

定位模块操作实践

[toc]

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.00000 data/bag/localization/
```

- 如果有loc.record.00001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 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
```

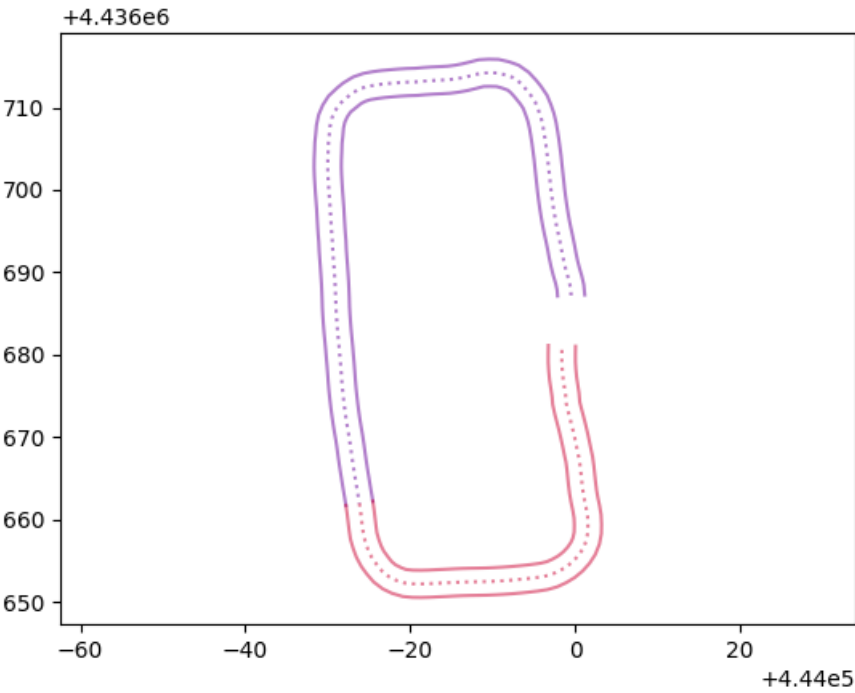
- 更新并安装缺少的依赖库

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

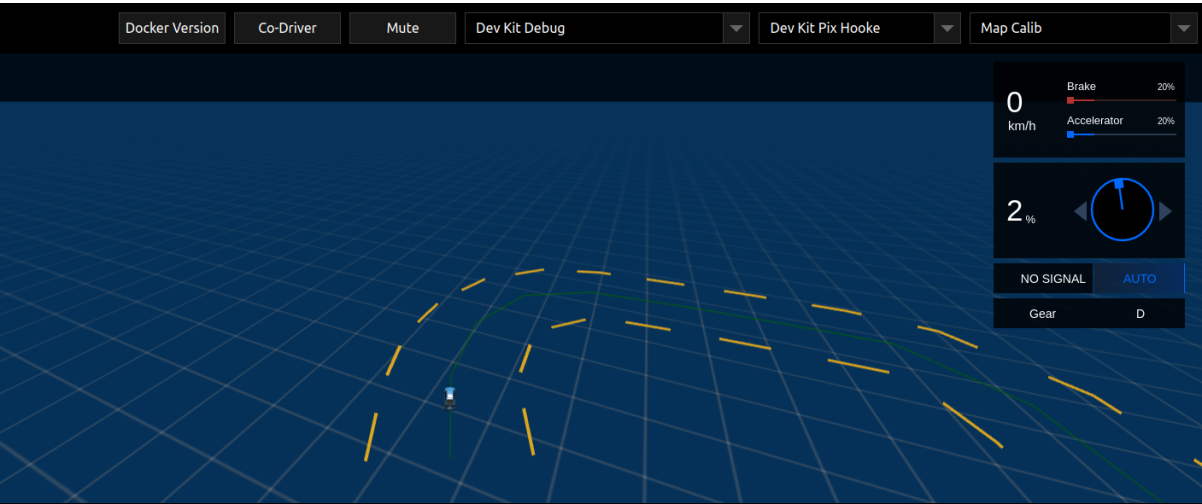
注意：上述修改涉及Apollo系统，因此使用`dev_start.sh`时会重建一个`docker`容器，此时对系统的修改会全部失效，需要重新换源操作；但是`docker start + 容器id/tag`的方式并不会重建容器，而是会继续使用之前容器，因此可以不用重新换源。

- 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@n-dev-docker:/apollo]$ ./bazel-bin/modules/tools/map_gen/extract_path \
> ./path.txt \
> data/bag/localization/*
WARNING: Logging before InitGoogleLogging() is written to STDERR
I0503 10:19:51.516513 13464 py_record.cc:574] [init_cyber_record_wrapper
File written to: ./path.txt
[chen@n-dev-docker:/apollo]$ ./bazel-bin/modules/tools/map_gen/map_gen_single_lane \
> ./path.txt \
> ./base_map.txt \
> 1
[chen@n-dev-docker:/apollo]$ mkdir modules/map/data/map_test
[chen@n-dev-docker:/apollo]$ rm -rf path.txt
[chen@n-dev-docker:/apollo]$ mv base_map.txt modules/map/data/map_test/base_map.txt
[chen@n-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@n-dev-docker:/apollo]$ bash scripts/generate_routing_topo_graph.sh
> --map_dir /apollo/modules/map/data/map_test
E0503 10:20:42.193321 13628 hdmutil.cc:40] [map]No existing file found in /apollo/modules/map/data/map_test/routing_map.
date as default result.
[chen@n-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] [Downsampling lane 1
I0503 10:20:59.690671 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 100 points to 44 points.
I0503 10:20:59.690714 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 100 points to 50 points.
I0503 10:20:59.690742 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 100 points to 60 points.
I0503 10:20:59.690747 13641 sim_map_generator.cc:88] [Downsampling lane 2
I0503 10:20:59.690766 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 61 points to 27 points.
I0503 10:20:59.690789 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 61 points to 31 points.
I0503 10:20:59.690815 13641 sim_map_generator.cc:76] [Lane curve downsampled from 61 points to 42 points.
I0503 10:20:59.695416 13641 sim_map_generator.cc:124] [sim_map generated at:/apollo/modules/map/data/map_test
[chen@n-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：

```

## lin25 : 修改OUT_MAP_FOLDER
OUT_MAP_FOLDER="$4/local_map/ndt_map"
## 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_novatel_extrinsics.yaml \
  51 \
  /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ndt mapping (ndt_map_creator)

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：

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

## 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 \
  51 \
  /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



- Tips: 为了方便使用, 我们提供了一键建图脚本, 方便测试与对比。有兴趣的同学可以尝试自己构建一个这样的脚本。

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

1. 启动程序:

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

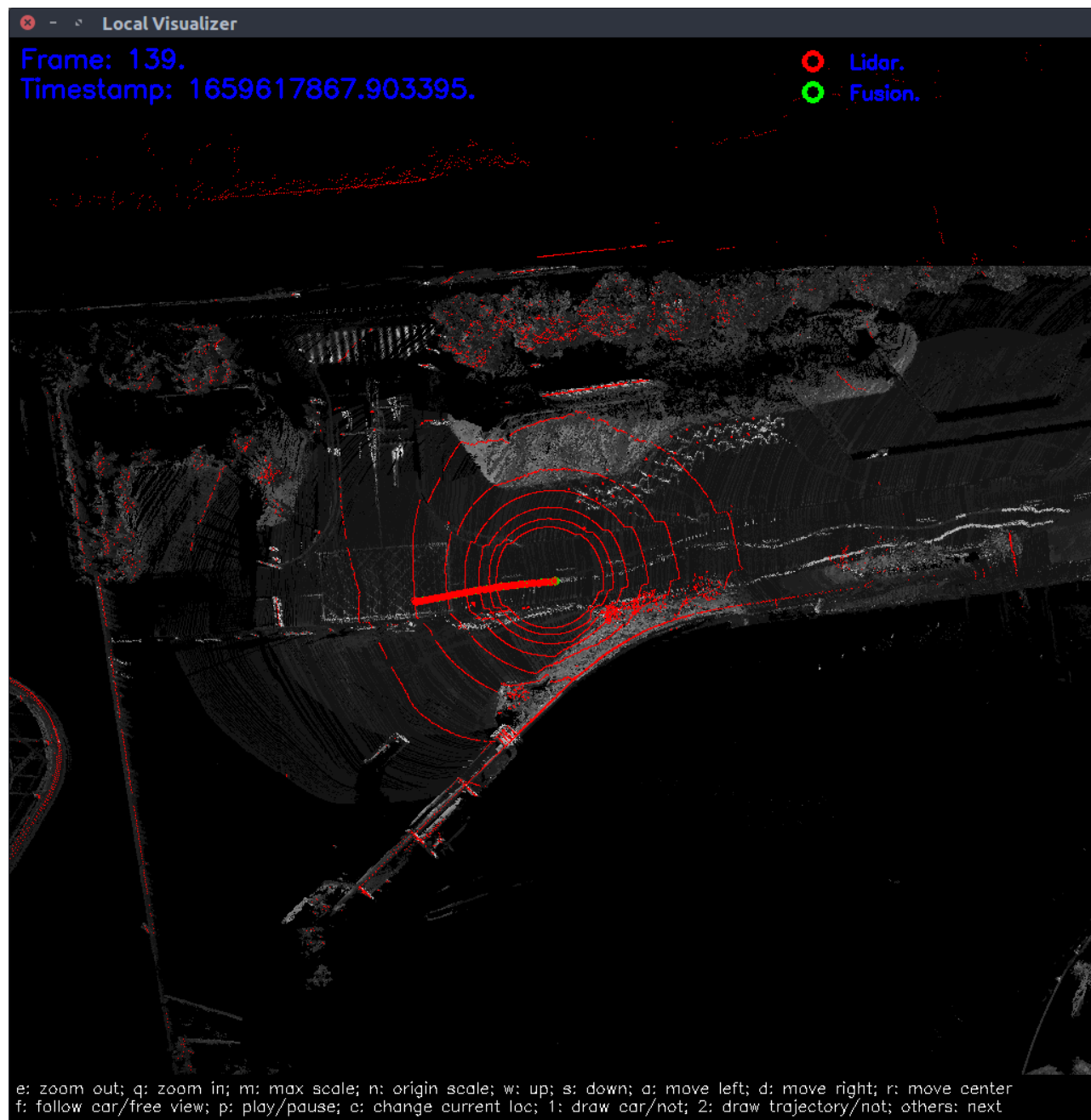
2. 检查dag_streaming_msf_visualizer.dag的channel，保证lidar名称正确：

```
# Define all coms in DAG streaming.
module_config {
  module_library : "/apollo/bazel-
bin/modules/localization/msf/local_tool/local_visualization/online_visualiz
er_compenont.so"
  components {
    class_name : "OnlineVisualizerComponent"
    config {
      name : "msf_visualizer"
      flag_file_path : "/apollo/modules/localization/conf/localization.conf"
      readers: [
        {
          channel: "/apollo/sensor/lidar16/compensator/PointCloud2"
        }
      ]
    }
  }
}
```

3. 启动可视化程序：

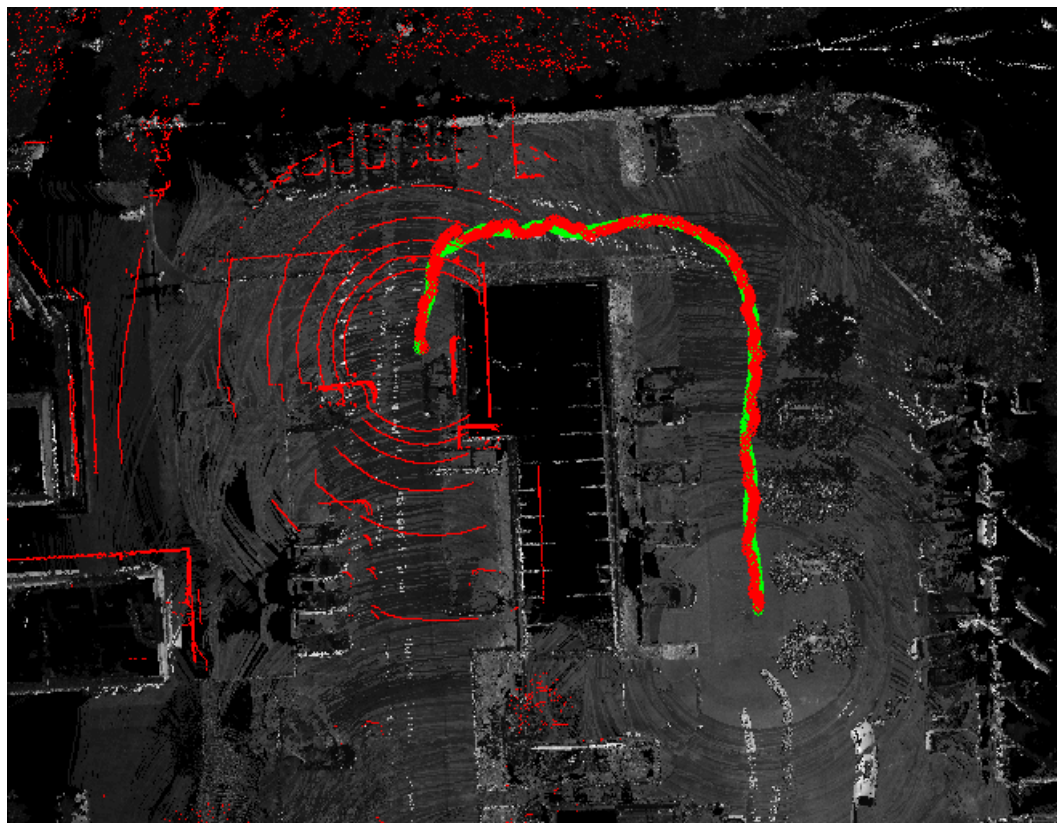
```
cyber_launch start modules/localization/launch/msf_visualizer.launch
```

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



4. 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：



5. 定量评价定位效果：

- 与之前一样，这里的Apollo代码没有针对Eigen进行内存对齐，导致我们运行出错，因此需要首先修正代码。在 `modules/localization/msf/local_tool/data_extraction/compare_poses.cc`中：

```
// 第58行： std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d> *out_poses,
std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d, std::less<unsigned int>,
Eigen::aligned_allocator<std::pair<unsigned int, Eigen::Affine3d>>> *out_poses,

// 第171行： std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d> out_poses_a;
std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d, std::less<unsigned int>,
Eigen::aligned_allocator<std::pair<unsigned int, Eigen::Affine3d>>> out_poses_a;

// 第173行： std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d> out_poses_b;
std::map<unsigned int, Eigen::Affine3d, std::less<unsigned int>,
Eigen::aligned_allocator<std::pair<unsigned int, Eigen::Affine3d>>> out_poses_b;
```

- 修改脚本文件 `scripts/msf_local_evaluation.sh`

```
# 第22行： LIDAR_LOC_TOPIC="/apollo/localization/msf_lidar"
LIDAR_LOC_TOPIC="/apollo/localization/ndt_lidar"

# 第25行： CLOUD_TOPIC="/apollo/sensor/velodyne64/compensator/PointCloud2"
CLOUD_TOPIC="/apollo/sensor/lidar16/compensator/PointCloud2"

# 第47-25行： 注释掉

#$APOLLO_BIN_PREFIX/modules/localization/msf/local_tool/data_extraction/comp
```



```
are_poses \
# --in_folder $IN_FOLDER \
# --loc_file_a $GNSS_LOC_FILE \
# --loc_file_b $ODOMETRY_LOC_FILE \
# --imu_to_ant_offset_file "$ANT_IMU_FILE" \
# --compare_file "compare_gnss_odometry.txt"
```

- 编译 **Localization** 模块：

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

- 录制使用 NDT 算法进行定位的 record 包（可放置于 **data/bag/ndt** 文件夹下），并运行脚本文件：

```
bash scripts/msf_local_evaluation.sh data/bag/ndt
```

结果如下：

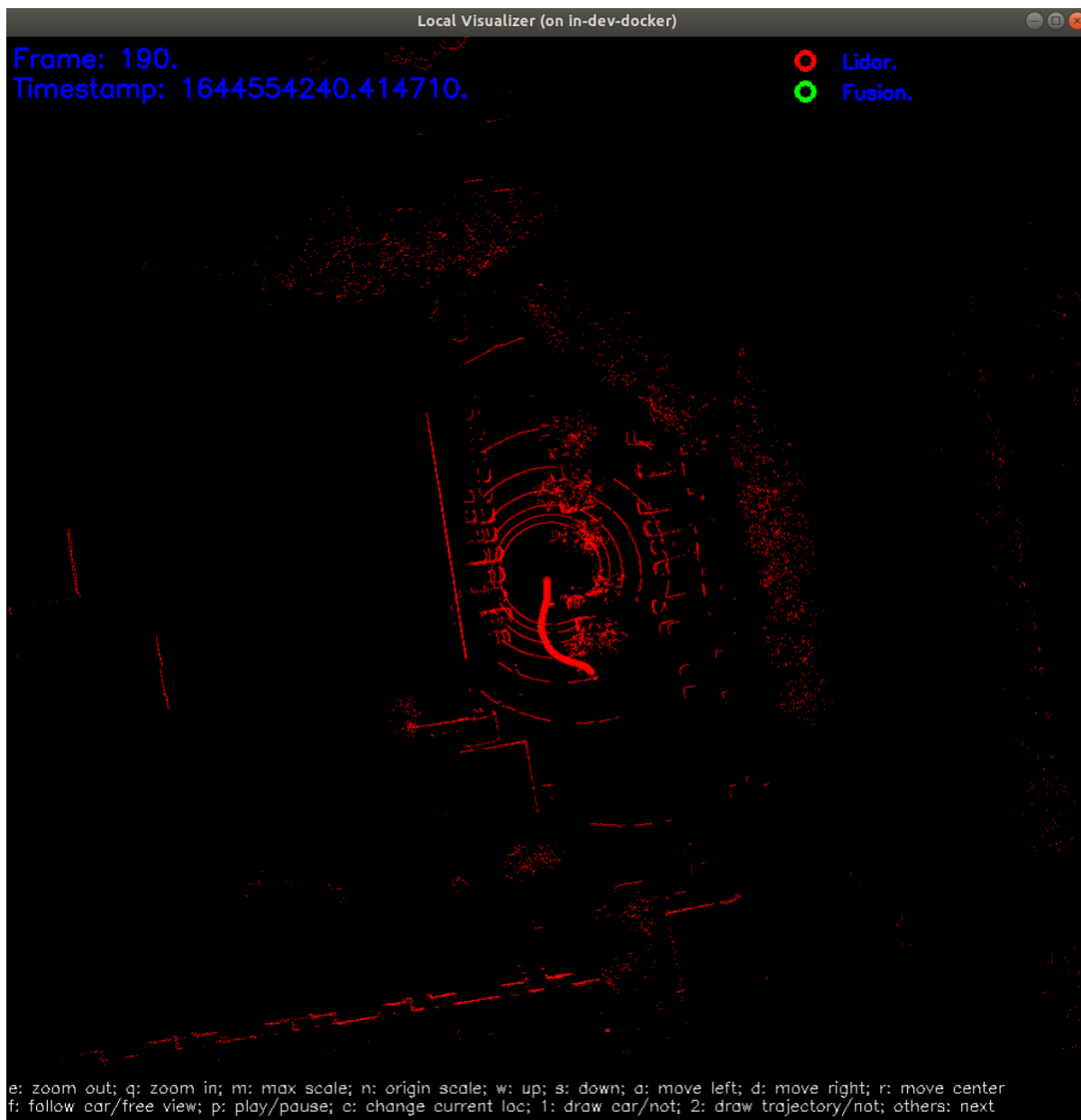
```
Fusion localization result:
9765 frames
criteria : mean      std      max      < 30cm  < 20cm  < 10cm  con_frames(>30cm)
error      : 0.032434  0.021282  0.117411  1.000000  1.000000  0.981567  000000
error lon: 0.020713  0.015008  0.070142  1.000000  1.000000  1.000000  000000
error lat: 0.020675  0.020571  0.104969  1.000000  1.000000  0.992729  000000
error alt: 0.016919  0.017489  0.082650  1.000000  1.000000  1.000000  000000
criteria : mean      std      max      < 1.0d  < 0.6d  < 0.3d  con_frames(>1.0d)
error rol: 0.000033  0.000027  0.000142  1.000000  1.000000  1.000000  000000
error pit: 0.000035  0.000028  0.000148  1.000000  1.000000  1.000000  000000
error yaw: 0.022564  0.013742  0.073510  1.000000  1.000000  1.000000  000000

Lidar localization result:
976 frames
criteria : mean      std      max      < 30cm  < 20cm  < 10cm  con_frames(>30cm)
error      : 0.037171  0.025449  0.201953  1.000000  0.998975  0.971311  000000
error lon: 0.023682  0.018310  0.136131  1.000000  1.000000  0.995902  000000
error lat: 0.023309  0.024289  0.201769  1.000000  0.998975  0.977459  000000
error alt: 0.018768  0.020661  0.158064  1.000000  1.000000  0.991803  000000
criteria : mean      std      max      < 1.0d  < 0.6d  < 0.3d  con_frames(>1.0d)
error rol: 0.032969  0.054758  1.043162  0.998975  0.997951  0.992828  000001
error pit: 0.038421  0.077384  2.134161  0.998975  0.998975  0.995902  000000
error yaw: 0.029062  0.026158  0.302041  1.000000  1.000000  0.998975  000000
```

定位结果分为横向精度与纵向精度，可以用 10 cm 位置精度来衡量。同时，在自动驾驶中一般认为 30 cm 为最大允许误差，因此小于 30 cm 精度的占比用于衡量定位算法的鲁棒性。

6. 注意事项：

- 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：
 - 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：当地图不可显示并且monitor显示定位正常时，删除缓存文件：**rm -rf cyber/data/map_visual**后重新启动。下图为不正常显示的一个例子



◦ Tips:

1. 由于 NDT 定位没有用到点云强度信息，同时也是为了便于观察，可以在建图时候提高点云的强度。具体为修改

[modules/localization/msf/local_tool/data_extraction/pcd_exporter.cc](#) 第81行左右：

```
cloud.points[i].intensity = static_cast<unsigned char>(msg.point(i).intensity())  
*10;
```

2. 在进行 NDT 定位时，有时会出现gnss时间戳落后与点云时间戳，造成无法定位的情形。此时可以采用外插法或者等待若干时间，可修改

[modules/localization/ndt/ndt_localization.cc](#) 实现。具体内容在这里不再展开，感兴趣的可以自行尝试修改代码。

3. 在utm区域边界建图（如湖州地区位于 zone id 50 与 zone id 51 交界处）时，有可能出现拉取地图过小，导致建图时出现非法节点。报错为：


```
MapNodeIndex::get_map_node_index illegal n: xxx
```

应修改文件

`modules/localization/msf/local_pyramid_map/base_map/base_map_config.cc` 中第 35 行左右：

```
// map_range_ = Rect2D<double>(0, 0, 1000448.0, 10000384.0); // in meters  
map_range_ = Rect2D<double>(0, 0, 9000448.0, 90000384.0); // in meters
```