本章目录

从任务找到接口并完成调用

第二章　实验平台配置

2.1　关键工具介绍

2.2　平台安装与首次仿真

2.3　平台架构与开发流程

2.4　API与SDK开发接口

2.5　例程体系与实验路线

2.6　习题与课堂讨论

本节 4 个教学单元

2.4.1 任务与接口定位
教材对应：第 2.2.2.4—2.2.2.6、2.2.3 节

2.4.2 控制接口与调用约定
教材对应：第 2.2.3.2 节

2.4.3 配置产物与视觉调用
教材对应：第 2.2.2.7—2.2.2.8、2.2.3.3 节

2.4.4 建模与扩展接口
教材对应：第 2.2.3.1—2.2.3.2 节

2.4.1 任务与接口定位：概念总览

一个任务需要哪些接口

- **API与SDK：**应用程序接口（API）规定调用方式；软件开发工具包（SDK）提供实现、文档及配套工具。
- **任务分工：**读状态、发目标用控制接口；取图用视觉接口；切换地图或观察视角用三维接口。
- **配置与脚本：**配置记录对象和参数；脚本启动组件并组织调用。已有配置可直接读取，不必每次打开配置工具。
- **通用方法：**身份、单位、坐标和时序的读法适用于不同载具；本节以PX4无人机仿真调用为例。

接口规定交互，配置描述对象，程序组织任务。

2.4.1 任务与接口定位：模块索引

按任务定位六类SDK模块

目录	任务与代表文件	输入或输出
comm	网络通信：NetSimAPIV4	节点、链路或网络参数
ctrl	控制与状态：PX4MavCtrlV4	运动目标、模式命令、状态反馈
phm	健康评估：AutoMavCtrl	测试动作、故障与评估过程
swarm	多机交互：distSimCtrlAPI	多载具状态与协同控制
ue	三维控制：UE4CtrlAPI	地图、对象、视角命令
vision	传感接收：VisionCaptureApi	传感配置、图像、点云

表2.3 Python功能模块：六类目录及代表任务

2.4 API与SDK开发接口

2.4.1 任务与接口定位：本机入口

从三个入口找到同一份本机SDK文档

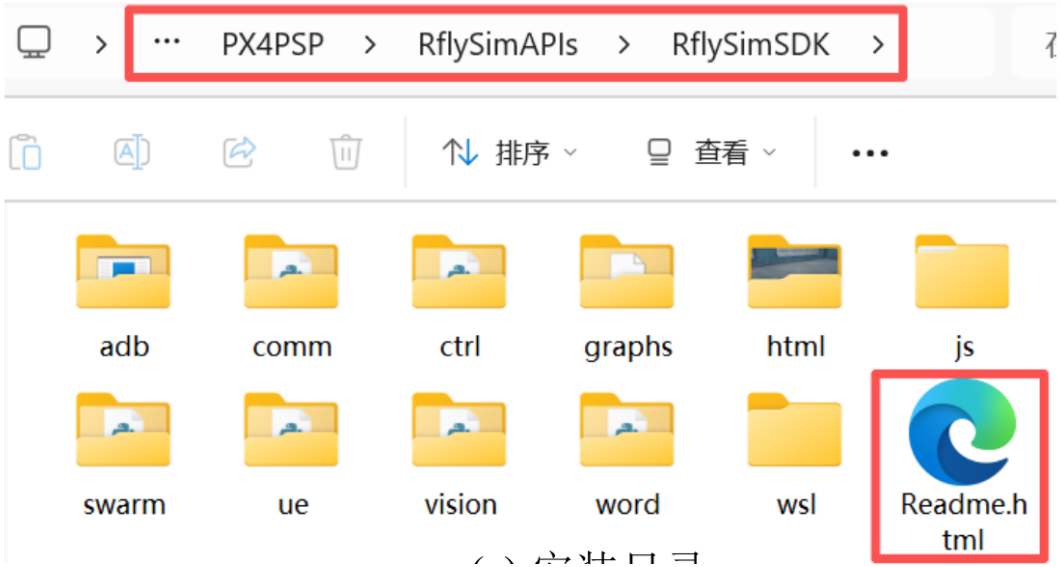


图2.14(a) 安装目录

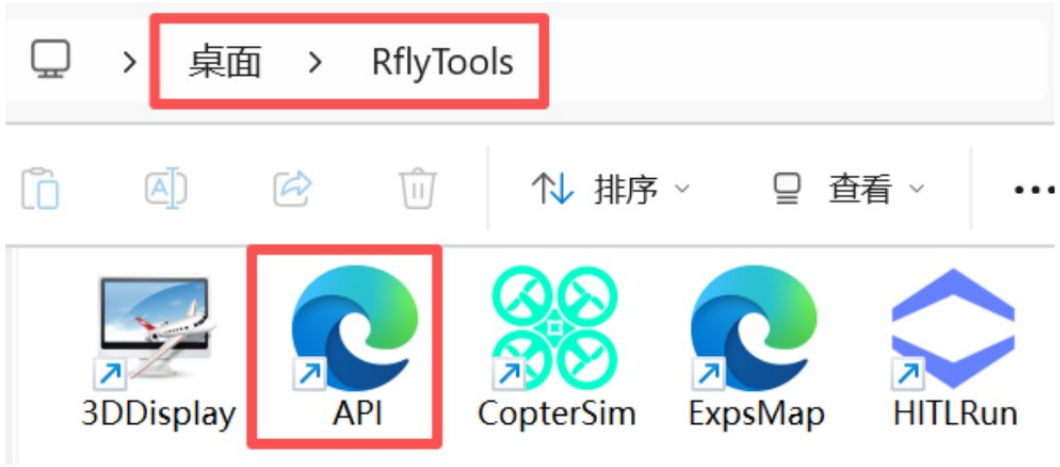


图2.14(b) 桌面快捷方式

安装目录：RflySimSDK下是comm、ctrl等模块文件夹，Readme.html打开接口文档。

桌面RflyTools\API与统一入口“二次开发”打开同一套文档，与本机SDK版本一致。

2.4 API与SDK开发接口

2.4.1 任务与接口定位：文档读法

从文档条目找到函数与例程



图：统一入口中的SDK开发者手册

- **定位：** ctrl → PX4MavCtrlV4；vision → VisionCaptureApi。
- **读签名：** 核对顺序、坐标系与单位；返回成功通常只表示请求已发出。
- **接上下文：** 先初始化收发，再持续更新目标；读状态判结果，最后退出。

参数约定决定数据含义，源码中的线程、状态和发包操作决定调用效果。

2.4.1 任务与接口定位：运行位置

调用程序实际运行在哪里

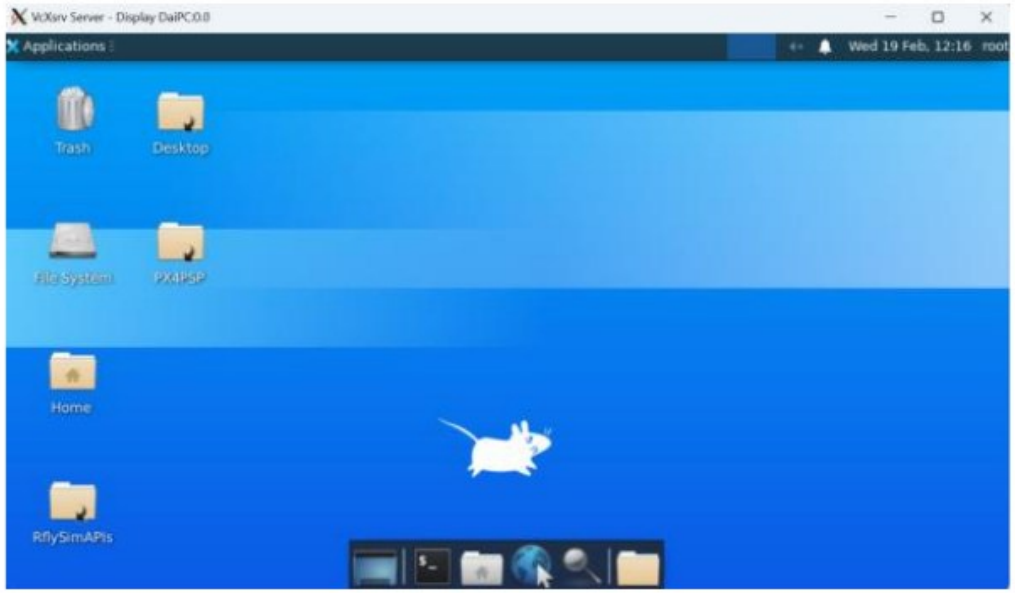


图2.11(d) WinWSL/WslGUI

环境安装与首次启动见2.1、2.2。

- **Windows：** 自带解释器是安装目录下的Python38\python.exe，已注册SDK，可以调用控制与视觉接口。
- **WSL：** WinWSL提供预装ROS 1/2的Linux环境，Linux或ROS例程在此运行。
- **编辑器：** VS Code装Python插件并选中上述python.exe，运行时才加载这套SDK与依赖。

编辑器负责编辑，解释器决定程序在哪套环境运行。

2.4.1 任务与接口定位：文件关系

配置文件、脚本与程序怎样配合

文件或对象	承担的工作	典型对应
Config.json	记录传感身份、位姿与输出方式	jsonLoad读取VisionSensors
BAT启动脚本	设置组件参数并启动所需进程	启动仿真、ROS或接收端
Python程序	调用接口、更新目标并消费反馈	控制循环、取图与处理
图形配置工具	编辑参数并保存可复用配置	VisCreate、SimCreate

已有JSON或启动脚本可直接使用；完整首跑见2.2。

本章目录

从参数约定到控制反馈

第二章　实验平台配置

2.1　关键工具介绍

2.2　平台安装与首次仿真

2.3　平台架构与开发流程

2.4　API与SDK开发接口

2.5　例程体系与实验路线

2.6　习题与课堂讨论

本节 4 个教学单元

2.4.1 任务与接口定位
教材对应：第 2.2.2.4—2.2.2.6、2.2.3 节

2.4.2 控制接口与调用约定
教材对应：第 2.2.3.2 节

2.4.3 配置产物与视觉调用
教材对应：第 2.2.2.7—2.2.2.8、2.2.3.3 节

2.4.4 建模与扩展接口
教材对应：第 2.2.3.1—2.2.3.2 节

2.4.2 控制接口与调用约定：对象身份

载具编号、传感器编号和下标

标识	所属对象	本节示例
CopterID	CopterSim或三维载具身份	1号载具
MAVLink SysID	自驾仪的通信系统标识	由固件与连接配置确定
SeqID	视觉传感器身份	配置内的SeqID = 1
列表下标 i	接收数组中的元素位置	第一个传感器用Img[0]

先建立“载具—传感器—数组项”的对应，再读取或控制。

载具ID定位运动对象，SeqID定位传感器，数组下标定位接收列表中的元素。

2.4.2 控制接口与调用约定：通信端点

端口约定取决于通信模式

```
PX4MavCtrler(ID=1, ip='127.0.0.1',
        Com='udp', port=0)  # 串口模式下port为波特率
```

本机默认UDP	发往CopterSim	接收返回数据
载具1	20100	20101
载具2	20102	20103

- **端口规律：** 发送端口为20100+2(ID−1)，接收端口加1；3号为20104/20105。
- **双向通信：** 目标IP与端口定位发送端点，回传地址与监听端口把反馈送回程序。

默认UDP按载具编号分配收发端口，目标地址与回传配置共同建立数据往返。

2.4.2 控制接口与调用约定：坐标与单位

同一个速度值必须带坐标和单位

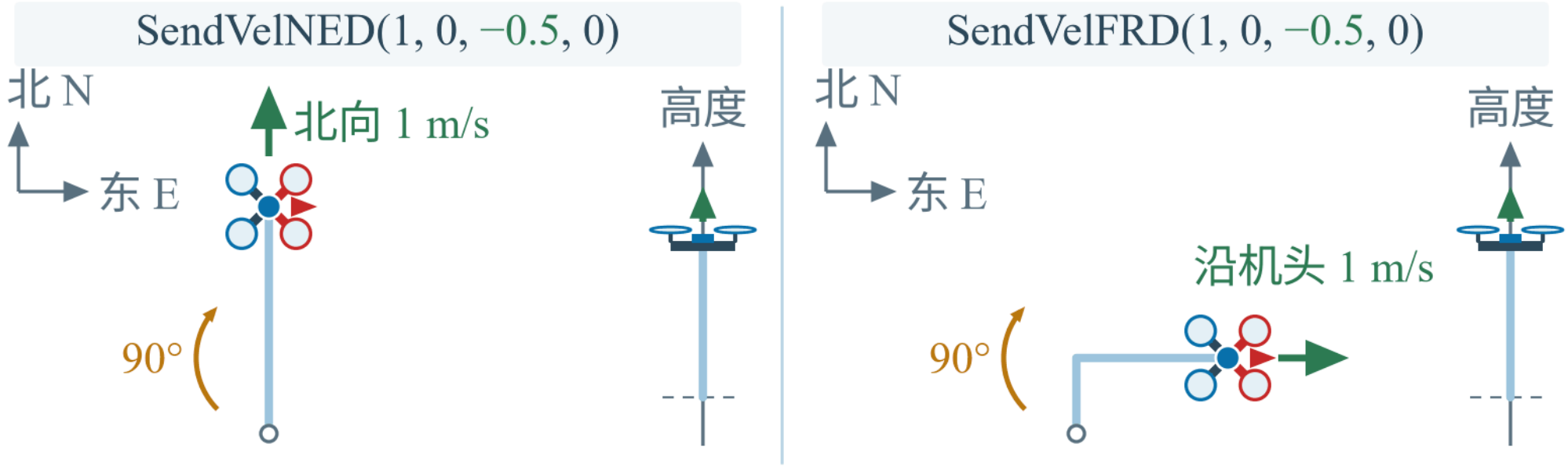
```
mav.SendVelNED(1, 0, 0, 0)
mav.SendVelFRD(1, 0, 0, 0)
```

- **NED：**北—东—地坐标；第一行给北向目标速度1 m/s，不随机头航向改变。
- **FRD接口：**本例PX4按航向转换水平速度，第二行向机头水平方向给1 m/s；第三分量向下为正。
- **第四参数：**yawrate为偏航角速度，单位rad/s；前三参数为m/s。
- **默认值：**省略参数为NaN而非零速；FRD水平分量须成对有效，本例给全四值。

北向速度固定朝北，FRD接口的水平速度随机头航向转动；向上速度取负值。

2.4.2 控制接口与调用约定：方向读图

NED与FRD速度方向怎样区分



NED 仍向北，FRD 随机头航向转动；第三分量 < 0 即上升

图：同一速度数值在NED与FRD坐标中的方向（原理示意）

北向速度固定朝北，FRD接口的水平速度随机头航向转动；向上速度取负值。

2.4.2 控制接口与调用约定：目标与反馈

设置目标与读到状态是两件事

写目标字段 → 后台发送（每10 ms） → 自驾仪与载具

SendVelFRD → vel、yawrate

控制计算与运动响应

接收并更新反馈

uavPosNED：位置
uavVelNED：速度

线程：与主程序同时运行的循环；**缓存：**对象中保存的最新目标或反馈值。

位置误差与实际速度满足任务阈值，且反馈持续更新，才可判定已到达。

目标先写入缓存再由后台发送，自驾仪依据估计控制运动，接收线程更新反馈。

2.4.2 控制接口与调用约定：完整调用

控制调用从初始化到正常结束

阶段	代表调用或状态	完成后得到什么
建立连接	构造对象；InitMavLoop()	启动接收，等待有效状态
进入控制	确认就绪；initOffboard()	启动目标流，再确认模式
执行任务	SendVel…；读取位置、速度	持续目标与运动反馈
结束任务	完成降落并确认上锁	已降落并上锁
结束通信	endOffboard()；stopRun()	相关循环停止、连接关闭

先确认通信与控制状态，再持续更新目标并完成任务。

2.4.2 控制接口与调用约定：PX4 SITL副作用

初始化与退出也会改变载具状态

函数	线程和连接	载具状态或参数
InitMavLoop	启动接收；创建发送线程对象	还会发送上锁命令
initOffboard	启动持续目标发送	发参数设置；请求解锁与切模式
endOffboard	停止并等待发送线程	可发退出请求；不降落、不恢复参数
stopRun	停止接收并关闭连接	仍解锁时会发送强制上锁命令

初始化会发上锁或切模式请求，stopRun在仍解锁时还会请求强制上锁。

2.4.2 控制接口与调用约定：代码读解

读懂最小控制调用的关键行

```
import time, PX4MavCtrlV4 as PX4MavCtrl
mav = PX4MavCtrl.PX4MavCtrler(1)
mav.InitMavLoop()
while not mav.isPX4Ekf3DFixed: time.sleep(0.5)
mav.initOffboard()
mav.SendPosNED(0, 0, -1.7, 0)
position = mav.uavPosNED
velocity = mav.uavVelNED
```

- **连接对象：** ID=1对应1号载具，端口20100/20101。
- **就绪判断：** 等待isPX4Ekf3DFixed为True，再请求外部控制。
- **目标与结果：** z=−1.7表示原点上方1.7 m；第四参数为偏航角，单位rad。
- **反馈判断：** 读取位置与速度；新反馈中误差和速度满足任务阈值，才可判定到达。

改编自第1章例程MavTest.py；正式程序要给等待加超时，收尾见“完整调用”表。

2.4.2 控制接口与调用约定：状态判断

何时可以继续，何时应结束

阶段	继续条件	未满足时的处理
接收阶段	实例ID正确；uavTimeStmp在增大	检查地址、模式和消息来源
外部控制	isPX4Ekf3DFixed、isArmed为真；QGC显示Offboard	地面超时不进入任务；空中转降落处置
目标执行	新反馈中误差与速度满足设定阈值	继续更新或转入任务处置分支
正常收尾	降落完成，并确认载具已上锁	先完成降落与状态确认，再关循环

新反馈、有效估计和正确模式支持控制，降落并上锁后再关闭通信。

2.4.2 控制接口与调用约定：问题定位

一条指令没有生效应先看什么

- **对象不符：**构造ID、目标地址和当前载具没有对应，指令可能发给了另一实例。

- **模式不符：**当前位置或速度目标没有被当前模式接受，目标值存在却未进入控制计算。

- **目标未更新：**后台未启动则目标无法持续发出；后台仍运行而算法停更，会继续发送缓存旧目标。

- **反馈未刷新：**程序读到缓存旧值；结合消息时间、模式与状态判断，而不只看三维画面。

本章目录

从配置产物到视觉数据

第二章　实验平台配置

2.1　关键工具介绍

2.2　平台安装与首次仿真

2.3　平台架构与开发流程

2.4　API与SDK开发接口

2.5　例程体系与实验路线

2.6　习题与课堂讨论

本节 4 个教学单元

2.4.1 任务与接口定位
教材对应：第 2.2.2.4—2.2.2.6、2.2.3 节

2.4.2 控制接口与调用约定
教材对应：第 2.2.3.2 节

2.4.3 配置产物与视觉调用
教材对应：第 2.2.2.7—2.2.2.8、2.2.3.3 节

2.4.4 建模与扩展接口
教材对应：第 2.2.3.1—2.2.3.2 节

2.4.3 配置产物与视觉调用：配置总览

VisCreate配置观测，三维端生成数据



图2.12 VisCreate界面与视觉传感器功能预览

- VisCreate（观测）：设场景、载具与传感器，存Config.json或导出Python/ROS例程。
- 场景预览不等于相机输出；可见光、热力红外和点云服务不同观测任务。
- SimCreate（实验）：组织机型和实验；三维命令（交互）：控制场景对象。

VisCreate记录传感器参数，三维端按配置成像，接收程序取得观测。

2.4.3 配置产物与视觉调用：相机字段

一台虚拟相机需要哪些配置

字段	实际配置值	含义
SeqID / TargetCopter	1 / 1	传感器身份 / 绑定载具
TypeID / TargetMountType	1 / 0	RGB / 固连于载具中心
DataWidth / DataHeight	640 / 480	输出图像像素宽度与高度
CameraFOV / SensorPosXYZ	90 / [0.3, 0, 0]	视场角（°） / 安装偏移（m）
DataCheckFreq / SendProtocol	30 / [1, 0, …]	更新频率（Hz）/1为UDP

身份、安装位姿、成像参数与传输方式共同定义观测。

2.4.3 配置产物与视觉调用：多模态输出

同一场景可以输出不同观测



图2.12 可见光输出

颜色与纹理像素
用于外观识别与定位

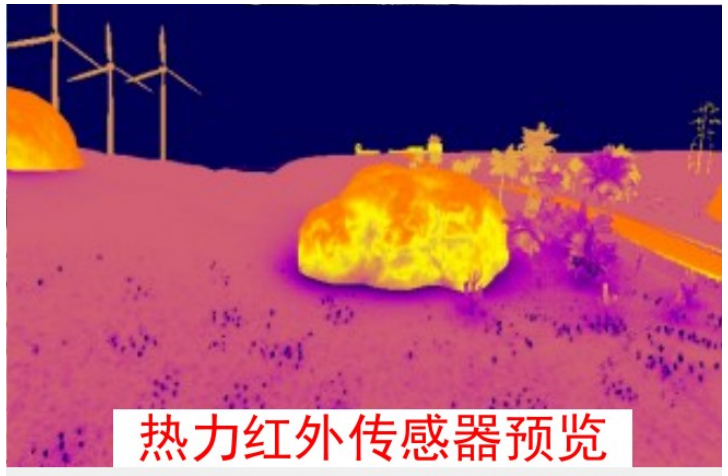


图2.12 热力红外输出

模拟热辐射差异
用于热目标感知

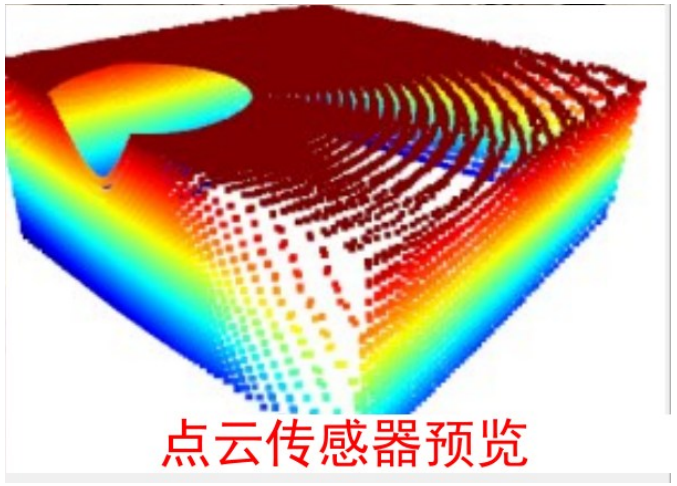


图2.12 点云输出

空间点的三维坐标
用于障碍检测与建图

观测类型改变数据含义，算法也要使用相应输入。

2.4.3 配置产物与视觉调用：调用顺序

从JSON到图像接收需要三步

```
import VisionCaptureApi
vis = VisionCaptureApi.VisionCaptureApi()
vis.jsonLoad(jsonPath="Config.json")
```

```
ok = vis.sendReqToUE4(windID=0)
```

```
if ok:
    vis.startImgCap()
```

- **解析：** jsonLoad追加配置；相对路径从入口脚本目录起算。
- **请求：** 空列表返回False；True表示已发出请求，不代表图像已到达。
- **接收：** startImgCap启动线程，新帧更新图像、标志与时间戳。

2.4.3 配置产物与视觉调用：新帧判断

时间戳去重与图像配对

```
i = 0
if vis.hasData[i]:
    stamp = vis.timeStmp[i]
    if stamp != last_stamp:
        frame = vis.Img[i].copy()
        last_stamp = stamp
```

去重片段：接收已启动，last_stamp初值为None，跨轮次保留。

- **i = 0**：配置列表第一项；不是CopterID或SeqID。
- **hasData**：读后不自动清空，可能重复读帧。
- **timeStmp**：比较前值去重；重启采集时重置基准。

接收线程分两次写图像和时间戳；严格配对要由接收线程把两者打包放入队列。

时间戳比较可避免重复处理，图像与时间戳的严格配对需要接收端同步。

2.4.3 配置产物与视觉调用：去重与配对

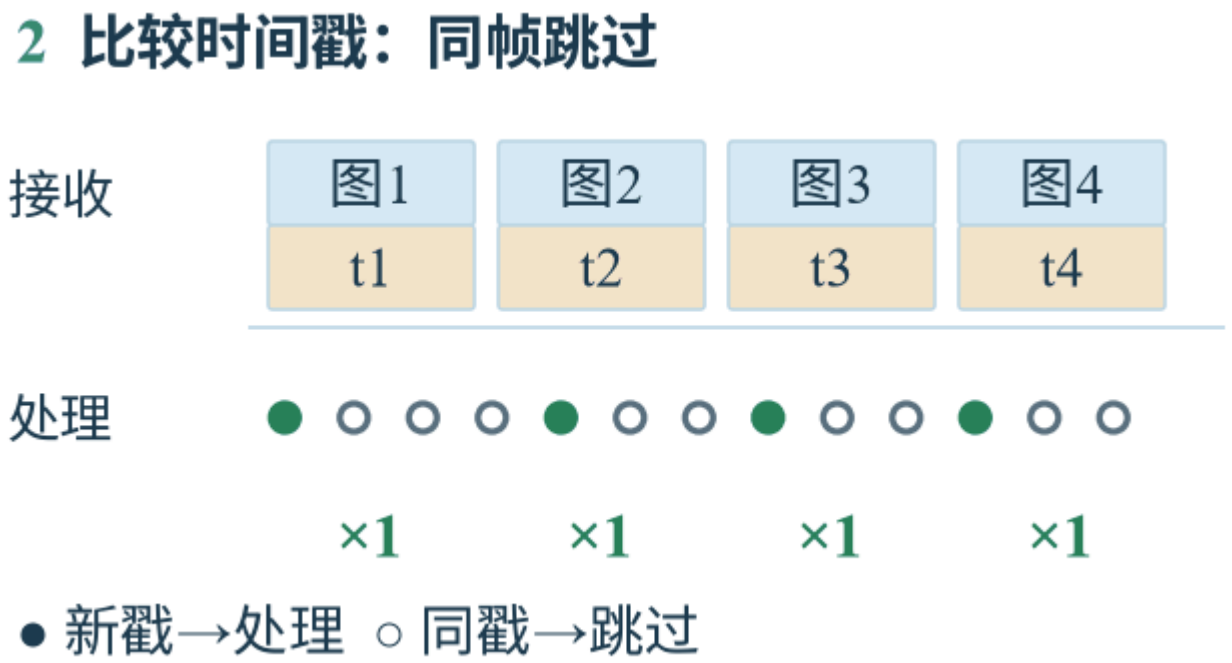
去重不等于图像与时间戳配对

hasData 不自动清零，
可能重复读取旧帧。

比较 timeStmp 可去重，
不保证图像与戳同帧。

UDP 分次更新图像与戳；
严格配对可成对入队。

图中时间仅为教学示意，
不是实测。



图：时间戳去重与成对入队（原理示意）

时间戳去重仍可能读到错配图像，接收端须保存同帧对应关系。

2.4.3 配置产物与视觉调用：参数消费

保存的参数怎样进入程序

```
"DataWidth": 640,
"DataHeight": 480,
"CameraFOV": 90.0,
"SensorPosXYZ": [0.3, 0, 0]
```

FOV：90° → 60°
像素数：640×480（不变）

位姿不变，比较目标占画面比例。

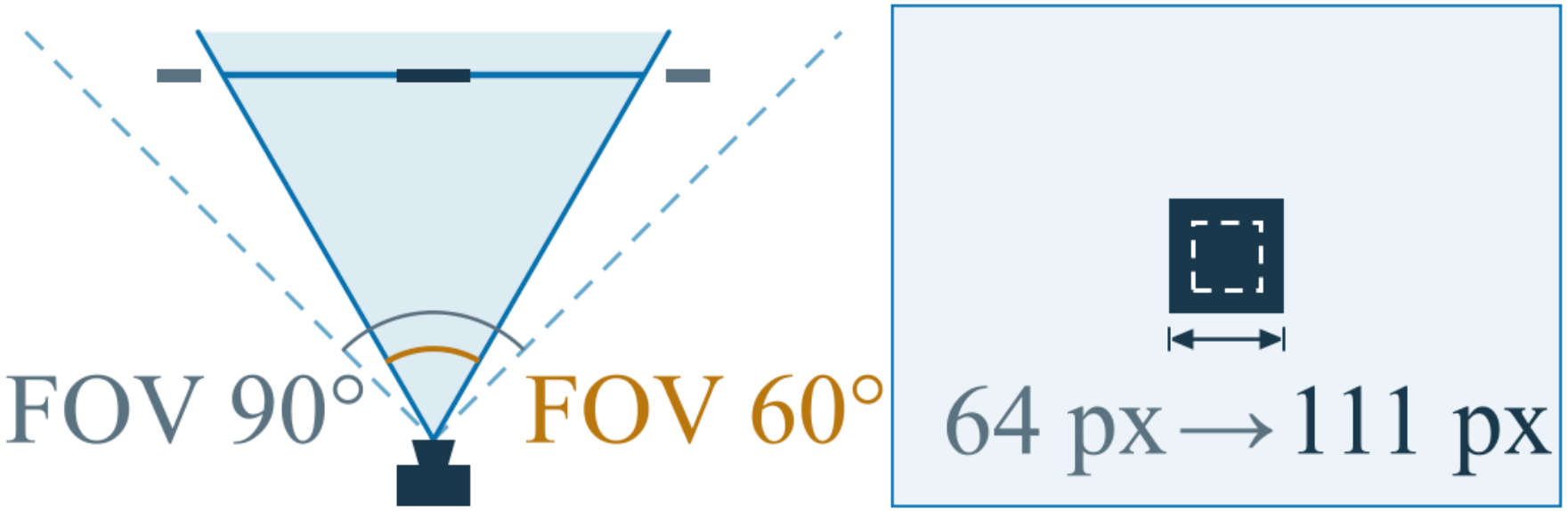
- **文件到对象：**保存配置后重启接收程序，用新对象加载一次，避免列表重复追加。
- **对象到请求：**按新配置请求并启动接收，三维端生成新观测，程序读取更新帧。
- **单项变化：**仅把视场角（FOV）由90°改为60°，比较视野范围。

配置写入文件后还需加载并请求，参数变化才会作用于观测。

2.4.3 配置产物与视觉调用：视场角变化

视场角缩小时，画面怎样变化

读图：固定640×480像素和相机位姿，只把水平视场角由90°缩至60°。
对照俯视扇形与右侧成像：同一目标由64 px增至约111 px，两侧参照板移出画面。

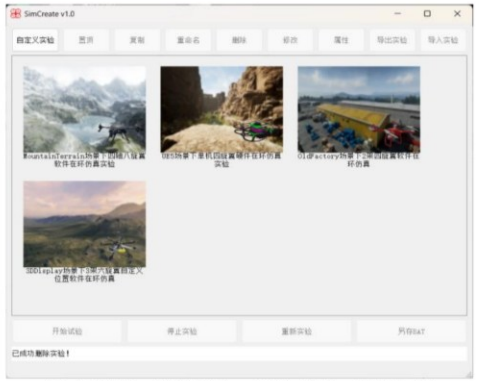


图：像素数不变时缩小水平视场角（几何示意）

像素数与位姿不变时，缩小视场角使视野变窄、目标像素宽度增加。

2.4.3 配置产物与视觉调用：实验组织

SimCreate组织实验、配置和运行


(a) 主界面：管理实验、开始仿真、创建BAT



(b) 仿真配置界面：多机选型、布局、场景选择



(c) 自定义机型配置界面：载具类型/外观、仿真模式等

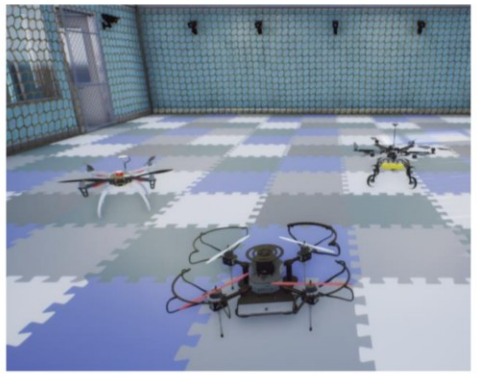

(d) 开始仿真页面：自动开始多种载具混合仿真场景

图2.13 SimCreate三级界面与运行效果

- **(a) 实验管理：** 建立、保存与启动实验。
- **(b) 仿真配置：** 选择载具、布局与场景。
- **(c) 机型配置：** 配置外观、模型与模式。
- **(d) 运行效果：** 展示实际启动的多个载具与场景。

2.4.3 配置产物与视觉调用：实验配置

实验配置记录哪些对象



图2.13(a) 实验管理操作栏（局部）

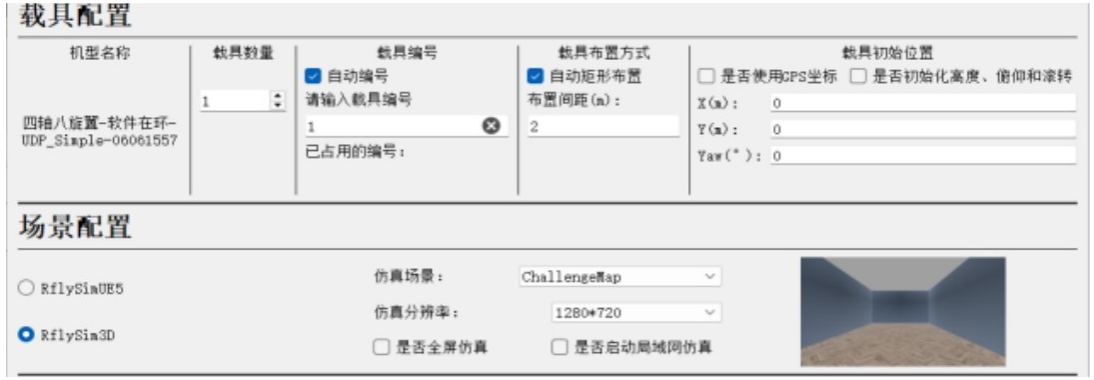


图2.13(b) 载具与场景配置（局部）

- **实验管理：**保存后从主界面选实验启动，重开检查配置是否恢复。
- **载具配置：**起始ID为2、数量为3时，自动编号为2、3、4；初始状态须对应各载具。
- **场景配置：**环境、分辨率与启动选项随实验保存。

保存配置不仅要留住参数，还要让载具身份与初始布局能够复现。

2.4.3 配置产物与视觉调用：机型与脚本

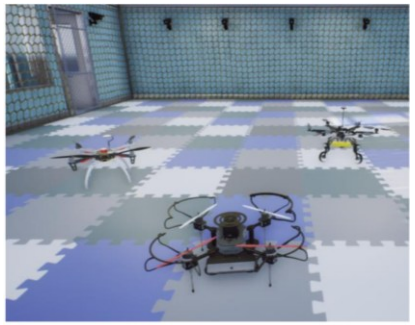
机型配置如何进入一次运行



c) 自定义机型配置界面：载具类型/外观、仿真模式等

图2.13(c) 机型配置

```
SET /a CLASS_3D_ID=105000003      → 外观
SET DLLModel=0                    → 运动模型
SET SimMode=PX4_HITL              → 仿真模式
SET UE4_MAP=Quarry                → 地图
```



(d) 开始仿真页面：自动开始多种载具混合仿真场景

图2.13(d) 运行效果

SimCreate导出的另一份实验脚本；本例为硬件在环，需连接实体自驾仪。

外观、运动模型与仿真模式分别配置，再由脚本启动。

2.4.3 配置产物与视觉调用：界面作用

三维界面的操作改变了什么

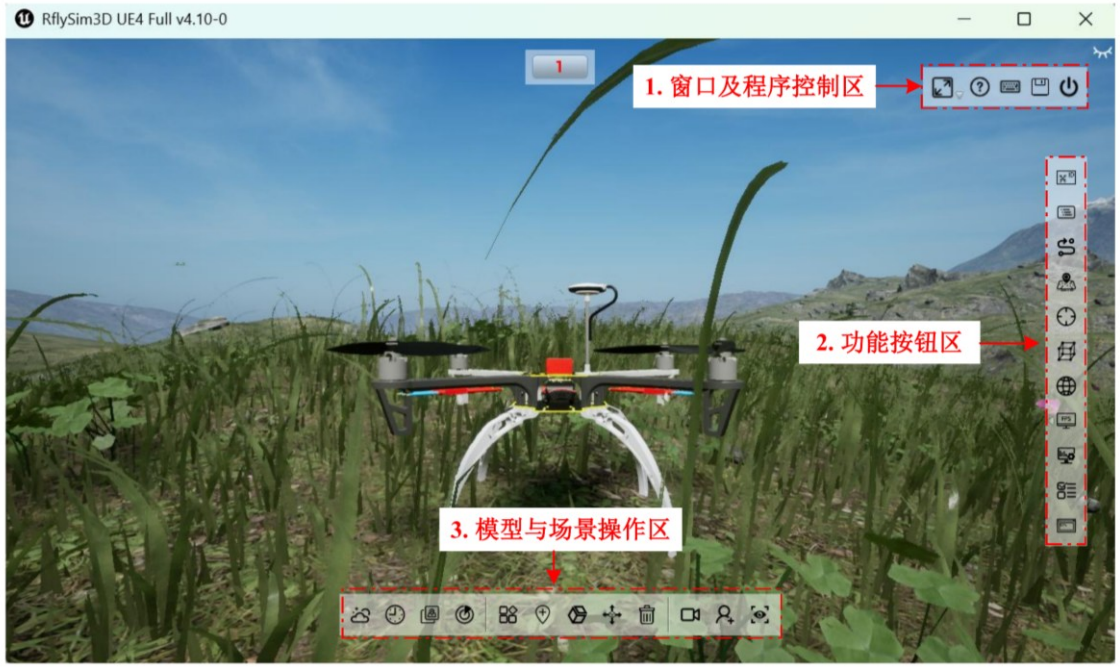


图2.16 RflySim3D的配置功能按键

- **区域1：**窗口大小、设置、帮助与关闭程序。
- **区域2：**显示小地图、帧率、载具ID等信息，并打开命令输入界面。
- **区域3：**天气、时间和地图改变观测环境；聚焦载具、切换视角只改变画面。

观察视角改变观看方式，天气与地图改变观测环境，运行控制改变仿真过程。

2.4.3 配置产物与视觉调用：快捷键与控制台

用按键切换焦点、视角与地图，用控制台输入命令

按键	作用	说明
F1	弹出帮助菜单	列出快捷键说明
B+数字	聚焦到该编号载具	只改变观察焦点
V+数字	切换到第N号视角	0跟随、1前视等，只改画面
M+数字	切换到第N号地图	有CopterSim时可能被改回
`（反引号）	打开控制台	可输入与按键等效的命令

RflySim3D快捷键与控制台命令索引：https://rflysim.com/doc/zh/4.DevRef/3d-keys.html

快捷键与控制台命令操作同一批三维功能，切换焦点与视角只改变画面。

2.4.3 配置产物与视觉调用：命令对象

将一次界面操作写成明确命令

```
import UE4CtrlAPI
ue = UE4CtrlAPI.UE4CtrlAPI()
ue.sendUE4Cmd('RflyChangeViewKeyCmd B 1', windowID=0)
```

- **命令内容：**等同于在三维窗口按B+1，把观察焦点切到CopterID为1的载具。
- **接收窗口：**windowID=0只发零号窗口，不是零号载具；省略时发给0—2号窗口。
- **作用范围：**切换观察焦点只改变视角；控制接口发送运动目标，由自驾仪执行。

窗口编号决定接收端，命令内部编号决定操作对象。

本章目录

读懂图形模块与扩展接口

第二章　实验平台配置

2.1　关键工具介绍

2.2　平台安装与首次仿真

2.3　平台架构与开发流程

2.4　API与SDK开发接口

2.5　例程体系与实验路线

2.6　习题与课堂讨论

本节 4 个教学单元

2.4.1 任务与接口定位
教材对应：第 2.2.2.4—2.2.2.6、2.2.3 节

2.4.2 控制接口与调用约定
教材对应：第 2.2.3.2 节

2.4.3 配置产物与视觉调用
教材对应：第 2.2.2.7—2.2.2.8、2.2.3.3 节

2.4.4 建模与扩展接口
教材对应：第 2.2.3.1—2.2.3.2 节

2.4.4 建模与扩展接口：模块总览

Simulink模块也有输入输出约定

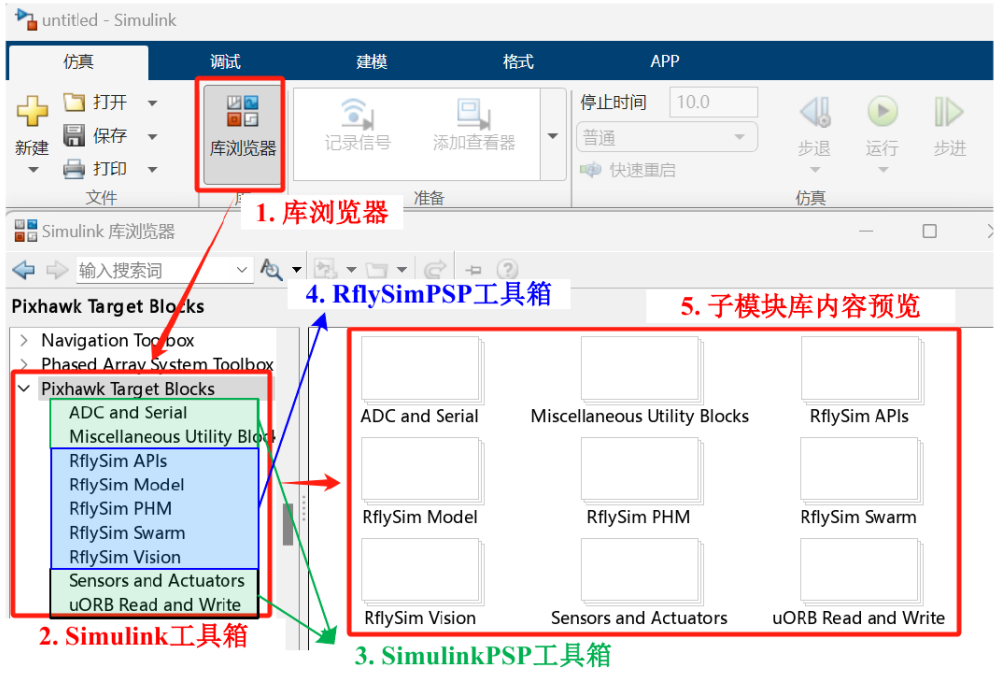


图2.15 RflySim工具链Simulink模块库

- **1—2 进入库：**库浏览器与工具箱层级。
- **3 SimulinkPSP：**官方库，读写硬件与PX4内部消息。
- **4 RflySimPSP：**运动模型、控制、健康、集群与视觉。
- **5 具体模块：**端口、参数和采样约定。

模块端口传递算法信号，参数决定接口行为，采样时间决定调用节奏。

2.4.4 建模与扩展接口：库的分工

基础库SimulinkPSP与扩展库RflySimPSP提供哪些能力

库组	实际子库名称	典型任务
基础库	ADC and Serial	模数转换与串口读写
基础库	Miscellaneous Utility Blocks	日志、打印、参数传递
基础库	Sensors and Actuators	传感采集与执行器接口
基础库	uORB Read and Write	内部消息读写
扩展库	RflySim APIs / Model	状态控制 / 运动模型
扩展库	RflySim PHM / Swarm / Vision	健康评估 / 集群 / 视觉

2.4.4 建模与扩展接口：内部消息

uORB消息怎样接到算法输入

PX4内部消息 → uORB读取模块 → 算法输入信号

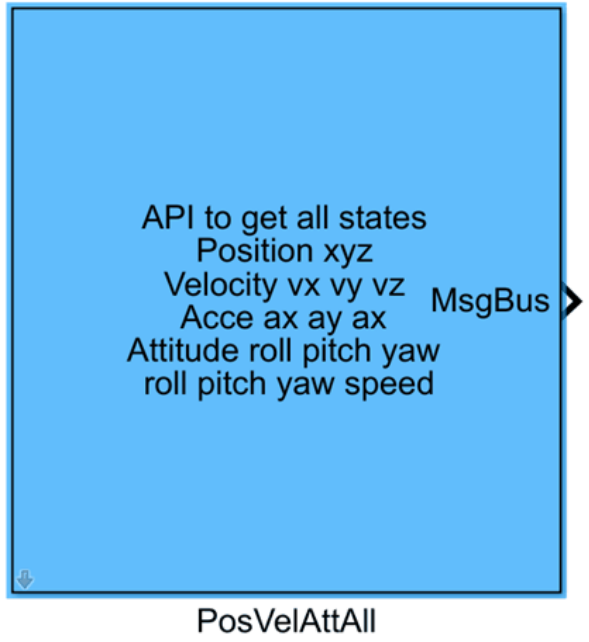
vehicle_local_position

- **发布订阅：**微对象请求代理器（uORB）在PX4内部传递传感、估计与控制消息。
- **字段选择：**x、y、z为北、东、地位置（m）；xy_valid与z_valid分别标明水平和垂向位置是否有效。
- **使用条件：**同时检查时间戳更新；无效或陈旧估计不能直接送入控制。MAVLink对外通信，uORB连接内部模块。

uORB把PX4内部状态送到算法，字段的单位、坐标和有效标志决定如何使用。

2.4.4 建模与扩展接口：端口读解

选中模块后还要读端口与采样



图：PosVelAttAll模块

- **MsgBus：**输出总线，即按字段名打包成的多路信号，含pos_vel_acc与att_rate两支。
- **字段来源：**前者来自vehicle_local_position；后者组织姿态、四元数和角速度。
- **参数与采样：**SamTime默认1/250 s；读取快于发布时，会重复取得上一条消息。
- **接入算法：**用Bus Selector按字段名选择，结合原消息定义读取单位与有效性。

总线按字段名传状态，模块每4 ms读取一次时，消息仍按发布者节奏更新。

2.4.4 建模与扩展接口：构建命令

设置、编译、上传是不同命令

MATLAB命令	作用	对应对象
PX4CMD	只改编译目标，不切版本	如px4_fmu-v6c_default
PX4Build	编译固件	所选目标的固件产物
PX4Upload	上传已生成的固件	对应型号的自驾仪硬件
PX4AppName	设置生成模块名称	自动生成的控制程序
PX4SitlSet	将生成控制器接入SITL	个人版及以上；已生成代码
PX4SitlRec	恢复常规SITL控制路径	个人版及以上；还原环境

目标设置决定编译对象，编译产物再进入仿真或硬件。

2.4.4 建模与扩展接口：环境适配

自有Python环境怎样找到SDK

- **解释器：**编辑器与终端使用同一预期环境；在Python中执行import sys; print(sys.executable)核对实际路径。

- **搜索路径：**import找到SDK后，用模块.__file__确认加载位置；找不到模块先检查SDK路径注册。

- **第三方依赖：**SDK还会导入NumPy等包；按报错包名核对当前环境，不要因缺包重复安装整个平台。

- **注册脚本：**Windows非venv环境可用RflySimSDK\ReLabPath.py写入rflysim.pth。venv要注册到自身site-packages；Linux/WSL分支改写PYTHONPATH。

2.4.4 建模与扩展接口：ROS适配

换成ROS程序仍需保持接口约定

例程文件	任务	保持的约定
Config.json	定义传感对象与观测参数	编号、安装位姿、类型
sensor_ros_pub.py	请求并发布观测；含起飞	消息内容、坐标与时间
sensor_ros_sub.py	接收；ROS2先修正订阅类型	话题、数据类型与更新
vision_ros1/2.rviz	对应分支的观测配置	参考坐标和显示对象

文件位于e13_VisAPIPyCpp\2.rosPythonExps；发布脚本含载具控制，在SITL中运行。

适配层改变传输形式，不改变观测与目标的物理含义。

2.4.4 建模与扩展接口：交付内容

最小接口实验应交付哪些内容

任务	程序与配置	结果与解释
控制调用	对象ID、连接模式； 目标序列、退出条件	位置/速度反馈、模式及时间
视觉调用	JSON、接收方式； 传感器顺序、消费代码	图像或点云、时间戳、参数
共同要求	保留修改项与对应版本	说明目标、条件和实际观察

按2.3的开发流程组织接口，在2.5选择完整例程复现。

配置、程序和结果对应，别人才能解释并复现调用。

2.4 API与SDK开发接口：课堂练习

判断三段调用缺少什么

片段或现象	缺失或混淆	修正方向
只构造对象就SendVelFRD	接收、发送循环； 控制条件	补初始化； 判断就绪与模式
hasData=True就反复处理	缓存有数据不代表新帧	时间戳去重； 接收端成对入队
把windowID当作CopterID	窗口号与载具号混淆	窗口参数和命令对象分开

讨论：函数返回了，任务是否完成？依据是反馈与任务条件。

调用位置、数据状态和编号语义决定修正方向。

2.4 API与SDK开发接口：本节小结

从任务到接口，再到可解释结果

- **定位任务：**控制、通信、视觉、三维、健康和集群接口各有职责。
- **读清约定：**对象身份、端点、坐标、单位、默认值与运行状态共同约束调用。
- **连接产物：**配置、启动脚本、程序和图形模块共同组织一次实验。
- **解释结果：**新反馈与误差判断运动，时间戳识别新数据；降落并上锁后再关闭控制接口。

视觉传感器字段、输出类型与请求示例
https://rflysim.com/doc/zh/4.DevRef/vis-cfg.html