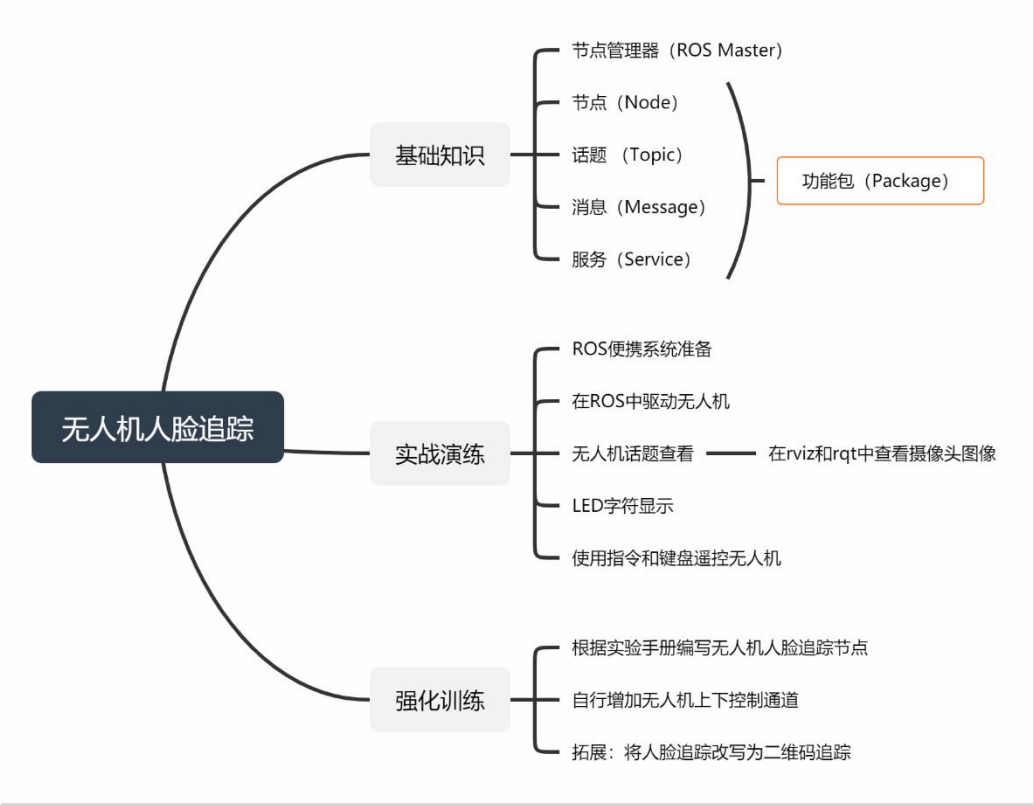
一．教学目标

（1）熟悉机器人操作系统（ROS）的基本概念；
（2）掌握 ROS 的操作流程及常用工具箱的使用；
（3）编写 ROS 节点实现旋翼无人机人脸追踪。

二．教学重难点

教学重点：ROS 的基本概念、操作流程及工具箱的使用；
教学难点：编写 ROS 节点，实现无人机人脸追踪。

三．教学流程



四．教学设计

ROS2GO 准备工作

安装 rmtt_ros 系列功能包：

下载 rmtt_ros.zip：https://pan.baidu.com/s/1Qayah5QuTLVNu289rzg6ZQ 提取码：kwid；
解压 rmtt_ros.zip 压缩包到~/tt_ws/src/（自行创建文件夹）；
在该工作空间（~/tt_ws/）下打开终端；
编译工作空间：catkin_make；
运行功能包中的节点前，请在该终端及新终端中输入：source ./devel/setup.bash；
或在 home 中打开终端，输入：gedit ~/.bashrc，将以上命令粘贴入文档并保存；
关闭所有终端，再次打开新终端可直接运行功能包中的节点。

TT 无人机 EXT 模块安装

安装完成后的效果：

图 1：Robomaster TT 旋翼无人机

TT 无人机电池充电

充电逻辑说明：

每节电池依次充电，并不是同时充电；

绿色闪烁为充电中，绿色常亮为充满，黄色常亮为等待充电。

注意事项：

随时保持电池处于充电状态，方便使用。

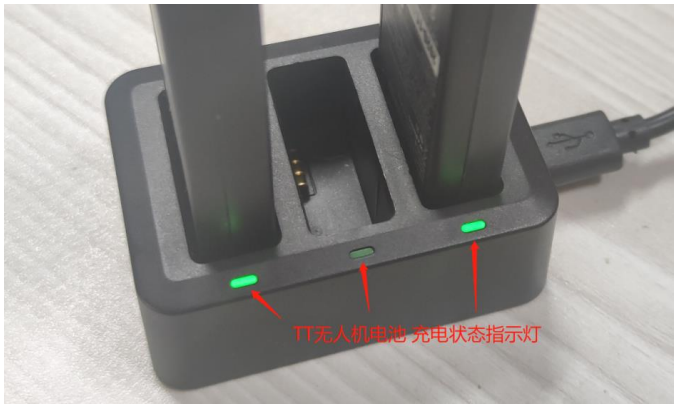


图 2：充电指示

激活 TT 无人机

通过 Tello 手机客户端对 TT 无人机进行激活：

开机和关机均通过短按 TT 无人机的电源键，稍等片刻；

将手机通过 wifi 连接至 TT 无人机，将 EXT 模块调至 AP 模式；

打开 Tello 手机客户端，**全新的 TT 无人机需要首先连接客户端进行激活，才能继续后续任务**；

看看 Tello 手机客户端都提供了哪些功能，飞一下吧；

每块电池满电的飞行时间在十分钟左右，记得时刻给不使用的电池充电；

之后我们将通过 ROS 对 TT 无人机进行控制和编程。

TT 网络模式配置

TT 无人机具有 STA（路由）模式与 AP（热点）模式。STA 模式可以在通过一台电脑连接和控制多台无人机，本节课我们只使用 AP 模式。

TT 进入 AP 模式：

将 EXT 模块上的“模式开关”切换到“AP”

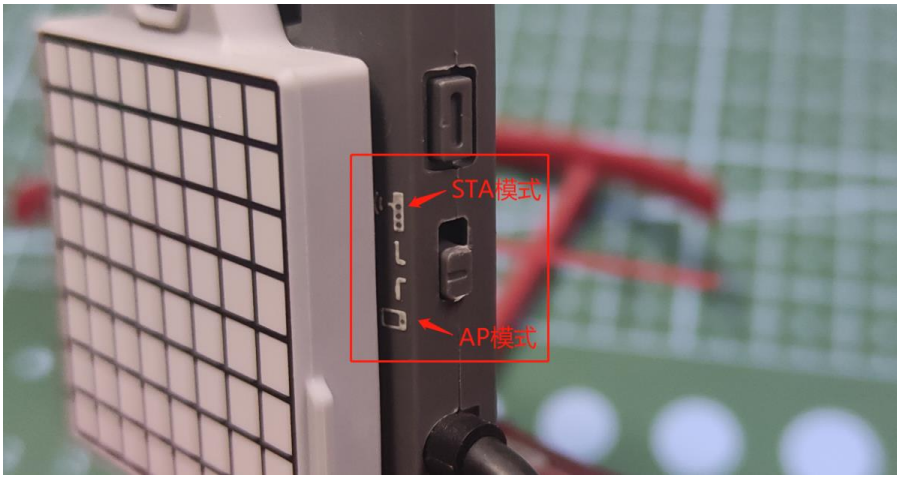


图 3：切换路由和热点模式

短按电源按钮，启动 TT 无人机，无人机的 wifi 名称于 LED 模块背面：RMTT-xxx。

稍等片刻(TT 启动后)，使用 PC 连接到 RMTT-xxx 网络。

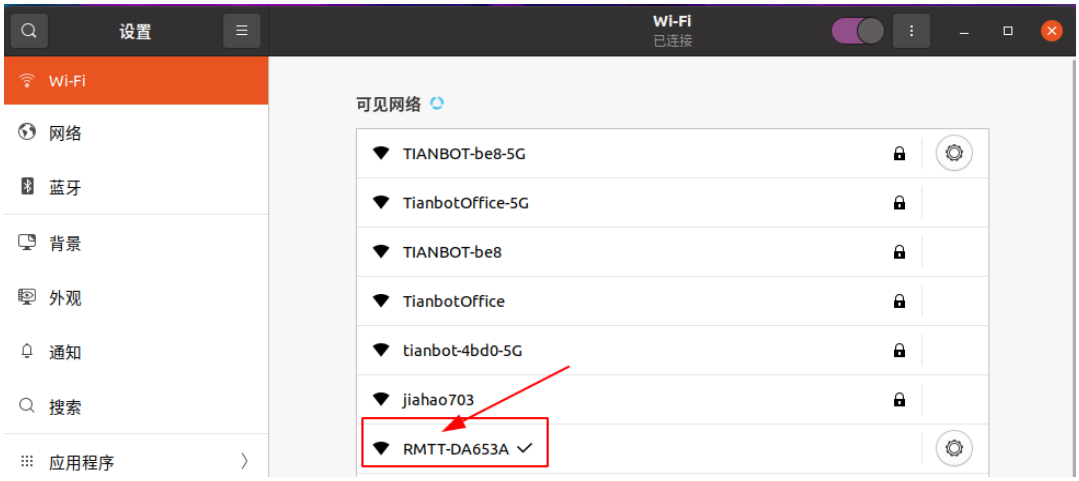


图 4：连接到 RMTT-xxx 网络

在 ROS 中驱动 TT 无人机

硬件驱动启动文件：rmtt_bringup.launch。

参数说明：

drone_ip：TT 无人机的 IP 地址；

local_ip： PC 的 IP 地址；

ns：名字空间，用于区分多台 TT 无人机（在后面的应用中，对 ns 会有更感性的认识，来理解 ns 的作用）

local_ip 通过在新的终端执行 ifconfig 来获取。

在新的终端执行以下命令：

roslaunch rmtt_driver rmtt_bringup.launch

或者：

roslaunch rmtt_driver rmtt_bringup.launch ns:=rmtt_01

注意：由于目前我们只连接一台无人机，无需设定 drone_ip 和 local_ip。

执行以上命令后，我们可以看到如下图所示的返回信息：

```
setting /run_id to eca810c8-8af6-11eb-910f-e5c311262486
process[rosout-1]: started with pid [10759]
started core service [/rosout]
process[rmtt_driver-2]: started with pid [10766]
[INFO] [1616407871.568722]: RoboMaster TelloTalent Initializing...
[INFO] [1616407871.901708]: drone sn:
[INFO] [1616407871.912234]: start camera video stream!
[INFO] [1616407871.943901]: battery level: 100
```

在返回信息中，我们可以看到 TT 无人机的序列号、视频流以及电量信息。看到以上信息时，表示 TT 无人机已经被正确的启动，并在 ROS 中驱动成功。

TT 无人机 ROS 驱动的话题简要说明

首先，根据上节的方法，在 ROS 中驱动 TT 无人机。

使用 rostopic list 命令查看 ROS 驱动发布的话题列表（看看有无 ns:=rmtt_01 话题名称的区别）：

```
tianbot@ros2go:~$ rostopic list
/altitude
/battery
/camera_info
/cmd_vel
/flip
/image_raw
/image_raw/compressed
/imu_data
/land
/led
/mission_pad_id
/mled
/pose
/rosout
/rosout_agg
/takeoff
/tof_btm
/tof_ext
tianbot@ros2go:~$
```

使用 rostopic info xxx 查看 xxx 话题的基本信息：

```
/tof_ext
tianbot@ros2go:~$ rostopic info /cmd_vel
Type: geometry_msgs/Twist

Publishers: None

Subscribers:
 * /rmtt_driver (http://ros2go:44015/)
```

图中以/cmd_vel 话题为例，我们可以看到发布者：None，订阅者：/rmtt_driver。

如果在驱动 TT 无人机时使用了 ns 参数，假设 ns:=rmtt_01,那么我们将会看到如下的话题列表：

```
tianbot@ros2go:~$ rostopic list
/rmtt_01/altitude
/rmtt_01/battery
/rmtt_01/camera_info
/rmtt_01/cmd_vel
/rmtt_01/flip
/rmtt_01/image_raw
/rmtt_01/image_raw/compressed
/rmtt_01/imu_data
/rmtt_01/land
/rmtt_01/led
/rmtt_01/mission_pad_id
/rmtt_01/mled
/rmtt_01/pose
/rmtt_01/takeoff
/rmtt_01/tof_btm
/rmtt_01/tof_ext
/rosout
/rosout_agg
tianbot@ros2go:~$
```

接下来我们一一介绍上图中所示的话题的具体功能：

/rmtt_01/altitude #TT 无人机内置气压计海拔数据
/rmtt_Ol/battery #TT 无人机电池电量百分比
/rmtt_01/camera_info #TT 无人机前置摄像头参数信息
/rmtt_01/cmd_vel #控制 TT 无人机运动
/rmtt_01/flip #控制 TT 无人机翻转
/rmtt_01/image_raw #TT 无人机前置摄像头画面
/rmtt_01/image_raw/compressed #TT 无人机前置摄像头画面(压缩)
/rmtt_01/imu_data #TT 无人机内置 IMU 数据
/rmtt_01/land #控制 TT 无人机降落
/rmtt_01/led #EXT 模块顶端全彩 LED 的颜色
/rmtt_01/mission_pad_id #DJI 定位毯坐标 id
/rmtt_01/mled #控制 EXT 模块全彩 LED 点阵显示字符串
/rmtt_01/pose #TT 无人机相对于 DJI 定位毯的姿态
/rmtt_01/takeoff #控制 TT 无人机起飞
/rmtt_01/tof_btm #TT 无人机本体底部的 tof 传感器距离值（范围：0.3-1.5）
/rmtt_01/tof_ext #EXT 模块前端 tof 传感器距离值（范围：0.01-1.5）

在新的终端部利用 rostopic echo xxx 命令查看 xxx 话题的数据，和发布频率（回忆上节课内容）。用手移动无人机查看诸如/rmtt_01/imu_dat、/rmtt_01/tof_btm、/rmtt_01/tof_btm 等话题的数据及其意义。

小贴士：在使用 rostopic list 命令的时候加入-v 指令，可以快速地区分哪些话题是被发布的与订阅的。

```
Published topics:
 * /rosout_agg [rosgraph_msgs/Log] 1 publisher
 * /rosout [rosgraph_msgs/Log] 1 publisher
 * /rmtt_01/imu_data [sensor_msgs/Imu] 1 publisher
 * /rmtt_01/pose [geometry_msgs/PoseStamped] 1 publisher
 * /rmtt_01/mission_pad_id [std_msgs/UInt8] 1 publisher
 * /rmtt_01/image_raw/compressed [sensor_msgs/CompressedImage] 1 publisher
 * /rmtt_01/image_raw [sensor_msgs/Image] 1 publisher
 * /rmtt_01/camera_info [sensor_msgs/CameraInfo] 1 publisher
 * /rmtt_01/tof_btm [sensor_msgs/Range] 1 publisher
 * /rmtt_01/tof_ext [sensor_msgs/Range] 1 publisher
 * /rmtt_01/altitude [std_msgs/Float32] 1 publisher
 * /rmtt_01/battery [std_msgs/Float32] 1 publisher

Subscribed topics:
 * /rosout [rosgraph_msgs/Log] 1 subscriber
 * /rmtt_01/cmd_vel [geometry_msgs/Twist] 1 subscriber
 * /rmtt_01/takeoff [std_msgs/Empty] 1 subscriber
 * /rmtt_01/land [std_msgs/Empty] 1 subscriber
 * /rmtt_01/flip [std_msgs/Empty] 1 subscriber
 * /rmtt_01/led [std_msgs/ColorRGBA] 1 subscriber
 * /rmtt_01/mled [std_msgs/String] 1 subscriber
```

查看/rmtt_01/image_raw 话题的视频画面：

打开终端，输入以下命令：rqt

（首次我们打开 rqt 工具，会看到一个空白的窗口，不要慌，这是正常的）

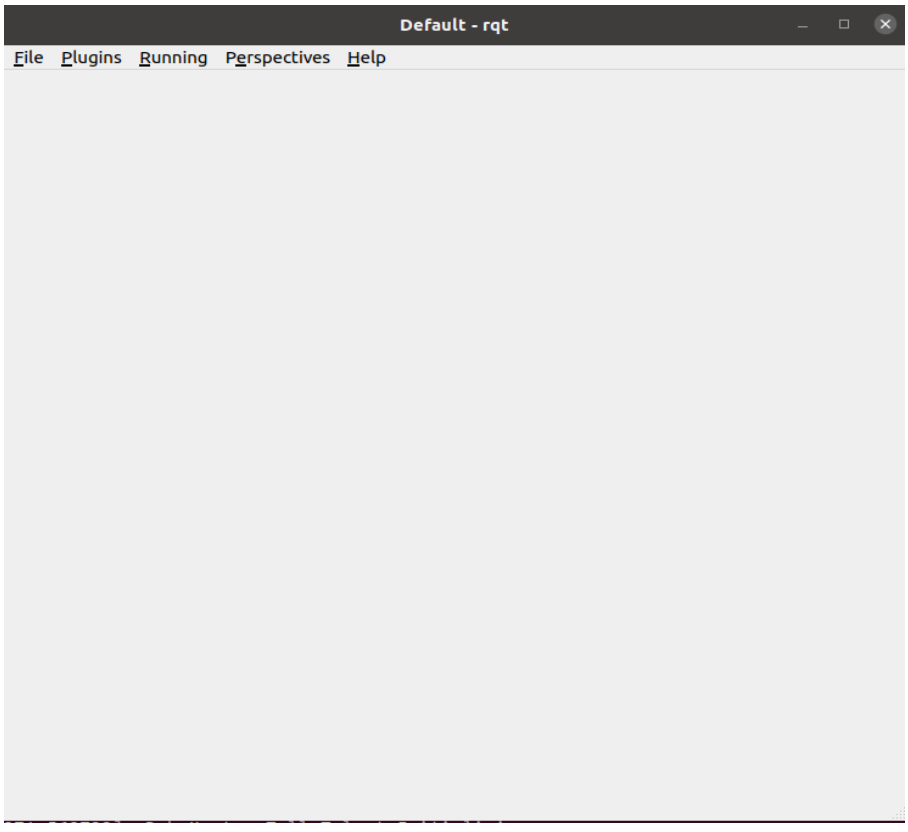


图 5：rqt 工具界面

点击 Plugins - Visualization - Image View，添加视频画面查看组件

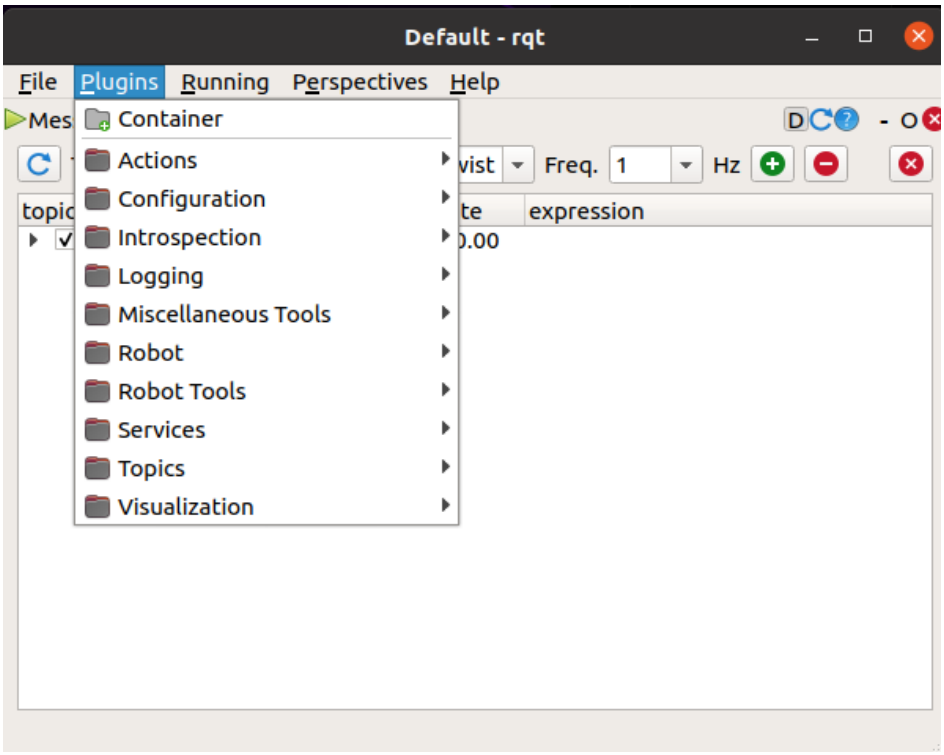


图 6：添加组件菜单栏

在打开的 Image View 插件中，我们选择/rmtt_01/image_raw 话题，就可以看到画面了。还记不记得在 rviz 里怎么看到画面？尝试一下。

图 7：在 rqt 中显示 TT 无人机摄像头画面

LED 字符显示

默认状态下，LED 显示屏的最下方一行指示前方障碍物的距离，看看测距传感器在哪？

在一个新的终端运行：

rostopic pub /rmtt_01/mled std_msgs/String ‘nwpu’。

也可以利用 rqt 工具选择对应话题，Plugins - Topics – Massage Publisher，选择/rmtt_01/mled。按下拉箭头，在 expression 处输入要显示的字符（比如“nwpu”）然后打勾发布：

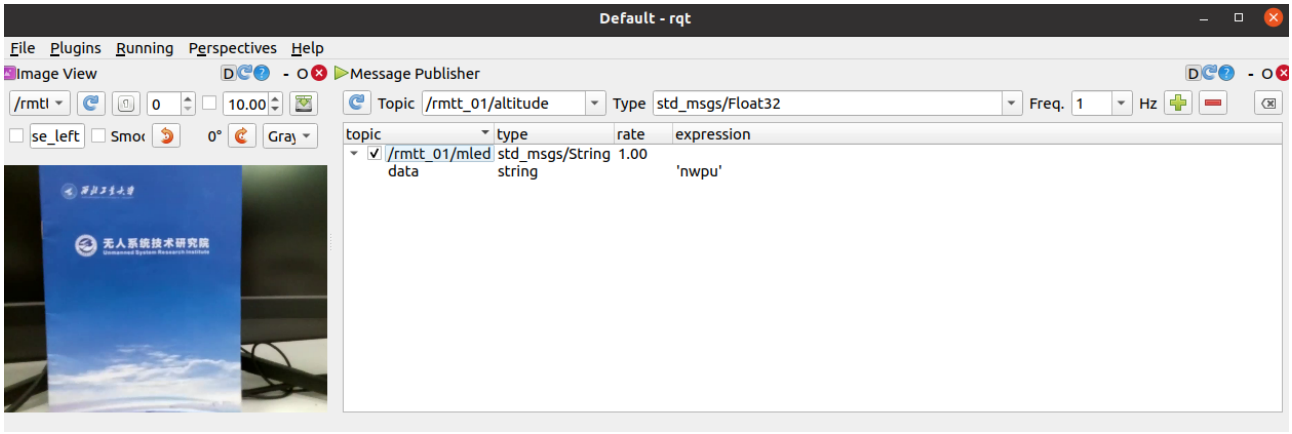


图 8：在 rqt 中发布话题消息

在 ROS 中使用键盘遥控 TT 无人机

根据之前的方法，在 ROS 中驱动 TT 无人机(ns:=rmtt_01)。

打开一个新的终端，输入如下指令：

roslaunch rmtt_teleop rmtt_teleop_key.launch ns:=rmtt_01

在本例中，我们依旧以 ns:=rmtt_01 为例，在启动 teleop 遥控程序时，也加入 ns 参数，如上所示：

```
Reading from the keyboard  and Publishing to Twist!
---------------------------
Moving around:
mode two
LEFT HAND:
        w
   a         d
        x
RIGHT HAND:
   u    i    o
   j    k    l
   m    ,    .
- : to takeoff
= : to land
(need to hold SHIFT)
>/< : increase/decrease linear speed by 10%
X/Z : increase/decrease angular speed by 10%
anything else : stop
CTRL-C to quit

currently:      speed 0.2       turn 0.2
```

遥控程序启动后，我们在终端中可以看到如上返回信息。

保持此终端激活状态，就可以按照信息提示的方法遥控 TT 无人机：

起飞 键盘 -

降落 键盘 =

小贴士：什么是保持终端激活状态？当执行命令之后，不要将光标（鼠标）移动到其他窗口，此时光标所在的终端就是激活状态，在这个状态中的终端可以采集键盘的输入，用来控制机器人。

本例中的话题关系图：我们可以看出，在启动键盘遥控节点后，键盘遥控与 TT 无人机驱动通过/rmtt_01/cmd_vel 联系了起来，这也是键盘遥控可以控制 TT 无人机运动的机制。

以可视化的方式查看话题关系图：（在新的终端中输入：rqt_graph）。

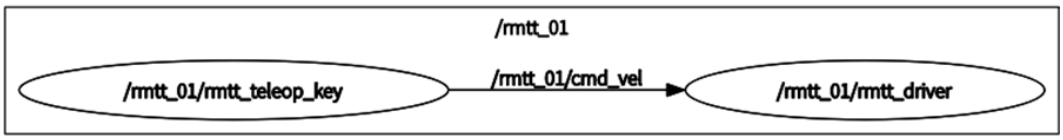


图 9：键盘遥控 TT 无人机节点话题关系图

异常处理（失控、无法降落）

关闭 bringup.launch 所在终端、30s 后 TT 无人机会自动降落；

或者抓住 LED 模块，将 TT 无人机翻转。

人脸跟踪例程（rmtt_face_tracker.launch）

现在开始一步一步实现 TT 无人机对人脸的追踪。

根据之前的方法，在 ROS 中驱动 TT 无人机(ns:=rmtt_01)

打开新的终端，输入以下命令：

roslaunch rmtt_tracker rmtt_face_tracker.launch ns:=rmtt_01

正常启动后，我们可以看到如下图所示的返回信息，并会弹出一个 Frame 窗口

图 10：TT 无人系前摄画面

打开./rmtt_ros/rmtt_tracker/scripts/rmtt_face_tracker.py：

```python
#!/usr/bin/env python3

import rospy
import rospkg
import std_msgs.msg
from geometry_msgs.msg import Twist
from sensor_msgs.msg import Image
import cv2
from cv_bridge import CvBridge
import numpy as np

# resize the image to w*h
w = 360
h = 240

def callback(msg):

    img = bridge.imgmsg_to_cv2(msg)
    img = cv2.resize(img, (w, h))
    cv2.imshow('Frame', img)
    cv2.waitKey(1)

if __name__ == '__main__':

    rp = rospkg.RosPack()
    path = rp.get_path("rmtt_tracker")
    bridge = CvBridge()
    rospy.init_node('face_tracker', anonymous=True)
    sub = rospy.Subscriber("image_raw", Image, callback)
    rospy.spin()
```

可以看到该节点名为 face_tracker，订阅了/image_raw 话题，将图像比例固定为 360*240 然后利用 OpenCV 中的

函数进行输出。由于我们目前只需要使用视频信息，为节省 TT 无人机电量也可以将上节课使用的 usb_cam package 拷贝至/tt_ws/src 中利用 catkin_make 进行编译，然后调用笔记本摄像头进行图像处理的算法实现，最后再和 TT 无人机进行联调。开启摄像头后改变名字空间即可利用 face_tracker 节点实现视频流的读取和输出：

roslaunch rmtt_tracker rmtt_face_tracker.launch ns:=usb_cam

人脸识别的模型我们已经放到了/tt_ws/src/rmtt_ros/rmtt_tracker/config 中我们在脚本中加载该模型：

```
46 if __name__ == '__main__':
47
48     rp = rospkg.RosPack()
49     path = rp.get_path("rmtt_tracker")
50     faceCascade = cv2.CascadeClassifier(path + '/config/haarcascade_frontalface_default.xml')
51     bridge = CvBridge()
52     rospy.init_node('face_tracker', anonymous=True)
53     sub = rospy.Subscriber("image_raw", Image, callback)
54     rospy.spin()
```

定义人脸检测函数 findFace，首先把彩色图像转换成灰度图像，然后调用人脸识别模型，再将检测到人脸的边界框依次绘制到图像上。每个边界框的中心和面积都进行存储，如果检测到人脸，选取最大面积边界框作为函数输出，这将是我们最终要跟踪的人脸。将下面一段代码增加到脚本中，并看看每一行实现了什么功能，在 callback 函数中调用人脸检测函数：

```
12 # resize the image to w*h
13 w = 360
14 h = 240
15
16 def callback(msg):
17
18     img = bridge.imgmsg_to_cv2(msg)
19     img = cv2.resize(img, (w, h))
20
21     img, info = findFace(img)
22
23     cv2.imshow('Frame', img)
24     cv2.waitKey(1)
25
26 def findFace(img):
27     imgGray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
28     faces = faceCascade.detectMultiScale(imgGray, 1.1, 6)
29
30     # get the face of the largest bounding box
31     myFaceListC = []
32     myFaceListArea = []
33     for (x, y, w, h) in faces:
34         cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 2)
35         cx = x + w // 2
36         cy = y + h // 2
37         area = w * h
38         myFaceListArea.append(area)
39         myFaceListC.append([cx, cy])
40     if len(myFaceListArea) != 0:
41         i = myFaceListArea.index(max(myFaceListArea))
42         return img, [myFaceListC[i], myFaceListArea[i]]
43     else:
44         return img, [[0, 0], 0]
```

保存并运行一下这个节点：roslaunch rmtt_tracker rmtt_face_tracker.launch ns:=usb_cam 看看是否能检测出人脸。

定义人脸跟踪函数 trackFace，利用最大检测框距离图像中心点的左右偏移、上下偏移、和检测框大小变化乘以某一系数（比例控制）分别输出偏航角速度、上下线速度、前后线速度的输出。因此我们有偏航、上下、前后三个通道的控制。我们这里给出偏航和前后两个通道的实现。首先在全局变量添加两个通道的控制参数和控制指令输出标志符（用来判断有无控制指令输出）：

```
# resize the image to w*h
w = 360
h = 240
pid_w = [0.5, 0, 0] # pid parameters of yaw channel
pid_f = [0.8, 0, 0] # pid parameters of forward channel
zero_twist_published = False
```

我们希望最终向/cmd_vel 发布控制指令，因此定义一个发布消息的对象，其数据格式是 Twist：

```
if __name__ == '__main__':

    rp = rospkg.RosPack()
    path = rp.get_path("rmtt_tracker")
    faceCascade = cv2.CascadeClassifier(path + '/config/haarcascade_frontalface_default.xml')
    bridge = CvBridge()
    rospy.init_node('face_tracker', anonymous=True)
    sub = rospy.Subscriber("image_raw", Image, callback)
    pub = rospy.Publisher('cmd_vel', Twist, queue_size=1)
    rospy.spin()
```

增加 trackFace 函数，用来通过人脸检测框的位置和大小计算控制指令输出：

```
def trackFace(info, w, h, pid_w, pid_f):
    ## PID
    # yaw channel
    error_w = info[0][0] - w // 2
    speed_w = pid_w[0] * error_w
    speed_w = int(np.clip(speed_w, -100, 100)) / 100.0

    # forward channel
    error_f = np.sqrt(info[1]) - 70
    speed_f = pid_f[0] * error_f
    speed_f = int(np.clip(speed_f, -100, 100)) / 100.0

    if info[0][0] != 0:
        yaw_speed = speed_w
    else:
        yaw_speed = 0

    if info[1] != 0:
        forward_speed = speed_f
    else:
        forward_speed = 0

    return yaw_speed, forward_speed
```

在 callback 函数中调用 trackFace 获取偏航和前后两通道速度。定义 speed 这一 Twist 消息格式的对象，并给对应的线速度和角速度赋值。rospy.loginfo()用于在当前终端输出我们给定的信息，pub_publish(speed)用来发布控制指令：

```
def callback(msg):
    global zero_twist_published
    img = bridge.imgmsg_to_cv2(msg)
    img = cv2.resize(img, (w, h))

    img, info = findFace(img)
    yaw_speed, forward_speed = trackFace(info, w, h, pid_w, pid_f)
    rc = "left: " + "0" + " forward: " + str(forward_speed) + " up: " + str(0) + "  yaw: " +
  str(yaw_speed)
    speed = Twist()

    if yaw_speed != 0 or forward_speed != 0:
        speed.linear.x = -forward_speed
        speed.linear.y = 0.0
        speed.linear.z = 0.0 # add up channel here
        speed.angular.x = 0.0
        speed.angular.y = 0.0
        speed.angular.z = -yaw_speed
        rospy.loginfo(rc)
        pub.publish(speed)
        zero_twist_published = False
    else:
        if not zero_twist_published:
            pub.publish(speed)
            zero_twist_published = True
            rospy.loginfo("no face detected")

    cv2.imshow('Frame', img)
    cv2.waitKey(1)
```

保存并运行一下这个节点：roslaunch rmtt_tracker rmtt_face_tracker.launch ns:=usb_cam 看看检测到人脸之后在终端中是否有控制指令输出。前后左右移动人脸观察控制指令变化。

```
[1616465146.632140]: left: 0 forward: 0.19 up: -0.55  yaw: 0.19
[1616465146.715433]: left: 0 forward: 0.16 up: -0.56  yaw: 0.19
[1616465146.827269]: no face detected
[1616465211.523107]: left: 0 forward: -0.13 up: -0.74  yaw: 0.26
```

注意：由于我们还没有添加左右和上下控制通道，因此左右和上下控制指令实际应该为 0。左右方向的运动本次实验不需要进行添加。

现在我们连接 TT 无人机测试一下。

根据之前的方法，在 ROS 中驱动 TT 无人机(ns:=rmtt_01)

根据之前的方法，在 ROS 中启动键盘遥控(ns:=rmtt_01)

打开新的终端，输入以下命令：

roslaunch rmtt_tracker rmtt_face_tracker.launch ns:=rmtt_01

此时我们通过键盘控制将 TT 无人机的前置摄像头对准自己，在 Frame 窗口中可以看到人脸识别结果。

这时我们可以通过一下命令查看话题中就已经有了内容（geometry_msgs/Twist 消息）：

rostopic echo /rmtt_01/cmd_vel

注意：此时无人机不会起飞，也不会执行/rmtt_01/cmd_vel 中的控制命令

```
angular:
  x: 0.0
  y: 0.0
  z: 0.01
---
linear:
  x: -0.3
  y: 0.0
  z: 0.48
angular:
  x: 0.0
  y: 0.0
  z: 0.01
---
linear:
  x: -0.29
  y: 0.0
  z: 0.48
angular:
  x: 0.0
  y: 0.0
  z: 0.01
```

小贴士：我们可以使用 rqt_graph 可视化工具查看当前示例中运行的节点与话题的关系：

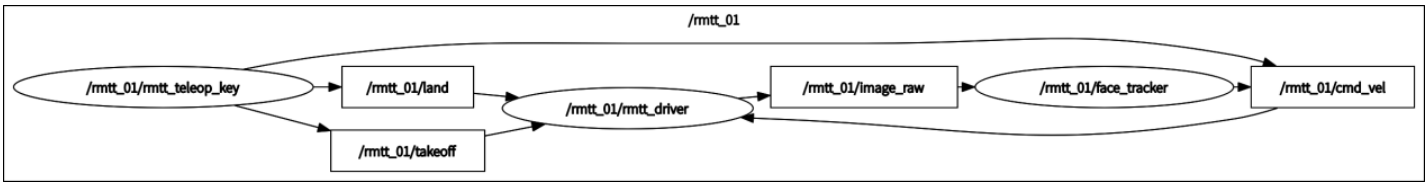


图 11：无人机人脸追踪节点话题关系图

完成 TT 无人机跟踪人脸示例的最后一步：

将启动键盘遥控的终端保持激活状态（切换到该终端），控制 TT 无人机起飞；

想办法出现在 TT 无人机前置摄像头的画面中；

TT 无人机将开始跟踪画面中出现的人脸，并保持一定距离。

请同学们自行添加上下控制通道！

小贴士：机器人是一个系统工程，通常一个机器人运行操作时要开启多个 node。ROS 提供了 launch 文件来避免每次启动某个 package 时依次开启其中每一个 node 的繁琐操作。launch 文件储存在 package 的/launch 目录下，每一个 launch 文件指定了对于这个 package 的一种启动方式，包括开启哪些节点、读取哪些配置文件、预置哪些参数等。roslaunch xxx yyy.launch 命令会自动启动 roscore，如果已启动了 roscore，roslaunch 就不会再启动 roscore。