实车标定实践

0 标定任务说明

在实际环境中，由于安装误差，传感器各自的坐标系不同等因素，需要通过标定获取各个传感器的连接关系，构建出以载体自身为基坐标系的TF树。考虑到环境限制和课程难度，本次实践包含以下内容：

1. 相机内参标定：使用ros程序采集数据，并放入calibration_kit工具箱自动标定
2. Lidar-INS外参标定：使用apollo采集和解析数据，手动进行对齐标定；
3. Lidar-Camera外参标定：使用apollo采集和解析数据，放入calibration_kit工具箱，手动进行标定；
4. 油门刹车标定：使用Apollo提供的数据采集和分析工具完成标定；
5. 【可选】INS-载体坐标系标定；

经过内参，外参标定，可以将所有传感器输出统一到基础坐标中进行表达：

注：理论上，定位模块需要将所有运动转换到载体坐标系下进行输出，但是Apollo定位模块中并没有直接将载体坐标系作为基坐标系，而是将IMU（INS）作为了基坐标系。为了方便期间，我们将在后续工作中遵从这一做法。

1 标定工具箱：calibration_kit

深蓝学院公布的开源标定工具calibration_kit，其所需要的配置环境可能与自身电脑并不十分匹配，导致需要额外的环境配置问题，这里通过Docker将标定工具所需的环境进行打包，在Docker建立的容器中即可运行标定工具。

1.1 安装Docker

请参考Docker官方文档完成`Docker`环境的安装

安装完成后, 请务必进行如下操作, 以保证可以后续文档正常:

将当前用户加入Docker Group

为了能在非`sudo`模式下使用`Docker`, 需要将当前用户加入`Docker Group`.

执行命令:

```
sudo usermod -aG docker $USER
```

1.2 安装Docker-Compose

`Docker-Compose`是基于Docker解决方案的Orchestrator.

请参考Docker Compose官方文档完成`Docker-Compose`环境的安装

1.3 获取镜像

在安装完成`Docker`以及`Docker-Compose`之后，需要拉取所需镜像.

注意: 执行第1条命令时，需要输入密码：

```
# 1. login to Docker registry
docker login --username=Jiahao031008
# 2. then download images:
docker pull jiahao031008/calib-tools:v0
```

1.4 克隆项目

```
git clone https://github.com/calibtoolkit/calibration_kit.git
cd calibration_kit
```

1.5 启动实例

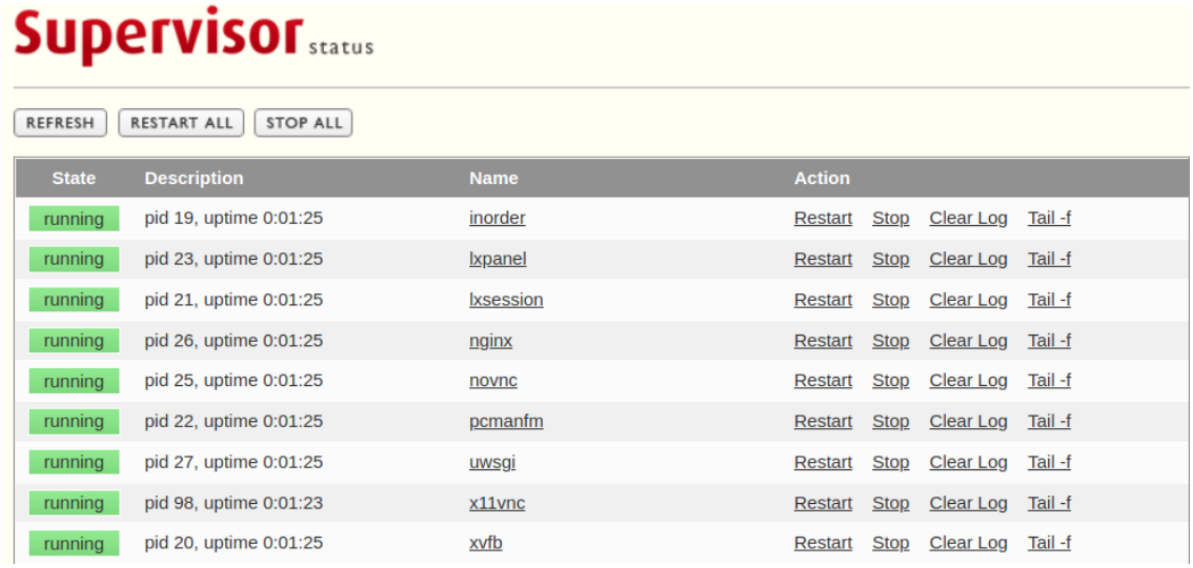
在当前Repo根目录下(即`docker-compose.yml`所在的那个文件夹), 启动Terminal, 执行命令, 启动Docker Workspace:

```
docker-compose down && docker-compose up
```

1.6 Service Health Check

然后打开`Chrome`浏览器, 访问URL`http://localhost:49001/`, 默认账号/密码为`sensorfusion/sensorfusion`, 确保所有服务成功启动.

若**所有服务成功启动**, 系统状态如下图所示:



1.6 访问工作空间

接着在`Chrome`浏览器中, 访问URLhttp://localhost:40081/vnc.html?autoconnect=1&autoscale=1&quality=16, 默认登录密码为`shenlan`, 访问Docker Workspace

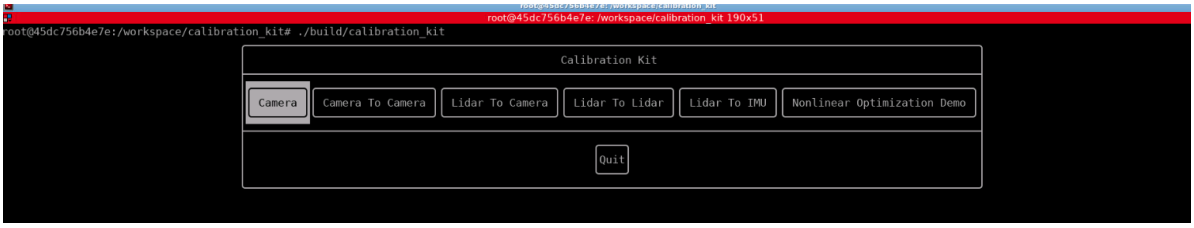
1.7 编译标定程序

在容器中打开终端

```
cd /worksapce/calibration_kit/
cmake -S . -B build -DCMAKE_BUILD_TYPE=Debug
cmake --build build --parallel 4
```

1.8 运行标定工具

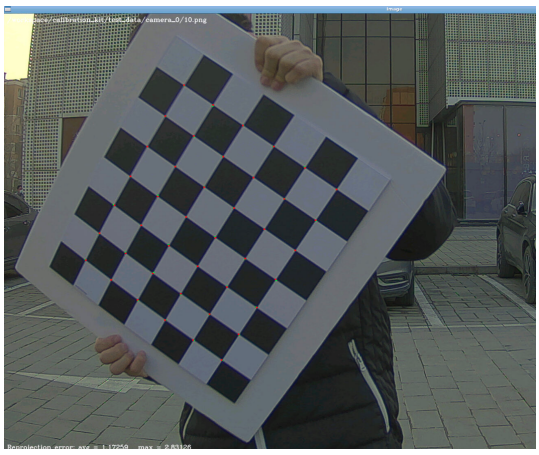
```
./build/calibration_kit
```



2 Camera内参标定

2.1 图像采集

采集人员分为两组，一组使用ROS程序进行采集；另一组手持棋盘格，在图像视野范围内进行操作和移动。示例使用的标定板为7×6_50×50大小的标准棋盘格进行。



1. 手持棋盘格要求：
    - 每次采集尽量保持稳定，最终成像光线适中，图像清晰；
    - 手持棋盘格时不能对棋盘格进行遮挡，不能离开相机视野范围内；
    - 采集图像类型需要丰富多样，包含：近距离图像、中距离图像、远距离图像、左右倾斜图像、上下倾斜图像、轻微旋转图像、较大旋转图像、相机靠近左视野边缘图像、相机靠近右视野边缘图像等；
    - 采集有效图像的数量在15-35张左右；
2. 使用ROS程序确定采集：
    - 启动camera

```
cd /workspace/catkin_ws && catkin_make
roslaunch usb_cam usb_cam.launch
```

    - 运行图像采集程序

```
# 新建终端
roslaunch cam_collect cam_collect.launch
```

    按`空格`键即可将当前帧图像（`.png`格式存储）按顺序保存在`data/camera_0`文件夹下

2.2 开始标定

（在完成编译的前提下）进入标定工具箱，执行标定程序：

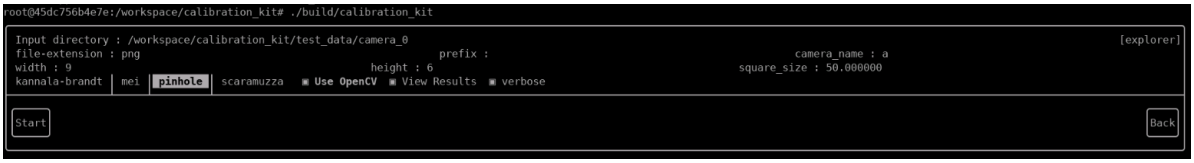
```
cd /workspace/calibration_kit
./build/calibration_kit
```

选择相机内参标定模块；

根据窗口提示，确定

1. `Input_directory`：存在图像的文件夹
2. `` `file-extension ``：图像的后缀（如：png）
3. `camera_name`：相机名称
4. `width:7`，`height:6`，`square_szie:50`：标定板长宽方向上格子的数量，每个格子对应的大小；
5. `pinhole`，`Use OpenCV`：选择针孔相机模型，使用opencv，
6. `View Result`，`verbose`：展示结果，并把中间过程展示出来；

点击`start`开始进行标定




```
[a] # INFO: Final reprojection error: 0.540 pixels
[a] # INFO: Camera Parameters:
    model_type PINHOLE
   camera_name a
   image_width 1920
  image_height 1080
Distortion Parameters
            k1 -0.554392
            k2 0.270977
            p1 -0.000271773
            p2 0.00529771
Projection Parameters
            fx 1965.28
            fy 1975.21
            cx 862.282
            cy 472.485

# INFO: Calibration took a total time of 11.784 sec.
# INFO: Wrote calibration file to a_camera_calib.yaml
```

3 Lidar-INS 标定

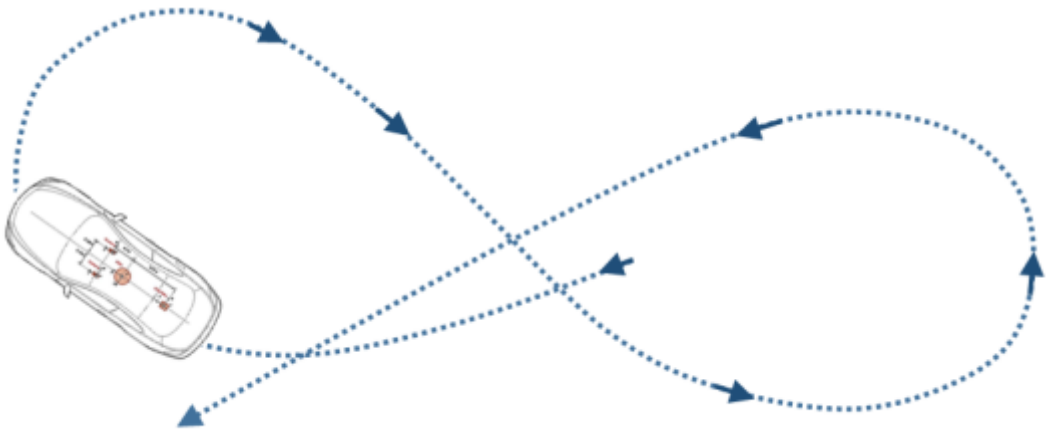
3.1 数据采集

1. 启动Apollo中的`Transform`，`Lidar`，`GPS`，`Localization`模块，检查GNSS和惯导的状态：
   - `/apollo/sensor/gnss/ins_stat` 中 `pos_type: 56`
   - `/apollo/sensor/gnss/ins_status`中 `type: GOOD`
   - `/apollo/sensor/gnss/best_pose`中`sol_type: NARROW_INT`

   检查`/apollo/sensor/gnss/odometry`中时间戳和系统时间保持一致；
2. 将车辆调整到低速的手动驾驶模式，保证车辆位于在空旷、较少动态障碍物、并且周围有标准几何形状的建筑物周围。开启cyber_recorder对数据进行记录：

```
cyber_recorder record -a -i 600 -o calib_lidar2ins.record
```

   - `-a`：表示对所有数据的channel进行记录；
   - `-i`：表示记录600s为一个数据包，这是为了保证尽量所有数据都在一个包内
   - `-o`：指定输出文件的名称
3. 控制车辆绕一个较大的8字，如果空间较小，可用绕0型代替。运动结束后停止cyber_recorder记录，并将数据包放置于`data/bag/calib_lidar2ins`文件夹内。



3.2 数据解析

1. 添加数据解析脚本

   在`/apollo/sripts`文件夹下新建`lidar_parse.sh`脚本文件，复制以下程序

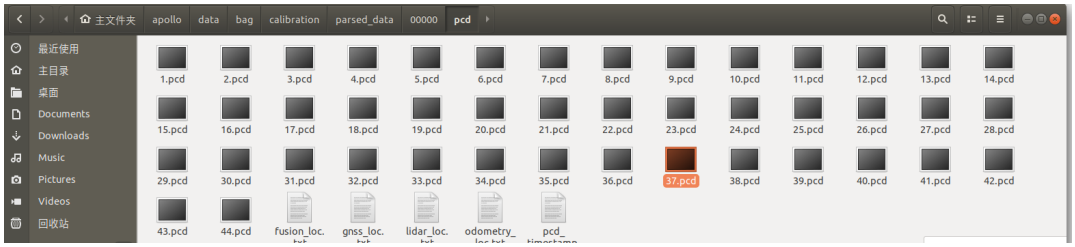
```
#! /bin/bash
if [ $# -lt 3 ]; then
  echo "Usage: msf_simple_map_creator.sh [records folder][output folder] [extrinsic_file] [lidar_type]"
  exit 1
fi

DIR="$(cd "$(dirname "${BASH_SOURCE[0]}")" && pwd)"
cd "${DIR}/.."

source "${DIR}/apollo_base.sh"

GNSS_LOC_TOPIC="/apollo/localization/msf_gnss"
LIDAR_LOC_TOPIC="/apollo/localization/msf_lidar"
FUSION_LOC_TOPIC="/apollo/localization/pose"
ODOMETRY_LOC_TOPIC="/apollo/sensor/gnss/odometry"

GNSS_LOC_FILE="gnss_loc.txt"
LIDAR_LOC_FILE="lidar_loc.txt"
FUSION_LOC_FILE="fusion_loc.txt"
ODOMETRY_LOC_FILE="odometry_loc.txt"

IN_FOLDER=$1
OUT_MAP_FOLDER=$2
EXTRINSIC_FILE=$3
LIDAR_TYPE=${4:-lidar16}

PARSED_DATA_FOLDER="$OUT_MAP_FOLDER/parsed_data"
CLOUD_TOPIC="/apollo/sensor/lidar16/compensator/PointCloud2"

function data_exporter() {
  local BAG_FILE=$1
  local OUT_FOLDER=$2
  /apollo/bazel-bin/modules/localization/msf/local_tool/data_extraction/cyber_record_parser \
    --bag_file $BAG_FILE \
    --out_folder $OUT_FOLDER \
    --cloud_topic $CLOUD_TOPIC \
    --gnss_loc_topic $GNSS_LOC_TOPIC \
    --lidar_loc_topic $LIDAR_LOC_TOPIC \
    --fusion_loc_topic $FUSION_LOC_TOPIC \
    --odometry_loc_topic $ODOMETRY_LOC_TOPIC
}
function poses_interpolation() {
  local INPUT_POSES_PATH=$1
  local REF_TIMESTAMPS_PATH=$2
  local EXTRINSIC_PATH=$3
  local OUTPUT_POSES_PATH=$4
```

```
  /apollo/bazel-bin/modules/localization/msf/local_tool/map_creation/poses_interpolator \
    --input_poses_path $INPUT_POSES_PATH \
    --ref_timestamps_path $REF_TIMESTAMPS_PATH \
    --extrinsic_path $EXTRINSIC_PATH \
    --output_poses_path $OUTPUT_POSES_PATH
}

cd $IN_FOLDER
mkdir -p $OUT_MAP_FOLDER
mkdir -p $PARSED_DATA_FOLDER
for item in $(ls -l *.record* | awk '{print $9}'); do
  SEGMENTS=$(echo $item | awk -F'.' '{print NF}')
  DIR_NAME=$(echo $item | cut -d . -f ${SEGMENTS})
  DIR_NAME="${PARSED_DATA_FOLDER}/${DIR_NAME}"
  mkdir -p ${DIR_NAME}

  data_exporter "${item}" "${DIR_NAME}"
  poses_interpolation "${DIR_NAME}/pcd/${ODOMETRY_LOC_FILE}" "${DIR_NAME}/pcd/pcd_timestamp.txt" "${EXTRINSIC_FILE}" "${DIR_NAME}/pcd/corrected_poses.txt"

done

echo "Done."
```

- 运行数据解析脚本文件

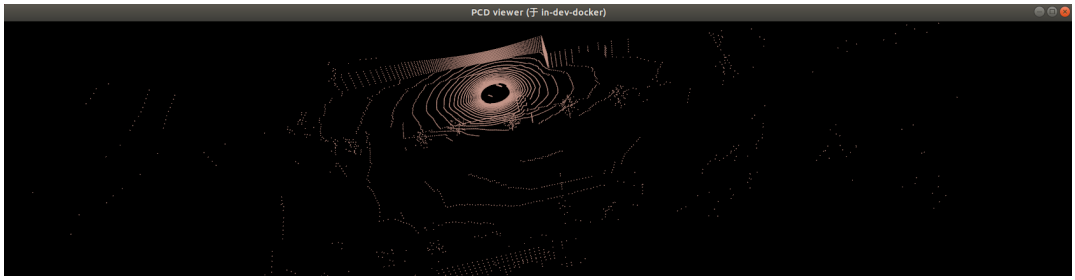
```
bash scripts/lidar_parse.sh /apollo/data/bag/calib_lidar2ins \
/apollo/data/bag/calib_lidar2ins \
/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar16_novatel_extrinsics.yaml \
lidar16
```

在`calibration`文件夹下会生成`parsed_data`，里面存放了Lidar 点云的pcd文件，用于进行标定。



在apollo的docker容器内运行`pcl_viewer`对点云数据进行查看

```
pcl_viewer data/bag/calib_lidar2ins/parsed_data/00000/pcd/1.pcd
```

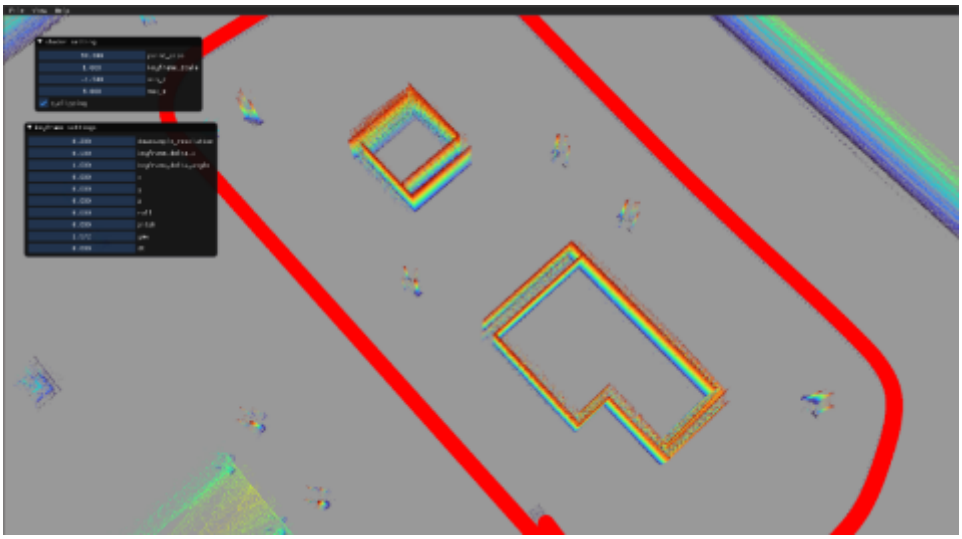


3.3 标定外参

执行标定文件：

```
1
```

选择导入，Apollo数据类型，选择上一步中生成的pcd文件所在的文件夹（`data/bag/calib_lidar2ins/parsed_data/00000/pcd`）



将墙体作为参照物，通过调整对应的yaw角和平移量（主要是yaw角，平移通过直尺进行测量），尽可能的将墙体的点云拼的越薄越好。

4 Lidar-Camera标定

4.1 数据采集

启动Apollo中的`Transform`，`Lidar`，`Camera`模块，将车辆静止在一处有明显阶梯处建筑或者建筑物角落附近。为了方便对齐，最好使某一束激光打到建筑物的上边缘处。启动`cyber_recorder`，记录1s左右的数据包，并保存在`data/bag/calib_ildar2camera`文件目录下。

4.2 数据解析

4.2.1 激光数据解析

1. 同`Lidar-INS 标定`部分。

4.2.2 图像数据解析

该部分的目标是将的录制包中的`image`保存成`jpeg`格式的图片；

1. 修正解析文件：

   在`modules/tools/record_parse_save/parse_camera.py`中将第39行修改为：

   ```
   1     msg_camera.ParseFromString(msg)
   2     # msg_camera.ParseFromString(str(msg))
   ```

2. 修改配置文件：

   在`/apollo/modules/tools/record_parse_save`文件目录下，打开`parser_params.yaml`文件：

- `filepath:` 改为我们存放数据包的文件夹`/apollo/data/bag/calib_ildar2camera`
- `parse:` 选为`camera`
- `camera`的`channel_name`: 选为我们实际压缩图像的`topic`名，
  如`/apollo/sensor/camera/front_6mm/image/compressed`

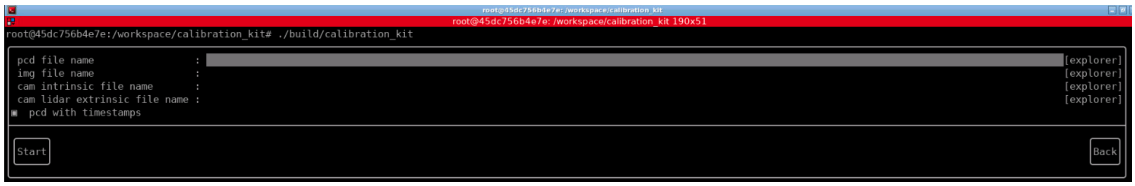
- 执行数据解析程序

```
./bazel-bin/modules/tools/record_parse_save/record_parse_save
```

解析完成后，会将图像保存在我们数据包的上一级目录下文件夹下`data_camera_6mm_front`。

4.3 外参标定

1. 任选一帧采集数据，拷贝至标定工具下的`test`文件夹下，并重命名为`1.jpeg`和`1.pcd`
2. 将`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/camera_params/`下的相机参数（`front_6mm_extrinsics.yaml`）拷贝到`test`文件夹下
3. 在标定工具窗口点击`Lidar To Camera`后，如下图：



通过点击`explorer`确定lidar和image的相关文件地址后，点击start

调整拖动条，使点云强度和建筑物重合，即可得到较为准确的外参标定结果。最终结果将在终端上进行打印。

5 油门刹车标定