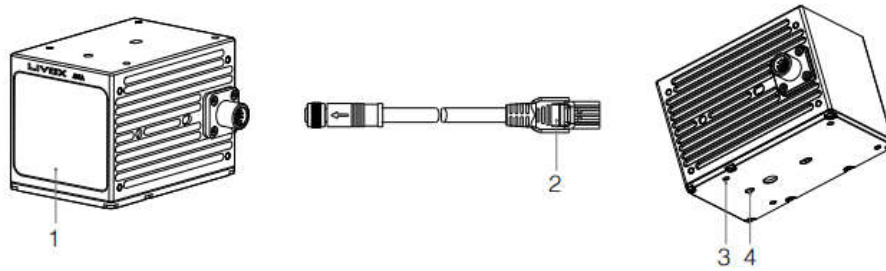
Avia 简介



傲览 Avia 是 Livox 浩界（Horizon）的升级版，不仅外形轻巧紧凑，探测距离及效率也得到了全面提升：FOV 超过 70° ；支持三回波与双扫描模式；具有远程量、重量轻、高精度、宽视角和高可靠性等特点；可广泛适用于电力、林业、泛测绘、智慧城市等应用场合。

Avia 连接与使用说明

连接说明： Livox Avia



1. 窗口

激光光束通过窗口向外发射，从而对 FOV 范围内的物体进行扫描。

2. 航插电源网口线

用户可以通过航插电源网口线和电源转接插座 2.0 快速连接 Livox Avia。航插电源网口线的线序请查看“接口定义”章节。

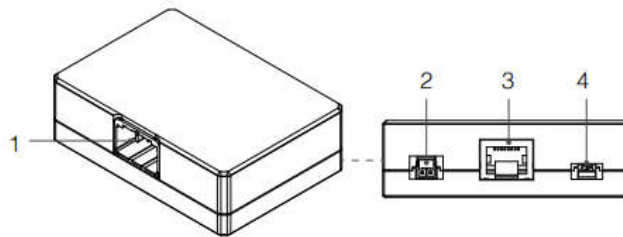
3. 安装孔

可通过此安装孔，使用 M3 螺丝将 Avia 固定至合适的位置。

4. 定位孔

设计固定支架时，可通过此定位孔提高 Avia 的安装精度。具体尺寸请查阅安装尺寸章节。

电源转接插座 2.0



1. 激光探测测距仪连接头接口

连接激光探测测距仪激光雷达连接头。使用连接器型号为 JAE MX34012NF1，对应激光探测测距仪雷达连接头型号为 JAE MX34012SF1。

2. 电源接口

连接至外部电源。电源转接插座 2.0 的工作电压为 9-30V，因此将 Avia 通过电源转接插座 2.0 连接至外部电源时，外部电源的输出电压可为 9-30V。该电源使用连接器型号为 MOLEX 105313-1102，对应线端连接器型号为 MOLEX 105307-1202。

3. 以太网线接口

连接至以太网线。使用标准 RJ45 以太网接口。

4. 同步信号线接口

连接至同步信号线。电源转接插座 2.0 的同步信号接口支持 3.3V LVTTTL 电平同步，内部线芯为 3Pin，信号顺序请参阅表 2.2.2。如果有自配线缆的需求，对应的线端连接器为 Famfull 9.510A0-003-1R0，可以兼容使用 JST GHR-03V-S。

使用说明：

坐标系

Livox Avia 中内置 IMU，点云坐标系 O-XYZ 和 IMU 坐标系 O'-X'Y'Z' 的定义如下图所示。

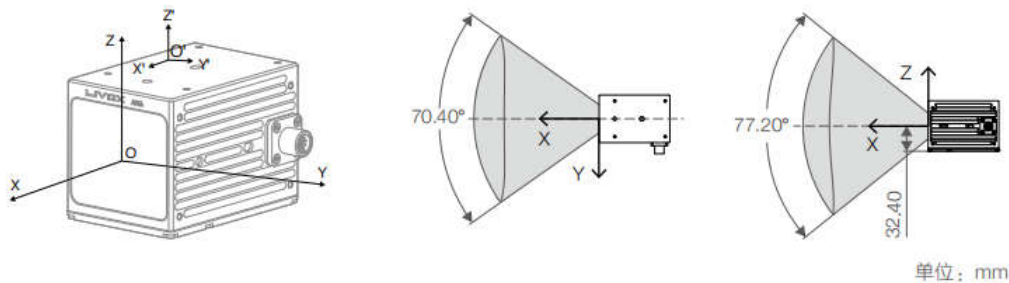


图 5.1.1 Livox Avia 坐标定义

IMU 坐标原点 O' 在点云坐标系 O-XYZ 上的坐标为 (-41.65, -23.26, 28.40) (单位：mm)。

输出数据

Livox Avia 的输出数据中包含点云数据和 IMU 数据。其中点云数据和 IMU 数据中都包括了时间戳信息以及状态指示码信息，而点云数据中还包括了目标反射率、坐标信息及标记信息。

点云数据

点云数据是激光探测测距仪于视场角中于被测物表面所探测到的所有点云的总和。每个点云包含以下信息。

目标反射率：以 0 至 255 表示。其中 0 至 150 对应反射率介于 0 至 100% 的漫散射物体；而 151 至 255 对应全反射物体。

坐标信息：Livox Avia 的坐标信息可表示为直角坐标 (x, y, z) 或球坐标 (r, θ , ϕ)，其直角坐标和球坐标的对应关系如下图所示。如果前方无被探测物体或者被探测物体超出量程范围 (例如 600 m)，在直角坐标系下，点云输出为 (0, 0, 0)；在球坐标系下，点云输出为 (0, θ , ϕ)。

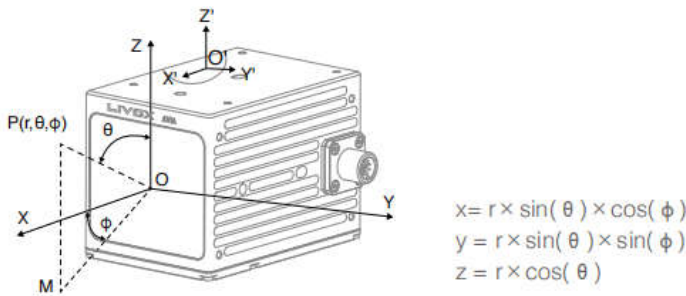


图 5.2.1.1 点云数据中球坐标与直角坐标关系

开发说明：

启动雷达电源，将网线连接电脑后，需启动驱动程序，配置网口信息，雷达的点云和 imu 信号可通过 ROS 话题读取开发。

章节二 建图与定位的概念及应用

什么是 SLAM:

SLAM (simultaneous localization and mapping), 也称为 CML (Concurrent Mapping and Localization), 即时定位与地图构建, 或并发建图与定位。

问题可以描述为: 将一个机器人放入未知环境中的未知位置, 是否有办法让机器人一边逐步描绘出此环境完全的地图, 同时一边决定机器人应该往哪个方向行进。

SLAM 四要素:

地图表示问题, 比如 dense 和 sparse 都是它的不同表达方式, 这个需要根据实际场景需求去抉择

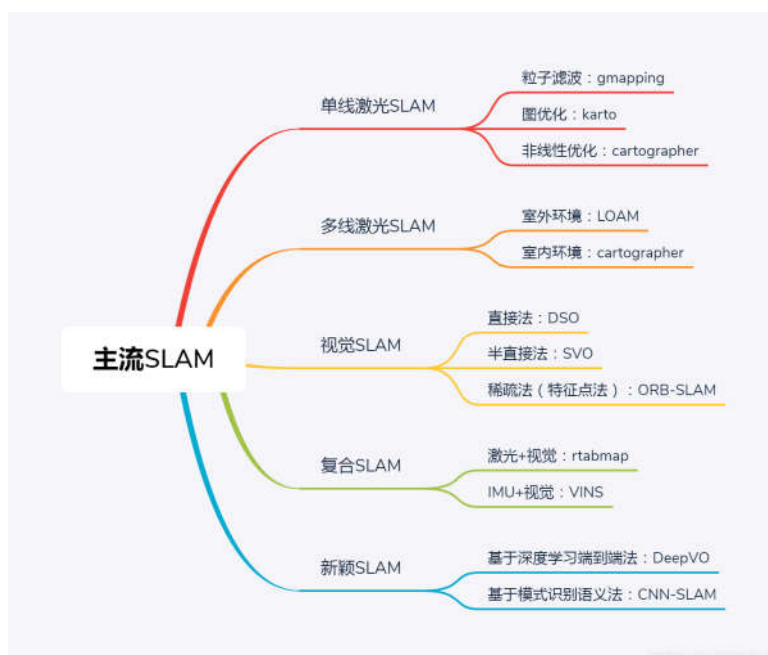
信息感知问题, 需要考虑如何全面的感知这个环境, RGBD 摄像头 FOV 通常比较小, 但激光雷达比较大

数据关联问题, 不同的 sensor 的数据类型、时间戳、坐标系表达方式各有不同, 需要统一处理

定位与构图问题, 就是指怎么实现位姿估计和建模, 这里面涉及到数学问题, 物理模型建立, 状态估计和优化

SLAM 的分类:

大体上可以分为激光 SLAM 和视觉 SLAM, 分别借助激光雷达和视觉相机。其中激光雷达包括以单线激光雷达为主体的 2d 平面 SLAM 和多线机械及固态激光雷达为主体的 3dSLAM, 视觉 SLAM 包括 RGB、双目相机、深度相机等为依托的 3dSLAM。



SLAM 的应用:

室内机器人, 例如扫地机器人、快递运输中的分拣机器人、巡航无人小车等

AR 目前基于 SLAM 技术开发的代表性产品有微软的 Hololens, 谷歌的 Project Tango 以及同样有名的 Magic Leap, 后者 4 月 20 号公布它的新一代水母版 demo 后, 国内的 AR 公司更加看到了这个趋势。

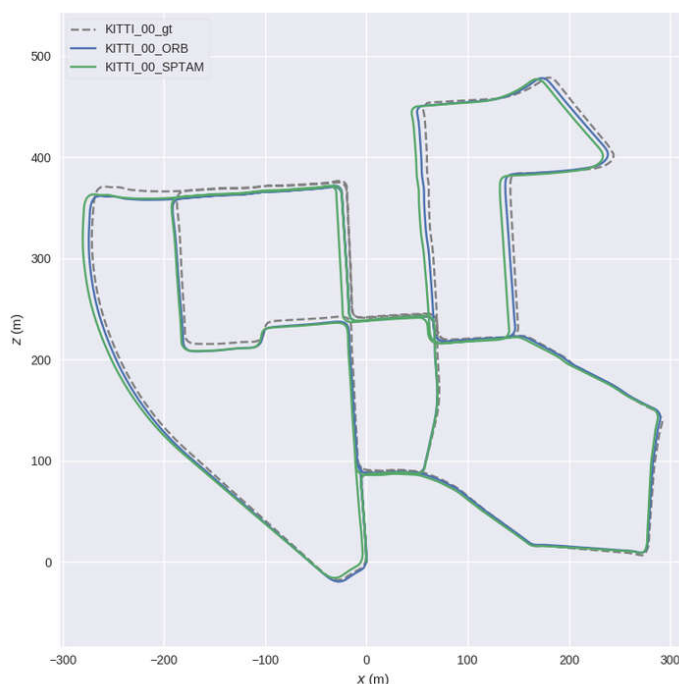
无人机, 例如国内大家非常熟悉的大疆精灵四避障用的双目视觉+超声波

复杂的避障、探洞、包括无人机集群都建立在稳定靠谱的 SLAM 上, 因此 SLAM 技术对于无人技术来说非常重要

章节三 轨迹评估工具 EVO

EVO 简介：

EVO 在视觉 SLAM 中是一个普遍使用的量化工具，它可以用于评估 SLAM 输出的轨迹的精度，可以自动生成均值、方差、轨迹等等信息的图或者表。



EVO 安装：

该工具目前被托管在 github 上,其项目地址为 <https://github.com/MichaelGrupp/evo>

作者提供了两种安装方法,这里推荐使用 pip 工具进行安装,非常方便,只需要一行代码即可,将如下代码复制到你的终端中运行

```
pip install evo --upgrade --no-binary evo
```

EVO 使用方法：

evo 工具主要有如下六个常用命令：

evo_ape - 用于评估绝对位姿误差；

evo_rpe - 用于评估相对位姿误差；

evo_traj - 这个主要是用来画轨迹、输出轨迹文件、转换数据格式等功能；

evo_res - 比较来自 evo_ape 或 evo_rpe 生成的一个或多个结果文件的工具；

evo_fig - （实验）工具，用于重新打开序列化图（使用 -serialize_plot 保存）；

evo_config - 这个主要用于 evo 工具全局设置和配置文件操作。

本次实验仅用到 evo_ape 用于评估无 imuSLAM 和 imu 雷达紧耦合 SLAM 之间的轨迹绝对位姿误差，及 evo_rpe 评估相对位姿误差。

用法如下：

```
evo_ape kitti KITTI_00_gt.txt KITTI_00_SPTAM.txt -va --plot --plot_mode xz
```

```
--save_results results/SPTAM.zip
```

要注意使用 EVO 需要统一的数据格式例如 kitti、tum、euroc，需要编写脚本，把 SLAM 得到的里程信息转化成统一的数据格式 txt 或 csv。

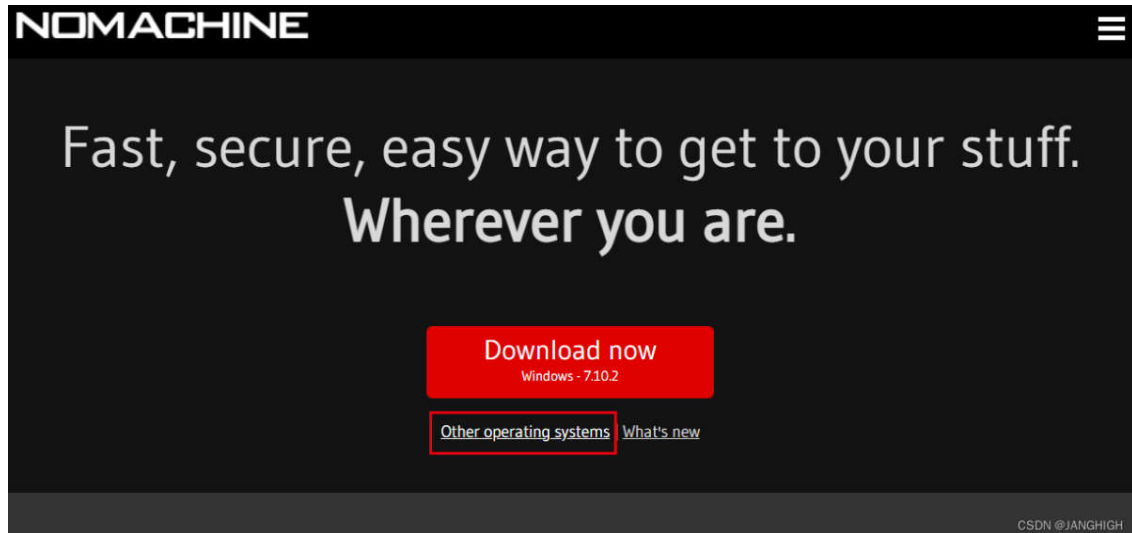
可以实地采集也可以使用网上公开的数据集进行实验。

章节四 远程连接

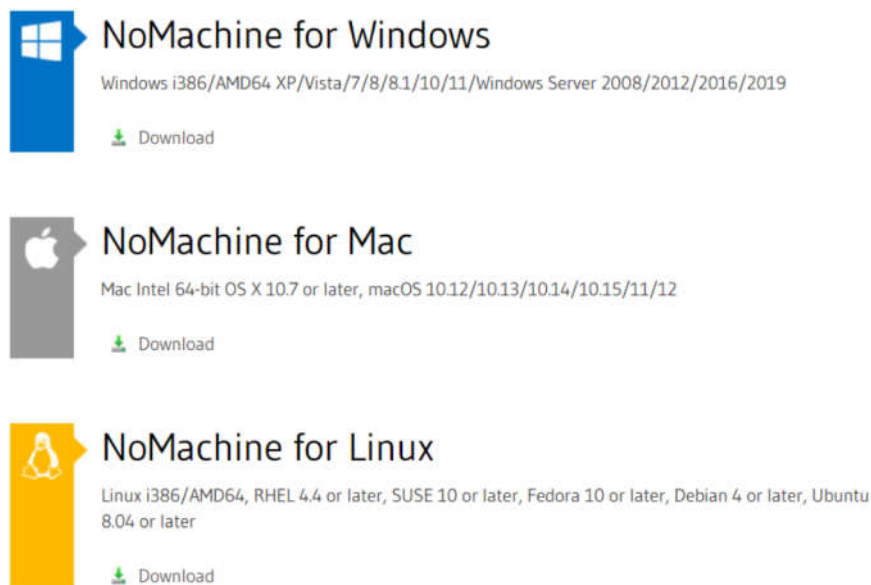
NoMachine 下载与安装

NoMachine 是一款速度快、质量高的远程桌面, 可以通过 NoMachine 连接到远程控制主机。

1. 官方网站 nomachine : <https://www.nomachine.com/>
2. 进入官网后, 点击下图红框, 进行不同版本软件的下载



3. 选择电脑版本下载即可



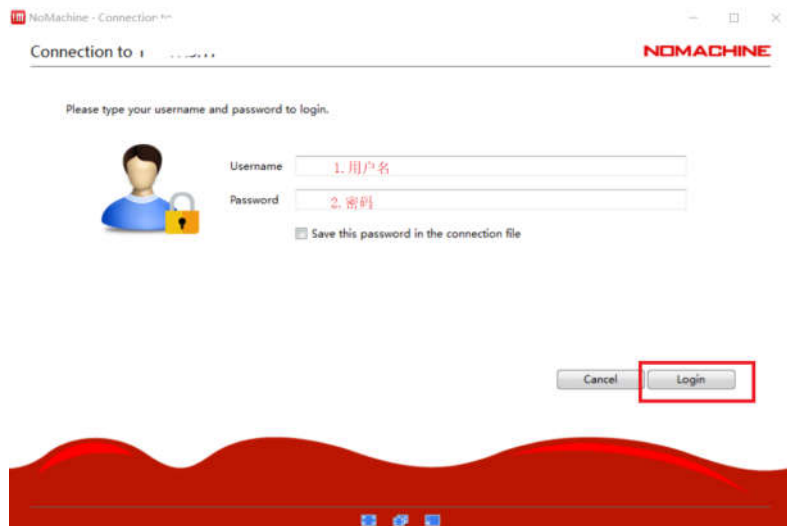
NoMachine 的远程连接

- 1、首先关闭掉相应的防火墙。
- 2、连接热点, 热点 ap 名为 slam_tsinghua_+id 设备编号(如 id 为 1 的设备 ap 名 slam_tsinghua_ap1), 连接密码为 slam123456。
- 3、打开 NoMachine 软件。

4、输入要远程控制的远程主机的 IP 地址，ip 名为 192.168.134.2。



5、依次输入要连接的用户名、密码。用户名为 nuc，密码为 nuc。



6、点击 Login 即可进入远程 Ubuntu 系统。

章节五 balm 命令行运行及调参操作指南

Balm 命令行操作：

1、启动 avia 雷达驱动

```
roslaunch livox_ros_driver livox_lidar_msg.launch
```

2、启动 balm 的 launch 文件

```
roslaunch balm balm_loam_horizon_indoor.launch
```

Balm 调参指南：

调参位置 ~/catkin_ws/src/

参数说明：

```
<param name="blind" type="double" value="0.5"/>          扫描盲区
<param name="inf_bound" type="double" value="10"/>
<param name="N_SCANS" type="int" value="6"/>             扫描线数
<param name="group_size" type="int" value="8"/>
<param name="disA" type="double" value="0.01"/>
<param name="disB" type="double" value="0.1"/>
<param name="p2l_ratio" type="double" value="225"/>
<param name="limit_maxmid" type="double" value="6.25"/>
<param name="limit_midmin" type="double" value="6.25"/>
<param name="limit_maxmin" type="double" value="3.24"/>
<param name="jump_up_limit" type="double" value="170.0"/>
<param name="jump_down_limit" type="double" value="8.0"/>
<param name="cos160" type="double" value="160.0"/>
<param name="edgea" type="double" value="2"/>
<param name="edgeb" type="double" value="0.1"/>
<param name="smallp_intersect" type="double" value="172.5"/>
<param name="smallp_ratio" type="double" value="1.2"/>
<param name="point_filter_num" type="int" value="3"/>    采样间隔，即每隔 point_filter_num 个点取 1 个点
<node pkg="balm" type="livox_feature" name="livox_feature" output="screen"/>

<node pkg="balm" type="loamscan2map" name="loamscan2map" output="screen">
  <param name="filter_parameter_corner" type="double" value="0.2" />
  <param name="filter_parameter_surf" type="double" value="0.2" />
  <remap from="/laser_cloud_flat" to="/pc2_surfN" />
  <remap from="/laser_cloud_sharp" to="/pc2_cornN" />
  <remap from="/livox_cloud" to="/pc2_fullN" />
</node>

<param name="root_surf_voxel_size" type="double" value="0.5"/>  表面特征设置滤波器处理时采用的体素大小
<param name="root_corn_voxel_size" type="double" value="1"/>    角特征设置滤波器处理时采用的体素大小
<param name="skip_num" type="int" value="0"/>
<param name="surf_filter_length" type="double" value="0.2"/>
<param name="corn_filter_length" type="double" value="0.2"/>
<param name="pub_skip" type="int" value="5"/>
```

章节六 lio-livox 命令行运行及调参操作指南

Lio-Livox 命令行操作：

1、启动 avia 雷达驱动

```
roslaunch livox_ros_driver livox_lidar_msg.launch
```

2、启动 lio-livox 的 launch 文件

```
roslaunch lio_livox horizon.launch
```

Lio-livox 调参指南

调参位置：

参数说明：

```
Lidar_Type: 0      # 0-horizon      Avia 同 horizon 选择相同雷达类型
Used_Line: 6      # lines used for lio, set to 1~6
Feature_Mode: 0    # 0(false) or 1(true)
NumCurvSize: 2
DistanceFaraway: 100 # [m] <DistanceFaraway near / >DistanceFaraway far
NumFlat: 3 # nums of one part's flat feature
PartNum: 150 # nums of one scan's parts
FlatThreshold: 0.02 # cloud curvature threshold of flat feature
BreakCornerDis: 1 # break distance of break points
LidarNearestDis: 1.0 # if(depth < LidarNearestDis) do not use this point
KdTreeCornerOutlierDis: 0.2 # corner filter threshold
Use_seg: 1 # use segment algorithm
map_skip_frame: 2
```

断点距离判定

雷达盲区设置

前后景分割 kd-tree 搜索阈值

选择分割模式进行动态对象过滤，有两种模式：0-不使用分割方法，如果数据中的动态对象很少，则可以选择此模式 1-使用分割方法去除动态对象

调参位置：

参数说明

0-不使用 IMU 信息，纯激光雷达里程计，使用等距离插值

```
<!-- 0-Not Use IMU, 1-Use IMU remove Rotation Distort, 2-Tightly Couple IMU & Lidar -->
<param name="IMU_Mode" type="int" value="2" />
<!-- Voxel Filter Size Use to Downsize Map Cloud -->
<param name="filter_parameter_corner" type="double" value="0.2" />
<param name="filter_parameter_surf" type="double" value="0.4" />
<!-- Extrinsic Parameter between Lidar & IMU -->
<roscpp param="Extrinsic_Tlb"> [1.0, 0.0, 0.0, -0.05512,
                                0.0, 1.0, 0.0, -0.02226,
                                0.0, 0.0, 1.0, 0.0297,
                                0.0, 0.0, 0.0, 1.0]</roscpp param>

</node>
```

1-使用 IMU 预集成来消除运动失真

2-紧密耦合的 IMU 和激光雷达信息

角特征设置滤波器处理时采用的体素大小的
表面特征设置滤波器处理时采用的体素大小

雷达 imu 外参，表示雷达和 imu
之间的位姿关系