

# 第三次课

## 本节任务

1. 采集真实场景的数据，离线进行数据包解析，构建NDT地图、MSF地图；
2. 基于所建地图，完成RTK，NDT算法验证。

## 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。

### 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

1. 启动并进入apollo docker，启动dreamview，开启cyber\_monitor。在dreamview中依次开启**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。
2. 创建**data/bag/localization**文件夹，用于存放数据包，操作如下：新建终端，在docker外输入以下指令，该文件夹不存在则创建，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/*
```

- 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 data/bag/localization/loc.record
```

结束记录后，会在`data/bag/localization`目录下生成一个`loc.record.00000`的文件或者多个文件例如`loc.record.00000 loc.record.00001`。

## 1.2 车道线地图与定位地图创建

### 1.2.1 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是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：

- 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/*
```

- 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。

- 【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"  
  }  
}
```

- 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 hdmutil.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
```

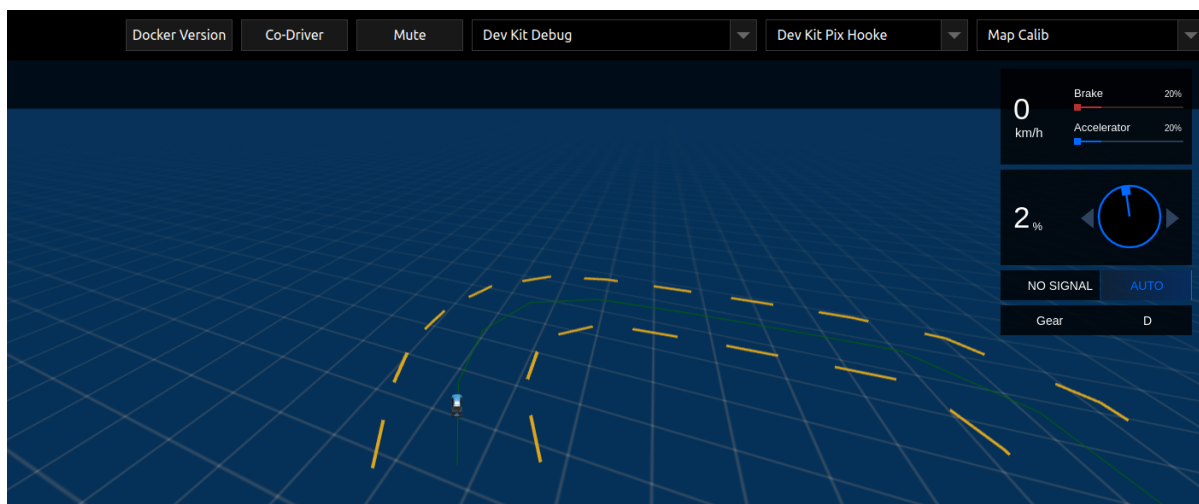
属于正常现象，继续即可。

## 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. 可视化车道线：

- dreamview中地图显示（需要重启dreamview）：



## 1.2.2 NDT定位地图

### 1. 准备工作

- 已完成Lidar-INS标定任务；
- 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**。
- 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（以湖州地区的51为例）
  - 激光点云名称（以lidar32为例）
  - 外参文件存放位置  
（以/apollo/modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/lidar\_params/lidar32\_novatel\_extrinsics.yaml为例）

### 2. 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：

```
## 用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
}

## 把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**。

### 3. 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/lidar32_novatel_extrinsics.yaml \  
51 \  
/apollo/modules/map/data/map_test/ndt_map \  
lidar32
```

### 4. 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）

### 5. 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
```

## 1.2.3 MSF简易定位地图

### 1. 准备工作

- 已完成Lidar-INS标定任务；
- 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。
- 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（以湖州地区的51为例）
  - 激光点云名称（以lidar32为例）
  - 外参文件存放位置  
（以/apollo/modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/lidar\_params/lidar32\_novatel\_extrinsics.yaml为例）

### 2. 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**。在 `msf_simple_map_creator.sh` 里面的函数 `function create_lossless_map()` 添加 `--resolution 0.125 \`。

3. 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/lidar32_novatel_extrinsics.yaml \
  51 \
  /apollo/modules/map/data/map_test \
  lidar32
```

4. 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`)

5. 验证：查看 `/modules/map/data/map_test/lossless_map/image` 中的图像



## 2 基于RTK定位模块

### 2.0 通道与启动文件简介\*

#### 2.0.1 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。

## 2.0.2 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

## 2.1 启动RTK定位

```
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（本质上是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

### 3.0 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/lidar32/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。**

### 3.1 代码优化

把`/apollo/apollo_supplement/补充代码/ndt/`文件夹下的`ndt_localization.cc`和`ndt_localization.h`拷贝到`/apollo/modules/localization/ndt/`，覆盖原来的文件

并重新编译localization模块

```
bash apollo.sh build_opt localization
```



### 3.2 修改配置文件

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=51 # zone id, 湖州地区为51
# 130行
--lidar_topic=/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2 # 点云话题的名称
# 135行
--
lidar_extrinsics_file=/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar32
_novatel_extrinsics.yaml # 外参文件, 确保已经完成外参校正
```

- 补充说明: zone id的计算方法 可根据公式计算,  $\text{带数} = (\text{经度整数位} / 6) \text{的整数部分} + 31$  如: 江西省南昌新建县某调查单元经度范围 $115^{\circ}35'20'' - 115^{\circ}36'00''$ , 带数为 $115/6 + 31 = 50$ , 选50N, 即WGS84 UTM ZONE 50N。

### 3.3 启动定位模块

启动程序, 确保没有任何报错产生:

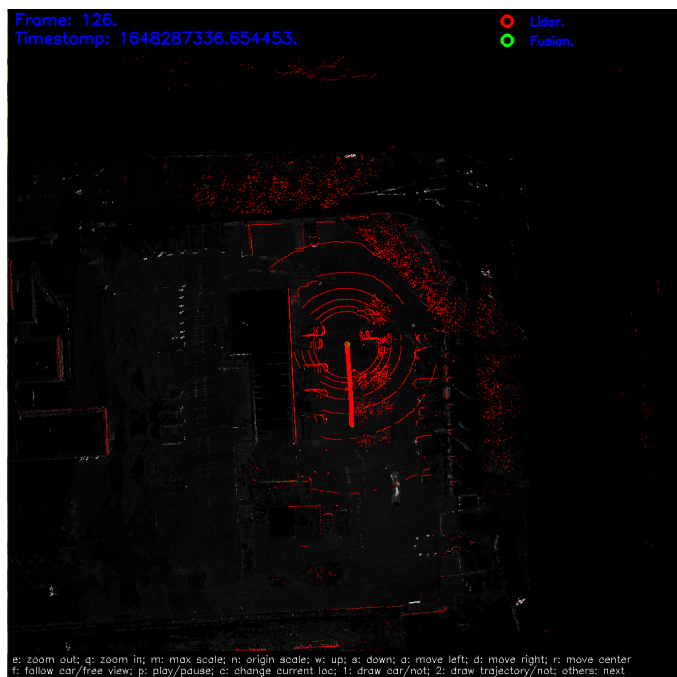
```
cyber_launch start modules/localization/launch/ndt_localization.launch
```

### 3.4 可视化结果展示

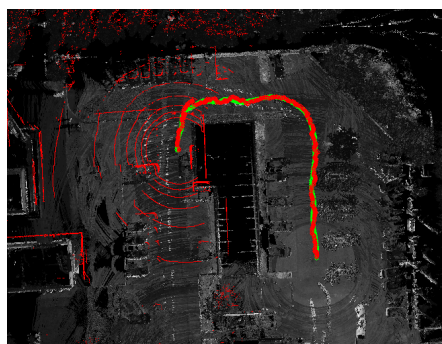
启动可视化程序:

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

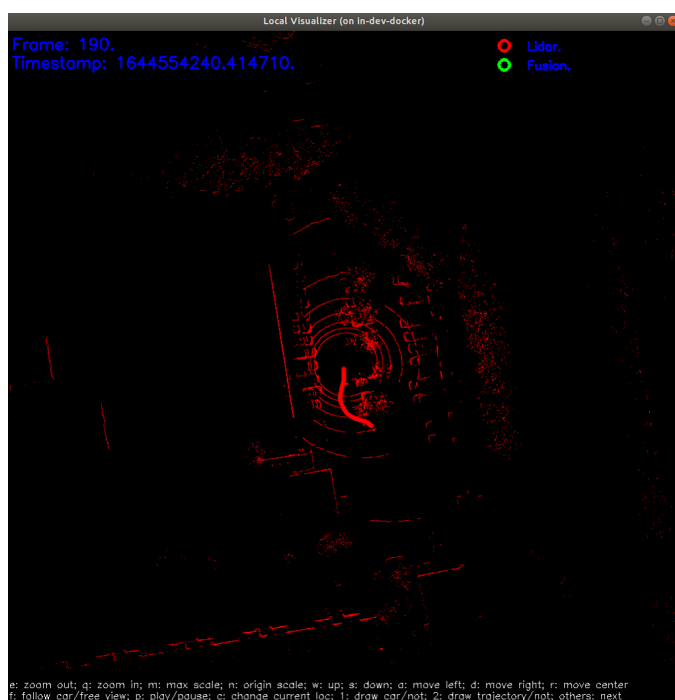
此时, 按c键可以在Lidar和Fusion定位中进行切换



- 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：



- 如果出现下图所示的地图不可显示的情况，删除缓存文件：`rm -rf cyber/data/map_visual`后重新启动



- 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：
  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。