

# 1. 实验名称及目的

## 1.1 实验名称

水面无人船绳缆牵引水下无人艇实验

## 1.2 实验目的

- 掌握水面无人船 (USV) 与水下无人艇 (UUV) 协同控制的基本原理。
- 理解基于绳缆牵引的动力学模型及其在异构系统中的应用。
- 学习 PX4 飞控的 Offboard 模式及其在水下无人系统中的扩展。
- 验证水面无人船对水下无人艇的牵引控制效果。

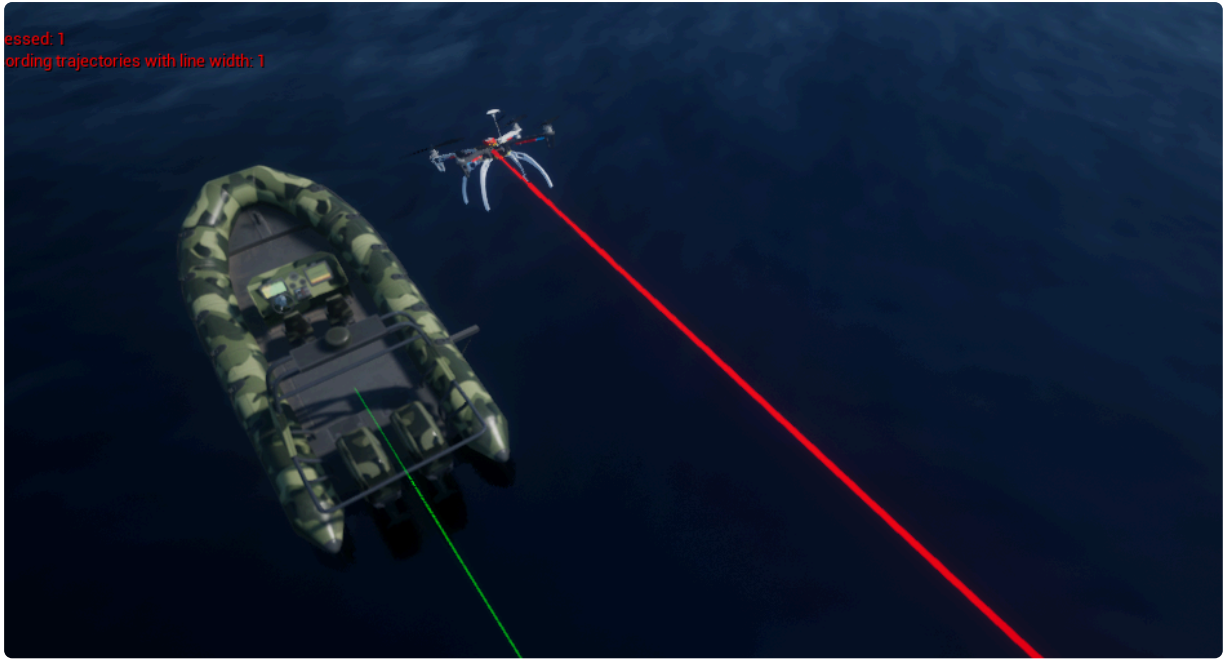
## 1.3 关键知识点

- 绳缆动力学**: 通过 `ropeInfo_generator.py` 模拟绳缆的张力与方向计算, 分析其对 UUV 运动的影响。
- Offboard 模式**: 利用 PX4 的 Offboard 模式实现 USV 和 UUV 的协同控制。
- 多线程控制**: 通过 `UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py` 实现 USV 和 UUV 的独立控制与协同。
- 仿真环境**: 基于 RflySim3D 和 PX4 SITL 的异构无人系统仿真。

---

## 2. 实验效果

- 定性效果**: 水面无人船通过绳缆牵引水下无人艇, 完成协同运动。
- 可视化**: 实验效果通过 RflySim3D 仿真平台展示。



## 3. 文件目录

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e6.Hetero\\_SwarmExps\5.USV\\_UVCoTraking](#)

文件名	说明
<code>ropeInfo_generator.py</code>	绳缆动力学计算脚本
<code>UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py</code>	控制程序主脚本
<code>USVNoCtrlSITLRun.bat</code>	启动无人船仿真脚本
<code>UUVNoCtrlSITLRun.bat</code>	启动无人艇仿真脚本
<code>MultiVehicleRunALL.bat</code>	启动所有仿真脚本
<code>Python38Run.bat</code>	配置 Python 环境脚本

### 4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；MATLAB2022B以上版本。

①：若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4\_fmu-v6x\_default，推荐PX4固件版本为：1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见：  
<https://rflsim.com/doc/zh/1/Hardware.html>

## 4.2 硬件要求

笔记本/台式电脑1台。

①：推荐配置请见：<https://rflsim.com/>

## 5. 实验步骤

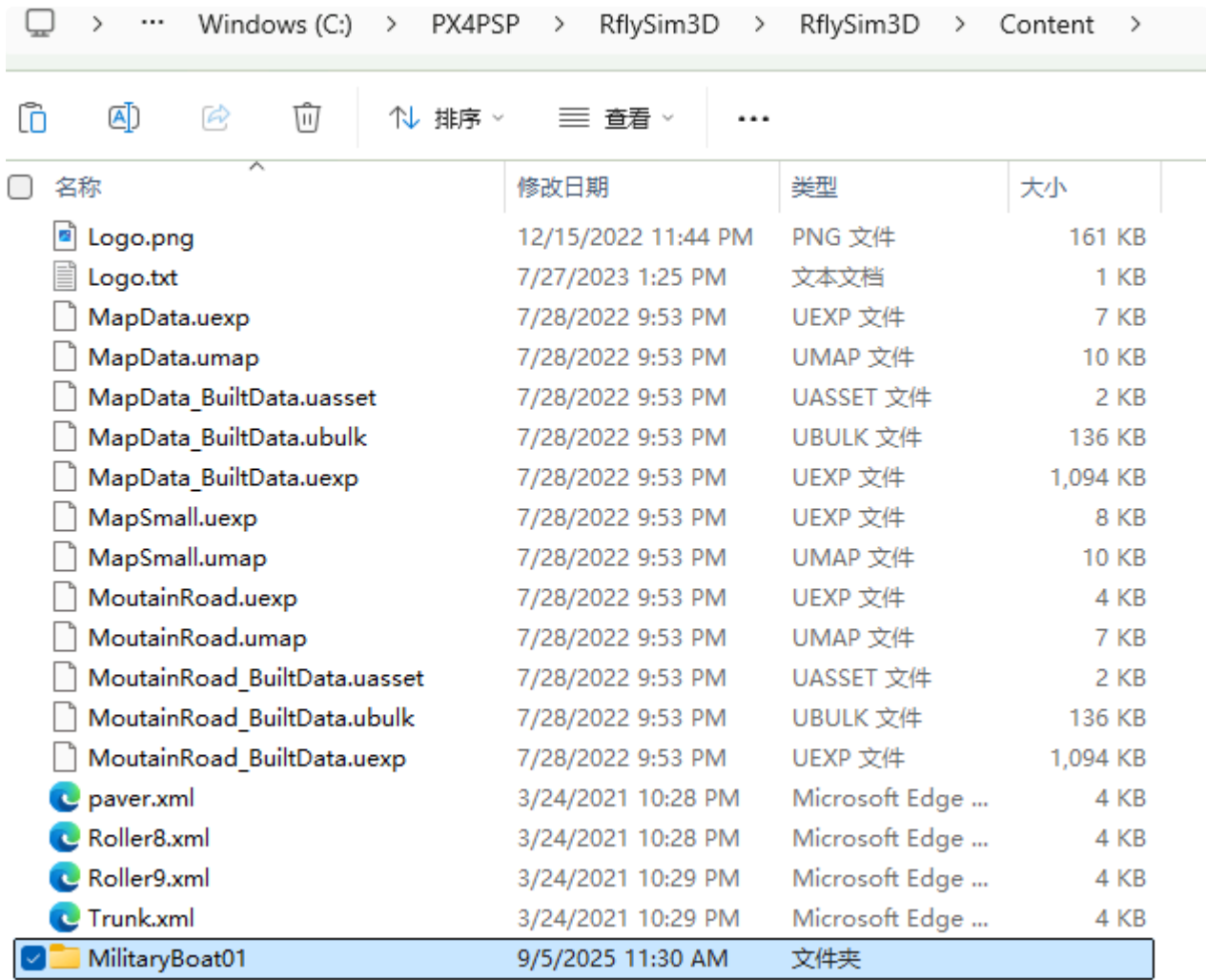
### step1 下载并导入三维模型

下载定位船和绳缆三维模型MilitaryBoat01.zip并解压拷贝到  
C:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Content目录下

链接:

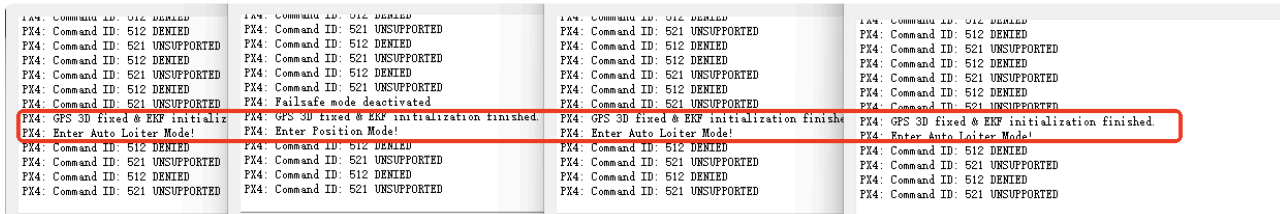
[https://pan.baidu.com/s/1YyKu95jeXHxYomRI\\_l-5cQ?pwd=6y37](https://pan.baidu.com/s/1YyKu95jeXHxYomRI_l-5cQ?pwd=6y37)

提取码: 6y37



## step2启动仿真

双击运行MultiVehicleRunALL.bat脚本，会自启动1个RflySim 3D，1个QGroundControl，4个CopterSim，等待所有CopterSim信息栏出现 PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished. 字段。





## step3启动控制程序

打开Python38Run.bat脚本输入 `python UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py` 并执行。

```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Python3.8 environment has been set with openCV+pymavlink+numpy+pyulog etc.
You can use pip or pip3 command to install other libraries
Put Python38Run.bat into your code folder
Use the command: 'python XXX.py' to run the script with Python

F:\git\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e6.Hetero_SwarmExps\1.3Cars3UAVsSwarm>python UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py
0号飞机已到达指定高度
1号飞机已到达指定高度
2号飞机已到达指定高度
|
```

在RflySim3D查看实验效果。



## 7. 常见问题

### 1. 绳缆动力学异常

- **现象：**UUV 的运动轨迹不符合预期，出现抖动或偏离。
- **原因：**绳缆张力计算错误或仿真参数设置不当。
- **解决：**检查 `ropeInfo_generator.py` 中的偏置参数 `bias_uuv` 和 `bias_boat` 是否正确。

### 2. 仿真启动失败

- **现象：**运行 `MultiVehicleRunALL.bat` 后，CopterSim 未正常启动。
- **原因：**路径配置错误或权限不足。

- **解决**: 检查 `PSP_PATH` 环境变量是否正确，确保以管理员权限运行脚本。

### 3. 通信延迟

- **现象**: USV 和 UUV 的协同控制存在明显延迟。
- **原因**: UDP 通信频率过低或网络不稳定。
- **解决**: 调整 `UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py` 中的控制频率为 30 Hz。

---

## 6. 拓展实验

### 1. 增加水下无人艇数量

- **目的**: 验证多 UUV 协同运动的可行性。

## 5. 实验步骤

1. 修改 `\UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py` 中的 `\VehicleNum` 参数。
2. 调整 `\MultiVehicleRunALL.bat` 脚本以支持更多仿真实例。
3. 运行实验并记录结果。

### 2. 复杂水流环境模拟

- **目的**: 测试绳缆牵引系统在复杂水流环境下的稳定性。

## 5. 实验步骤

1. 修改 `RflySim3D` 的环境配置，增加水流扰动。
2. 调整控制算法以适应动态环境。

---

## 6. 参考资料

1. [PX4 官方文档](#) - 提供 PX4 飞控的详细使用说明。
2. [RflySim 官方网站](#) - 包含 RflySim 工具链的安装与使用指南。
3. [MAVLink 协议文档](#) - 介绍 MAVLink 通信协议的详细内容。

4. [Python 官方文档](#) - 提供 Python 编程语言的参考资料。
5. [无人系统动力学与控制](#) - 介绍无人系统动力学的经典教材。