

第一次课

- 第一次课
 - 本节任务
 - 1 Apollo系统的基础介绍
 - 1.1 Apollo 的容器建立、进入和编译(基础)
 - 1.1.1 使用Apollo镜像建立一个容器
 - 1.1.2 启动/进入/关闭/重启容器
 - 1.1.3 编译Apollo系统
 - 1.2 DreamView启动方式
 - 1.3 启动cyber monitor
 - 1.4 各个模块的启动顺序(重要)
 - 1.5 硬件连接、用电安全与遥控器控车
 - 2 传感器连接与驱动配置
 - 2.1 启动 canbus
 - 2.1.1 canbus驱动配置
 - 2.1.2 Apollo驱动启动
 - 2.1.3 实车相关控制与连接测试
 - 2.2 启动TF(Transform)模块
 - 2.2.1 配置文件的修改
 - 2.2.2 启动Transform模块
 - 2.3 启动速腾32线激光传感器(robosense rshelios)
 - 2.3.1 驱动配置
 - 2.3.2 Apollo驱动启动
 - 2.4 启动工业相机(LI-USB3.0-AR023ZWDR CS-6mm)
 - 2.4.1 安装所需要的依赖(docker外部)
 - 2.4.2 驱动配置(docker外部)
 - 2.4.3 Apollo驱动启动(docker内部)
 - 2.5 启动华测组合导航CGI-410
 - 2.5.1 组合导航系统的组成
 - 2.5.2 驱动配置(学员实操)
 - 2.5.3 Apollo驱动启动
 - 2.5.4 GNSS系统时间说明*

本节任务

1. 安装工控机、电源、组合惯导、天线、相机、激光雷达、微波雷达等传感器设备，接线；
2. 了解设备用电安全和行车安全常识，掌握遥控器控车；
3. 确认apollo和车辆底盘的通信，完成键盘控车任务；
4. 启动各传感器驱动，配置组合惯导信息，完成设备初始化工作；
5. 检查GPS信号，相机图像，激光雷达点云输出等。

1 Apollo系统的基础介绍

该部分是使用Apollo docker系统的简单介绍，若有相关基础可以直接跳过。

1.1 Apollo 的容器建立、进入和编译(基础)

1.1.1 使用Apollo镜像建立一个容器

- 在apollo目录下，使用下述命令在本地shell可以建立一个名为apollo_dev_{用户名}的容器：

```
bash docker/scripts/dev_start.sh -l
```

- 指令后-l参数，表示启动本地镜像对容器进行构建；不带-l参数时，系统将对镜像进行更新检查（需要联网），然后创建新的容器
- 本课程操作中一般带参数-l

1.1.2 启动/进入/关闭/重启容器

创建容器后，每次开关机将默认关闭。因此需要首先开启容器。容器开启有两种方式：

1. 继承上次启动的容器。本地shell的操作指令为：

```
docker start apollo_dev_{用户名} # 继承上次使用的容器
```

```
bash docker/scripts/dev_into.sh # 进入容器
```

类似地，如果遇到某些问题需要关闭或重启docker，可以执行下面的命令：

```
docker stop apollo_dev_{用户名} # 关闭容器
```

```
docker restart apollo_dev_{用户名} # 关闭并重启容器
```

2. 直接生成一个纯净的新容器，避免之前的操作对系统进行污染，本地shell的操作指令为：

```
bash docker/scripts/dev_start.sh -l # 从本地镜像生成一个新的容器对原先容器进行覆盖
```

```
bash docker/scripts/dev_into.sh # 进入容器
```

考虑运行时间及稳定性等因素，在调试中第一种方式更加常用。

1.1.3 编译Apollo系统

Apollo系统具有多种编译方式，考虑到运行效率，将优先推荐使用build_opt操作：

```
# apollo docker内部  
bash apollo.sh build_opt
```

此外，如果只修改了单个模块，对单个模块进行编译即可：

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

当编译因为某些原因进行重新处理时，可以删除隐藏文件夹.cache；如果不想重新下载库文件，则可以只删除.cache/build文件夹。

1.2 DreamView启动方式

DreamView是Apollo系统中用于可视化和交互界面模块。进入容器后，可通过以下命令进入DreamView：

```
# apollo docker内部  
bash scripts/bootstrap.sh
```

待执行完毕后ctrl + 单击终端中显示的 <http://localhost:8888> 即可打开DreamView。进入DreamView后要在上方选择调试模式、车型和地图，本课程中调试模式选择dev_kit_debug，车型选择dev_kit_pix_hooke。

附加说明A：由于依靠Dreamview的可视化界面上通过点击按钮的方式进行各个传感器启动时，报错和警告信息并不能直观的打印出来，以方便输出调试。因此在车辆调试完成前，每个模块推荐采用launch或者dag直接启动的方式进行。

附加说明B：Apollo系统具有如下机制：

1. 每次启动dreamview并选择车型后，系统自动将calibration/data/<对应车型名称>中的参数文件覆盖掉模块中的相对应的文件，如：
~/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/gnss_conf/gnss_conf.pb.txt会覆盖位于~/apollo/modules/drivers/gnss/conf/gnss_conf.pb.txt的文件。因此，推荐在calibration/data进行参数的修改。
2. 每次启动dreamview并选择调试模式后，系统自动将按键与对应的dag相关联，其设置可以在/apollo/modules/dreamview/conf/hmi_modes/xxxx.pb.txt中进行修改。其中xxxx对应不同的debug模式，在本课程中推荐使用dev_kit_debug.pb.txt，key对应按键的名称，dag_files表示对应的启动文件。
3. 按键配置文件被修改后需重启dreamview：bash scripts/bootstrap.sh restart
4. 此外，还有相应的停止命令：bash scripts/bootstrap.sh stop

1.3 启动cyber monitor

在Apollo docker内部输入cyber_monitor即可进入cyber_monitor。利用cyber monitor，我们可以便捷地检查各模块是否处于开启状态、工作状态是否正常等，方便调试。

1.4 各个模块的启动顺序(重要)

本文档将以record数据包及线下课程实际传感器输出作为测试数据，指导对各个模块的启动。**各个模块的启动存在依赖关系**，启动顺序应当为：

1. **启动各个传感器部件和控制模块**：包括Transform、lidar、GPS、camera、canbus等。注意，播放cyber包时可以跳过该步骤。
2. **启动定位模块(Loclization)**：包括三种算法（基于RTK的定位，基于NDT的定位，基于MSF的定位），启动后两种需要额外制作地图。，主要功能是实现车辆在地图中的定位。
3. **启动感知模块(<Sensor> Perception)**：分为给予视觉感知、激光感知、雷达感知和融合感知多个部分，取决于传感器输入。主要功能是获得视野范围内目标物的各种运动和属性信息。
4. **启动预测模块(Prediction)**：依赖与定位模块、感知模块，主要功能是对行人、车辆的运动轨迹进行预测。
5. **启动Routing、Planning模块**：依赖于定位、感知和预测模块、虚拟车道线或者地图。主要功能是设置一个目标点，并规划一条到达目标点和合适路径。
6. **启动Control模块**：和底盘进行通讯，并控制车辆运动。执行该模块需要对车辆进行放权（进入自动驾驶模式）。

如果启动顺序不正确，很可能会造成下游模块无法正常开启，以致需要关闭全部模块重开甚至重启docker。

1.5 硬件连接、用电安全与遥控器控车

请在助教指导下完成传感器检查，了解用电安全规范，学习遥控器控车。

2 传感器连接与驱动配置

该模块将展示Canbus，Transform，速腾32线雷达(REHELIOS)、工业相机、组合导航模块等多个驱动模块的运行方式。**请务必安装顺序完成。**

在使用驱动之前，请需要完成以下任务：

- 行车安全教育和用电安全教育
- 能够使用遥控器控制车辆行进
- 传感器硬件连接和Apollo软件学习

2.1 启动 canbus

该部分在室内完成，完成后可将车辆开至空旷室外场地进行下一步操作。

2.1.1 canbus驱动配置

1. 物理连线

分别连接工控机与can线（连接can0口），车底盘接口与can线。

2.1.2 Apollo驱动启动

1. Apollo启动并检查通讯：

- 进入docker后启动cyber_monitor
- 在另一个终端中同样进入docker，执行bash /apollo/scripts/canbus.sh
- 检查cyber_monitor中以下两个通道输出是否正常：
 - /apollo/canbus/chassis
 - /apollo/canbus/chassis_detail

2. 注意事项：

- `/apollo/canbus/chassis`通道中`driving_mode`表示车辆状态，当处于`EMERGENCY_MODE`时需要检查是否存在故障等问题：
 - 通常重启`canbus`模块即可消除`EMERGENCY_MODE`；
 - 如果反复重启`canbus`模块而`EMERGENCY_MODE`依然存在，应查看遥控器是否有警告标志，例如可能会出现`FL failure`，表明左前轮出现了问题，问题原因尚不清楚，将车断电重启就能修复。

```
ChannelName: /apollo/canbus/chassis
MessageType: apollo.canbus.Chassis
FrameRatio: 99.98
RawMessage Size: 111 Bytes
engine_started: 1
speed_mps: 0.822000
throttle_percentage: 3.700000
brake_percentage: 0.000000
steering_percentage: -3.800064
parking_brake: 0
driving_mode: EMERGENCY_MODE
error_code: NO_ERROR
gear_location: GEAR_DRIVE
header:
  timestamp_sec: 1643794701.751904249
  module_name: canbus
  sequence_num: 616192
wheel_speed:
  wheel_spd_rr: 0.838000000
  wheel_spd_rl: 0.838000000
  wheel_spd_fr: 0.806000000
  wheel_spd_fl: 0.806000000
surround:
  sonar01: 0.000000000
battery_soc_percentage: 78
```

3. 对can通讯进行测试

在本地shell输入`candump can0`，观察结果：

- 如果只有`10x`或只有`50x`的返回值，则证明can没有成功连接，请再次检查
- 如果有`10x`和`50x`的返回值，则证明can通讯正常。

2.1.3 实车相关控制与连接测试

1. 将车辆的四个轮子使用千斤顶抬起，**使车轮悬空**，便于观察控制情形；



2. 将遥控器的手柄切换至**自动驾驶模式**；

3. 进入Apollo系统，（docker内）执行：

```
bash scripts/canbus.sh # 启动canbus模块，如果已经启动了则跳过
```

```
bash scripts/canbus_teleop.sh # 启动键盘控制界面
```

4. 对应的指令如下，注意此时轻按，**避免一次性加太多**：

m+0: 重启 # 依次输入m和0，不输入加号，启动和挂挡同理

m+1: 启动

g+1: 挂前进挡

a: 车轮左转 # 按几次a，看看车轮是否转动

d: 车轮右转 # 按几次d，看看车轮是否转动

w: 油门增加一档 # 按几次w，看车辆是否前进

s: 刹车增加一档 # 按几次s，看车辆是否停下来

- **注意**：在低速模式下，各车轮转速并不相同，这属于正常现象。
- 完成Canbus驱动调试后，将车辆驾驶至空旷室外场地进行接下来的操作。

2.2 启动TF(Transform)模块

2.2.1 配置文件的修改

TF模块以/tf_static话题进行发布，维系着整个系统的TF树（参考ros）。启动该模块之前，需要明确：

- lidar对应的坐标系名称，如lidar32；
- camera对应的坐标系名称，如front_6mm；
- gnss对应的坐标系名称，如novatel；

以及多个外参文件的位置，包括：

- lidar32_novatel_extrinsics.yaml
- novatel_localization_extrinsics.yaml

- front_6mm_extrinsics.yaml

上述文件的修改在modules/transform/conf/static_transform_conf.pb.txt中。为了方便起见，也可以直接创建/修改modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/中对应的数据。以下是样例的示范：

```
# 这里的frame_id是指parent frame id
# lidar 相对GNSS(novatel)的位姿
extrinsic_file {
  frame_id: "novatel"
  child_frame_id: "lidar32"
  file_path:
"/apollo/modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/lidar_params/lidar32_novatel_extrinsics.
yaml"
  enable: true
}

# GNSS (novatel)相对localization的位姿
extrinsic_file {
  frame_id: "localization"
  child_frame_id: "novatel"
  file_path: "/apollo/modules/localization/msf/params/novatel_localization_extrinsics.yaml"
  enable: true
}

# 前端相机(front_6mm)相对lidar的位姿
extrinsic_file {
  frame_id: "lidar32"
  child_frame_id: "front_6mm"
  file_path: "/apollo/modules/perception/data/params/front_6mm_extrinsics.yaml"
  enable: true
}
```

2.2.2 启动Transform模块

直接启动launch文件即可：

```
cyber_launch start modules/transform/launch/static_transform.launch
# 用dag启动与之等效，建议牢记
# mainboard -d modules/transform/launch/static_transform.dag
```

2.3 启动速腾32线激光传感器(robosense rshellios)

2.3.1 驱动配置

1. 组合并连线。
2. 修改本地IP和端口。

- 修改本地静态 IP 为192.168.1.102，修改完毕后**开关网络**使其生效。修改IP的目的是本机和传感设备保持在同一个IP段下
- 检查：可以通过新建终端，输入**ifconfig -a**，查看当前 IP 是否变化。

3. 【进阶】Lidar的同步线制作与固件刷新

为了和组合惯导进行时间同步，需要对雷达固件进行一定的调整，这部分详见：[同步线制作.pdf](#)

2.3.2 Apollo驱动启动

雷达选型不同导致最终的文件有一定差异，这里仅以速腾32线激光雷达为例进行讲解。

1. 创建/修改配置文档*

- 激光驱动配置文档：[modules/drivers/lidar/conf/rshelios.pb.txt](#)。注意，这里**是否启动雷达自身时钟**与时间同步问题有关，将会在后面详细说明。

```
model: "RSHELIOS" # 32线激光雷达模型
frame_id: "lidar32" # lidar所发出的frame_id
ip: "192.168.1.200" # 雷达默认的ip
msop_port: 6699 # 雷达默认的两个端口号1
difop_port: 7788 # 雷达默认的两个端口号2
echo_mode: 1
start_angle: 0
end_angle: 360
min_distance: 0
max_distance: 200
cut_angle: 0
pointcloud_channel: "/apollo/sensor/lidar32/PointCloud2" # 点云通道名称
scan_channel: "/apollo/sensor/lidar32/Scan" # 点云通道名称
use_lidar_clock: false # 是否使用雷达自身的时钟
```

- 补偿点云配置文档：[modules/drivers/lidar/conf/rshelios_compensator.pb.txt](#)

```
world_frame_id: "world" # tf树查询名称
transform_query_timeout: 0.02 # 查询容许延时
output_channel: "/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2" # 输入点云名称
```

2. 启动雷达驱动命令：

- 创建/修改dag文件：[modules/drivers/lidar/dag/lidar.dag](#)。需要注意**config_file_path**路径和名称是否和自身环境一致。

```
module_config {
  module_library: "/apollo/bazel-
bin/modules/drivers/lidar/robosense/librobosense_driver_component.so"
  components {
```



```

class_name : "RobosenseComponent"
config {
  name : "RSHELIOS_Driver"
  config_file_path : "/apollo/modules/drivers/lidar/conf/rshelios.pb.txt"
}
}
}

module_config {
  module_library : "/apollo/bazel-
bin/modules/drivers/lidar/velodyne/compensator/libvelodyne_compensator_comp
onent.so"
  components {
    class_name : "CompensatorComponent"
    config {
      name : "RSHELIOS_Compensator"
      config_file_path :
"/apollo/modules/drivers/lidar/conf/rshelios_compensator.pb.txt"
      readers {channel: "/apollo/sensor/lidar32/PointCloud2"}
    }
  }
}
}

```

- 创建/修改launch文件：modules/drivers/lidar/launch/driver.launch

将velodyne_lidar.dag修改为lidar.dag

```

<cyber>
  <module>
    <name>lidar_driver</name>
    <dag_conf>/apollo/modules/drivers/lidar/dag/lidar.dag</dag_conf>
    <process_name>lidar_driver</process_name>
  </module>
</cyber>

```

- 启动launch文件：

```
cyber_launch start modules/drivers/lidar/launch/driver.launch
```

或者启动dag文件：（两种方式等价，选择任一均可）

```
mainboard -d modules/drivers/lidar/dag/lidar.dag
```

3. 验证雷达驱动是否成功

- 终端(docker内部)输入：cyber_monitor，查看是否存在以下三个通道：

```
/apollo/sensor/lidar32/PointCloud2      10.00
/apollo/sensor/lidar32/Scan              10.00
/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2  10.00
```

各通道的含义如下：

- **Scan**：对应ROS中的`sensor_msgs/LaserScan`类型，表示扫描点到雷达中心的距离，Apollo系统中不使用该通道。
 - **PointCloud2**：对应ROS中的`std_msgs/PointCloud2`类型，表示采集后未经过任何处理的点云信息，一般也不会被直接当做系统输入。
 - **compensator/PointCloud2**：原始数据经过**运动去畸变**后矫正的点云数据，一般Apollo使用该通道作为输入。**该点云的发布依赖gnss或者定位的tf树信息**（提供运动信息），因此如果仅启动雷达时该通道没有输出属于正常现象。
- 终端输入：`cyber_visualizer`，订阅`/apollo/sensor/lidar32/compensator/PointCloud2`话题，点击**Play**按钮后窗口出现点云成像。

2.4 启动工业相机(LI-USB3.0-AR023ZWDR CS-6mm)

2.4.1 安装所需要的依赖(docker外部)

此部分仅需在车辆初次安装时配置，后续使用和学习可跳过。

```
sudo apt update

sudo apt install v4l-utils
```

2.4.2 驱动配置(docker外部)

此部分仅需在车辆初次安装时配置，后续使用和学习可跳过。如果相机启动失败或相机感知模块开启失败，可**排查本部分**

1. 记录相机接入端口

当相机接入我们的电脑中，在`/dev`这个目录下会显示我们接入的相机设备，作为我们访问外部设备的端口。首先确定外接相机对应的端口：

```
v4l2-ctl --list-devices
```

通过`v4l2-ctl`指令能罗列出所有camera设备。出现如下界面时正确：（其中**AR023ZWDR**为自带相机，多余的相机可以忽略）

```
t@t-Default-string:~$ v4l2-ctl --list-devices
AR023ZWR (usb-0000:00:14.0-12):
    /dev/video0
    /dev/video1
```

2. 建立软连接

界面显示AR023ZWR相机设备端口为/dev/video0和/dev/video1。apollo 在程序中的设定相机的端口名称为/dev/camera/6mm，因此需要通过建立规则文件配置的方法将这两者建立软连接，方法如下：

- 查看摄像头所连接的USB端口对应的端口号：

```
ll /sys/class/video4linux/video*
```

```
t@t-Default-string:~$ ll /sys/class/video4linux/video*
lrwxrwxrwx 1 root root 0 1月 28 10:02 /sys/class/video4linux/video0 -> ../../devices/pci0000:00/0000:00:14.0/usb2/2-3/2-3:1.0/video4linux/video0/
lrwxrwxrwx 1 root root 0 1月 28 10:02 /sys/class/video4linux/video1 -> ../../devices/pci0000:00/0000:00:14.0/usb2/2-3/2-3:1.0/video4linux/video1/
```

记录相机的端口号【诸如`2-3:1.0`的字段】。注意：后续操作每次要插入相同的USB口才能保持生效。

- 编辑相机规则文件：

```
sudo vim /etc/udev/rules.d/99-webcam.rules
```

在文件中添加以下内容：（注意KERNELS对应上一个步骤的字段）

```
SUBSYSTEM=="video4linux", SUBSYSTEMS=="usb", KERNELS=="2-3:1.0",
ATTR{index}=="0", MODE="0666", SYMLINK+="camera/front_6mm", OWNER="apollo",
GROUP="apollo"
```

- 执行如下命令，使配置的规则文件在本地系统生效：

```
bash ~/apollo/docker/setup_host/setup_host.sh # 根据apollo位置确定对应的目录及文件
sudo reboot # 重启工控机
```

- 开机后检查规则文件是否生效：

```
ls /dev/camera*
```

出现front_6mm，我们已经将/dev/camera/front_6mm链接到/dev/video0下了。

2.4.3 Apollo驱动启动(docker内部)

Apollo支持针孔、鱼眼相机等相机模型，支持多相机进行搭配。相机配置文件位于modules/drivers/camera/conf/camera_front_6mm.pb.txt中，包含对相机自动曝光，自动对焦、白平衡等一系列参数。由于我们使用的相机和官方配置一致，因此不需要做过多的修改。

1. 启动camera驱动

```
# camera.dag
cyber_launch start modules/drivers/camera/launch/camera.launch
```

注意：仅使用一个相机时会出现Cannot identify '/dev/camera/front_12mm': 2, No such file or directory的错误，但是不影响正常使用。

2. 对Apollo输出通道进行检查

- 启动cyber_visualizer，点击Add Image并订阅相关话题，观测效果图像或者数据信息
- 启动cyber_monitor：查看是否存在以下两个个通道：

```
/apollo/sensor/camera/front_6mm/image          15.00
/apollo/sensor/camera/front_6mm/image/compressed 15.00
```

2.5 启动华测组合导航CGI-410

2.5.1 组合导航系统的组成

由于篇幅限制，这里仅仅介绍关键组件，更多详细部分参考华测组合导航CGI-410[说明书]。

- 蘑菇头天线及天线转接线：**分为主天线（又称为定位天线，由GNSS1接出）、第二天线（又称定向天线，由GNSS2接出）。定位天线位于车辆后方，定向天线位于车辆的前方。
- 4G信号天线：**用于接受、发布4G信号；
- 组合惯导处理主机：**接收RTK或者GNSS信号，并与IMU数据进行融合与矫正。四个指示灯代表的含义如下：红灯-电源灯，常亮表示已接通电源；蓝灯-卫星灯，每隔5s闪烁1次或N次分别代表正在搜星/搜到N颗卫星；橙灯-差分灯，闪烁表示有差分数据或WIFI连接，常亮代表卫星固定状态；绿灯-状态灯，常亮表示标定、初始化已完成。
- 19Pin航空接插线：**包括网口线x1（与上位机进行通讯的），2A电源线x1，RS232串口线x3（时间同步、轮速计输入、串口调试使用），PPS授时线（时间同步）等。

2.5.2 驱动配置(学员实操)

1. 拼装组合并连线。

- 航空接插线中（与COM口相连）连线时必要连接为：**电源线【12V，2A，与车载相连接】**、**网口线【与工控机相连接】**和**授时线【可选，与激光相连接】**；其余相关线为串口调试使用，可以不

连接。

- 组合惯导处理主机需要放置SIM卡，便于和基站进行通讯。
- 安装时需要注意：GNSS1引出的定位天线位于车辆后方，GNSS2引出的定向天线位于车辆的前方，否则不能正确定位。

2. 配置组合导航系统相关参数

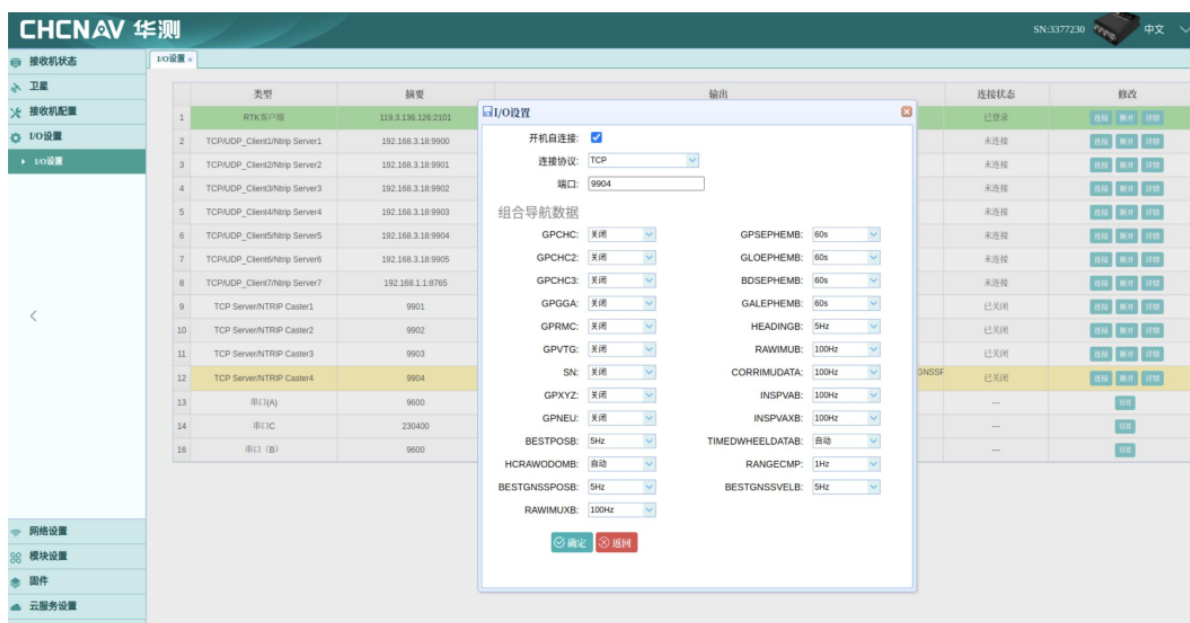
1). 修改本地静态 IP 为192.168.33.103，修改完毕后开关网络使其生效。

2). 登录配置网页：

- 打开电脑 WiFi，搜索名为 GNSS-XXXXXXX的无线网络。其中 XXXXXXX 代表你的接收器的 SN 号。SN 号位于处理主机标签上，在多辆车同时存在的情况下一定要多加核查，以免产生干扰。
- 建立WiFi连接，默认密码是12345678。
- 打开浏览器，在地址栏输入 192.168.200.1，弹出华测登录界面，账号：admin，密码：password；

3). 配置IO输出：IO设置决定着组合惯导对外输出的信息、格式及通讯协议。

- RTK信息：当前订阅的RTK服务使用精度为亚厘米级，课程中给出账户和密码供大家测试。
- 组合惯导信息：在TCP Serve/NTRIP Caster4配置输出 Novatel 协议数据，端口9904；具体细节详见下图：



- 时间同步信息：在串口A配置中设置波特率为9600 bps，输出协议为GPRMC，输出频率为1 Hz，RTK转发为自动。这是为了后续便于时间同步所使用的。

4). 设置输出IP：由于我们计划把本地对应的IP字段修改为了192.168.33.103，因此，为了保证数据收发位于同一频段内，需要调整组合惯导所在的IP。在CGI-410的网络设置-有线网络中把组合导航 IP 地址静态更改为 192.168.33.110。

5). 开启移动网络：点击模块设置 -> WIFI 设置，可以开启Internet，连接接收机 WiFi 的载体就可以使用接收机的网络进行上网，可以关闭 Internet 以免流量用超；

6). **修改组合输出中心**：在**惯导 -> 惯导配置 -> 融合数据设置**中，将输出参考点位从**天线相位中心**调整为**IMU中心**。这里表示以IMU本身的位置作为惯导数据输出的参考点。

7). **惯导设置**：参考说明书3.2，杆臂值表示定位天线到IMU的距离。以惯导主机为坐标系原点（右前上），使用直尺测量定位天线与惯导主机的距离 $[x,y,z]$ 并填入**惯导到GNSS定位天线的杆臂**这一项。修改为**使用天线数**为双天线，**差分**为RTK，**工作模式**为低速车辆，轮距分别为左右轮距和前后轮距（即轴距），点击保存对修改进行记录。

8). **重启接收机**：上述操作步骤后，需要重启接收机。在**接收机配置-重启接收机**中确定重启接收机后需要断电重启，关闭工控机，关闭整车电源。

3. 组合惯导的初始化

进行参数配置之后，需要进行初始化操作。首先需要检查**惯导-惯导状态**中的数据状态，可能出现如下情况：此时组合信息和INS中没有出现IMU系统，GNSS中也没有出现定位、定向信息。

启动车辆，控制其绕8字运动，并加入加速、减速进行激励。观察此时IMU被激励成功，进入初始化模式；

再控制小车绕圈5-10分钟左右，初始化完毕，INS模式调整为组合导航，此时初始化完毕。

4. 激光授时线连接

详见附录：**A 时序同步**

2.5.3 Apollo驱动启动

1. 修改gnss配置

配置文件为：**modules/drivers/gnss/gnss_conf.pb.txt**。当选择车型为**dev_kit_pix_hooke**时，还需要修改**modules/calibration/data/dev_kit_pix_hooke/gnss_conf/gnss_conf.pb.txt**，以保证每次启动后都会生效。

```
data {
  format: NOVATEL_BINARY # gnss 协议类型
  tcp {
    address: "192.168.33.110" # gnss ip
    port: 9904 # gnss 端口号
  }
}

rtk_solution_type: RTK_RECEIVER_SOLUTION # 接受RTK求解或者软件求解RTK
imu_type: CPT_XW5651 # IMU型号，支持类型见novatel_messages.h
proj4_text: "+proj=utm +zone=50 +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs" # proj4库相关字符串

tf {
  frame_id: "world"
  child_frame_id: "novatel"
} # gnss所发布的tf树
```

```
# If given, the driver will send velocity info into novatel one time per second
wheel_parameters: "SETWHEELPARAMETERS 100 1 1\r\n"

gpsbin_folder: "/apollo/data/gpsbin"
```

关于文件地理坐标系的解析详见附录B：Apollo中的各个坐标系。

2. 启动与监控

- 启动cyber_monitor。启动GPS模块：

```
cyber_launch start modules/drivers/gnss/launch/gnss.launch
```

- 检查如下channel：

```
# 原始IMU数据
/apollo/sensor/gnss/raw_imu      100.00
# 大地坐标系下的GNSS定位信息
/apollo/sensor/gnss/best_pose    10.00
# ENU坐标系下的矫正IMU信息，是IMU去除重力因素和bias后的值
/apollo/sensor/gnss/corrected_imu 100.00
# ENU坐标系下的GNSS里程计信息，表示东北天坐标系下IMU坐标系（右前上）的位姿和速度
/apollo/sensor/gnss/odometry     100.00
# 惯性惯导状态
/apollo/sensor/gnss/ins_status   10.00
# 车辆定位状态
/apollo/sensor/gnss/ins_stat     10.00
```

3. 验证GNSS质量（重要）

- /apollo/sensor/gnss/best_pose中sol_type: NARROW_INT，表示GNSS达到为窄巷固定解，即为可用的厘米级定位。
- /apollo/sensor/gnss/ins_stat 中 pos_type: 56，表示进入了良好的定位状态 (RTK_FIXED)，可以用于定位。
- /apollo/sensor/gnss/ins_status中 type: GOOD，表示惯性导航状态良好，可用于定位。

2.5.4 GNSS系统时间说明*

- 关于header.timestamp与measurement_time：

measurement_time表示gps测量的时间，header.timestamp表示gps信息达到系统的时间。可以看出测量时间的打头为13xxxx，但是系统时间却是16xxxx打头，这是因为测量时间是采用了gps时间，系统时间采用了北京当地的UTC时间。

- 关于/apollo/sensor/gnss/odometry的时间戳：

尽管该通道下的`header.timestamp`也是16xxxxx开头，但是该时间戳实际上是由gps测量时间转换到北京当地UTC时间后得到的，因此每次运行时需要检查该时间是否与系统时间存在差异。当存在差异时，则可能是系统时间没有矫正，或者gnss未完成同步。