



## Rover X-建图及定位导航操作指南



编写	杨秋生、毛伟、肖俊杰
日期	2023年7月
版本	V1.0, 第1次发布
审核	程军
批准	汪步云

芜湖云擎机器人科技有限公司

---

## 目录

1. 理论介绍.....	3
1.1 Gmapping SLAM.....	3
1.2 AMCL 定位.....	3
1.3 Dijkstra 全局路径规划.....	4
1.4 TEB 局部路径规划.....	4
2. 实践调试.....	5
2.1 前期测试.....	5
2.1.1 底层控制及数据接收测试.....	5
2.1.2 激光雷达测试.....	15
2.1.3 机械臂控制测试.....	17
2.2 建图及定位导航调试.....	19
2.2.1 建图调试.....	19
2.2.2 定位导航调试.....	23
2.2.3 任务点巡航调试.....	26

# 1. 理论介绍

## 1.1 Gmapping SLAM

Gmapping 是一种基于 2D 激光雷达使用 RBPF(Rao-Blackwellized Particle Filters) 算法完成二维栅格地图构建的 SLAM 算法。Gmapping 可以实时构建室内环境地图，在小场景中计算量少，且地图精度较高，对激光雷达扫描频率要求较低。图 1 是 Gmapping 订阅的话题。

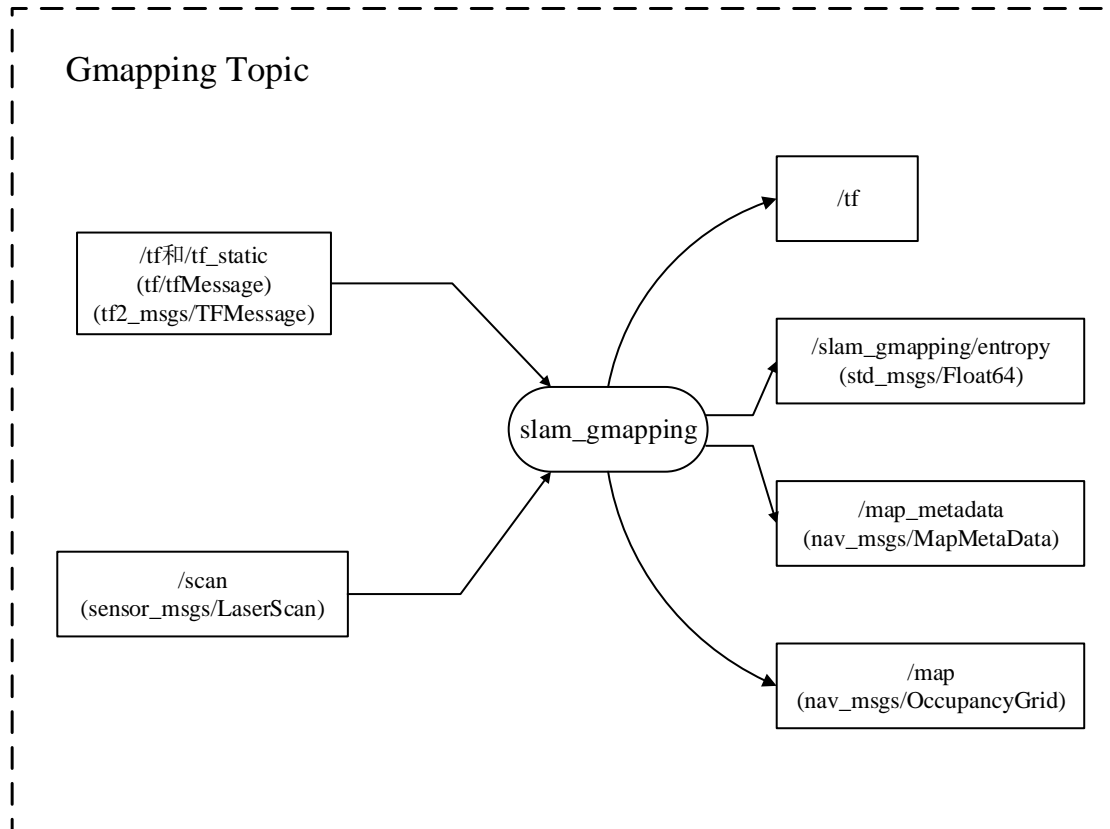


图 1 Gmapping Topic

## 1.2 AMCL 定位

AMCL(adaptive Monte Carlo Localization) 是用于 2D 移动机器人的概率定位系统，它实现了自适应（或 KLD 采样）蒙特卡洛定位方法，可以根据已有地图使用粒子滤波器推算机器人位置。可以通过估算机器人在地图坐标系下的姿态，再结合里程计提高定位准确度，相对于里程计只通过里程计数据实现 `/odom_frame` 与 `/base_frame` 之间的坐标变换而言 AMCL 可以提供 `/map_frame`、`/odom_frame` 与 `/base_frame` 之间的坐标变换，图 2 是 AMCL 的坐标变换图。AMCL 解决了机器人绑架问题，它会在发现粒子们的平均分数突然降低的时候，在全局

再重新撒一些粒子；也解决了粒子数固定的问题，因为有时候当机器人定位差不多得到了时候，比如这些粒子都集中在一块了，还要维持这么多的粒子没必要，这个时候粒子数可以少一点了。

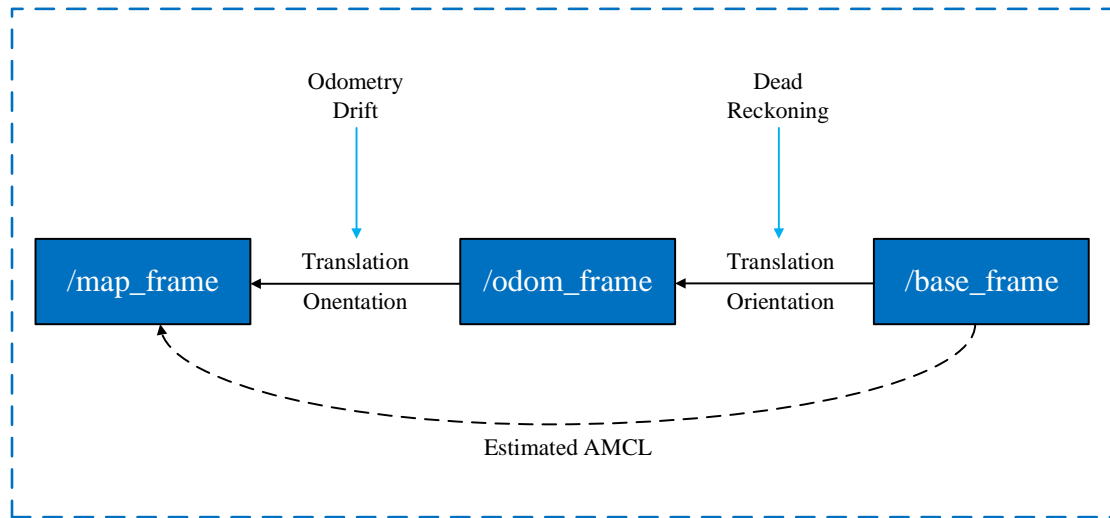


图 2 是 AMCL 坐标变换

### 1.3 Dijkstra 全局路径规划

Dijkstra 算法是全局路径规划的算法，Dijkstra 算法是从一个顶点到其余各顶点的最短路径算法是全局路径规划，解决的是有权图中最短路径问题。Dijkstra 算法主要特点是从起始点开始，采用贪心算法的策略，每次遍历到始点距离最近且未访问过的顶点的邻接节点，直到扩展到终点为止。Dijkstra 算法的流程图如图 3 中（1）所示。

### 1.4 TEB 局部路径规划

TEB 算法是局部路径规划的算法，TEB 算法是针对全局路径规划器生成的初始轨迹进行后续修正，从而优化机器人的运动轨迹，在轨迹优化过程中，该算法拥有多种优化目标，包括但不限于：整体路径长度、轨迹运行时间、与障碍物的距离、通过中间路径点以及机器人动力学、运动学以及几何约束的符合性。TEB 算法的流程图如图 3 中（2）所示。

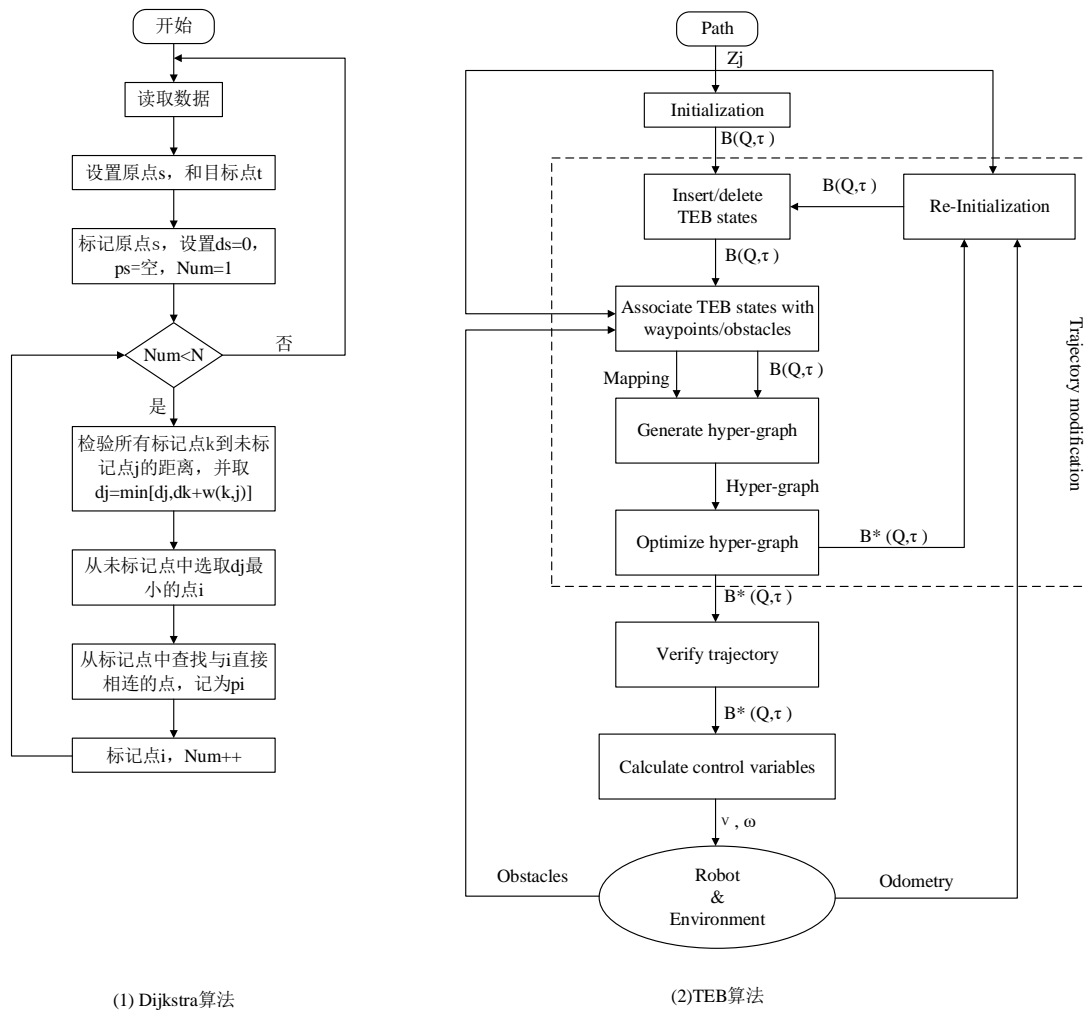


图 3 路径规划算法

## 2. 实践调试

### 2.1 前期测试

#### 2.1.1 底层控制及数据接收测试

底层通信节点用来和 stm32 通信，可以读取并以 ros 话题的形式发布 imu、电机编码器数据，同时可以向 stm32 发送速度信息来控制电机与舵机的运动。

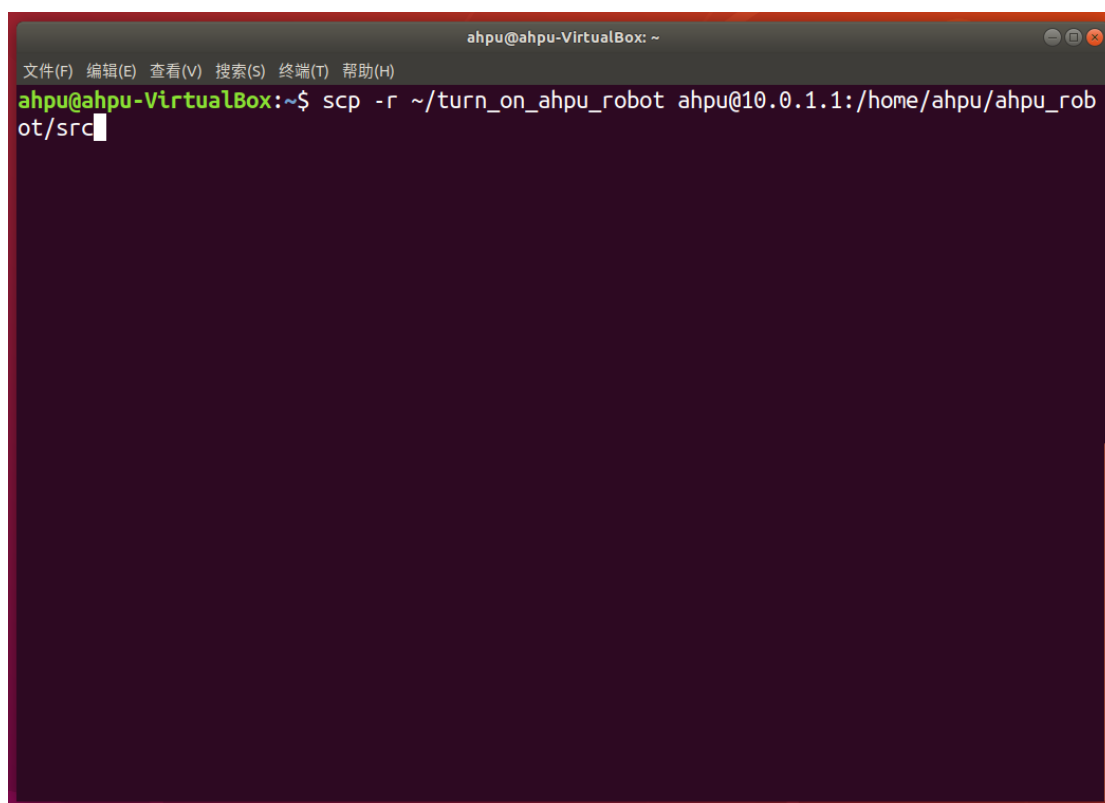
① 执行以下命令把底层通信节点的功能包 turn\_on\_ahpu\_robot 复制到工控机用户目录下的 ahpu\_robot/src 中。

```
scp -r {要上传的文件路径} {工控机用户名}@{工控机 IP}:/home/{工控机用户名}/ahpu_robot/src
```

例如：

```
scp -r ~/turn_on_ahpu_robot ahpu@10.0.1.1:/home/ahpu/ahpu_robot/src
```

具体操作如图 4 所示。



```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ scp -r ~/turn_on_ahpu_robot ahpu@10.0.1.1:/home/ahpu/ahpu_robot/src
```

图 4 上传功能包到工控机

② 通过 ssh 连接工控机

在终端运行下列命令连接工控机：

```
ssh {user}@{ip}
```

- {user}为工控机用户名
- {ip}为工控机 ip 地址

图 5 为远程连接终端界面。

```
ahpu@ahpu-T100: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1 首次连接需要输入yes
The authenticity of host '10.0.1.1 (10.0.1.1)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is SHA256:+gm2BDsGGudFZbae4f9q/L/zbr...uh+m889EsZi9BSQ.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '10.0.1.1' (ECDSA) to the list of known hosts.
ahpu@10.0.1.1's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

357 个可升级软件包。
297 个安全更新。
Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings

Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Wed Jul 26 09:34:16 2023 from 10.0.1.251
ahpu@ahpu-T100:~$
```

图 5 远程连接

### ③ 编译功能包

#### (i) 安装依赖

在终端依次输入下列命令安装编译所需要的依赖：

```
sudo apt install ros-melodic-serial \
ros-melodic-imu-tools \
ros-melodic-joint-state-publisher \
ros-melodic-robot-state-publisher
```

#### (ii) 进入工作空间

```
cd ~/ahpu_robot
```

#### (iii) 编译

```
catkin_make
```

具体操作如图 6 所示。

```
ahpu@ahpu-T100: ~/ahpu_robot
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1
ahpu@10.0.1.1's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

357 个可升级软件包。
297 个安全更新。

Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings

Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Wed Jul 26 10:24:35 2023 from 10.0.1.251
ahpu@ahpu-T100:~$ cd ~/ahpu_robot/
ahpu@ahpu-T100:~/ahpu_robot$ catkin_make
```

图 6 编译功能包

#### ④ 配置串口

(i) 连接工控机，把用户加入串口用户组 dialout

在终端输入下列命令：

```
sudo adduser ${USER} dialout
```

(ii) 执行串口配置脚本

在终端输入下列命令，执行串口配置脚本：

```
sudo sh ~/ahpu_robot/src/turn_on_ahpu_robot/scripts/ahpu_udev.sh
```

(iii) 重启工控机

在终端执行以下命令，重启工控机：

```
sudo reboot
```

操作如图 7 所示。



```
ahpu@ahpu-T100: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1  
ahpu@10.0.1.1's password:  
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)  
  
* Documentation:  https://help.ubuntu.com  
* Management:    https://landscape.canonical.com  
* Support:       https://ubuntu.com/advantage  
  
* Canonical Livepatch is available for installation.  
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:  
  https://ubuntu.com/livepatch  
  
357 个可升级软件包。  
297 个安全更新。  
  
Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings  
  
Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.  
Last login: Wed Jul 26 10:29:08 2023 from 10.0.1.251  
ahpu@ahpu-T100:~$ sudo adduser ${USER} dialout  
[sudo] ahpu 的密码:  
用户"ahpu"已经属于"dialout"组。  
ahpu@ahpu-T100:~$ sudo sh ~/ahpu_robot/src/turn_on_ahpu_robot/scripts/ahpu_udev.sh  
ahpu@ahpu-T100:~$ sudo reboot
```

图 7 配置串口

⑤ 将启动键盘控制节点的功能包 `ahpu_robot_rc` 复制到虚拟机的 `~/ahpu_robot/src` 下

⑥ 编译功能包

(i) 进入工作空间

```
cd ~/ahpu_robot
```

(ii) 编译

```
catkin_make
```

⑦ 打开新终端，通过 `ssh` 远程连接工控机

⑧ 启动底层通信节点

运行下列命令启动底层通信节点：

```
roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control.launch
```

具体操作如图 8 所示。

```
/home/ahpu/ahpu_robot/src/turn_on_ahpu_robot/launch/base_control.launch http://localhost:11311
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1
ahpu@10.0.1.1's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

357 个可升级软件包。
297 个安全更新。

Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings

Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Wed Jul 26 10:30:59 2023 from 10.0.1.251
ahpu@ahpu-T100:~$ roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control.launch
... logging to /home/ahpu/.ros/log/d5fec53e-2b5c-11ee-84c8-dc2148f39ab7/roslaunch-ahpu-T100-2096.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
```

图 8 启动底层通信

⑨ 新开一个终端，启动键盘控制节点

在终端输入下列命令启动 Rover X 键盘控制节点：

`roslaunch ahpu_robot_rc keyboard_teleop.launch`

具体操作见图 9 所示。

```

/home/ahpu/ahpu_robot/src/ahpu_robot_rc/launch/keyboard_teleop.launch http://10.0.1.1:11311
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ roslaunch ahpu_robot_rc keyboard_teleop.launch
... logging to /home/ahpu/.ros/log/51119206-2b5d-11ee-84c8-dc2148f39ab7/roslauch
h-ahpu-VirtualBox-2166.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

started roslaunch server http://10.0.1.251:36709/

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /roscdistro: melodic
* /rosversion: 1.14.13

NODES
/
  turtlebot_teleop_keyboard (ahpu_robot_rc/turtlebot_teleop_key.py)

ROS_MASTER_URI=http://10.0.1.1:11311

process[turtlebot_teleop_keyboard-1]: started with pid [2180]

```

图 9 启动键盘控制

⑩ Rover X 小车键盘控制键盘介绍

- u / i / o: 左前拐/前进/右前拐
- m / , / .: 左后拐/后退/右后拐
- q / z: 加速/减速
- w / x: 线加速/线减速
- e / c: 角加速/角速度

具体如图 10 所示。

```
/home/ahpu/ahpu_robot/src/ahpu_robot_rc/launch/keyboard_teleop.launch http://10.0.1.1:11311
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
/
  turtlebot_teleop_keyboard (ahpu_robot_rc/turtlebot_teleop_key.py)

ROS_MASTER_URI=http://10.0.1.1:11311

process[turtlebot_teleop_keyboard-1]: started with pid [2180]

Control Your Turtlebot!
-----
Moving around:
  u   i   o
  j   k   l
  m   ,   .

q/z : increase/decrease max speeds by 10%
w/x : increase/decrease only linear speed by 10%
e/c : increase/decrease only angular speed by 10%
space key, k : force stop
anything else : stop smoothly
b : switch to OmniMode/CommonMode
CTRL-C to quit

currently:      speed 0.2      turn 0.5
█
```

图 10 键盘控制介绍

## 11 查看 odom 数据

在虚拟机新开一个终端，输入下列命令查看 odom 数据

```
rostopic echo /odom
```

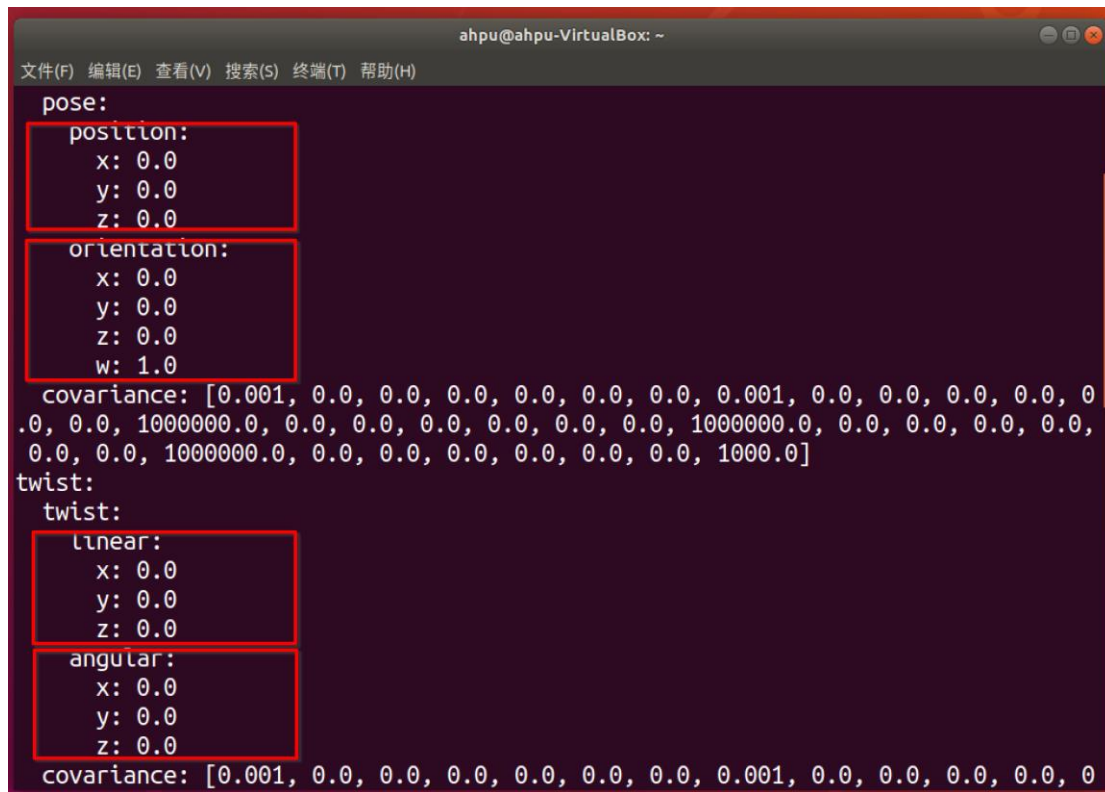
具体操作如图 11 所示。

```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ rostopic echo /odom
header:
  seq: 198
  stamp:
    secs: 1690339133
    nsecs: 260577705
  frame_id: "odom_combined"
child_frame_id: "base_footprint"
pose:
  pose:
    position:
      x: 0.0
      y: 0.0
      z: 0.0
    orientation:
      x: 0.0
      y: 0.0
      z: 0.0
      w: 1.0
  covariance: [0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000.0]
twist:
  twist:
```

图 11 查看 odom 数据

数据格式如图 12 所示。

- position: x, y, z 方向上的位移;
- orientation: 四元数;
- linear: x, y, z 方向上的线速度;
- angular: x, y, z 方向上的角速度。



```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
pose:
  position:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
  orientation:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
    w: 1.0
  covariance: [0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000.0]
  twist:
    linear:
      x: 0.0
      y: 0.0
      z: 0.0
    angular:
      x: 0.0
      y: 0.0
      z: 0.0
  covariance: [0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.001, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000.0]
```

图 12 odom 数据格式

## 12 查看 imu 数据

在虚拟机新开一个终端，输入下列命令查看 imu 数据

```
rostopic echo /imu
```

具体操作如图 13 所示。

```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ rostopic echo /imu
header:
  seq: 248
  stamp:
    secs: 1690339209
    nsecs: 108613425
  frame_id: "gyro_link"
orientation:
  x: -0.0279746335
  y: -0.00935003347695
  z: -0.000699224125128
  w: 0.997877299786
orientation_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]
angular_velocity:
  x: -0.000799320056103
  y: -0.000266440009
  z: 0.0
angular_velocity_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]
linear_acceleration:
  x: 0.167480140924
  y: -0.533543884754
  z: 9.5559387207
```

图 13 查看 imu 数据

数据格式如图 14 所示。

- orientation: 四元数;
- angular\_velocity: x, y, z 方向上的角速度;
- linear\_acceleration: x, y, z 方向上的线加速度。

```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ rostopic echo /imu
header:
  seq: 248
  stamp:
    secs: 1690339209
    nsecs: 108613425
  frame_id: "gyro_link"
orientation:
  x: -0.0279746335
  y: -0.00935003347695
  z: -0.000699224125128
  w: 0.997877299786
orientation_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]
angular_velocity:
  x: -0.000799320056103
  y: -0.000266440009
  z: 0.0
angular_velocity_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]
linear_acceleration:
  x: 0.167480140924
  y: -0.533543884754
  z: 9.5559387207
```

图 14 imu 数据格式

## 2.1.2 激光雷达测试

① 把激光雷达驱动的功能包 `lsn10_p` 复制到工控机用户目录下的 `ahpu_robot/src` 中

② ssh 连接工控机并编译功能包

(i) 进入工作空间

```
cd ~/ahpu_robot
```

(ii) 编译

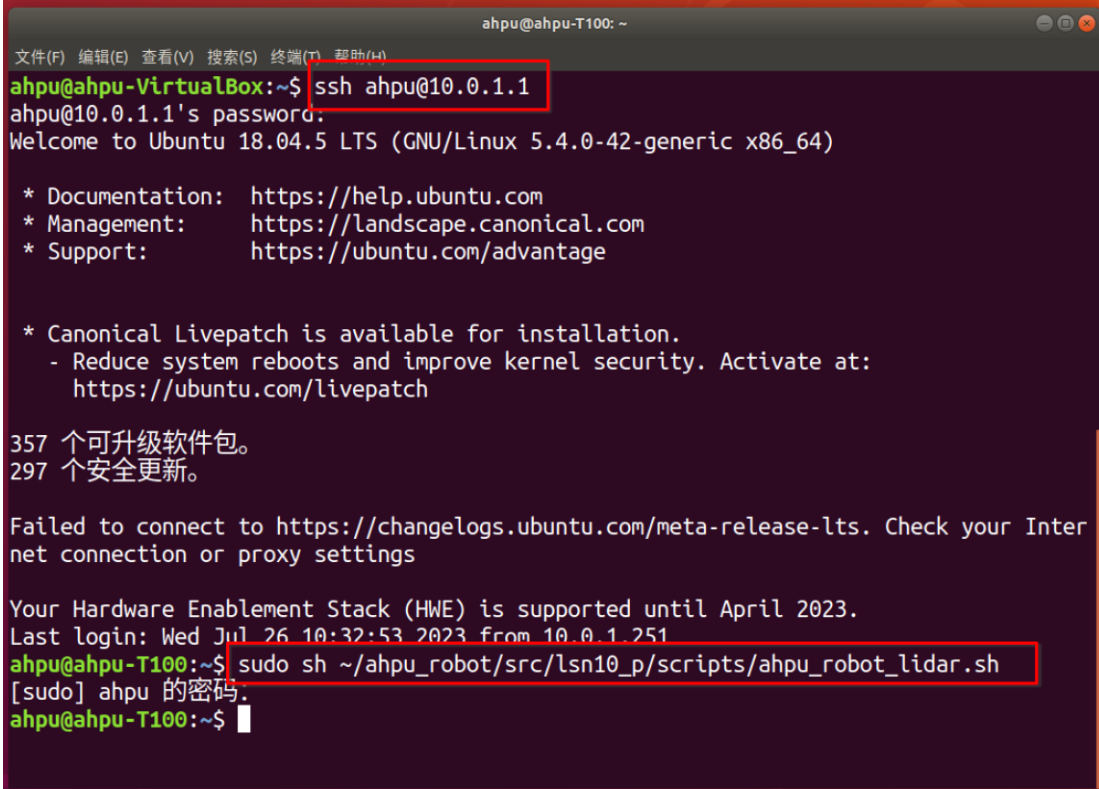
```
catkin_make
```

③ 执行激光雷达串口配置脚本

执行以下命令配置激光雷达串口：

```
sudo sh ~/ahpu_robot/src/lsn10_p/scripts/ahpu_robot_lidar.sh
```

具体操作如图 15 所示。



The image shows a terminal window with the following content:

```
ahpu@ahpu-T100: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1  
ahpu@10.0.1.1's password:  
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)  
  
* Documentation:  https://help.ubuntu.com  
* Management:    https://landscape.canonical.com  
* Support:       https://ubuntu.com/advantage  
  
* Canonical Livepatch is available for installation.  
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:  
  https://ubuntu.com/livepatch  
  
357 个可升级软件包。  
297 个安全更新。  
  
Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings  
  
Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.  
Last login: Wed Jul 26 10:32:53 2023 from 10.0.1.251  
ahpu@ahpu-T100:~$ sudo sh ~/ahpu_robot/src/lsn10_p/scripts/ahpu_robot_lidar.sh  
[sudo] ahpu 的密码:  
ahpu@ahpu-T100:~$
```

图 15 配置激光雷达串口

④ 启动激光雷达驱动节点

输入下列命令启动激光雷达驱动节点：

```
roslaunch lsn10_p lsn10_p.launch
```

具体操作如图 16 所示。

```
/home/ahpu/ahpu_robot/src/lsn10_p/launch/lsn10_p.launch http://localhost:11311
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1
ahpu@10.0.1.1's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

357 个可升级软件包。
297 个安全更新。

Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings

Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Wed Jul 26 10:32:53 2023 from 10.0.1.251
ahpu@ahpu-T100:~$ sudo sh ~/ahpu_robot/src/lsn10_p/scripts/ahpu_robot_lidar.sh
[sudo] ahpu 的密码:
ahpu@ahpu-T100:~$ roslaunch lsn10_p lsn10_p.launch
... logging to /home/ahpu/.ros/log/6a9b9194-2b5e-11ee-84c8-dc2148f39ab7/roslaunch-ahpu-T100-2640.log
```

图 16 启动激光雷达驱动

⑤ 启动 rviz，添加 laserscan 组件

在虚拟机新开一个终端，输入 rviz 命令，启动 rviz，并添加 laserscan 可视化组件，具体操作如图 17 所示。图中彩色点云为雷达点云图。



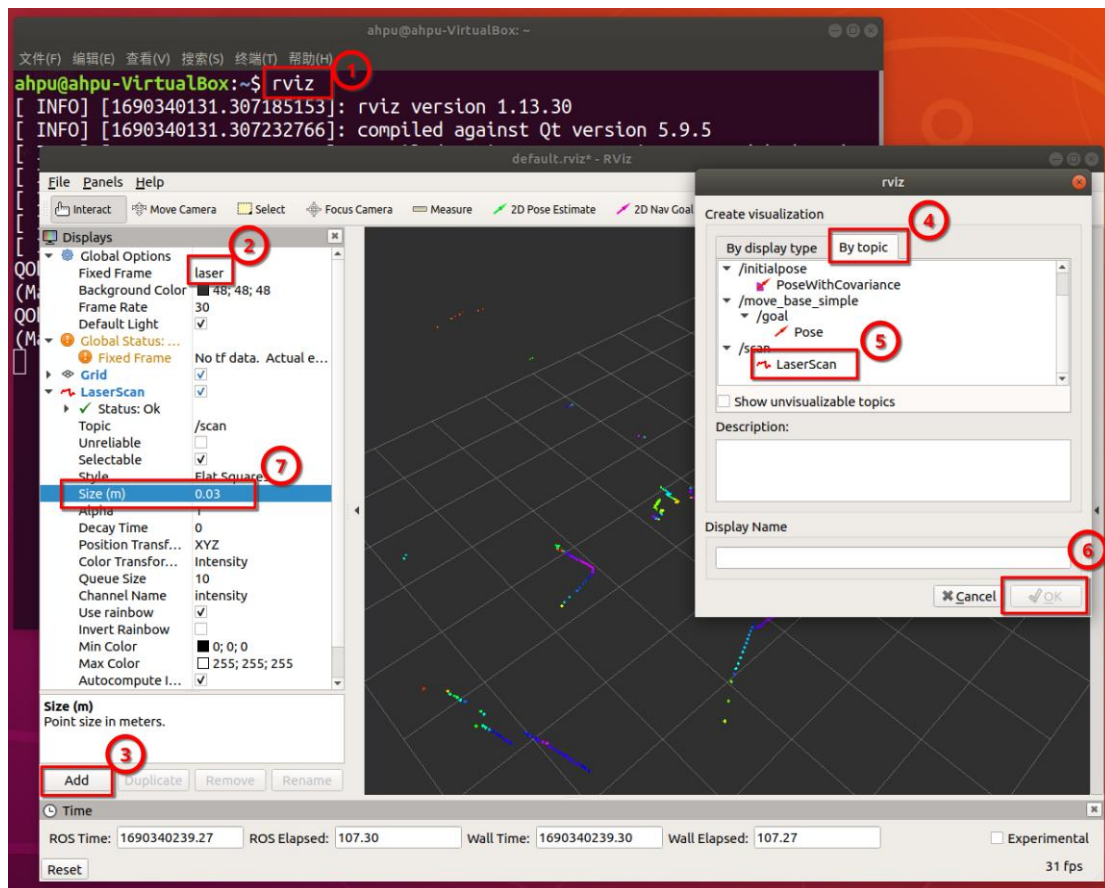


图 17 rviz 界面配置

⑥ 修改激光雷达配置参数

可通过修改雷达驱动功能包 launch 文件夹下的 lsn10\_p.launch 文件修改配置。

### 2.1.3 机械臂控制测试

- ① 打开终端，通过 ssh 远程连接工控机
- ② 接着运行以下命令执行底层通信节点：

```
roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control.launch
```

具体操作如图 18 所示：

```
/home/ahpu/ahpu_robot/src/turn_on_ahpu_robot/launch/base_control.launch http://localhost:11311
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1
ahpu@10.0.1.1's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com
* Management:    https://landscape.canonical.com
* Support:       https://ubuntu.com/advantage

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
  https://ubuntu.com/livepatch

357 个可升级软件包。
297 个安全更新。

Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your Internet connection or proxy settings

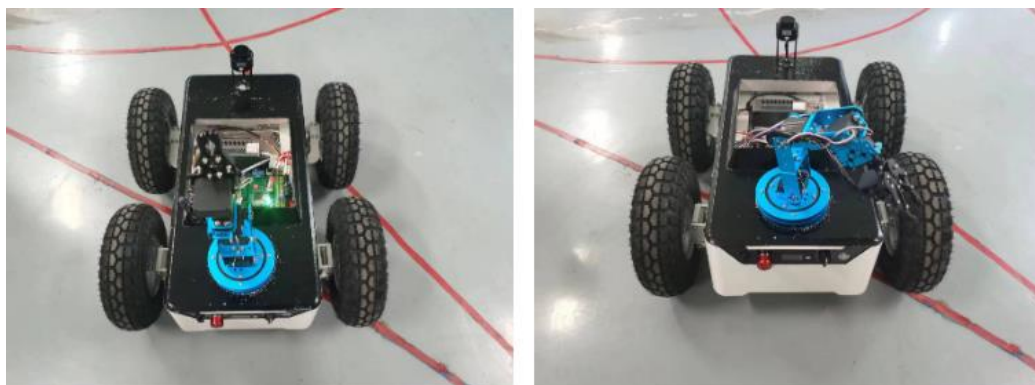
Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Wed Jul 26 10:30:59 2023 from 10.0.1.251
ahpu@ahpu-T100:~$ roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control.launch
... logging to /home/ahpu/.ros/log/d5fec53e-2b5c-11ee-84c8-dc2148f39ab7/roslaunch-ahpu-T100-2096.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
```

图 18 通过 ssh 连接工控机

③ 打开新的终端，执行以下命令向控制话题发送机械臂动作组信号，如发送 1 号动作组：

```
rostopic pub /control_topic std_msgs/Int8 "data: 1"
```

此时机械臂应开始运动，如图 19 所示：



a. 机械臂初始状态

b. 机械臂运动

图 19 机械臂动作

## 2.2 建图及定位导航调试

### 2.2.1 建图调试

① 把slam与定位导航启动配置功能包bringup复制到工控机工作空间下的src文件夹中

② 通过ssh连接工控机并安装slam与定位导航依赖  
在终端输入下列命令安装编译所需要的依赖：

```
sudo apt install ros-melodic-navigation \  
ros-melodic-gmapping \  
ros-melodic-robot-pose-ekf \  
ros-melodic-teb-local-planner
```

③ ssh连接工控机启动底层通信节点与激光雷达驱动节点

- (i) 新开一个终端，通过ssh远程连接工控机
- (ii) 运行下列命令启动底层通信节点与激光雷达驱动节点：

```
roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control_lidar.launch
```

④ ssh连接工控机并启动建图相关节点

- (i) 新开一个终端，通过ssh远程连接工控机
- (ii) 运行下列命令启动建图相关节点：

```
roslaunch bringup mapping.launch
```

具体操作如图20所示。

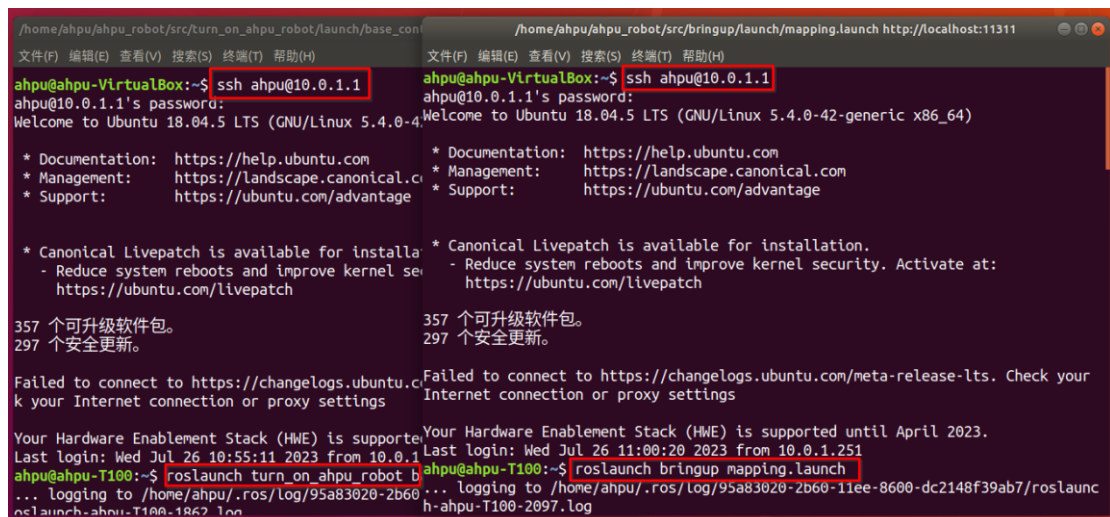


图20 建图命令

⑤ 把slam与定位导航启动配置功能包bringup复制到虚拟机工作空间下的src文件夹中

⑥ 在虚拟机打开rviz

执行以下命令打开 rviz:

```
roslaunch bringup rviz_map.launch
```

或者直接打开 rviz 并添加 Map、LaserScan、RobotModel 组件。

如图 21 所示:

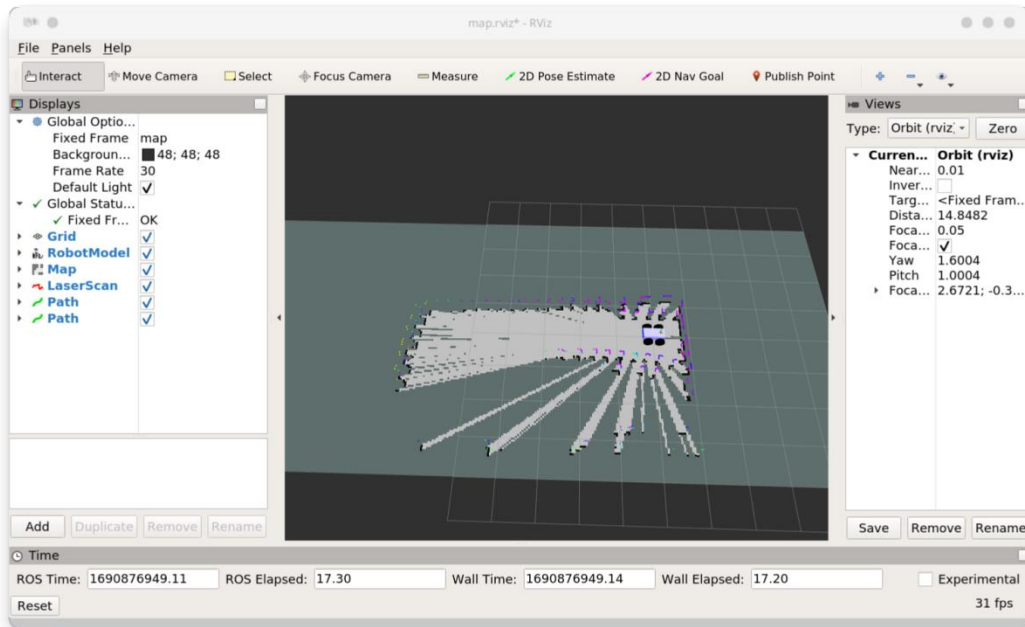


图 21 建图可视化

### ⑦ 启动键盘控制节点

在虚拟机新开一个终端，运行下列命令，启动键盘控制节点控制小车在环境中运动进行建图:

```
roslaunch ahpu_robot_rc keyboard_teleop.launch
```

### ⑧ 保存地图

(i) 新开一个终端，ssh 远程连接工控机

(ii) 运行 map\_saver 节点保存建立好的地图，相关命令如下

```
roslaunch bringup map_saver.launch
```

具体操作如图 22 所示:

```
ahpu@ahpu-T100: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ssh ahpu@10.0.1.1  
ahpu@10.0.1.1's password:  
Welcome to Ubuntu 18.04.5 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)  
  
* Documentation:  https://help.ubuntu.com  
* Management:    https://landscape.canonical.com  
* Support:       https://ubuntu.com/advantage  
  
* Canonical Livepatch is available for installation.  
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:  
  https://ubuntu.com/livepatch  
  
357 个可升级软件包。  
297 个安全更新。  
  
Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your  
Internet connection or proxy settings  
  
Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.  
Last login: Wed Jul 26 11:01:35 2023 from 10.0.1.251  
ahpu@ahpu-T100:~$ roslaunch bringup map_saver.launch  
... logging to /home/ahpu/.ros/log/95a83020-2b60-11ee-8600-dc2148f39ab7/roslaunc  
h-ahpu-T100-2440.log
```

图 22 保存地图

(iii) 关闭底层通信节点与激光雷达驱动节点、关闭建图相关节点、关闭 rviz (ctrl+c)。地图保存在 map\_saver.launch 文件中配置的目录下，图 23 是 rviz 中可视化地图，图 24 是保存的地图图片。

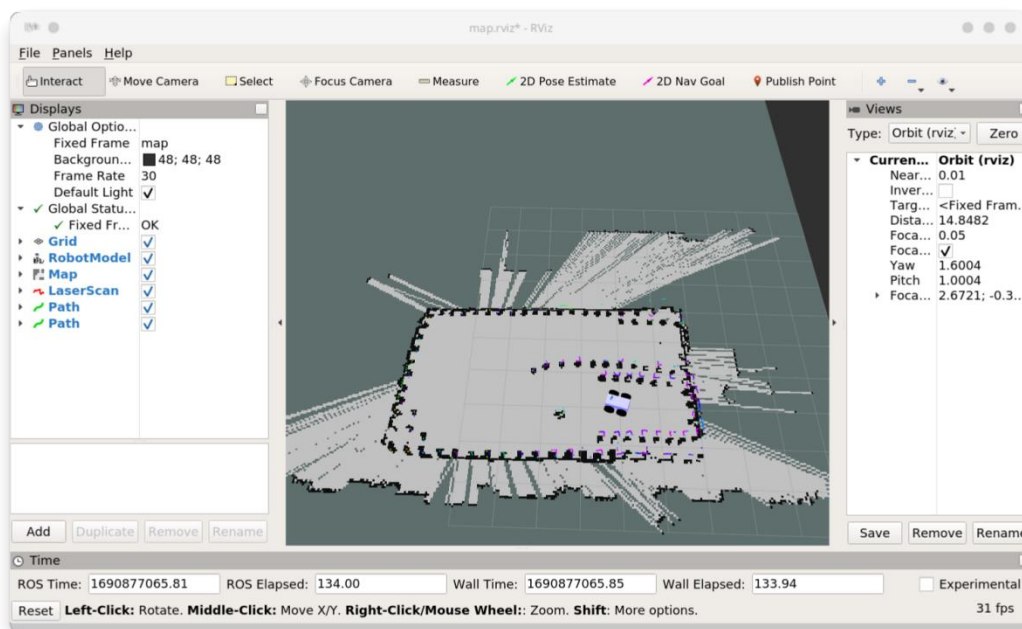


图 23 rviz 可视化地图

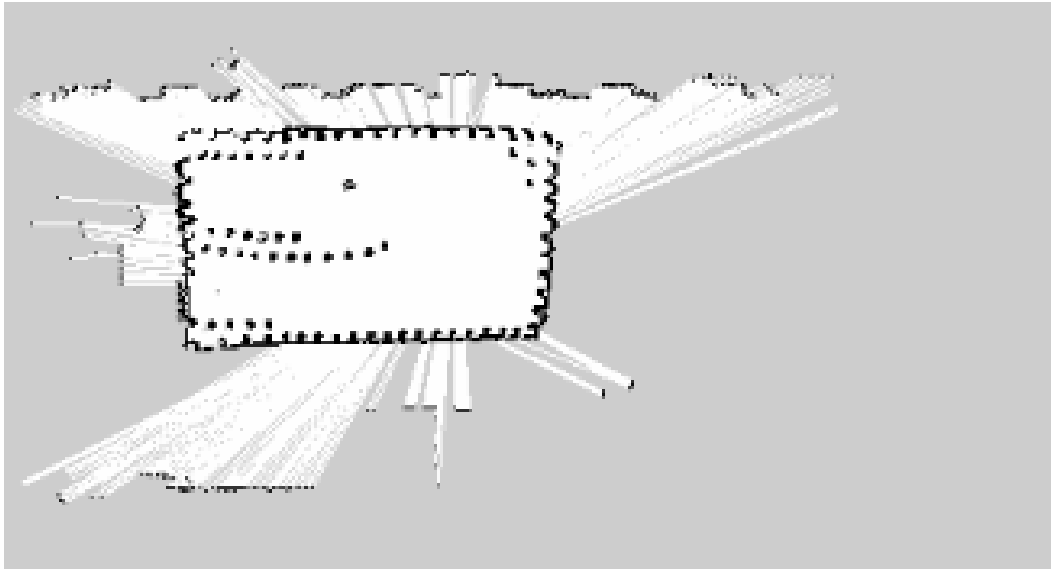


图 24 地图图片

⑨ 注意事项

(i) 如果 ssh 远程连接工控机失败，如图 25 所示，就在虚拟机右击新开一个终端，输入命令 `ping {ip}`，其中{ip}为虚拟机的 ip 地址，如果 ping 不通，检查自己本机网络设置与工控机是否连接同一个无线网，二者 ip 是否处于同一局域网段；

(ii) 如果 ping 通（如图 26 所示），还是无法远程连接工控机，请检查本机虚拟机.bashrc 文件与工控机.bashrc 文件配置是否正确；

(iii) 当 slam 相关功能包放在虚拟机启动时，要注意工控机的系统时间要和虚拟机系统时间一致。

```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ping 10.0.1.1  
PING 10.0.1.1 (10.0.1.1) 56(84) bytes of data.  
From 10.0.1.251 icmp_seq=1 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=2 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=3 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=4 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=5 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=6 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=7 Destination Host Unreachable  
From 10.0.1.251 icmp_seq=8 Destination Host Unreachable  
█
```

图 25 ping 失败

```
ahpu@ahpu-VirtualBox: ~  
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)  
ahpu@ahpu-VirtualBox:~$ ping 10.0.1.1  
PING 10.0.1.1 (10.0.1.1) 56(84) bytes of data.  
64 bytes from 10.0.1.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.22 ms  
64 bytes from 10.0.1.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=4.93 ms  
64 bytes from 10.0.1.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=3.09 ms  
64 bytes from 10.0.1.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.34 ms
```

图 26 ping 通

### 2.2.2 定位导航调试

自主定位导航技术是实时定位、自主地图构建和运动规划与控制技术的统称。

它可帮助机器人在非结构化的环境中无需人工参与而自主地移动完成既定的任务。通俗来说，就是解决机器人“我在哪里”、“我要到哪里去”以及“我该如何过去”这三大问题。正因为其重要性，自主定位导航技术一直以来都是行业内的研究发展重点。除了机器人行业，它也是无人驾驶汽车行业的关键性技术之一。自主定位导航技术框图如图 27 所示。

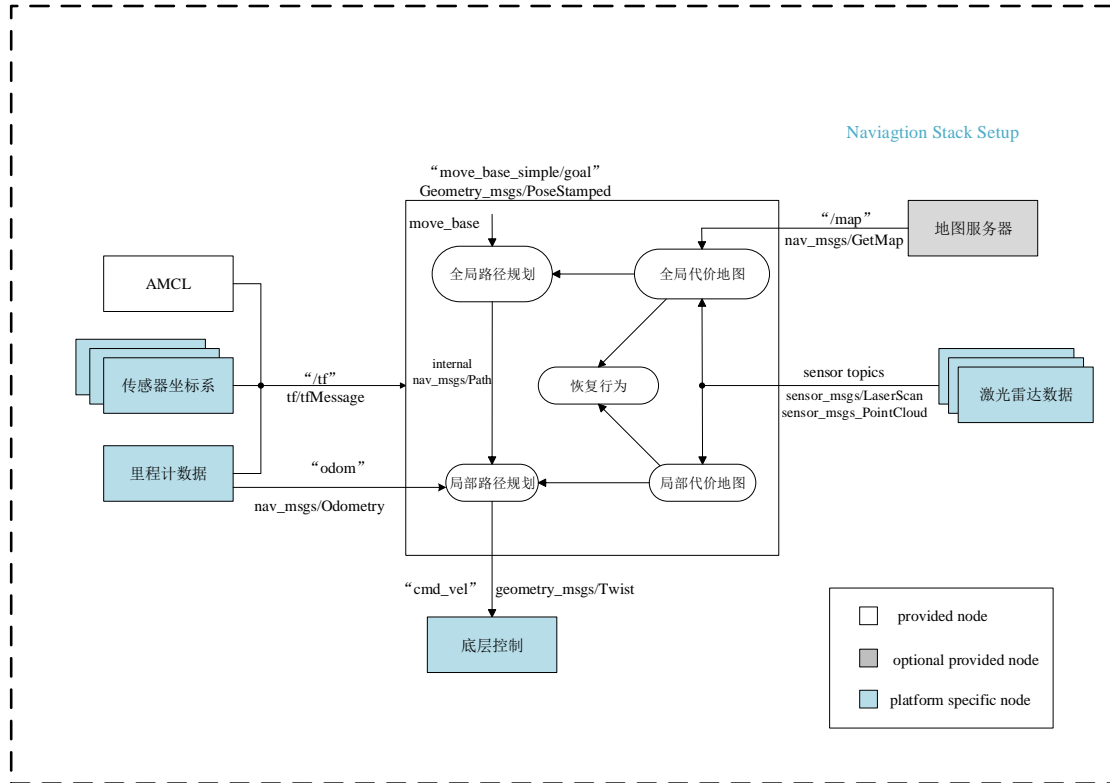


图 27 定位导航框图

① 启动底层通信节点与激光雷达驱动节点

(i) 打开终端，通过 ssh 远程连接工控机

(ii) 运行下列命令启动底层通信节点与激光雷达驱动节点：

```
roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control_lidar.launch
```

具体操作见图 10。

② 打开定位与路径规划相关功能包

(i) 新开一个终端，通过 ssh 远程连接工控机

(ii) 运行下列命令启动定位与路径规划相关节点：

```
roslaunch bringup navigation.launch
```

具体操作见图 28 所示。



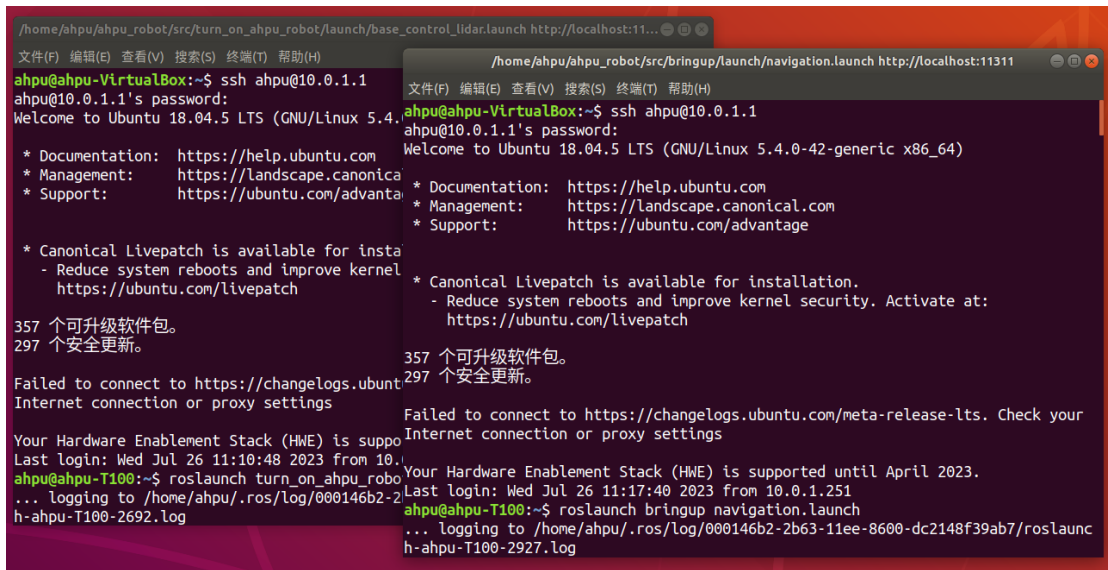


图 28 定位与路径规划

### ③ 启动 rviz

(i) 新开一个终端，运行下列命令启动导航相关 rviz 节点：

```
roslaunch bringup rviz_nav.launch
```

或者直接打开 rviz 并添加 Map、LaserScan、RobotModel、Path 组件。

如图所示：

(ii) 在 rviz 内添加目标点

选择 rviz 工具栏中的"2D Nav Goal"，再点击地图，指定目标点，具体操作如图 29 所示。

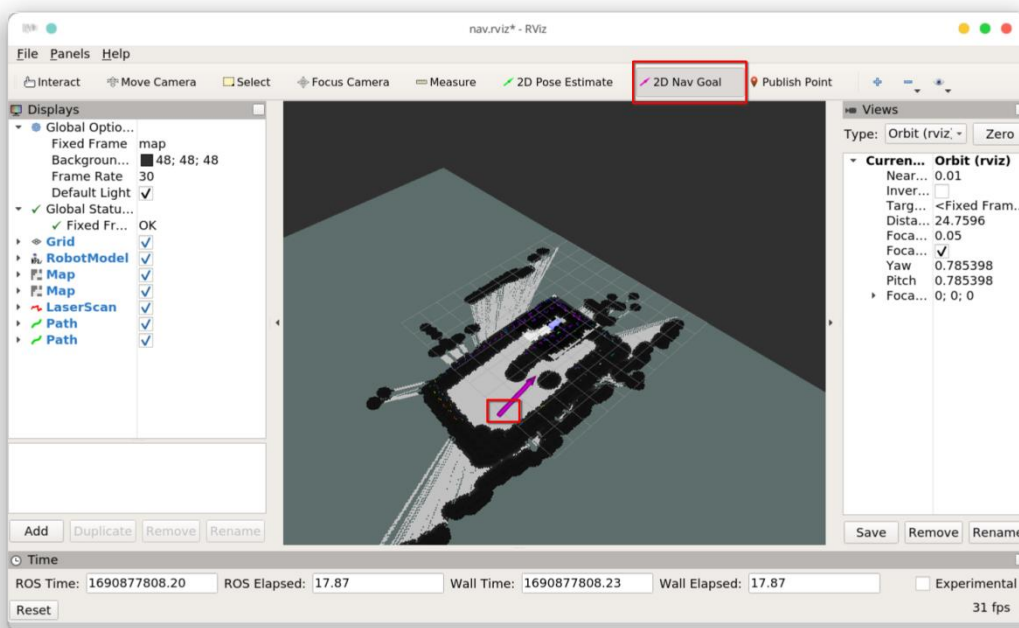


图 29 定位导航

#### ④ 注意事项

如果通过"2D Nav Goal"小车并不执行路径规划任务，请检查小车是否切换到蓝牙模式。

### 2.2.3 任务点巡航调试

① 上传任务巡航功能包 `goals_action` 到工控机，并编译

② 设置指定任务点

修改工控机工作空间下 `bringup` 功能包中的 `start.launch` 文件，更改目标点，目标点可在 `rviz` 里确定。具体如图 30 所示。

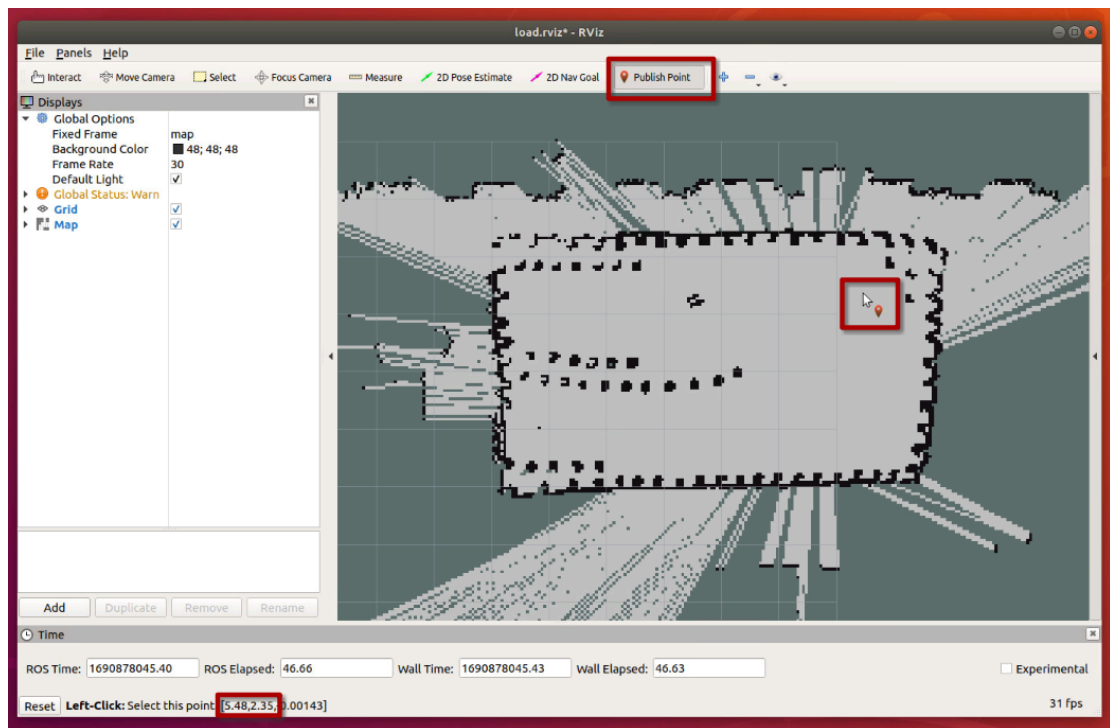


图 30 目标点选取

③ 启动底层通信节点与激光雷达驱动节点

(i) 打开终端，通过 `ssh` 远程连接工控机

(ii) 运行下列命令启动底层通信节点与激光雷达驱动节点：

```
roslaunch turn_on_ahpu_robot base_control_lidar.launch
```

④ 启动定点巡航

运行下列命令启动定点巡航

```
roslaunch bringup start.launch
```