定位模块操作实践

0 Apollo中的地图总结

0.1 地图类型介绍

1. **base_map**：`base_map`是最**完整的地图**，包含所有道路和车道几何形状和标识。其他版本的地图均基于`base_map`生成。
2. **routing_map**：`routing_map`包含`base_map`中**车道的拓扑结构**
3. **sim_map**：`sim_map`是一个适用于`Dreamview`**视觉可视化**，基于`base_map`的轻量版本。减少了数据密度，以获得更好的运行时性能。
4. **ndt map**：`ndt_map`在使用**NDT定位**时才会被使用的地图，可通过工具生成ndt地图。
5. **local map**：`local map`是进行**定位可视化**以及**MSF定位**时使用的地图，可以通过工具本地生成。
6. **HD map**：`HD map`即常说的**高精度地图**。格式采用（`XML`）文件格式的数据组织方式，是基于国际通用的`OpenDrive`规范，并根据百度自动驾驶业务需求拓展修改而成。百度Apollo中的map模块没有提供高精度地图的制作功能，而是作为一种商业产品进行出售，因此这里并不做过多介绍。
   - 参考阅读：apollo高精地图标准与opendrive标准的差异，Apollo的map模块介绍

0.2 地图格式介绍

一般而言，地图具有`.xml`，`.bin`，`.txt`等格式，加载顺序依次为：`.xml`->`.bin`->`.txt`。

```
x.xml  # An OpenDrive formatted map.
x.bin  # A binary pb map.
x.txt  # A text pb map.
```

对于ndt和msf地图，Apollo采用二进制文件进行存储，其制作步骤见后续章节。

1 测试数据集与地图创建

1.1 本章节所使用的数据集

1. 带有定位数据的数据集：百度网盘，提取码：

   存放目录为：`/apollo/data/bag/0326_localization/0326.record.00000`

2. 不带有定位数据的数据集：百度网盘，提取码：

   存放目录为：`/apollo/data/bag/0326_no_localization/0326_no.record.00000`

1.2 内外参标定

完成该模块之前，需要预先完成Lidar-IMU的标定（详见实车标定章节），并将校正文件存入`calibration/data/dev_kit_pix_hooke`目录下，具体位置为：

- `modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml`

1.3 车道线地图与定位地图创建

1.3.1 虚拟车道地图制作

由于正规车道线地图制作的原理较为复杂，因此我们采用虚拟车道线的方式进行车道线的制作。虚拟车道线的核心思想非常简单，即记录车辆行驶的轨迹，以此为中心向左右各扩展若干距离。制作过程如下：

1. 从CyberRT包中提取位置路径文件：

```
./bazel-bin/modules/tools/map_gen/extract_path \
    ./path.txt \
    data/bag/0326_localization/*
```

2. 生成地图文件(`base_map.txt`)，其中1表示冗余区域大小为1

```
./bazel-bin/modules/tools/map_gen/map_gen_single_lane \
    ./path.txt \
    ./base_map.txt \
    1
```

   - 调节车道线宽度：**修正`map_gen_single_lane.py`脚本中的`LANE_WIDTH`参数可以调整车道线宽度**。

3. 【可选】为该文件增加header(可视化使用)，举例如下：

```
header {
  version: "0326"
  date: "20220326"
  projection {
    proj: "+proj=tmerc +lat_0={39.52} +lon_0={116.28} +k={-48.9} +ellps=WGS84 +no_defs"
  }
}
```

4. 建立地图文件夹（如`map_test`，可以修改为自己地图名称），并生成.bin文件

```
mkdir modules/map/data/map_test
rm -rf path.txt
mv base_map.txt modules/map/data/map_test/base_map.txt

# base_map.bin
./bazel-bin/modules/tools/create_map/convert_map_txt2bin \
    -i /apollo/modules/map/data/map_test/base_map.txt \
    -o /apollo/modules/map/data/map_test/base_map.bin
```

5. 建立`routing_map`

```
bash scripts/generate_routing_topo_graph.sh \
    --map_dir /apollo/modules/map/data/map_test
```

   - 第一次运行可能会提示报错：

     ```
     E0406 15:11:07.321321 10341 hdmap_util.cc:40] [map]No existing file
     found in
     /apollo/modules/map/data/map_test/routing_map.bin|routing_map.txt.
     Fallback to first candidate as default result
     ```

     属于正常现象，继续即可。

6. 建立`sim_map`

```
./bazel-bin/modules/map/tools/sim_map_generator \
    --map_dir=/apollo/modules/map/data/map_test \
    --output_dir=/apollo/modules/map/data/map_test
```

7. 【可选】可视化车道线：

   - 修复软件源：

     ```
     sudo vim /etc/apt/sources.list
     ```

     在文件中修改：（将`https`修改为`http`）

```
deb http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic main restricted universe multiverse
# deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic main restricted universe multiverse
deb http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-updates main restricted universe multiverse
# deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-updates main restricted universe multiverse
deb http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-backports main restricted universe multiverse
# deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-backports main restricted universe multiverse
deb http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-security main restricted universe multiverse
# deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-security main restricted universe multiverse
```

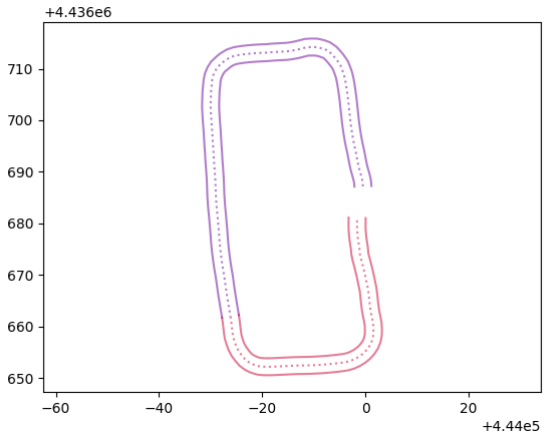
- 更新并安装缺少的依赖库

```
sudo apt update
sudo apt-get install tcl-dev tk-dev python3-tk
```

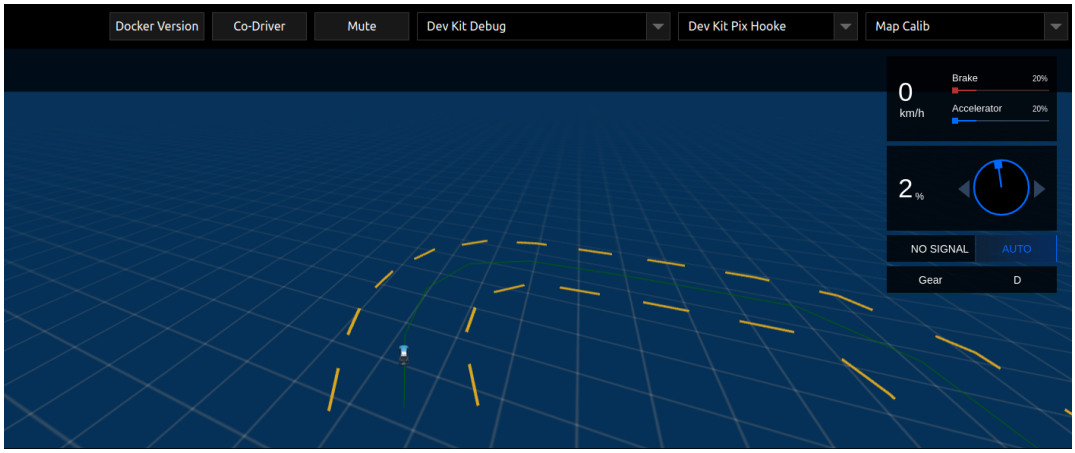
注意：上述修改涉及Apollo系统，因此使用`dev_start.sh`时会重建一个`docker`容器，此时对系统的修改会全部失效，需要重新换源操作；但是`docker start + 容器id/tag`的方式并不会重建容器，而是会继续使用之前容器，因此可以不用重新换源。

- Python可视化

```
./bazel-bin/modules/tools/mapshow/mapshow \
   -m /apollo/modules/map/data/map_test/base_map.txt
```



dreamview中地图显示：



1.3.2 NDT定位地图

1. 进行定位地图前需要准备以下工作：
    - **使用`build_opt`进行重新编译，其速度比使用`build`要快速很多**；
    - 完成标定任务，将**lidar到imu的外参**存放在相应的矫正文件下；
    - 所使用的数据集中**至少**需要保证该数据集有`/apollo/localization/pose`或者`/apollo/sensor/gnss/odometry`两个通道；当两个`channel`中仅有一个存在时，**两者可以相互替换**。
    - 定位通道的时间戳需要和激光点云中测量时间的**时间戳接近**。这意味着当使用激光自身时间戳时候，需要补偿点云的
2. 确定下列信息准备完毕：
    - 待生成地图的名称（以`map_test`为例）
    - 所用数据集所在的文件夹（以`data/bag/0326_localization`为例）
    - 数据集生产地区的`zone_id`（以北京地区的`50`为例）
    - 激光点云名称（以`lidar16`为例）
    - 外参文件存放位置（以`/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml`为例）
3. 拷贝`scripts/msf_simple_map_creator.sh`文件，重命名为`ndt_simple_map_creator.sh`，并对文件做出以下修改：

```
## 将下面这个函数替换掉function create_lossless_map()
function create_ndt_map() {
  /apollo/bazel-bin/modules/localization/ndt/map_creation/ndt_map_creator \
    --pcd_folders $1 \
    --pose_files $2 \
    --resolution_type single \
    --resolution 1 \
    --resolution_z 1 \
    --map_folder $OUT_MAP_FOLDER \
    --zone_id $ZONE_ID
}

## 将create_lossless_map替换为create_ndt_map
# create_lossless_map "${DIR_NAME}/pcd" "${DIR_NAME}/pcd/corrected_poses.txt"
create_ndt_map  "${DIR_NAME}/pcd" "${DIR_NAME}/pcd/corrected_poses.txt"

## 注释掉lossy_map
# create_lossy_map
```

- 注意：resolution表示地图分辨率。对于ndt算法而言，并不需要过于精细的分辨率，一般而言，**选择分辨率为1是一个相对比较好的选择**。

4. 运行代码生成：新的地图将在`modules/map/data/map_test`下存储

```
bash /apollo/scripts/ndt_simple_map_creator.sh \
    data/bag/0326_localization \

/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml \
    50 \
    /apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map \
    lidar16
```

5. 代码分析：核心思路包括以下几个步骤
   - 数据包解压生成pcd文件以及对应的位姿（`cyber_record_parser`）
   - 位姿插值（`poses_interpolator`）
   - 创建`ndt mapping`（`ndt_map_creator`）
6. 调整地图目录：

```
mkdir /apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map/local_map
mv /apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map/map
/apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map/local_map/map
```

1.3.3 MSF简易定位地图

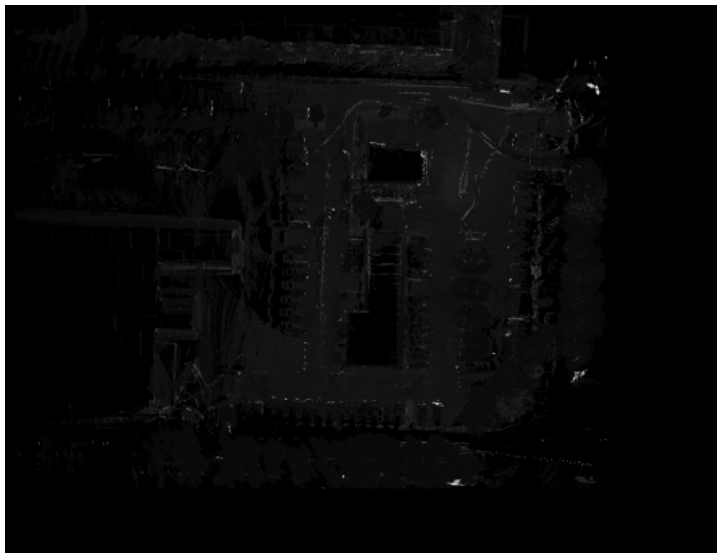
1. 进行定位地图前需要准备以下工作：
   - **使用`build_opt`进行重新编译，其速度比使用`build`要快速很多**；
   - 完成标定任务，将**lidar到imu的外参**存放在相应的矫正文件下；
   - 所使用的数据集中**至少**需要保证该数据集有`/apollo/localization/pose`或者`/apollo/sensor/gnss/odometry`两个通道；当两个`channel`中仅有一个存在时，**两者可以相互替换**。
   - 定位通道的时间戳需要和激光点云中测量时间的**时间戳接近**。这意味着当使用激光自身时间戳时候，需要补偿点云的
2. 确定下列信息准备完毕：
   - 待生成地图的名称（以`map_test`为例）
   - 所用数据集所在的文件夹（以`data/bag/0326_localization`为例）
   - 数据集生产地区的`zone_id`（以北京地区的`50`为例）
   - 激光点云名称（以`lidar16`为例）
   - 外参文件存放位置（以`/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml`为例）
3. 修改`scripts/msf_simple_map_creator.sh`文件如下：

```
## 注释掉删除解析文件和lossless_map部分
# rm -fr $OUT_MAP_FOLDER/lossless_map
# rm -fr $OUT_MAP_FOLDER/parsed_data
```

   - 注意：对于msf算法而言，**选择分辨率默认分辨率，即分辨率为0.125是一个比较好的选择**。
4. 运行代码生成：新的地图将在`modules/map/data/map_test`下存储

```
bash /apollo/scripts/msf_simple_map_creator.sh \
    data/bag/0326_localization \
/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml \
    50 \
    /apollo/modules/map/data/map_test \
    lidar16
```

5. 代码分析：核心思路包括以下几个步骤
    - 数据包解压生成pcd文件以及对应的位姿（`cyber_record_parser`）
    - 位姿插值（`poses_interpolator`）
    - 创建`msf mapping`（`create_lossless_map`）
    - 创建`lossy_map`（`lossless_map_to_lossy_map`）
6. 验证：查看`/modules/map/data/map_test/lossless_map/image`中的图像



1.3.4 地图目录组织形式

创建后的地图目录组织如下：【为了便于观察，仅仅展开部分文件】

```
map_test/
|   |-- lossless_map/
|   |   |-- ...(省略)
|   |-- parsed_data/
|   |   |-- 00000/
|   |   |   |-- pcd/
|   |   |   |   |-- 1.pcd
|   |   |   |   |-- 2.pcd
|   |   |   |   |-- ...(省略)
|   |-- local_map/
|   |   |-- map/
|   |   |-- image/
|   |   |-- image_alt/
|   |   |-- config.yaml
|   |   |-- ndt_map/
|   |   |   |-- image/
|   |   |   |-- image_alt/
|   |   |   |-- parsed_data/
|   |   |   |-- local_map/
|   |   |   |   |-- map/
|   |   |   |   |-- config.yaml
```

```
|   |-- routing_map.bin
|   |-- routing_map.txt
|   |-- sim_map.bin
|   |-- sim_map.txt
|   |-- base_map.bin
|   |-- base_map.txt
```

2 基于RTK定位模块

2.1 算法输入与输出

RTK算法原理较为简单，仅仅是将组合惯导的数据做一些处理后进行封装，其中，输入包含以下几个通道：

- `/apollo/sensor/gnss/corrected_imu`：校正IMU，即原始IMU数据去除了重力和bias；
- `/apollo/sensor/gnss/ins_stat`：组合惯导的定位状态，决定最终定位的状态；
- `/apollo/sensor/gnss/odometry`：组合惯导的位姿和线速度；

输出包含：

- `/apollo/localization/pose`：最终定位的结果。包含utm坐标系下的位置，朝向（四元数形式），线速度，线加速度，角速度，heading角，载体坐标系下的线加速度、角速度、欧拉角。
- `/apollo/localization/msf_status`：最终的定位状态；
- `/tf`：增加了基坐标为`world`，子坐标为`localization`的坐标变换。

2.2 dag文件解析

文件地址为：`modules/localization/dag/dag_streaming_rtk_localization.dag`

```
# Define all coms in DAG streaming.
module_config {
    module_library : "/apollo/bazel-
bin/modules/localization/rtk/librtk_localization_component.so"
    components {
      class_name : "RTKLocalizationComponent"
      config {
        name : "rtk_localization"
        config_file_path :
"/apollo/modules/localization/conf/rtk_localization.pb.txt"
        readers: [
          {
            channel: "/apollo/sensor/gnss/odometry"
            qos_profile: {
              depth : 10
            }
            pending_queue_size: 50
          }
        ]
      }
    }
}
```

- `module_library`：启动文件对应的动态链接库
- `components.class_name`：实例所属的类名（class name）
- `components.config.name`：配置的名称定义

- `components.config.config_file_path`：对应的参数配置文件，以`gflags`形式进行处理
- `components.config.readers.channel`：组件读取的channel名称。`RTKLocalizationComponent`类会继承`cyber::Component<localization::Gps>`（即通道所读取的channel对应的类别）。每次通道中有数据传入时，会调用一次`Proc`函数。
- `components.config.readers.qos_profile`：处理后的消息被保留的数量
- `components.config.readers.pending_queue_size`：未及时处理消息的缓存队列长度

2.3 启动文件

```
cyber_launch start modules/localization/launch/rtk_localization.launch
```

- **注意**：受限于法律法规等相关问题，部分数据包**不提供`/apollo/sensor/gnss/odometry`、`/apollo/sensor/gnss/ins_stat`这两个`channel`**，而直接提供`/apollo/localization/pose`数据。此时需要借助`/apollo/modules/tools/sensor_calibration/`下的两个脚本工具（本质上时py脚本，但是在Apollo 6.0后也被统一编译成了可执行文件）。

  开启两个不同终端进入docker后在/apollo根目录下分别执行：

  ```
  ./bazel-bin/module/tools/sensor_calibration/ins_stat_publisher
  ./bazel-bin/module/tools/sensor_calibration/odom_publisher
  ```

  这两个脚本便可以产生`/apollo/sensor/gnss/ins_stat`、`/apollo/sensor/gnss/odometry`这两个`channel`，之后用`cyber_recorder`工具重新生成一个数据包。如果上述任一脚本找不到，请执行`./apollo.sh build_opt tools`来生成它们。

3 基于NDT定位

3.1 算法输入与输出

NDT算法依赖NDT地图，将组合惯导的数据和激光雷达数据进行平滑滤波后输出，其中，输入包含以下通道：

- `/apollo/sensor/lidar16/compensator/PointCloud2`：去畸变后的补偿点云；
- `/apollo/sensor/gnss/ins_stat`：组合惯导的定位状态；
- `/apollo/sensor/gnss/odometry`：组合惯导的位姿和线速度；

输出包含：

- `/apollo/localization/pose`：融合定位的结果。包含utm坐标系下的位置，朝向（四元数形式），线速度，heading角；
- `/apollo/localization/ndt_lidar`：激光里程计定位的结果；
- `/apollo/localization/msf_status`：最终的定位状态；
- `/tf`：增加了基坐标为`world`，子坐标为`localization`的坐标变换。

注意，NDT算法由于没有加入IMU，因此没有加速度信息，无法应用于后续控制和规划算法。

3.2 代码优化

修改源码中因为Eigen内存没对齐导致的相关错误：（`ndt_localization.h`第136行）

```
# std::list<TimeStampPose> odometry_buffer_;
std::list<TimeStampPose,Eigen::aligned_allocator<TimeStampPose>>
odometry_buffer_;
```

并重新编译文件：

```
bash apollo.sh build_opt localization # bash apollo.sh build localization
```

3.3 修改定位的配置文件

修改配置文件：`modules/localization/conf/localization.conf`

```
# 5行
--map_dir=/apollo/modules/map/data/map_test # 指定地图位置
# 115行
--local_utm_zone_id=50 # zone id，北京地区为50
# 130行
--lidar_topic=/apollo/sensor/lidar16/compensator/PointCloud2 # 点云话题的名称
# 135行
--
lidar_extrinsics_file=/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lida
r_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml # 外参文件，确保已经完成外参校正
```

3.4 启动定位模块

- 启动数据集，确保`/apollo/localization/pose`通道没有输出：

  ```
  cyber_recorder play -f data/bag/0326_no_localization/0326_no.record.00000
  ```

- 启动程序，等待一段时间。当出现`/apollo/localization/ndt_lidar`时认为成功：

  ```
  cyber_launch start modules/localization/launch/ndt_localization.launch
  ```

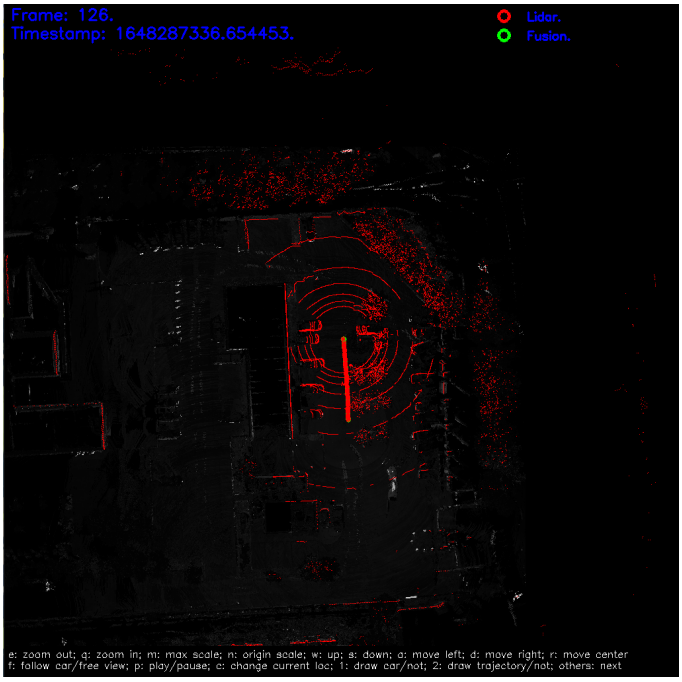
- 尽管可视化程序在名称上归属于msf，但是它在所有定位方式中均可以使用。使用时需要确认：

  1. 检查`dag_streaming_msf_visualizer.dag`的`channel`，**保证lidar名称正确**；
  2. 定位方式的地图依赖于msf地图，**需要预先建立msf的`local map`地图**；
  3. 定位策略依赖于`localization.conf`文件的配置，特别是地图所在位置，需要仔细审查。

  启动可视化程序：

  ```
  cyber_launch start modules/localization/launch/msf_visualizer.launch
  ```

  - 可视化结果展示。此时，按c键可以在Lidar和Fusion定位中进行切换



- 当地图不可显示时，如上图所示，删除缓存文件：`rm -rf cyber/data/map_visual`后重新启动