

# 定位模块操作实践

---

## 定位模块操作实践

- 0 Apollo中的地图总结
  - 0.1 地图类型介绍
  - 0.2 地图格式介绍
- 1 测试数据集与地图创建
  - 1.1 现场录制数据集
  - 1.2 内外参标定
  - 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
    - 1.3.2 NDT定位地图
    - 1.3.3 MSF简易定位地图
    - 1.3.4 地图目录组织形式
- 2 基于RTK定位模块
  - 2.1 算法输入与输出
  - 2.2 dag文件解析
  - 2.3 启动文件
- 3 基于NDT定位
  - 3.1 算法输入与输出
  - 3.2 代码优化
  - 3.3 修改定位的配置文件
  - 3.4 启动定位模块

## 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 现场录制数据集

根据 [基础知识介绍和驱动配置](#) 中所述，开启 Transform，Lidar，GPS，Localization 模块，并使用 cyber\_monitor 监控各个信息通道，确保所有模块开启正常。

在遥控器控制模式下，开启 cyber\_recorder 记录数据，并驱动车辆绕较大的0字或者8字轨迹。开启记录的命令如下：

```
cyber_recorder record -a -i 600 -o loc.record
```

结束记录后，会在apollo仓库根目录下生成一个 loc.record.000000 的文件。将该文件移动至指定目录。该目录不存在则创建，如果存在且有数据则需要提前清除：

```
cd /apollo
mkdir -p data/bag/localization -v
rm -rf data/bag/localization/*
mv loc.record.000000 data/bag/localization/
```

- 如果有 loc.record.000001 等其他后缀的文件，为了保证所有数据处于同一个数据包中，其他数据包直接删除即可。

### 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/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。本次实践中，推荐设置宽度为5。

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
```

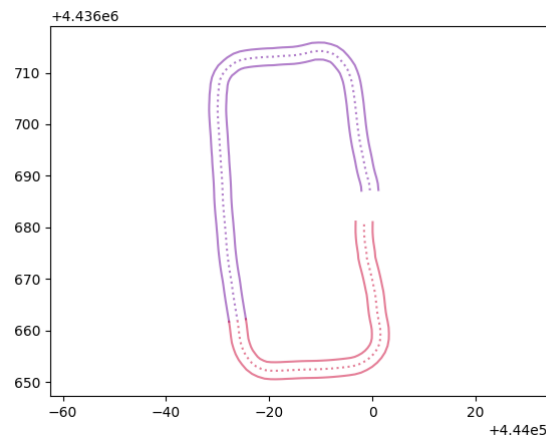
- 更新并安装缺少的依赖库

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

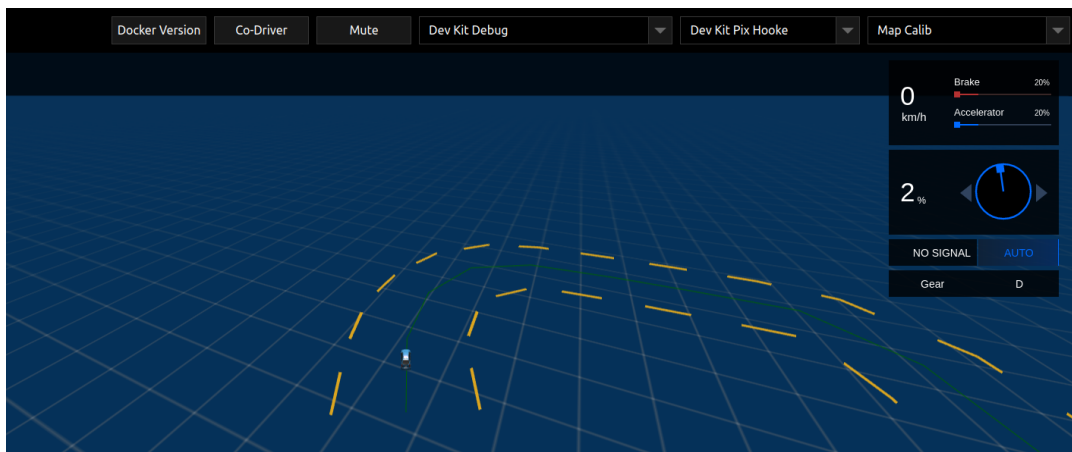
**注意：**上述修改涉及Apollo系统，因此使用 `dev_start.sh` 时会重建一个 `docker` 容器，此时对系统的修改会全部失效，需要重新换源操作；但是 `docker start + 容器id/tag` 的方式并不会重建容器，而是会继续使用之前容器，因此可以不用重新换源。

- 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（需要重启dreamview）：



## 8. 过程截图显示（仅供参考）：

```
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ ./bazel-bin/modules/tools/map_gen/extract_path \
> ./path.txt \
> data/bag/localization/*图创建
WARNING: Logging before InitGoogleLogging() is written to STDERR
I0503 10:19:51.516513 13644 py_record.cc:574] [I]init_cyber_record_wrapper
File written to: ./path.txt
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ ./bazel-bin/modules/tools/map_gen/map_gen_single_lane \
> ./path.txt \
> ./base_map.txt \
> 1
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ mkdir modules/map/data/map_test
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ rm -rf path.txt
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ mv base_map.txt modules/map/data/map_test/base_map.txt
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ ./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
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ bash scripts/generate_routing_topo_graph.sh \
> --map_dir /apollo/modules/map/data/map_test
I0503 10:20:42.193321 13628 hdmap_util.cc:40] [map]No existing file found in /apollo/modules/map/data/map_test/routing_map,
date as default result.
[chen@in-dev-docker:/apollo]$ ./bazel-bin/modules/map/tools/sim_map_generator \
> --map_dir=/apollo/modules/map/data/map_test \
> --output_dir=/apollo/modules/map/data/map_test
I0503 10:20:59.690450 13641 sim_map_generator.cc:88] [I]Downsampling lane 1
I0503 10:20:59.690671 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 100 points to 44 points. pix_hooke/lid
I0503 10:20:59.690714 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 100 points to 50 points.
I0503 10:20:59.690742 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 100 points to 60 points.
I0503 10:20:59.690747 13641 sim_map_generator.cc:88] [I]Downsampling lane 2
I0503 10:20:59.690766 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 61 points to 27 points.名为ndt_simple.
I0503 10:20:59.690789 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 61 points to 31 points.
I0503 10:20:59.690815 13641 sim_map_generator.cc:76] [I]Lane curve downsampled from 61 points to 42 points.
I0503 10:20:59.695416 13641 sim_map_generator.cc:124] [I]sim map generated at:/apollo/modules/map/data/map_test
[chen@in-dev-docker:/apollo]$
```

## 1.3.2 NDT定位地图

### 1. 进行定位地图前需要准备以下工作：

- Apollo系统已经使用 `build_opt` 进行编译：build\_opt编译的程序运行速度比使用build进行编译的程序要快速很多；
- 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。

### 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/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`

```
cd /apollo
cp scripts/msf_simple_map_creator.sh scripts/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/localization \

/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novate
el_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 -p /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
mv /apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map/config.xml
/apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map/local_map/config.xml
```

### 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：

- **Apollo系统已经使用 `build_opt` 进行编译**：build\_opt编译的程序运行速度比使用build进行编译的程序要快速很多；
- 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**。

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/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**。

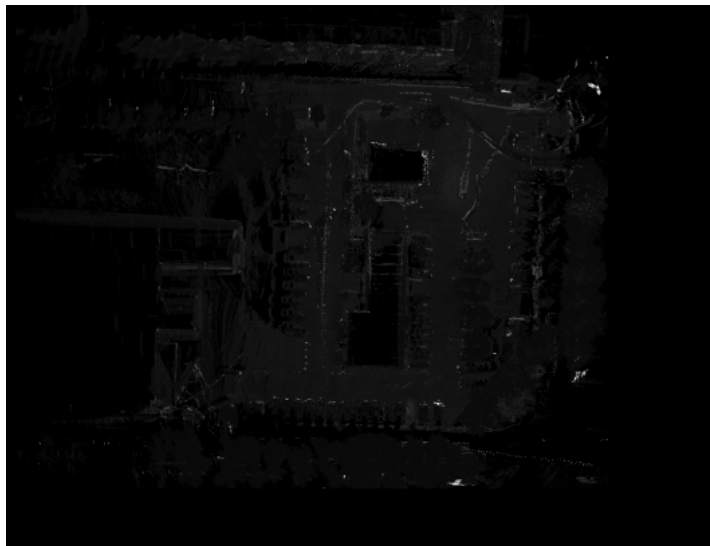
4. 运行代码生成：新的地图将在 `modules/map/data/map_test` 下存储

```
bash /apollo/scripts/msf_simple_map_creator.sh \
    data/bag/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/
| | |-- 000000/
| | | |-- 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
```



```

chen@chen-NH5x-NH7xHP:~/apollo/modules/map/data/map_test$ tree -L 3
.
├── base_map.bin
├── base_map.txt
├── local_map
│   ├── config.xml
│   ├── image
│   │   └── 000
│   ├── image_alt
│   │   └── 000
│   └── map
│       └── 000
├── lossless_map
│   ├── config.txt
│   ├── config.xml
│   ├── image
│   │   └── 000
│   ├── image_alt
│   │   └── 000
│   └── map
│       └── 000
├── ndt_map
│   ├── image
│   │   └── 000
│   ├── image_alt
│   │   └── 000
│   ├── local_map
│   │   ├── config.xml
│   │   └── map
│   │       └── 000
│   └── parsed_data
│       └── 00000
├── parsed_data
│   └── 00000
│       └── pcd
├── routing_map.bin
├── routing_map.txt
├── sim_map.bin
└── sim_map.txt

26 directories, 10 files
chen@chen-NH5x-NH7xHP:~/apollo/modules/map/data/map_test$

```

## 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/modules/tools/sensor_calibration/ins_stat_publisher
./bazel-bin/modules/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，

位置：文件 `/apollo/modules/localization/ndt/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
```

## 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/lidar_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

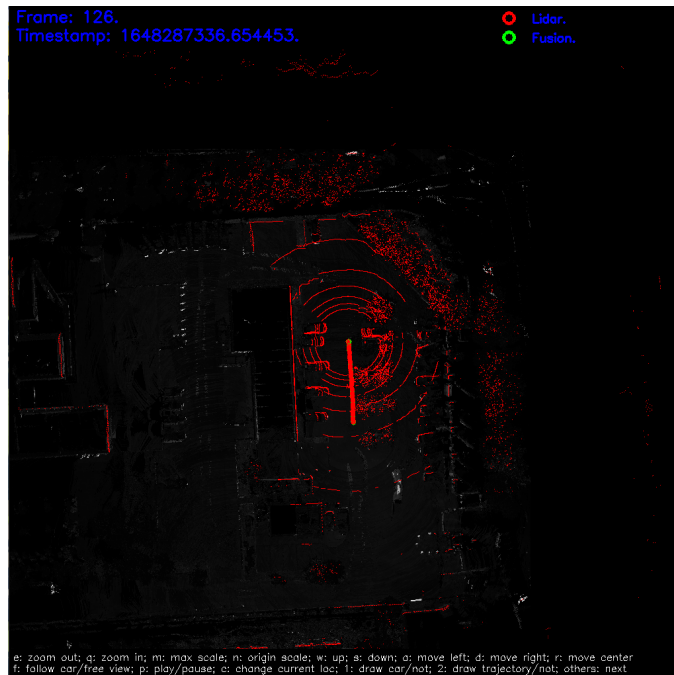
- 启动程序，确保没有任何报错产生：

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

启动可视化程序：

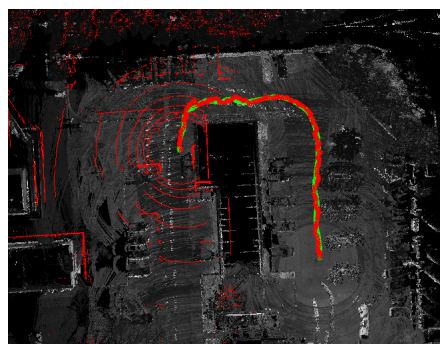
```
cyber_launch start modules/localization/launch/msf_visualizer.launch
```

- 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



- 启动 `cyber_monitor`，当出现 `/apollo/localization/ndt_lidar` 时认为ndt启动成功：

观察可视化界面，分析雷达里程计轨迹和融合轨迹是否一致，并观察点云与地图匹配程度，当点云和实际匹配较差时，认为定位失败：



- 注意：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：
  - 检查 `dag_streaming_msf_visualizer.dag` 的 `channel`，保证lidar名称正确；
  - 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；
  - 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。
- 注意：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

