

## 软件简介

CopterSim是RflySim平台核心软件之一，它是针对Pixhawk/PX4自驾仪平台开发的一款硬件在环仿真软件，可以在软件中配置多旋翼的模型，通过USB串口与Pixhawk自驾仪连接来实现硬件在环仿真，达到室内模拟室外飞行测试的效果。主要由两大部分组成—模型和通信。模型是指可根据所设置的模型参数，进行计算后直接就可进行仿真；并支持运行动态模型(DLL)，并连同其他软件构成软/硬件在环仿真。CopterSim是所有数据通信的中心；飞控与CopterSim通过串口（硬件在环HITL）或网络TCP/UDP（软件在环SITL）进行连接，使用MAVLink进行数据传输，实现控制闭环，模拟室外飞行情形；CopterSim发送飞机位姿、电机数据到三维引擎，实现可视化展示；转发MAVLink消息到Python视觉或QGC地面站，传输飞机实时状态，实现顶层规划控制；等等。同时，CopterSim软件对MAVLink数据进行压缩后以UDP结构体形式发给集群控制软件，达到通信精简目的（大规模集群需求）。

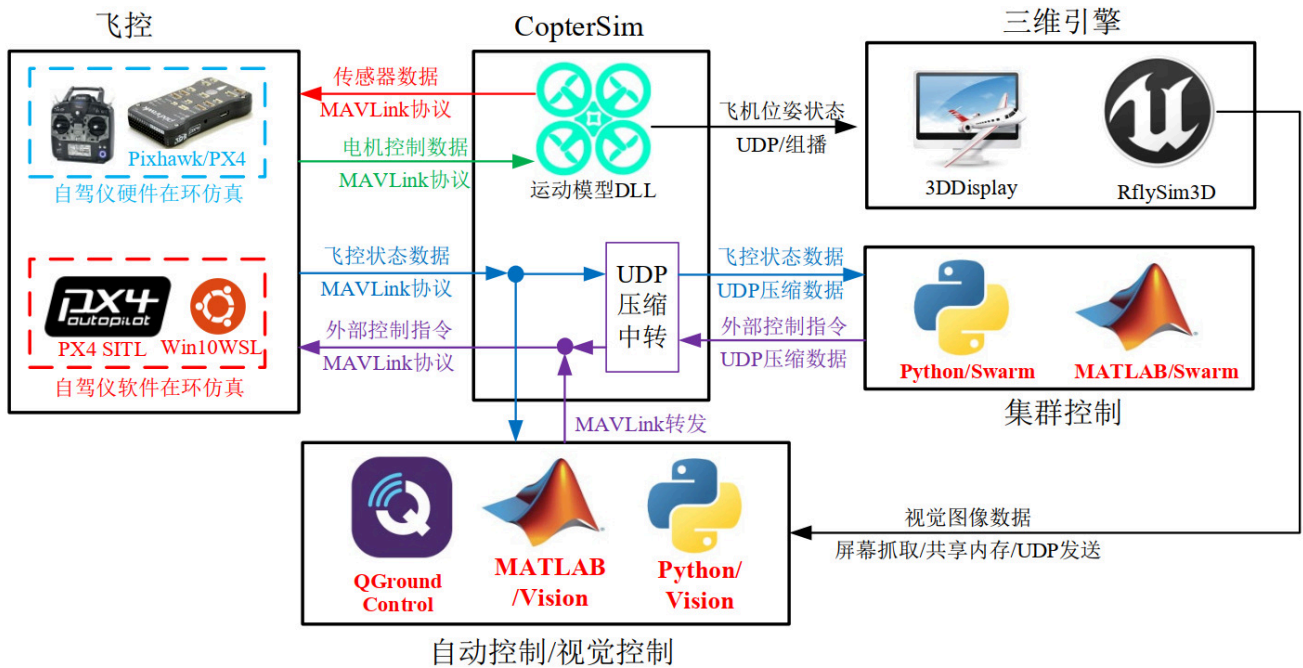


图 1 CopterSim软件的数据通信结构图

## 安装与卸载

详见 [HowToInstall.pdf](#)

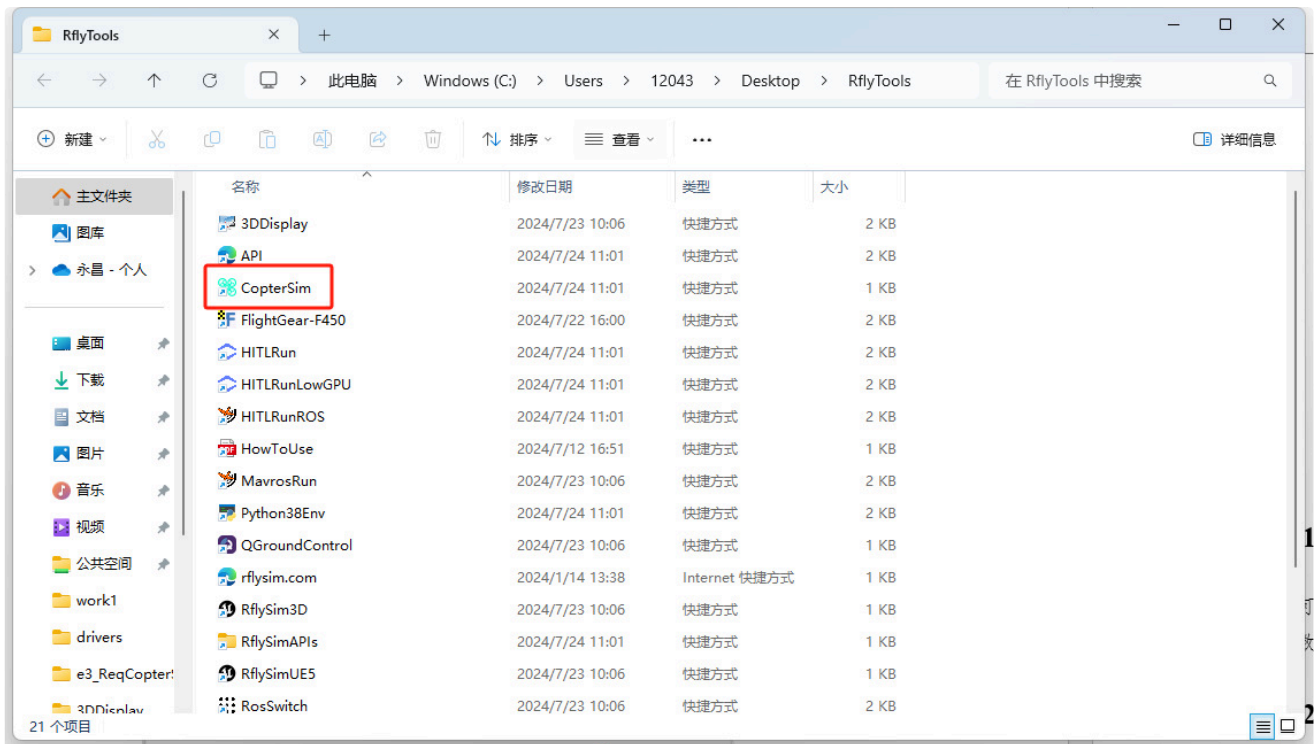
## 用户使用说明

### 启动与关闭

#### 启动方式

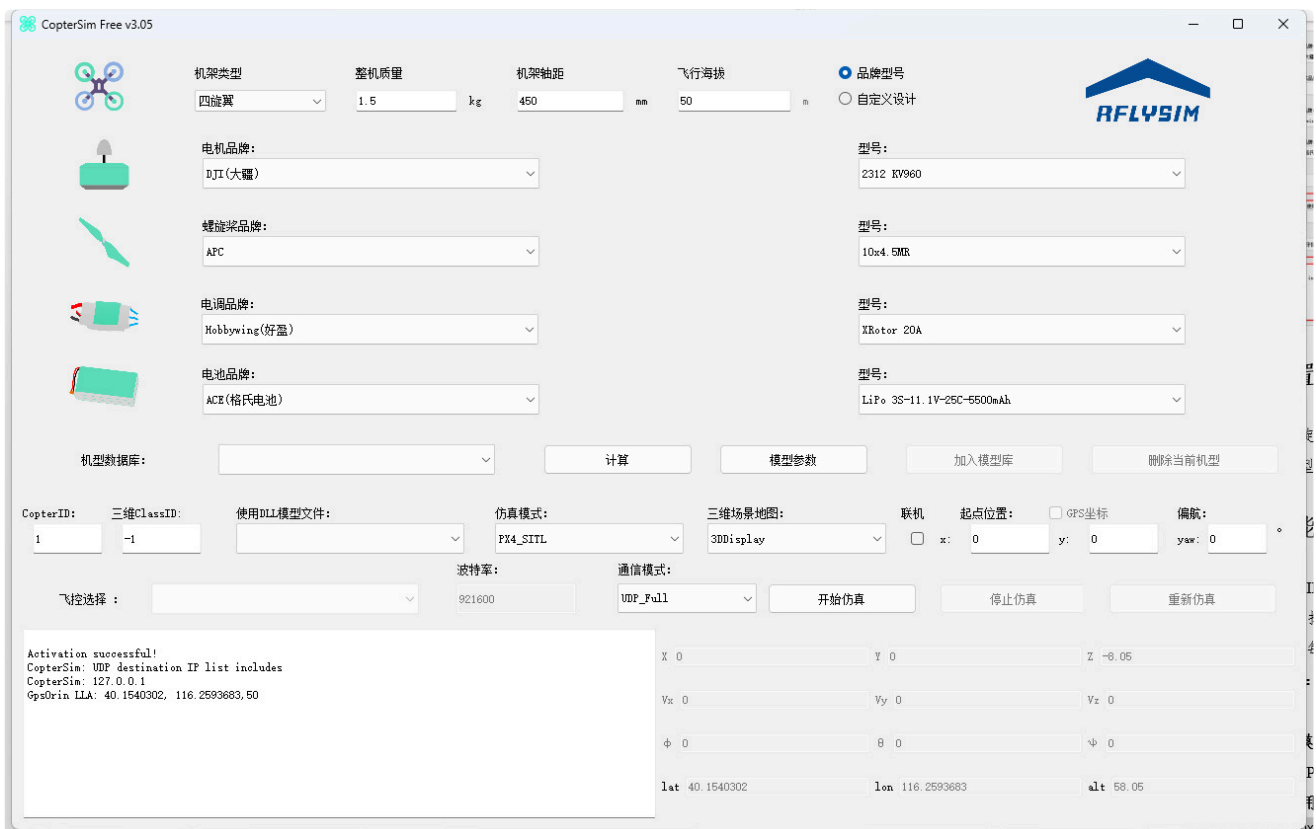
安装平台时会在桌面生成Rflytools文件夹，其内有快捷方式

直接通过快捷方式打开



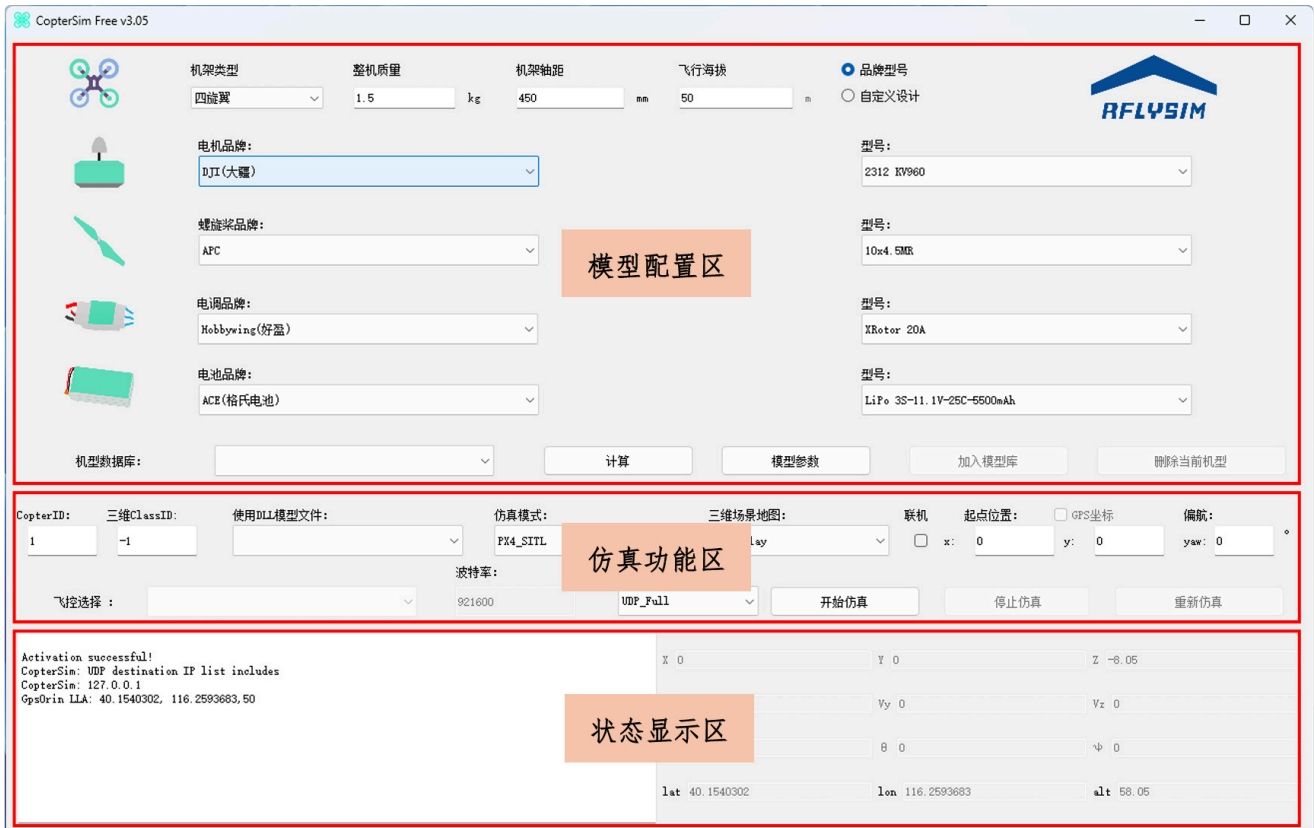
## 关闭方式

直接手动关闭软件



## 操作界面

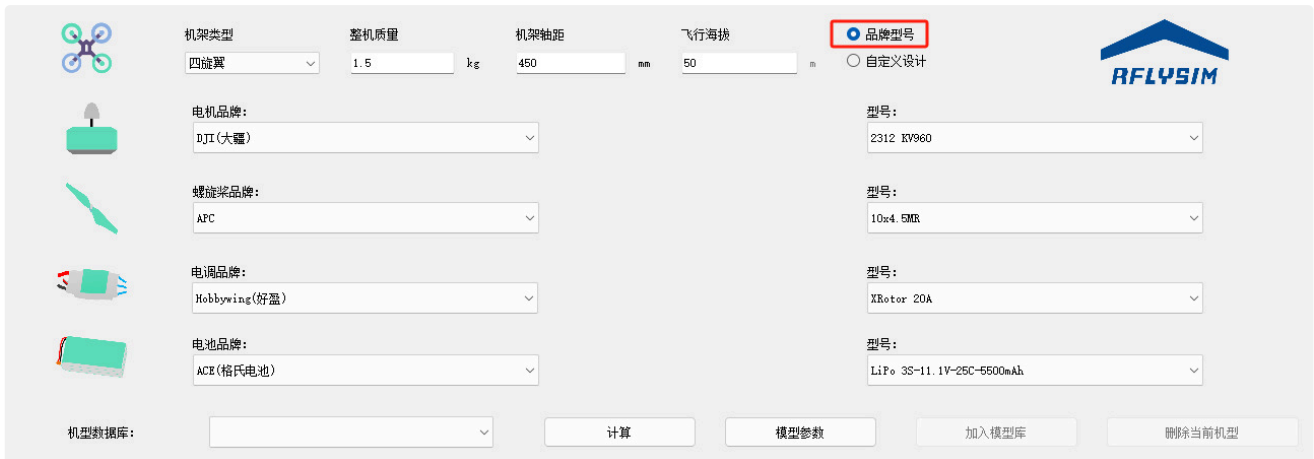
CopterSim的主界面主要分为模型配置区、仿真功能区、状态显示区三部分，如下图所示。



## 模型配置区

可以配置定制多旋翼的构型、尺寸、重量等数据，CopterSim将计算出指定多旋翼模型的参数，实现不同机型的仿真。

这些配置可以按照品牌型号区选择，也可以按参数自定义选择。



将模型配置好之后，点击“计算”可以将模型的数据计算出来。

计算好后，会弹出一个详细的参数对话框。

多旋翼总质量:m	1.5	kg
重力加速度:g	9.8	m/s <sup>2</sup>
转动惯量矩阵: Jxx	0.01298	kg.m <sup>2</sup>
J=diag(Jxx, Jyy, Jzz):Jyy	0.01298	kg.m <sup>2</sup>
:Jzz	0.02319	kg.m <sup>2</sup>
多旋翼机身半径(1/2轴距):d	0.225	m
螺旋桨推力系数(Tp/ω <sup>2</sup> ):CT	1.222e-05	N/(rad/s) <sup>2</sup>
螺旋桨力矩系数(Mp/ω <sup>2</sup> ):CM	2.137e-07	N.m/(rad/s) <sup>2</sup>
油门(σ)到稳态转速(ω_ss): CR	728.89	rad/s
(ω_ss=CR*σ+ω_b): ω_b	151.72	rad/s
电机螺旋桨转动惯量:Jm	6.89e-05	kg.m <sup>2</sup>
电机响应时间常数:Tm	0.0677	s
空气阻力系数(D/v <sup>2</sup> ):Cd	0.0752	N/(m/s) <sup>2</sup>
旋转阻尼系数(M/ω <sup>2</sup> ):Cm	0.0103	N.m/(rad/s) <sup>2</sup>

点击“存储并使用参数”，可以将计算好的模型参数进行保存。该参数会储存到“\*:PX4PSP\CopterSim”这个路径下面，参数的文件类型为db格式。保存后就可以使用该模型进行仿真。

如果想要还原参数，请在主页面下点击“模型参数”，同样会弹出模型参数对话框。

然后点击“还原默认参数”，但此时还原的参数还没有进行保存，还需要点击“存储并使用参数”才会将数据保存。

多旋翼总质量 : m	1.4	kg
重力加速度 : g	9.8	m/s <sup>2</sup>
转动惯量矩阵 : J <sub>xx</sub>	0.0211	kg·m <sup>2</sup>
J = diag(J <sub>xx</sub> , J <sub>yy</sub> , J <sub>zz</sub> ) : J <sub>yy</sub>	0.0219	kg·m <sup>2</sup>
: J <sub>zz</sub>	0.0366	kg·m <sup>2</sup>
多旋翼机身半径 (1/2轴距) : d	0.225	m
螺旋桨推力系数 (T <sub>p</sub> /ω <sup>2</sup> ) : C <sub>T</sub>	1.105e-05	N/(rad/s) <sup>2</sup>
螺旋桨力矩系数 (M <sub>p</sub> /ω <sup>2</sup> ) : C <sub>M</sub>	1.779e-07	N·m/(rad/s) <sup>2</sup>
油门(σ)到稳态转速(ω <sub>ss</sub> ) : C <sub>R</sub>	1148	rad/s
(ω <sub>ss</sub> =C <sub>R</sub> *σ + ω <sub>b</sub> ) : ω <sub>b</sub>	-141.4	rad/s
电机螺旋桨转动惯量 : J <sub>m</sub>	0.0001287	kg·m <sup>2</sup>
电机响应时间常数 : T <sub>m</sub>	0.05	s
空气阻力系数 (D/v <sup>2</sup> ) : C <sub>d</sub>	0.073	N/(m/s) <sup>2</sup>
旋转变阻系数 (M/v <sup>2</sup> ) : C <sub>m</sub>	0.0055	N·m/(rad/s) <sup>2</sup>

## 仿真功能区

支持设置飞机的ID、通信接口、仿真模式、三维场景、分布式联机仿真、地图初始位置、飞控COM串口选择、通信模式等配置；同时可以控制仿真的开始、暂停和重新启动；

- **\*\*本机ID:** \*\*即每个飞机的标号
- **\*\*UDP收端口:** \*\*Simulink/Python等外部程序需要发送数据到本端口，并从端口+1返回数据。
- **\*\*使用DLL模型文件:** \*\*该接口用于选择不同的DLL文件，选项对应的文件夹地址为：\*PX4PSP\CopterSim\external\model
- **仿真模式:** 用于选择不同的仿真模式，主要分为如下几种：

**\*\*PX4\_HITL:** \*\*此模式为PX4官方硬件在环仿真模式。

**\*\*PX4\_SITL:** \*\*此模式为PX4官方软在环仿真模式。

**\*\*PX4\_SITL\_RFLY:** \*\*此模式为RflySim平台自定义的软件在环仿真模式，由于PX4\_SITL仅支持10架无人机集群仿真，在本模式下可支持上百架无人机进行SITL仿真。

**\*\*Simulink&DLL\_SIL:** \*\*Simulink中生成的DLL文件仿真模式。

- **\*\*三维显示场景:** \*\*用于选择在RflySim3D中的三维显示场景，该选项对应的文件夹地址为：\*PX4PSP\CopterSim\external\map
- **\*\*联机:** \*\*该复选框点击后，将开启局域网内联机仿真。
- **\*\*飞机起点位置:** \*\*可设置飞机的初始位置XYZ。
- **\*\*飞控选择:** \*\*此窗口仅在硬件在环仿真阶段进行使用，用于选择插入仿真电脑的飞控。
- **\*\*UDP Mode:** \*\*选择不同的UDP通信模式，主要分为如下几种。

\*\*UDP\_Full\*\*: \*\*Python传输完整的UDP数据给CopterSim, 传输数据量小; CopterSim收到数据后, 再转换为Mavlink后传输给PX4飞控; 适合中小规模集群 (数量小于10) 仿真。

\*\*UDP\_Simple\*\*: \*\*数据包大小与发送频率比UDP\_Full模式小; 适合大规模集群仿真, 无人机数量小于100。

\*\*Mavlink\_Full\*\*: \*\*Python直接发送MAVLink消息给CopterSim, 再转发给PX4, 数据量较大适合单机控制; 适合单机或少量飞机仿真, 无人机数量小于4;

\*\*Mavlink\_Simple\*\*: \*\*屏蔽部分MAVLink消息包, 并降低数据频率, 发送数据量比MAVlink\_Full小很多, 适合多机集群控制; 适合小规模集群仿真, 无人机数量小于8。

\*\*Mavlink\_NoSend\*\*: \*\*模式下CopterSim不会向外发送MAVLink数据, 此模式需要配合硬件在环仿真+数传串口通信, 通过有线方式传输MAVLink, 此模式局域网内数据量最小, 适合分布式视觉硬件在环仿真, 无人机数量不限制

\*\*Mavlink\_NoGPS\*\*: \*\*模式下CopterSim不会向外发送MAVLink数据和GPS数据。

• 开始仿真/停止仿真/重新仿真。

参数值, 见下表 (有缩减):



参数编号	CopterSim参数名称	BAT脚本参数名称	参数值	对应CopterSim参数值及含义
参数1	CopterID	START_INDEX	自定义, 应该设置为大于0的整数	设置飞机ID。这个选项在启用多机仿真
参数2	3DClassID	CLASS_3D_ID	数字索引 -1 ClassID Unique3DClassID	设置在RflySim3D中显示的载具3D模型 表示使用默认的3D模型。(通常由dll文 指定载具构型 (如四旋翼、固定翼), 使用构型类下排在最前面的载具三维样
参数3	使用DLL模型文件	DLLModel	数字索引或名称字符串匹配 0 从1开始的dll模型序号或名称	该参数用于选择不同的DLL文件, 选项 *PX4PSP\CopterSim\external\mode dll模型序号按照命名排序。 不使用dll文件, 此时的动力学模型是在CopterSim的模 使用指定的dll模型。
参数4	仿真模式	SimMode	数字索引或名称字符串匹配 0 1 2 3 4-11	用于选择不同的仿真模式。 **PX4_HITL**: 此模式为PX4官方硬件 **PX4_SITL**: 此模式为PX4官方软在 **PX4_SITL_RFLY**: 此模式为RflySim工具链自定义的软件 由于PX4_SITL仅支持10架无人机集群1 在本模式下可支持上百架无人机进行S **Simulink&DLL_SIL**: Simulink中: (对应综合模型)
参数5	三维显示地图	UE4_MAP	数字索引或名称字符串匹配	该参数用于选择不同的三维场景, 选项 *PX4PSP\CopterSim\external\map, 三维场景序号按照命名排序。

参数编号	CopterSim参数名称	BAT脚本参数名称	参数值	对应CopterSim参数值及含义
			从0开始的三维地图序号或名称	使用指定的三维地图。
参数6	联机	IS_BROADCAST	数字标识或IP地址	开启局域网内联机仿真。注：启用联机同时在RflySim3D/RflySimUE5中按下就能开启局域网联机仿真，支持多台电
			0	仅本机
			1	广播
			IP地址	指定发送到特定IP地址，在IP模式下，255.255.255.255。
			使用逗号分隔的IP地址列表	指定发送到多个IP
参数7	GPS坐标 (限完整版)	isPosGps	数字标识	用于选择不同的坐标初始化模式
			0	默认模式，选择直角坐标系
			1	启用GPS模式，选择LLA坐标系
参数8	起点位置	ORIGIN_POS_X	自定义整数	地图初始X位置，单位m
		ORIGIN_POS_Y	自定义整数	地图初始Y位置，单位m
	起点位置 (LLA坐标系， 限完整版)	LatLongAlt	自定义三维浮点数列， 用逗号分隔	三维数列依次为经度、纬度、海拔高度
参数9	偏航	ORIGIN_YAW	自定义整数	地图初始yaw角度，设置地图中的初始(degrees)。航向角是指在水平面上，
参数10	飞控选择	启动bat脚本后命令行输入	输入推荐的端口号	选择飞控连接的电脑COM口
参数11	波特率	BaudRate	标准波特率取值， 默认为921600	波特率是指每秒钟传输的位数 (bits p通常用于串行通信中。在选择波特率时需要确保所有通信设备支持相同的波特率以确保数据传输的可靠性。
参数12	通信模式	UDPSIMMODE	数字索引	选择不同的通信模式
			0	<b>**UDP_Full**</b> : Python传输完整的UDP传输数据量小; CopterSim收到数据后再转换为Mavlink后传输给PX4飞控; (数量小于10) 仿真。
			1	<b>**UDP_Simple**</b> : 数据包大小与发送适合大规模集群仿真，无人机数量小于
			2	<b>**Mavlink_Full**</b> : Python直接发送M再转发给PX4，数据量较大适合单机控适合单机或少量飞机仿真，无人机数量
			3	<b>**Mavlink_Simple**</b> : 屏蔽部分MAVLink并降低数据频率，发送数据量比MAVLink适合多机集群控制; 适合小规模集群仿
			4	<b>**Mavlink_NoSend**</b> : 模式下CopterSim不会向外发送MAVLink此模式需要配合硬件在环仿真+数传串通过有线方式传输MAVLink，此模式后适合分布式视觉硬件在环仿真，无人机
			5	<b>**Mavlink_NoGPS**</b> : 模式下CopterSim不会向外发送MAVLink这种模式适合飞控SLAM仿真时，

参数编号	CopterSim参数名称	BAT脚本参数名称	参数值	对应CopterSim参数值及含义
				视觉感知算法需要视觉定位的mavlink形成无GPS环境下的视觉控制算法验证
			6-7	(限完整版)

详细参数说明请查阅文档：[\\*\PX4PSP\RflySimAPIs\RflySimSDK\html\md\\_ctrl\\_2md\\_2BatScripts.html](*\PX4PSP\RflySimAPIs\RflySimSDK\html\md_ctrl_2md_2BatScripts.html)

## 状态显示区

左侧会显示模型和Pixhawk回传状态，右边是模型的仿真数据。

<pre> Activation successful! CopterSim: UDP destination IP list includes CopterSim: 127.0.0.1 GpsDrin LLA: 40.1540302, 116.2593683, 50 </pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>X 0</td> <td>Y 0</td> <td>Z -0.05</td> </tr> <tr> <td>Vx 0</td> <td>Vy 0</td> <td>Vz 0</td> </tr> <tr> <td>φ 0</td> <td>θ 0</td> <td>ψ 0</td> </tr> <tr> <td>lat 40.1540302</td> <td>lon 116.2593683</td> <td>alt 58.05</td> </tr> </tbody> </table>	X 0	Y 0	Z -0.05	Vx 0	Vy 0	Vz 0	φ 0	θ 0	ψ 0	lat 40.1540302	lon 116.2593683	alt 58.05
X 0	Y 0	Z -0.05											
Vx 0	Vy 0	Vz 0											
φ 0	θ 0	ψ 0											
lat 40.1540302	lon 116.2593683	alt 58.05											
<pre> Activation successful! CopterSim: UDP destination IP list includes CopterSim: 127.0.0.1 GpsDrin LLA: 40.1540302, 116.2593683, 50 </pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>X 0</td> <td>Y 0</td> <td>Z -0.05</td> </tr> <tr> <td>Vx 0</td> <td>Vy 0</td> <td>Vz 0</td> </tr> <tr> <td>φ 0</td> <td>θ 0</td> <td>ψ 0</td> </tr> <tr> <td>lat 40.1540302</td> <td>lon 116.2593683</td> <td>alt 58.05</td> </tr> </tbody> </table>	X 0	Y 0	Z -0.05	Vx 0	Vy 0	Vz 0	φ 0	θ 0	ψ 0	lat 40.1540302	lon 116.2593683	alt 58.05
X 0	Y 0	Z -0.05											
Vx 0	Vy 0	Vz 0											
φ 0	θ 0	ψ 0											
lat 40.1540302	lon 116.2593683	alt 58.05											

右侧，模型的仿真数据按行来区分，从上至下分别为：

第一行：固定坐标系（北东地坐标系下，NED）下，无人机的坐标，从左至右为x、y、z。

第二行：固定坐标系（北东地坐标系下，NED）下，无人机的速度，从左至右为x轴方向的速度、y轴方向的速度、z轴方向的速度。

第三行：机体坐标系下（前右下坐标系，FRD）下，从左到右分别为滚转、俯仰、偏航角度。

第四行：GPS信息，从左至右为经度、纬度、高度。

该软件的相关例程有：

[\\*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e1\\_CopterSim-Usage\Readme.pdf](*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e1_CopterSim-Usage\Readme.pdf)

[\\*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e2\\_DLL-Load\Readme.pdf](*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e2_DLL-Load\Readme.pdf)

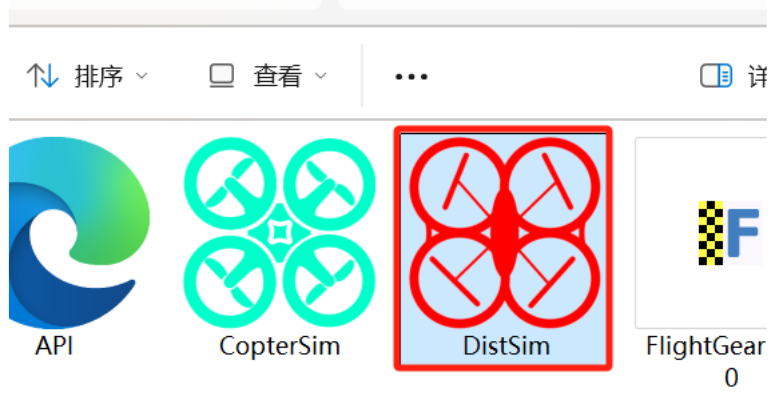
[\\*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e13\\_Log-Get\Readme.pdf](*\PX4PSP\RflySimAPIs\1.BasicExps\e13_Log-Get\Readme.pdf)

## DistSim使用说明（限完整版）

DistSim是RflySim官方的分布式仿真管理软件，在局域网中，每台电脑开启一个DistSim软件后，会常驻任务栏，并且能够实时接收仿真启停的命令。

基本测试流程如下

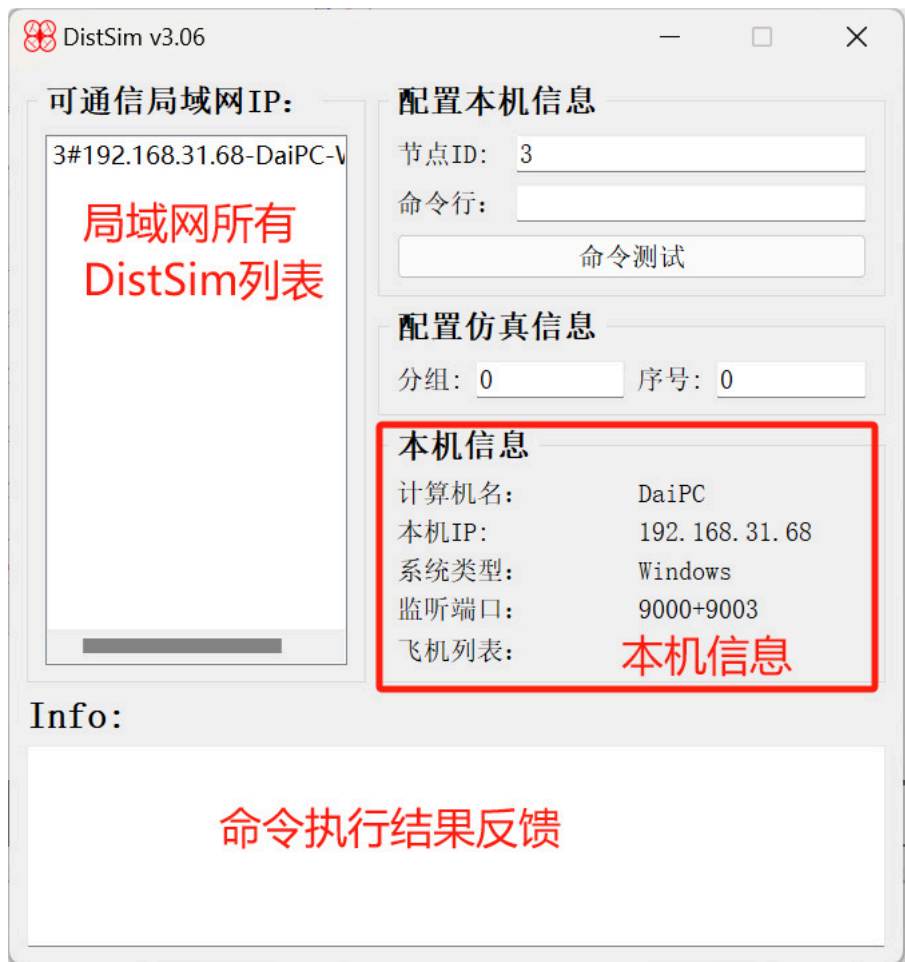
1. 双击桌面 RflyTools\DistSim快捷方式，来打开软件。



注：本软件只支持打开一次，之后会常驻任务栏。再次双击DistSim程序时，会从任务栏弹出已打开程序。



2. 弹出的DistSim窗口如下。



- 左侧窗口会列出局域网当前所有的DistSim软件信息，包括节点ID，IP地址，电脑名字，系统版本（Linux或Windows）等。
- 节点ID可以认为是本电脑在局域网中的序号，用于接收指定的命令。在进行局域网仿真时，需要人工确定每台电脑的编号，并排序合适的节点ID。因此，节点ID必须在局域网保持唯一，如果在列表中，发现有相同的节点ID，请根据电脑信息找到电脑上的DistSim，去改为其他值，避免冲突。
- 分组+序号：用于根据需求，对节点进行重新分组。例如，有节点序号6台电脑，其中2台Windows电脑（节点ID：1-2），4台NX（节点ID：3-6），采用1台Windows配2台NX组成两个仿真单元。可以让节点ID为1、3、4号的分组为1，序号为1、2、3，对应1号分组；让节点ID为2、5、6号的分组为2，序号为1、2、3，对应1号分组。通过节点ID、分组、和序号的合理配置，可以有效地实现局域网内电脑的区分和管理。

- 通过Python接口可以将命令发送给各台电脑的DistSim，并让其执行命令，例如，运行某个bat脚本，结束所有仿真等。
- 也可以在DistSim的命令测试框中，输入某个命令，来进行命令测试。一般而言，现在DistSim上确认某台指令可以正常执行，才去利用Python接口写到脚本中去。
- 未来DistSim还将承担电脑环境检查、串口信息回传等功能，确保在分布式仿真时所有环节落实到位，保证命令能够一次执行成功。

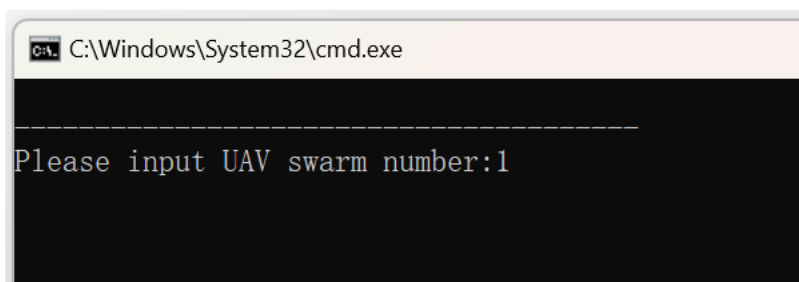
### 3. 命令测试：在DistSim中可以正常执行所有bat或cmd命令

- 在DistSim中，输入dir命令，并点击“命令测试”



可以发现命令正常执行了，且当前的工作命令在 PX4PSP\RflySimAPIs中

- 在DistSim中，输入“%PSP\_PATH%\RflySimAPIs\SITLRun.bat”命令，并点击“命令测试”



可以开启软件在环仿真脚本，按正常方式仿真即可。可以看到正常打开了CopterSim，QGC等软件。

- 在DistSim中，输入“%PSP\_PATH%\RflySimAPIs\CloseALL.bat”命令，并点击“命令测试”。这里CloseALL.bat是一个一键关闭所有仿真的脚本，运行后，发现CopterSim等软件都关闭了。
- 最后，我们可以通过Python程序，将命令发送到DistSim去开启或结束仿真，而不需要再人工参与。