

## 第四次课

### 本节任务

1. 实车上实现激光雷达感知；
2. 实车上实现视觉感知；
3. 实车上实现激光雷达-视觉融合感知。

Apollo支持三种感知方式：基于激光点云的感知模型、基于相机的感知模型、基于融合感知的模型。支持多相机、多激光、毫米波雷达感知等多种传感设备。由于场地、设备等条件限制，这里仅仅对单相机感知，单激光感知，相机-激光融合感知算法进行测试实践。

[TOC]

## 0 感知模块的准备

### 0.1 内外参标定文件

在完成感知任务之前，首先必须完成相机内参标定、Lidar和相机外参标定，并将校正数据存放在下述文件夹中：

- 相机内参文件：

`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/camera_params/front_6mm_intrinsics.yaml`

- Lidar-Camera外参文件：

`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/camera_params/front_6mm_extrinsics.yaml`

### 0.2 检查当前通道是的数据输入

- `/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2`：激光感知和融合感知中必备
- `/apollo/sensor/camera/front_6mm/image`：视觉感知和融合感知中必备
- `/apollo/localization/pose`：需要提供定位
- `/tf`及`/tf_static`：需要提供传感器外参和TF树

### 0.3 代码的目录组织结构

感知模块的目录组织结构如下：

```
.
├── BUILD
├── README.md
├── base      // 基础类
├── camera    // 相机相关      --- 子模块流程
├── common    // 公共目录
├── data      // 相机的内参和外参
├── fusion    // 传感器融合
├── inference // 深度学习推理模块
```

```

|—— lib      // 一些基础的库，包括线程、时间等
|—— lidar    // 激光雷达相关    --- 子模块流程
|—— map      // 地图
|—— model     // 深度学习模型
|—— onboard  // 各个子模块的入口    --- 子模块入口
|—— production // 感知模块入口（深度学习模型也存放在这里）--- 通过cyber启动子模块
|—— proto    // 数据格式，protobuf
|—— radar    // 毫米波          --- 子模块流程
|—— testdata // 上述几个模块的测试数据
|—— tool     // 离线测试工具

```

其中：

- production：感知模块的入口在production目录，通过lanuch加载对应的dag，启动感知模块。
- onboard：定义了多个子模块，分别用来处理不同的传感器信息（Lidar，Radar，Camera）。各个子模块的入口在onboard目录中，每个传感器的流程大概相似，可以分为预处理，物体识别，感兴趣区域过滤以及追踪。
- inference：深度学习推理模块。部署的过程会对模型做加速，实现了caffe，TensorRT、libtorch、onnx等多种模型部署。训练好的深度模型放在modules\perception\production\data目录中，然后通过推理模块进行加载部署和在线计算。
- camera：主要实现车道线识别，红绿灯检测，以及障碍物识别和追踪。
- radar：主要实现障碍物识别和追踪（由于毫米波雷达上报的就是障碍物信息，这里主要是对障碍物做追踪）。
- lidar：主要实现障碍物识别和追踪（对点云做分割，分类，识别等）。
- fusion：对上述传感器的感知结果做融合。

## 0.4 激光雷达/相机感知无法开启

打开dreamview，选择dev kit pix hooke的车型依次开启Tranform GPS localization，查看选择车型的位置是否出现警告：

Raw IMU Message Delay. IMU message is xx cycle 0.xxxxxxx sec behind current time

这是因为华测惯导没有初始化成功，时间戳没和world系统时间对齐，重启接收机(参考惯导设置)，关闭工控机，整车断电，再进行惯导初始化，直到惯导状态出现组合导航。

如果没有出现上面的警告，但是在开启感知的terminal出现 transform\_wrapper.cc can not find transform. Lookup would require extrapolation into the past/future...，如果上面的IMU信息没有延迟，那么大概率是CPU不堪重负了，数据处理不过来，解决方法是停掉所有打开的软件(进程)或者重启电脑。

## 1 基于激光点云的感知

### 1.1 CNNSegmentation算法

CNNSegmentation算法（以下简称cnnseg）是由百度研发、尚未开源的语义分割算法（而非传统上基于bbox的方法）。它分为center offset，objectness，positiveness，object height，class probability五个层级，由于鲁棒性和检测效果较好，后续如不额外声明，均以该方法作为基础。

cnnseg的模型权重文件位于：

modules/perception/production/data/perception/lidar/models/cnnseg/velodyne16/deploy.caffemodel

工控机里面的apollo版本并没有CNNSegmentation算法，因此需要从 apollo edu 6.0 版本拷贝modules下的 perception文件夹到 工控机的modules目录下(原来perception文件夹删掉即可)，然后重新编译：

```
bash apollo.sh build_opt perception
```

### 1.1.1 配置文件调整

创建/修改参数配置文件：

- modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/velodyne16\_segmentation\_conf.pb.txt:

```
sensor_name: "velodyne16"  
enable_hdmap: true  
lidar_query_tf_offset: 0  
lidar2novatel_tf2_child_frame_id: "lidar32"  
output_channel_name: "/perception/inner/SegmentationObjects"
```

- modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/recognition\_conf.pb.txt:

```
main_sensor_name: "velodyne16"  
output_channel_name: "/perception/inner/PrefusedObjects"
```

- modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/mlf\_engine.conf:

```
main_sensor: "velodyne16"  
use_histogram_for_match: true  
histogram_bin_size: 10  
output_predict_objects: false  
reserved_invisible_time: 0.3  
use_frame_timestamp: true
```

- modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/lidar\_fusion\_component\_conf.pb.txt:

```
fusion_method: "ProbabilisticFusion"  
fusion_main_sensors: "velodyne16"  
object_in_roi_check: true  
radius_for_roi_object_check: 120  
output_obstacles_channel_name: "/apollo/perception/obstacles"  
output_viz_fused_content_channel_name:  
  "/perception/inner/visualization/FusedObjects"
```

### 1.1.2 启动文件调整

创建/修改dag启动文件：

modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_dag/dag\_streaming\_perception\_dev\_kit\_lidar.dag

```
module_config {
  module_library: "/apollo/bazel-
bin/modules/perception/onboard/component/libperception_component_lidar.so"

  components {
    class_name: "SegmentationComponent"
    config {
      name: "Velodyne16Segmentation"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/velodyne16_segmentati
on_conf.pb.txt"
      flag_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/perception_common fla
g"
      readers {
        channel: "/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2"
      }
    }
  }

  components {
    class_name: "RecognitionComponent"
    config {
      name: "RecognitionComponent"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/recognition_conf.pb.txt"
      readers {
        channel: "/perception/inner/SegmentationObjects"
      }
    }
  }

  components {
    class_name: "FusionComponent"
    config {
      name: "SensorFusion"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/lidar_fusion_componen
t_conf.pb.txt"
      readers {
        channel: "/perception/inner/PrefusedObjects"
      }
    }
  }
}
```

}

- 为了提高效率，同一个模块内的部分数据通道，如/perception/inner/SegmentationObjects或者/perception/inner/PrefusedObjects并不会在cyber\_monitor中显示，但是它们依然存在并有效传递着数据。

## 1.2 启动激光点云感知模块

1. 在dreamview选择车型dev\_kit\_pix\_hooke，如果之前已选择了车型，请刷新一下车型，即选择一下其他车型再选择车型dev\_kit\_pix\_hooke，那么apollo会把dev\_kit\_pix\_hooke车型配置文件覆盖掉modules目录下同命名的文件。
2. 启动感知模块，等待待显存稳定（一般在1-2分钟左右）直接点击dreamview界面的lidar Perception按钮，如果按钮无法启动(启动几分钟后自动关闭)，使用下面的命令手动开启，查看报错信息：

```
# cnn_seg
mainboard -d
modules/perception/production/dag/dag_streaming_perception_dev_kit_lidar.dag
```

3. 待显存稳定后观察dreamview是否检测出物体或者启动一个录好的数据集，例如：

```
cyber_recorder play -f data/bag/20220203/20220203100813.record.0000*
```

- 显存是否稳定可以通过指令：`watch -n 0.1 nvidia-smi`查询。该命令表示每间隔0.1 s执行一次nvidia-smi指令
- 显存稳定：

Every 0.1s: nvidia-smi

Sun Apr 10 10:46:48 2022

NVIDIA-SMI 470.42.01 Driver Version: 470.42.01 CUDA Version: 11.4									
GPU	CName	外参标定	Persistence-M	Bus-Id	Disp.A	Volatile	Uncorr.	ECC	
Fan	Temp	Perf	Pwr:Usage/Cap		Memory-Usage	GPU-Util	Compute M.	MIG M.	
0	NVIDIA GeForce ...	...	Off	00000000:01:00.0	Off	0%	Default	N/A	
N/A	50C	P8	14W / N/A	2073MiB / 5946MiB				N/A	

1.1 CNNSegmentation算法

1.1.1 配置文件调整

GPU	GI	CI	PID	Type	Process name	GPU Memory Usage
ID	ID	ID				
0	N/A	N/A	5306	C	mainboard	2071MiB

4. 查看/apollo/perception/obstacles中是否由数据输出（cnnseg检测输出为多边形，PointPillar检测输出为矩形框）

## cyber\_monitor

对于每时刻的检测结果，有如下障碍物检测序列：

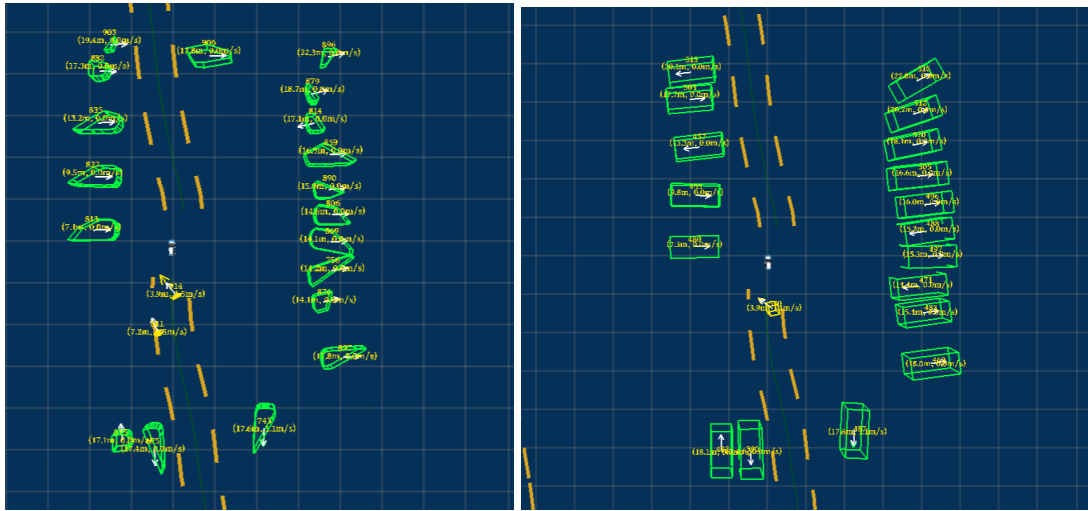
```
ChannelName: /apollo/perception/obstacles
MessageType: apollo.perception.PerceptionObstacles
FrameRatio: 0.00
RawMessage Size: 23558 Bytes (23.01 KB)
perception_obstacle: +[21 items]
header:
  timestamp_sec: 1649554907.004176140
  module_name: perception_obstacle
  sequence_num: 1441
  lidar_timestamp: 1648287224159765248
  camera_timestamp: 0
  radar_timestamp: 0
error_code: OK
```

对于每一个障碍物检测结果，包含：

- 检测目标的id，类别，位置，朝向（仅包括yaw），速度，加速度
- 长宽高，多边形点（cnnseg, PointPillar），bbox2d（camera），anchor
- 位置、速度、加速度协方差
- 追踪时间：数据关联成功时长
- light\_status：仅在图像障碍物检测中出现

```
ChannelName: /apollo/perception/obstacles
MessageType: apollo.perception.PerceptionObstacles
FrameRatio: 0.00
perception_obstacle: [0]
  id: 675
  position:
    x: 443996.994114553
    y: 4436666.019773082
    z: 32.388639151
  theta: -1.497994423
  velocity:
    x: -0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
  length: 4.122876167
  width: 1.470222116
  height: 1.344617486
  polygon_point: +[13 items]
  tracking_time: 42.900608778
  type: VEHICLE
  timestamp: 1648287224.159749746
  acceleration:
    x: -0.000000446
    y: -0.000004244
    z: 0.0
  anchor_point:
    x: 443997.130370396
    y: 4436666.995180999
    z: 33.152222815
  bbox2d:
    xmin: 0.0
    ymin: 0.0
    xmax: 0.0
    ymax: 0.0
  sub_type: ST_UNKNOWN
  measurements: +[1 items]
  height_above_ground: nan
  position_covariance: +[0 items]
  velocity_covariance: +[0 items]
  acceleration_covariance: +[0 items]
  light_status:
    brake_visible: 0.0
    brake_switch_on: 0.0
    left_turn_visible: 0.0
    left_turn_switch_on: 0.0
    right_turn_visible: 0.0
```

5. 在dreamviewer最终效果如下(第一个为cnnseg，第二个为PointPillar)：可以看出，雷达视野覆盖360度，但是感知距离相对较近。



## 1.2 PointPillar算法

PointPillar是基于激光点云进行目标检测的经典开源算法，在apollo和autoware上均有其实现。训练模型权重详见文件：[modules/perception/production/data/perception/lidar/models/detection/point\\_pillars](#)。

### 1.2.1 配置文件调整

创建/修改参数配置文件：

- [modules/calibration/data/dev\\_kit\\_pix\\_hooke/perception\\_conf/velodyne16\\_detection\\_conf.pb.txt](#)：

```
sensor_name: "velodyne16"
enable_hdmap: true
lidar_query_tf_offset: 0
lidar2novatel_tf2_child_frame_id: "lidar32"
output_channel_name: "/perception/inner/DetectionObjects"
```

- [modules/calibration/data/dev\\_kit\\_pix\\_hooke/perception\\_conf/recognition\\_conf.pb.txt](#)：

```
main_sensor_name: "velodyne16"
output_channel_name: "/perception/inner/PrefusedObjects"
```

- [modules/calibration/data/dev\\_kit\\_pix\\_hooke/perception\\_conf/mlf\\_engine.conf](#)：

```
main_sensor: "velodyne16"
use_histogram_for_match: true
histogram_bin_size: 10
output_predict_objects: false
reserved_invisible_time: 0.3
use_frame_timestamp: true
```

- modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/lidar\_fusion\_component\_conf.pb.txt:

```
fusion_method: "ProbabilisticFusion"
fusion_main_sensors: "velodyne16"
object_in_roi_check: true
radius_for_roi_object_check: 120
output_obstacles_channel_name: "/apollo/perception/obstacles"
output_viz_fused_content_channel_name:
"/perception/inner/visualization/FusedObjects"
```

### 1.2.2 启动文件调整

创建/修改dag启动文件：

modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_dag/dag\_streaming\_perception\_lidar.dag

```
module_config {
  module_library: "/apollo/bazel-
bin/modules/perception/onboard/component/libperception_component_lidar.so"

  components {
    class_name: "DetectionComponent"
    config {
      name: "Velodyne16Detection"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/velodyne16_detection_
conf.pb.txt"
      flag_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/perception_common fla
g"
      readers {
        channel: "/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2"
      }
    }
  }

  components {
    class_name: "RecognitionComponent"
    config {
      name: "RecognitionComponent"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/recognition_conf.pb.txt"
      readers {
        channel: "/perception/inner/DetectionObjects"
      }
    }
  }

  components {
    class_name: "FusionComponent"
```



```

config{
  name: "SensorFusion"
  config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/lidar_fusion_component_conf.pb.txt"
  readers{
    channel: "/perception/inner/PrefusedObjects"
  }
}
}
}
}

```

- 为了提高效率，同一个模块内的部分数据通道，如/perception/inner/SegmentationObjects或者/perception/inner/PrefusedObjects并不会在cyber\_monitor中显示，但是它们依然存在并有效传递着数据。

### 1.3 开启PointPillar激光点云感知

1. 在dreamview选择车型dev\_kit\_pix\_hooke，如果之前已选择了车型，请刷新一下车型，即选择一下其他车型再选择车型dev\_kit\_pix\_hooke，那么apollo会把dev\_kit\_pix\_hooke车型配置文件覆盖掉modules目录下同命名的文件。
2. 启动感知模块，等待待显存稳定（一般在1-2分钟左右）

```
mainboard -d modules/perception/production/dag/dag_streaming_perception_lidar.dag
```

3. 其他操作参考上述cnnseg步骤。

## 2 基于图像的感知模块

图像感知模块基于单目yolo 3D障碍物感知算法进行测试，检测种类包括：CAR，VAN，BUS，TRUCK，CYCLIST，TRICYCLIST，PEDESTRIAN，TRAFFICONE。其模型权重位于：  
modules/perception/production/data/perception/camera/models/yolo\_obstacle\_detector

### 2.1 配置文件调整

创建/修改配置文件，确保检测到的障碍物信息向指定channel输出：

- 修改文件位置为：  
modules/calibration/data/dev\_kit\_pix\_hooke/perception\_conf/camera/fusion\_camera\_detection\_component.pb.txt
- 仅修改文件内容为：

```

output_final_obstacles : true
output_obstacles_channel_name : "/perception/obstacles"

```

## 2.2 启动文件调整

创建/调整启动文件：

`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_dag/dag_streaming_perception_dev_kit_camera.dag`:

```
module_config {
  module_library : "/apollo/bazel-
bin/modules/perception/onboard/component/libperception_component_camera.so"
  components {
    class_name : "FusionCameraDetectionComponent"
    config {
      name: "FusionCameraComponent"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/camera/fusion_camera_
detection_component.pb.txt"
      flag_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/perception_common fla
g"
    }
  }
}
```

## 2.3 启动图像感知模块

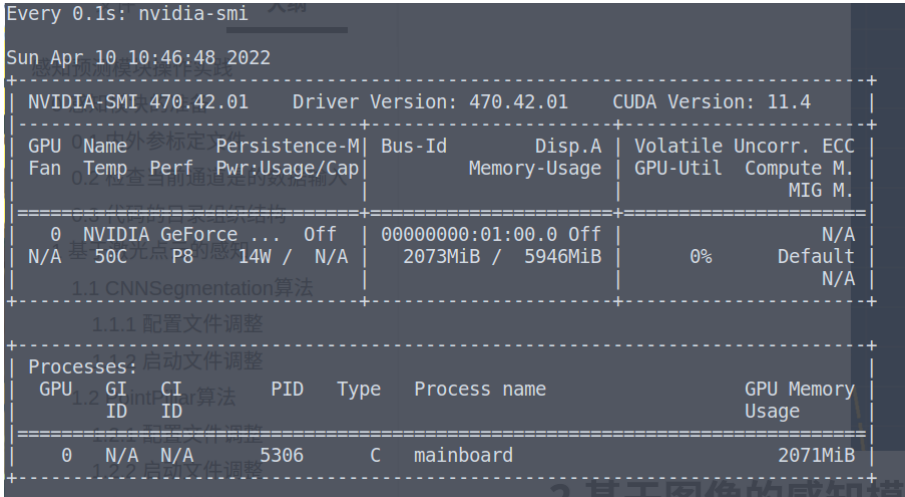
1. 在dreamview选择车型`dev_kit_pix_hooke`，如果之前已选择了车型，请刷新一下车型，即选择一下其他车型再选择车型`dev_kit_pix_hooke`，那么apollo会把`dev_kit_pix_hooke`车型配置文件覆盖掉`modules`目录下同命名的文件。
2. 启动图像模块，等待待显存稳定（一般在1-2分钟左右）。直接点击dreamview界面的 `camera Perception`按钮，如果按钮无法启动(启动几分钟后自动关闭)，使用下面的命令手动开启，查看报错信息：

```
mainboard -d
/apollo/modules/perception/production/dag/dag_streaming_perception_dev_kit_camera.
dag
```

3. 待显存稳定后观察`dreamview`是否检测出物体或者启动一个录好的数据集，例如：

```
cyber_recorder play -f data/bag/20220203/20220203100813.record.0000*
```

- 显存是否稳定可以通过指令：`watch -n 0.1 nvidia-smi`查询。该命令表示每间隔0.1 s执行一次`nvidia-smi`指令
- 显存稳定：



4. 查看输出结果：（camera检测输出为三维目标框）

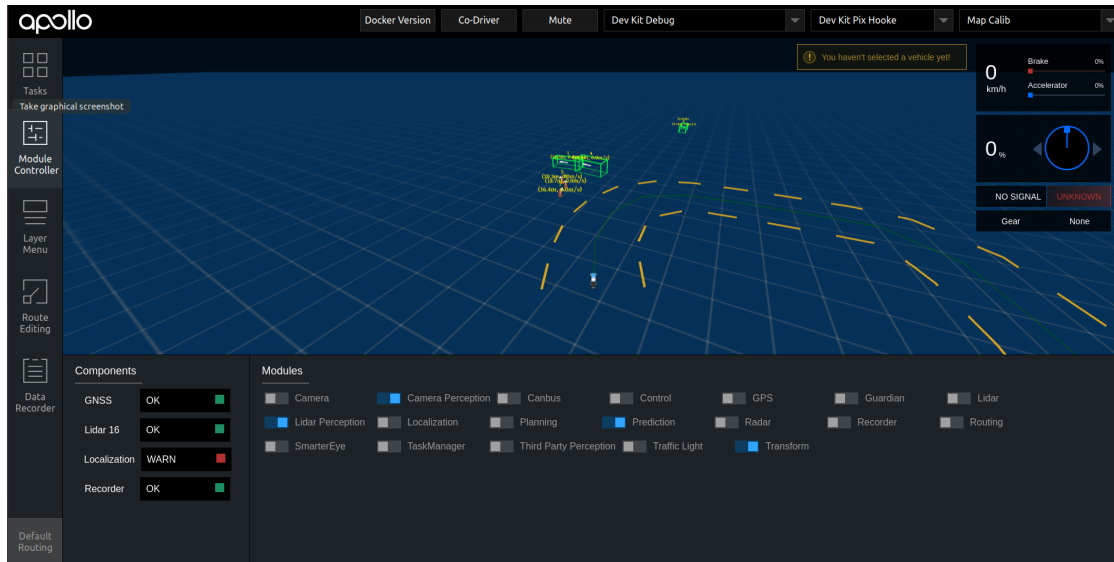
```
cyber_monitor
```

观察到/perception/obstacles中有数据输出：

```
o 障碍物序列为：
ChannelName: /apollo/perception/obstacles
MessageType: apollo.perception.PerceptionObs
FrameRatio: 0.00
RawMessage Size: 2690 Bytes (2.63 KB)
perception_obstacle: +[5 items]
header:
  timestamp_sec: 1649559114.608419418
  module_name: perception_camera
  sequence_num: 1580
  lidar_timestamp: 1644554795624157952
  camera_timestamp: 1644554795624157952
error_code: OK
lane_marker:
  left_lane_marker:
  right_lane_marker:
  next_left_lane_marker: +[1 items]
  next_right_lane_marker: +[1 items]
```

与激光雷达检测相比，多了车道线等信息，但是由于该模块尚未开启，因此没有数据。

- o 单个障碍物信息（perception\_obstacle[i]）的数据类型解析详见激光点云的检测说明。与激光相比，基于视觉的输出多了bbox2d和light\_status，其余变化不大。
5. 在dreamviewer最终效果如下：可以看出，相机的视野较远，还能有效的检测到小物体，但是视野受限。



## 3 基于相机和激光融合的感知模块

### 3.1 配置文件调整

选择需要融合的主传感器，并设置输出通道：

- 创建/修改文件：

`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/fusion_component_conf.pb.txt`

```
fusion_method: "ProbabilisticFusion"
fusion_main_sensors: "velodyne16"
fusion_main_sensors: "front_6mm"
object_in_roi_check: true
radius_for_roi_object_check: 120
output_obstacles_channel_name: "/apollo/perception/obstacles"
output_viz_fused_content_channel_name:
  "/perception/inner/visualization/FusedObjects"
```

### 3.2 启动文件调整

创建/修改启动文件：

`modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_dag/dag_streaming_perception.dag`，内容如下：

```
module_config {
  module_library: "/apollo/bazel-
bin/modules/perception/onboard/component/libperception_component_camera.so"
  components {
    class_name: "FusionCameraDetectionComponent"
    config {
      name: "FusionCameraComponent"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/camera/fusion_camera-
detection_component.pb.txt"
```

```
    flag_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/perception_common.fl
g"
  }
}
}

module_config {
  module_library : "/apollo/bazel-
bin/modules/perception/onboard/component/libperception_component_lidar.so"

  components {
    class_name : "SegmentationComponent"
    config {
      name: "Velodyne16Segmentation"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/velodyne16_segmentati
on_conf.pb.txt"
      flag_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/perception_common.fl
g"
      readers {
        channel: "/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2"
      }
    }
  }

  components {
    class_name : "RecognitionComponent"
    config {
      name: "RecognitionComponent"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/recognition_conf.pb.txt"
      readers {
        channel: "/perception/inner/SegmentationObjects"
      }
    }
  }

  components {
    class_name: "FusionComponent"
    config {
      name: "SensorFusion"
      config_file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/perception_conf/fusion_component_conf
.pb.txt"
      readers {
        channel: "/perception/inner/PrefusedObjects"
      }
    }
  }
}
```

```
}

```

3.3 启动融合感知模块

1. 启动融合感知模块，等待待显存稳定（一般在1-2分钟左右）。

直接点击dreamview界面的 **camera Perception**按钮，如果按钮无法启动(启动几分钟后自动关闭)，使用下面的命令手动开启，查看报错信息：

```
mainboard -d
/apollo/modules/perception/production/dag/dag_streaming_perception.dag

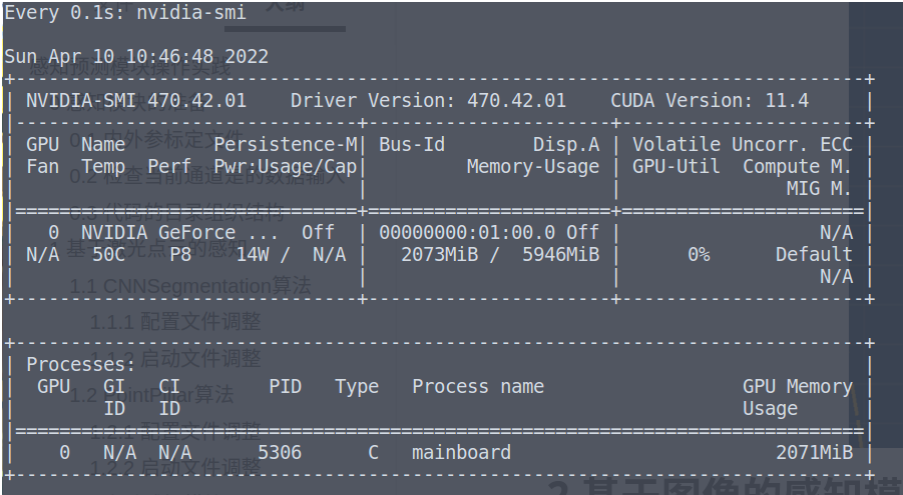
```

2. 待显存稳定后观察**dreamview**是否检测出物体或者启动一个录好的数据集，例如：

```
cyber_recorder play -f data/bag/20220203/20220203100813.record.0000*

```

- 显存是否稳定可以通过指令：**watch -n 0.1 nvidia-smi**查询。该命令表示每间隔0.1 s执行一次**nvidia-smi**指令
- 显存稳定：



3. 查看输出结果：（三维目标框和多边形框）

```
cyber_monitor

```

观察到/apollo/perception/obstacles以及/perception/obstacles中有数据输出，输出数据类型与之前类似。

4. 在**dreamviewer**可以看出，近处时为点云检测为主的多边形目标，远处时为相机检测到的矩形框，兼具了两者的优势。

## 4 启动预测模块

### 4.1 输入输出解析

预测模块输入消息类型为：

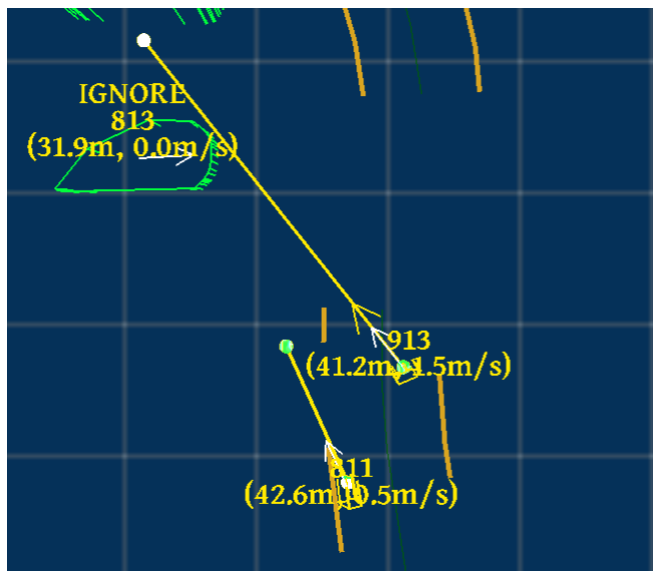
- `perception::PerceptionObstacles`：感知模块输出的障碍物信息，对应`/apollo/perception/obstacles`
- `planning::ADCTrajectory`：规划模块输出的行驶路径，对应`/apollo/planning`
- `localization::LocalizationEstimate`：车辆当前的位置，对应`/apollo/localization/pose`

预测模块输出消息类型为：

- `prediction::PredictionObstacles`：预测模块输出的障碍物信息，对应`/apollo/prediction`

### 4.2 预测模块启动

1. 启动`cyber_launch start modules/prediction/launch/prediction.launch`



2. 观测`cyber_monitor`的`/apollo/prediction`通道是否正常工作输出

```
ChannelName: /apollo/prediction
MessageType: apollo.prediction.PredictionObstacles
FrameRatio: 0.00
RawMessage Size: 3199 Bytes (3.12 KB)
header:
  timestamp_sec: 1644114068.160332918
  module_name: prediction
  sequence_num: 218
  lidar_timestamp: 1643854111485752064
  camera_timestamp: 1643854111485752064
  radar_timestamp: 0
prTakegraphicalscreenshot: [6 items]
perception_error_code: OK
start_timestamp: 1644114068.156162262
end_timestamp: 1644114068.160304546
```