

# 多旋翼无人机远程控制实践

## 第1章 绪论

全 权

qq\_buaa@buaa.edu.cn

自动化科学与电气工程学院



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY



可靠飞行控制研究组

RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP

# 大纲



**1.多旋翼**

**2.教育的新需求**

**3.多旋翼远程控制平台**

**4.平台内容设置**

**5.总结**

# 1.多旋翼

## □ 常见无人机分类



(a)固定翼



(b)直升机



(c)多旋翼

### (1) 固定翼

**优点：续航时间最长、飞行效率最高、载荷最大**

**缺点：必须要助跑，降落的时候必须要滑行**

### (2) 直升机

**优点：垂直起降**

**缺点：续航时间没有优势，机械结构复杂、维护成本高**

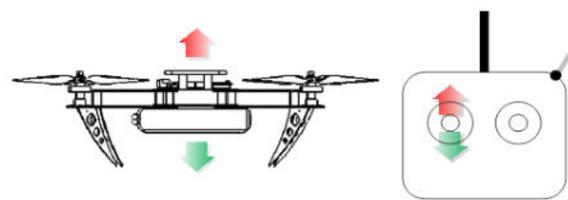
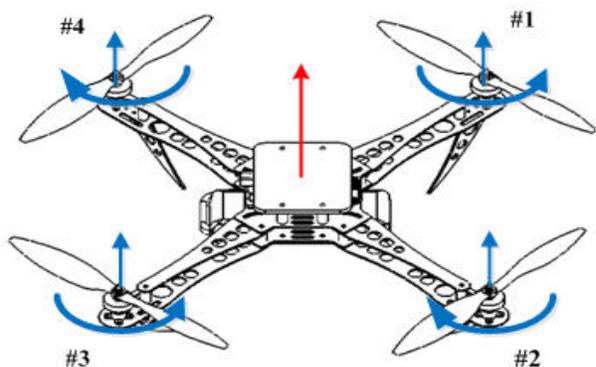
### (3) 多旋翼

**优点：垂直起降、机械结构简单、易维护**

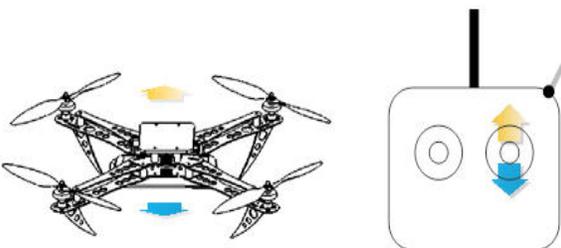
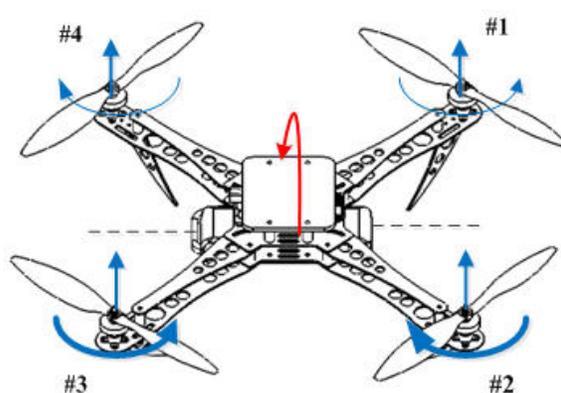
**缺点：载重和续航时间都更差**

# 1.多旋翼

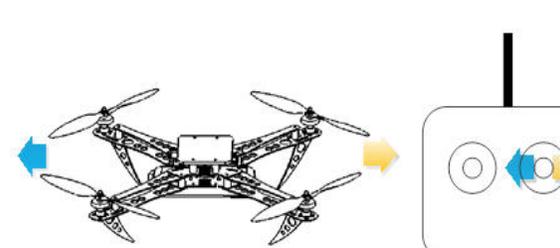
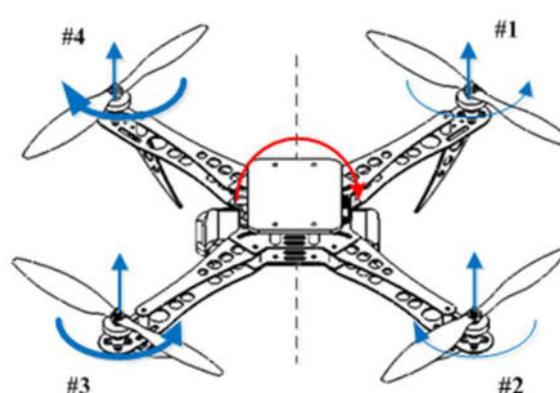
## □ 四旋翼的操控 简单！



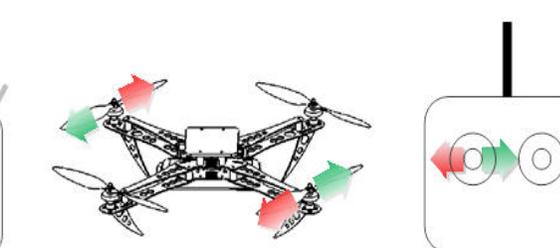
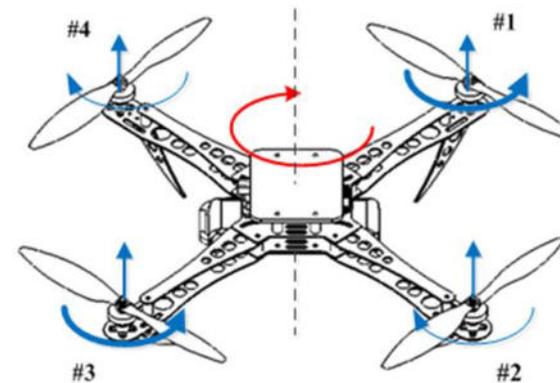
(1) 升降运动



(2) 前后运动



(3) 左右运动



(4) 偏航运动

# 1.多旋翼



## □ 无人机的评价

	固定翼	直升机	多旋翼	
刚性 体 验	易用性	+	+++	
	可靠性	+++	+++	
	勤务性	++	+	+++
	续航性	+++	++	+
	承载性	+++	++	+

运动相互解耦

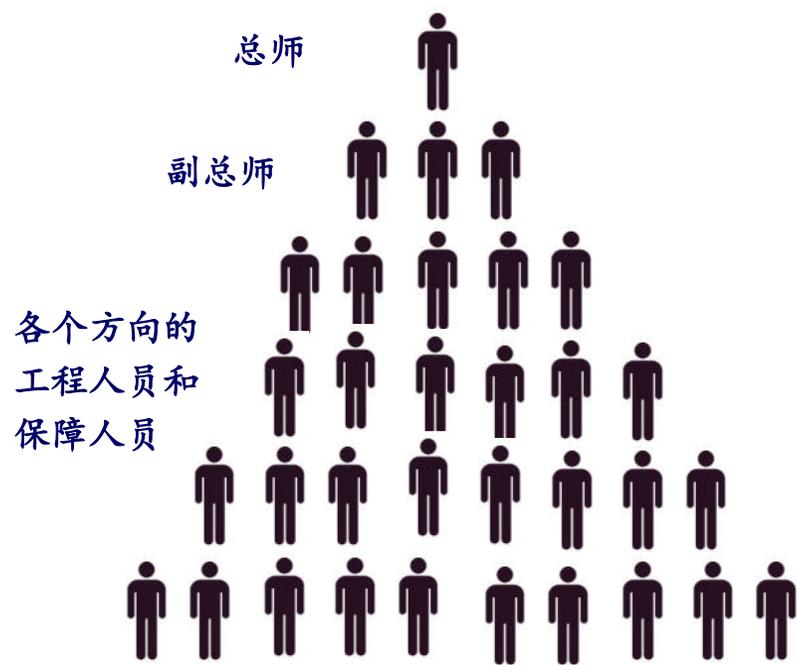
无机械磨损

结构简单、模块化

刚性体验让人们选择了多旋翼，无人机教育从多旋翼入手

# 2.教育的新需求

## □ 传统和新形势人才对比



人员多  
分工细  
经验多  
资源多

传统

人员少  
一肩挑  
经验少  
资源少

新形势



- 多旋翼全栈式工程师具备多旋翼开发所需的技术、语言和系统工程概念等知识
- “全栈式”指的是完成一个工程所需的各种技能，每个组件都是一个堆栈。

# 2.教育的新需求

## □ 新形势人才需求

### ■ 理论

- 构型和结构设计
- 动力系统设计
- 控制模型建立
- 状态估计
- 控制器设计
- 路径规划决策逻辑
- 健康评估、失效保护
- .....

六级听力满分攻略 1小时突破听力困境 8月8日20:00直播

中国大学MOOC 课程 名校 2020考研 学校云 名师专栏 客户端

首页 > 全部课程 > 工学

### 多旋翼飞行器设计与控制

第2次开课 ^

第1次开课 9月01日 ~ 2019年11月30日

第2次开课

已有934人参加

立即参加

Introduction to Multicopter Design and Control

Quan Quan

Springer

多旋翼飞行器设计与控制

王茂

Springer

多旋翼飞行器设计与控制

杜光

清华大学出版社

# 2.教育的新需求

## □ 新形势人才需求（技术能力）

### ■ 理论

- 构型和结构设计
- 动力系统设计
- 控制模型建立
- 状态估计
- 控制器设计
- 路径规划决策逻辑
- 健康评估、失效保护
- .....



### ■ 实践

- 开发工具
- 操作系统
- 软件编写
- 代码调试
- 试飞
- .....



????

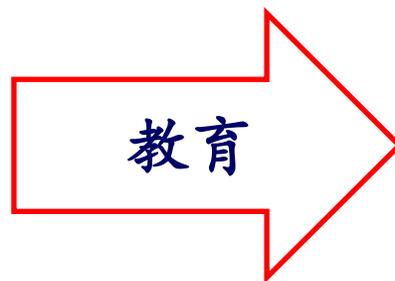
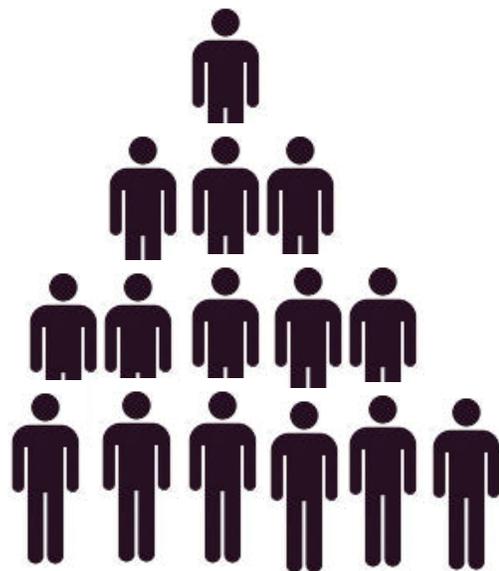


《多旋翼设计与控制》课程

**知行合一**

**如何降低学习门槛？：新工具+新教程**

## 2.教育的新需求

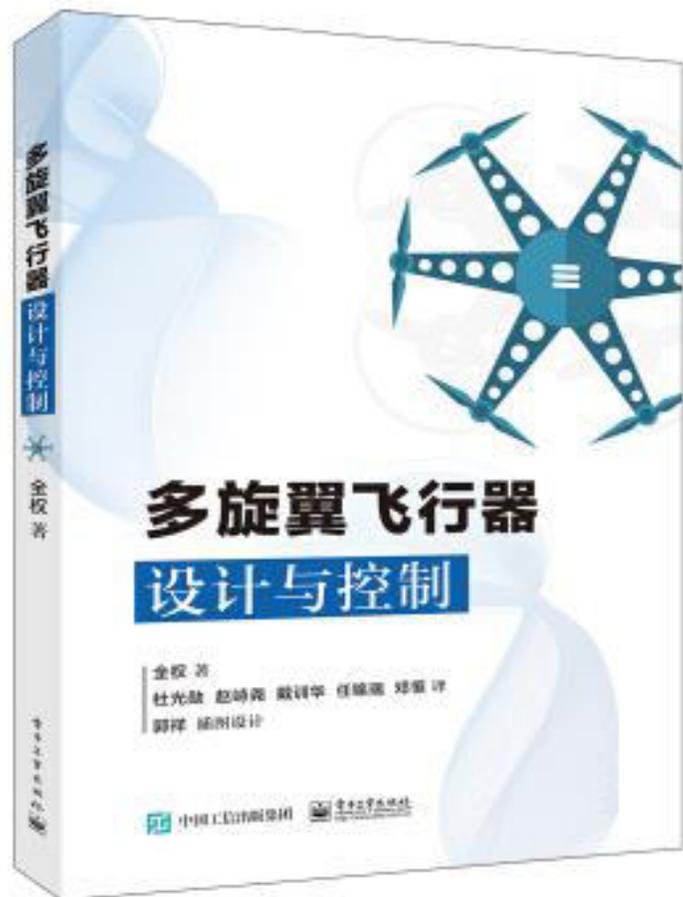


具备电子工程背景的人

全栈式工程师

如何降低学习门槛？：新工具+新教程

## 2.教育的新需求



理论

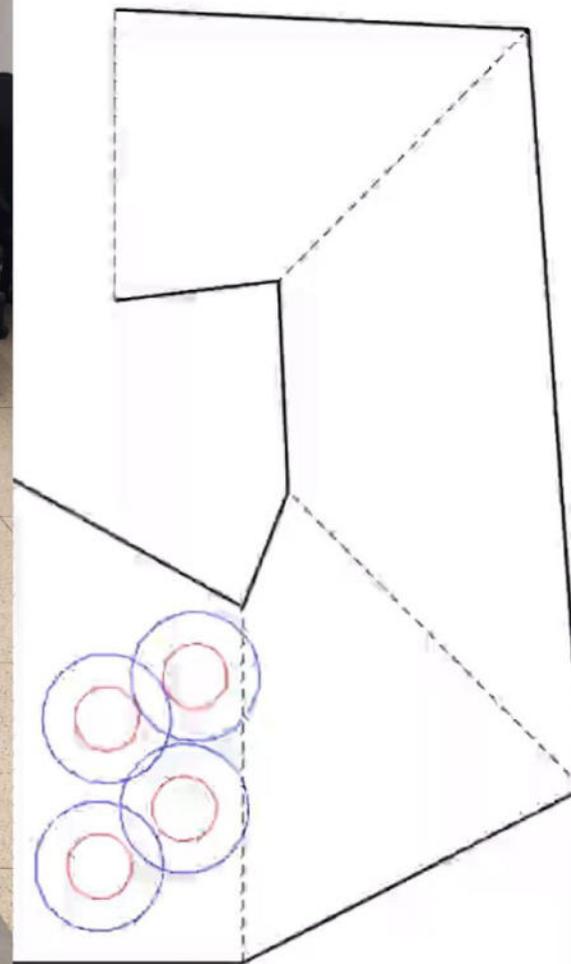
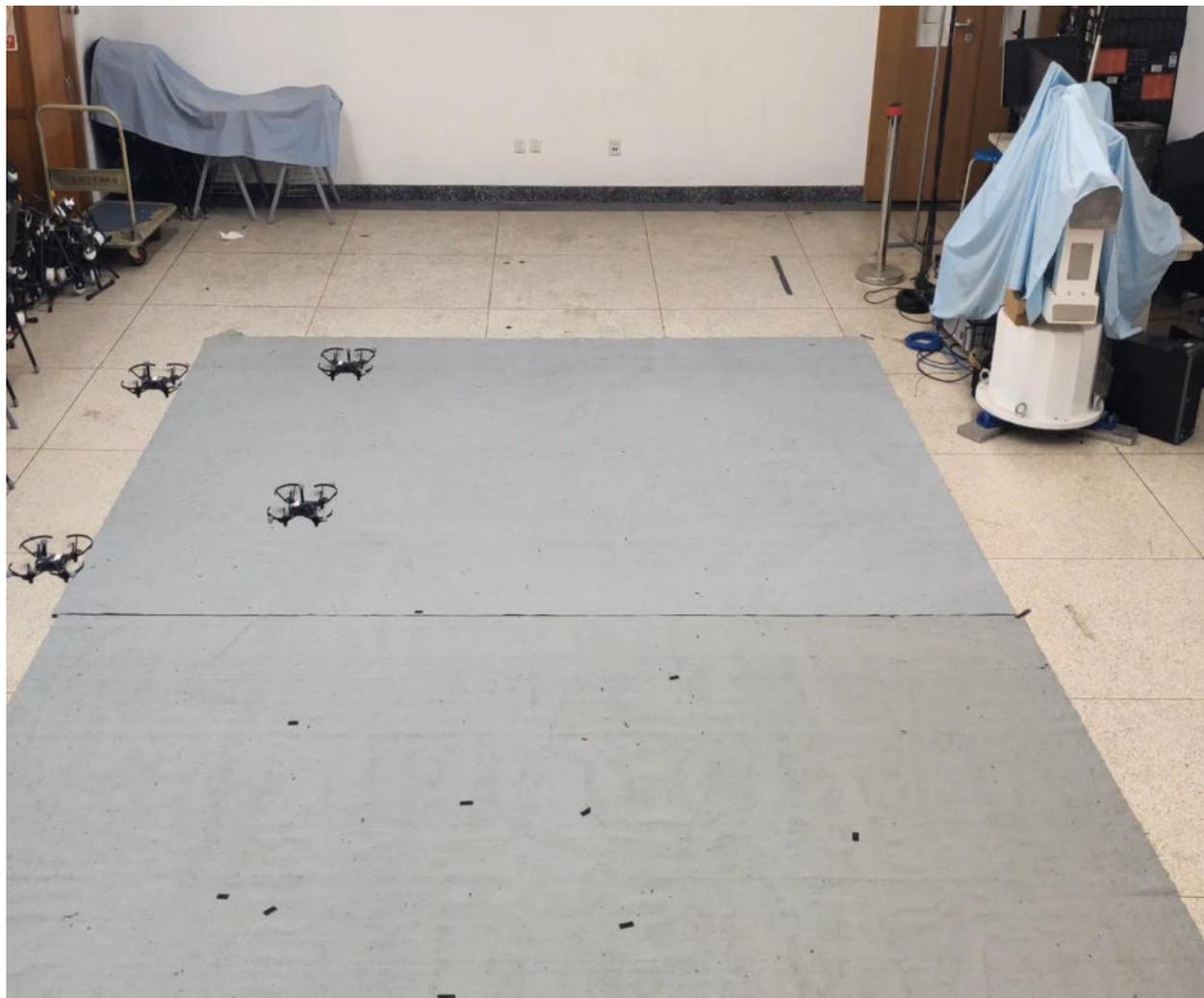


底层飞控开发

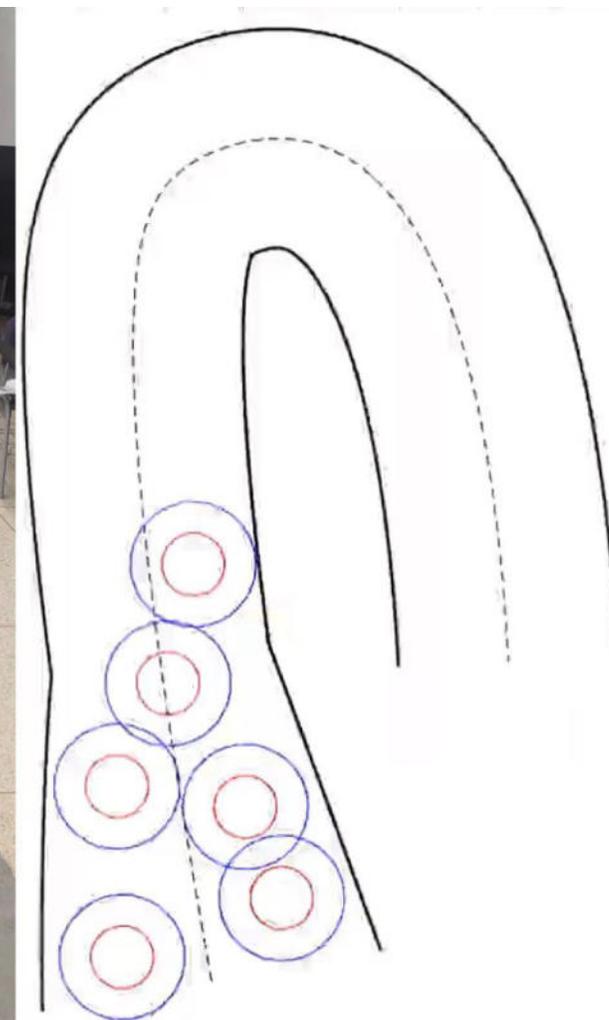


顶层飞控开发

# 3.多旋翼远程控制平台



# 3.多旋翼远程控制平台

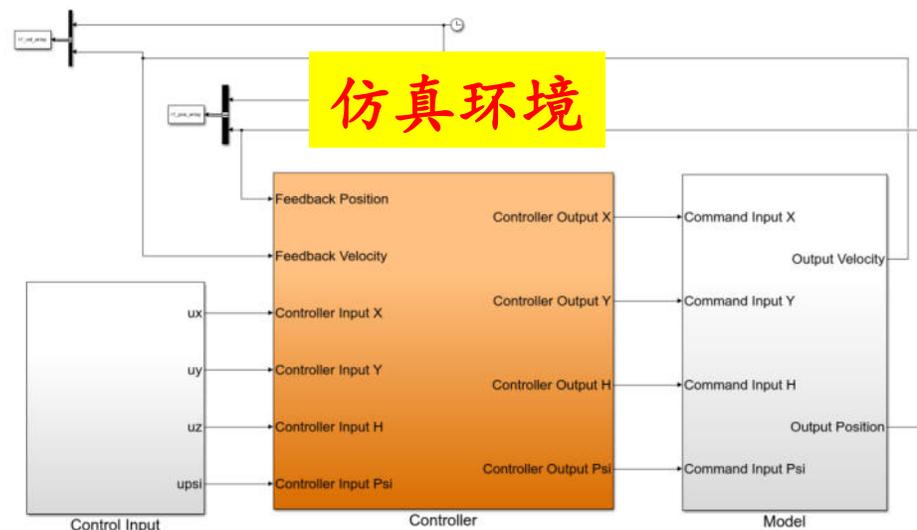
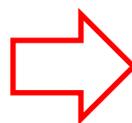
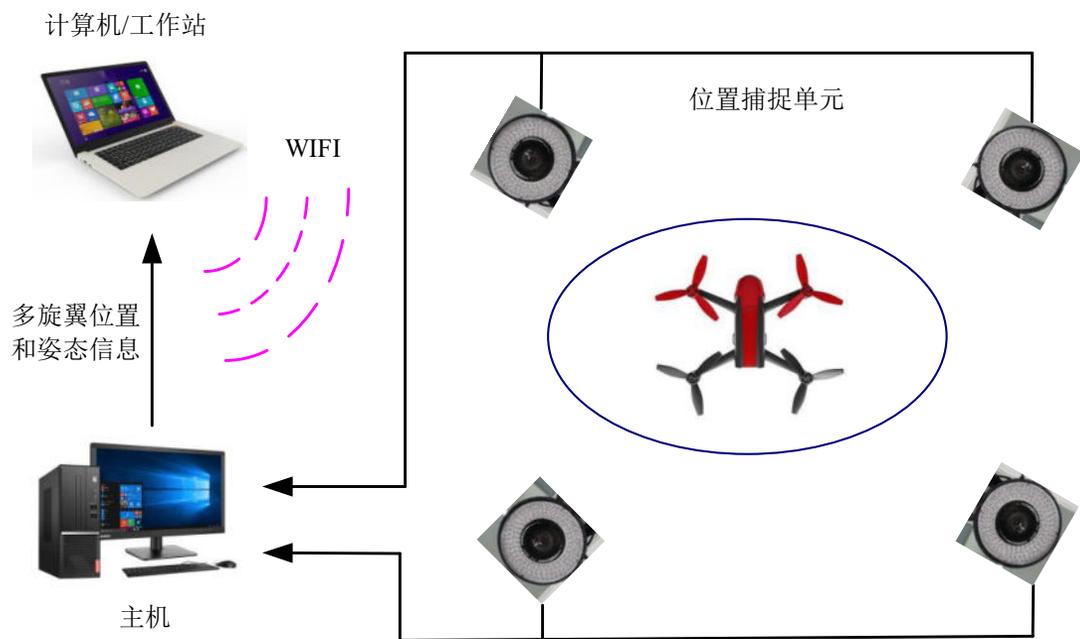


# 3.多旋翼远程控制平台



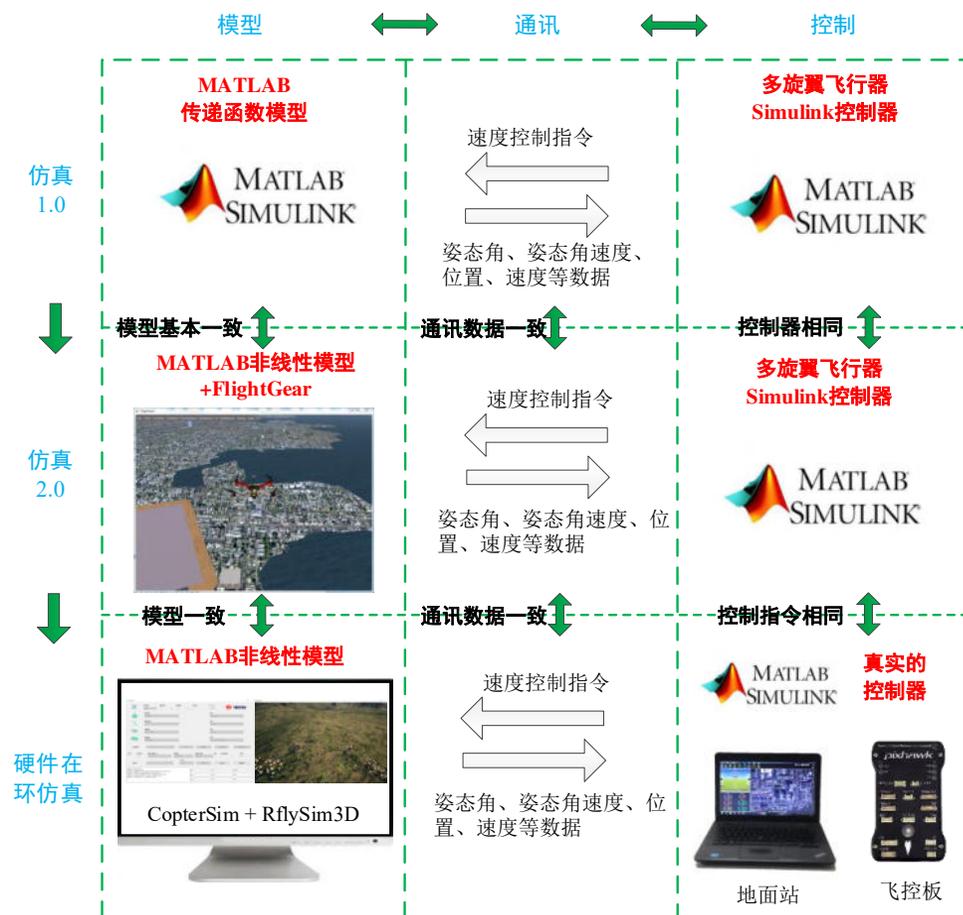
# 3. 多旋翼远程控制平台

## □ 核心原理

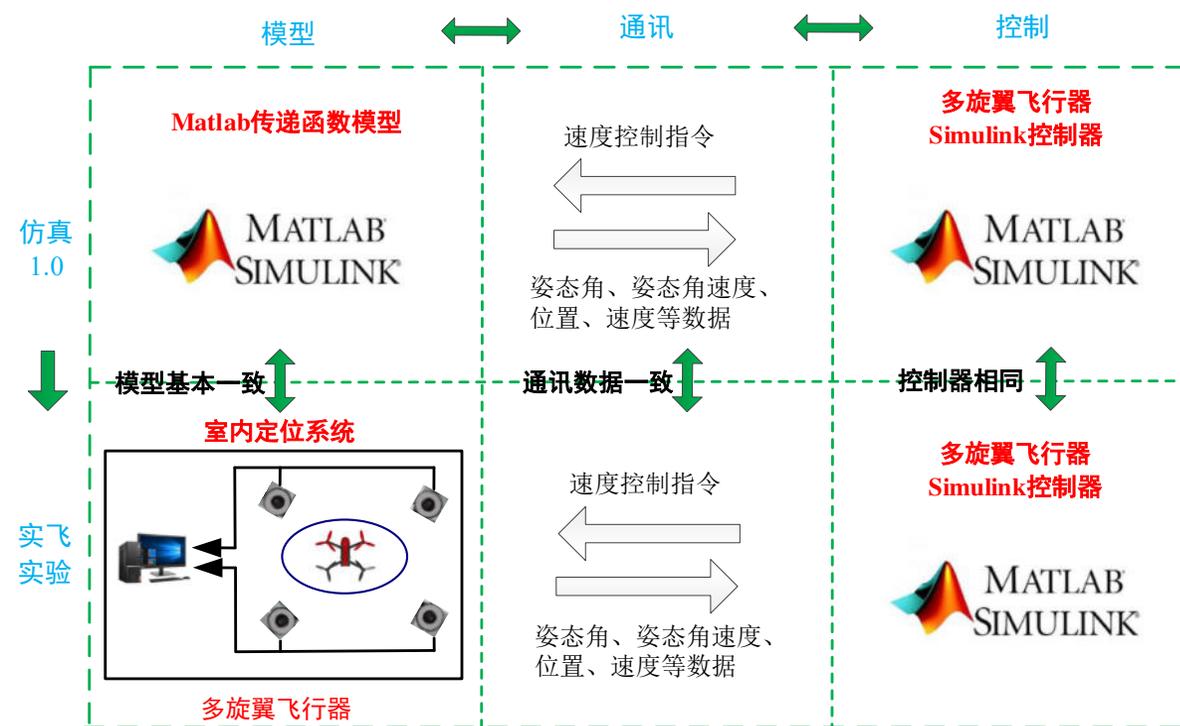


# 4.内容设计

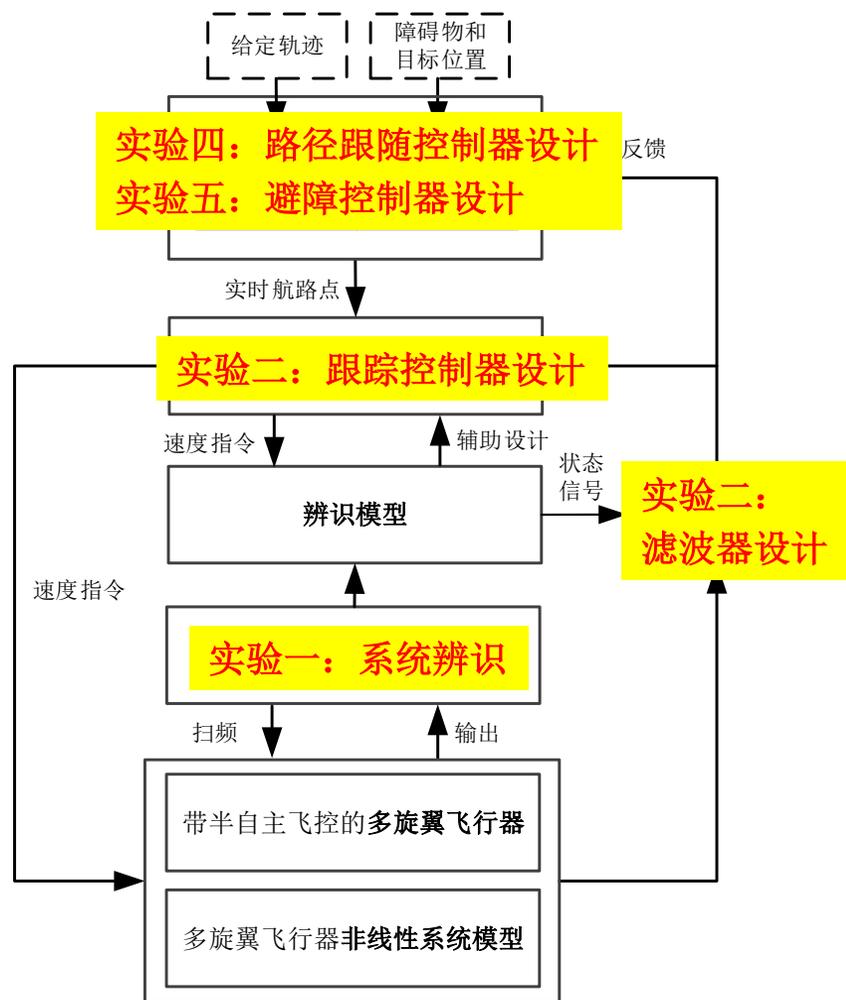
## 仿真阶段



## 实飞阶段



# 4.内容设计



■ 每个实验分为由浅入深的四个分步实验

## (1) 基础实验

打开例程，阅读并运行程序代码，然后观察并记录分析数据。

## (2) 分析实验

修改例程，运行修改后的程序并收集和分析数据。

## (3) 设计实验

在上述两个实验的基础上，针对给定的任务，进行独立的设计。

## (4) 实飞实验

设计实验的基础上，针对给定的任务，进行独立的设计并运用于实际多旋翼。

# 4.内容设计



表1. 实验类型、目标和内容

目标	基础实验	分析实验	设计实验	实飞实验
熟悉开发平台	✓	✓	✓	✓
熟悉分析过程	×	✓	✓	✓
熟悉设计方法	×	×	✓	✓
仿真1.0	✓	✓	✓	✓
仿真2.0	✓	✓	✓	×
硬件在环仿真	×	×	✓	×
实飞实验	×	×	×	✓



# 4.内容设计

## □ 实验步骤

### • 基础实验

#### 5.2.1 实验目标

##### (1) 准备

- 软件: 实验指导包“e2.1”, MATLAB R2017b 及以上版本, 基于 Simulink 的控制器设计与仿真平台, 非线性系统模型。
- 硬件: 计算机。

##### (2) 目标

给定多旋翼的仿真模型, 该模型已经给出控制器, 将控制器中的速度反馈信号采取卡尔曼滤波方式获得。而给定期望输入信号为正弦波信号, 周期为 10s, 幅值为 1。

- 1) 学习并掌握卡尔曼滤波算法的原理及应用。
- 2) 在仿真 1.0 中, 将输入真实信号与卡尔曼滤波后的信号进行对比, 比较卡尔曼滤波的效果。
- 3) 在仿真 2.0 中, 加入卡尔曼滤波, 同时对比仿真 1.0 与仿真 2.0 的滤波效果。



# 4.内容设计

## □ 实验步骤

### • 分析实验

#### (2) 目标

- 1) 在仿真 1.0 中,调整卡尔曼滤波函数模块中的噪声协方差大小,观察获得的速度反馈信号的变化。接下来,反复调整参数,使得每个通道的滤波效果达到最佳。
- 2) 在仿真 1.0 中,调整卡尔曼滤波器中加入测量噪声的大小,重复实验过程。对比卡尔曼滤波器参数与测量噪声协方差之间的关系,最后分析原因。
- 3) 在仿真 2.0 中,分别调整卡尔曼滤波中噪声协方差的大小和加入测量噪声大小,对比仿真 1.0 与仿真 2.0 的滤波效果。

### • 设计实验

#### (2) 目标

- 1) 基础实验中所使用的卡尔曼滤波算法只是简单的单步更新卡尔曼滤波算法,这里在仿真 1.0 中设计新的卡尔曼滤波器,考虑 2 个基本采样周期/步(一般为 IMU 周期)的位置信号延迟,重新进行速度反馈,观察控制效果。
- 2) 在仿真 1.0 中将延迟考虑进去,设计新的卡尔曼滤波器,进行闭环,看控制改善效果。注意,本设计实验中并不加入过程噪声以及观测噪声的影响。
- 3) 在仿真 2.0 中,也将考虑位置信号的延时,并且将带延时的卡尔曼滤波器进行闭环控制,对比仿真 1.0 与仿真 2.0 的滤波效果。



# 4.内容设计

## □ 实验步骤

### • 实飞实验

#### (1) 准备

- 软件: 实验指导包“e2.4”, MATLAB R2017b 及以上版本, CopterSim, RflySim3D, 基于 Simulink 的控制器设计与仿真平台。
- 硬件: 计算机, 室内定位系统, 带半自主飞控的多旋翼飞行器。

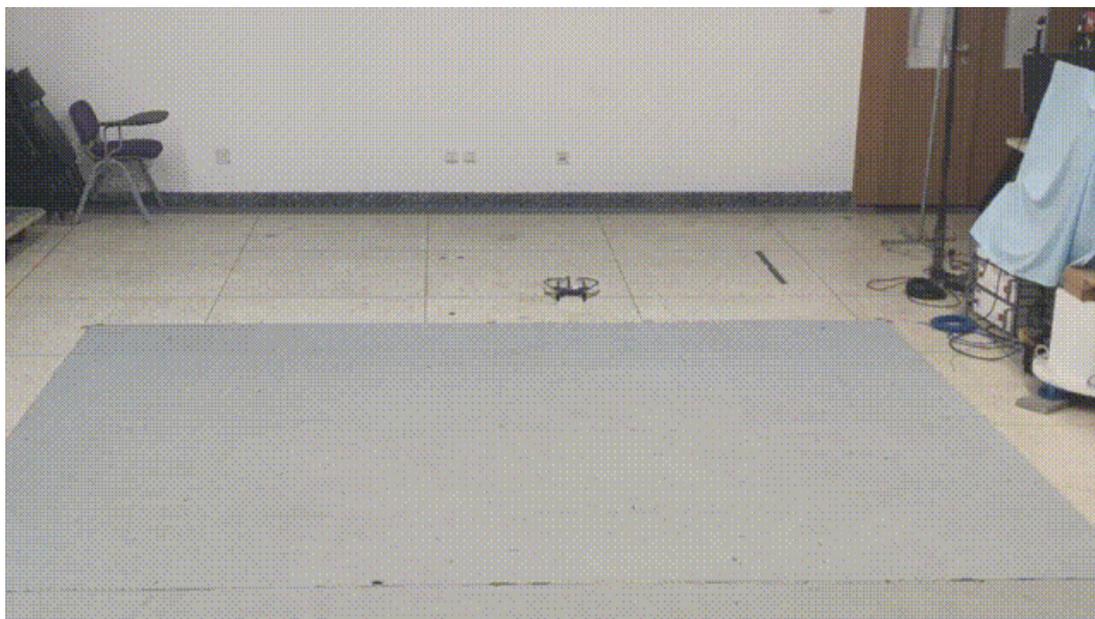
#### (2) 目标

- 1) 由于在实飞实验中, 传感器信号反馈存在延时, 因此基于设计实验中的扩推法设计新卡尔曼滤波器算法进行速度反馈, 观察控制效果。
- 2) 将基于扩推法设计的新卡尔曼滤波器算法进行闭环控制, 看控制改善效果。

# 4.内容设计



所有实飞代码均在**仿真**和**实际飞行**测试中实施



系统辨识



跟踪轨迹



# 4.内容设计

## □ 教学设计

### ■ 更新模型

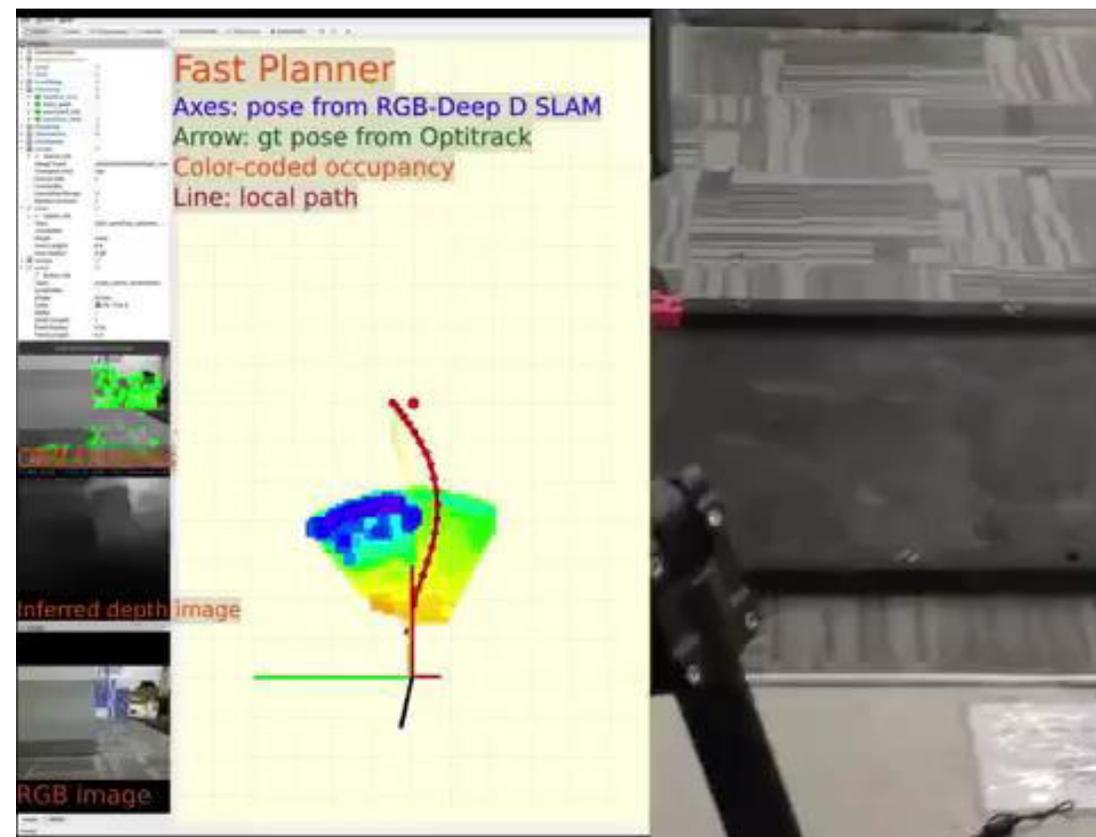
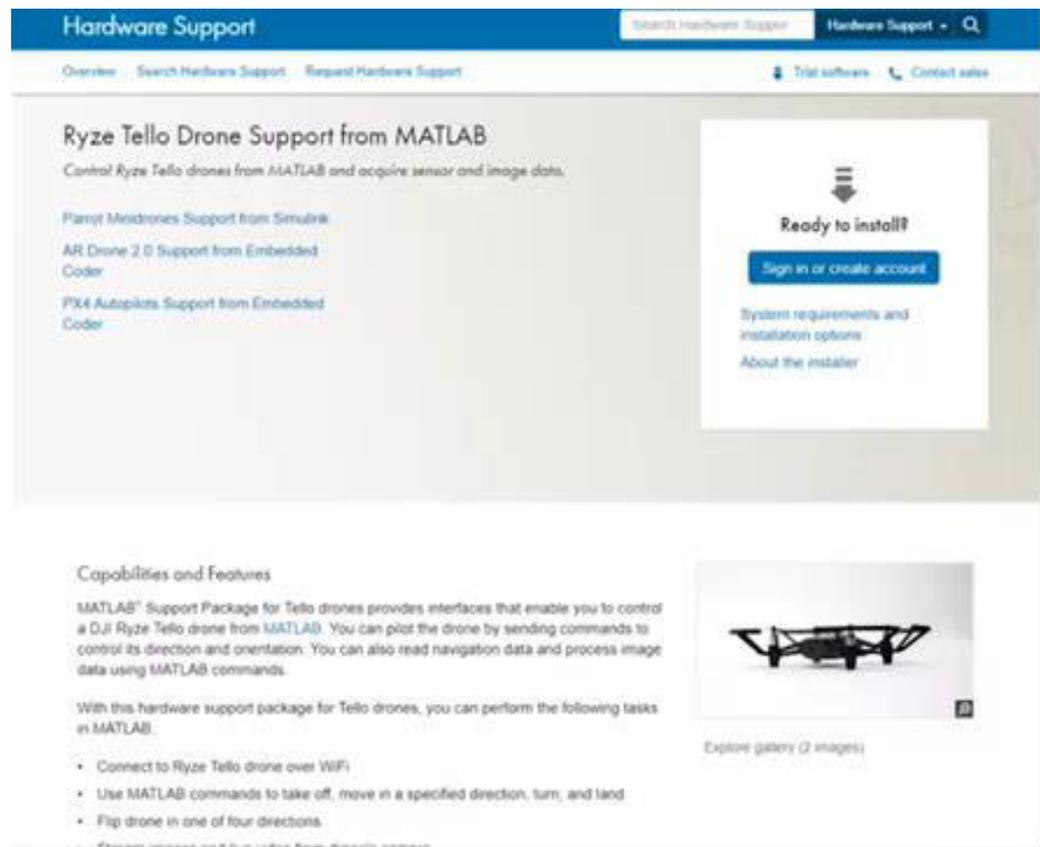
- ✓ 修改多旋翼非线性系统模型参数
- ✓ 修改多旋翼动力系统实验的设计实验
- ✓ 改进多旋翼建模实验的设计实验

### ■ 增加新实验

- ✓ 滤波器设计实验：互补滤波、粒子滤波等
- ✓ 跟踪控制器设计实验：采用先进实用控制方法
- ✓ 路径跟随控制实验：尝试改进人工势场法或采用其他路径规划算法
- ✓ 区域覆盖决策设计实验：综合路径跟随和避障控制形成新实验

# 4.内容设计

## □ 教学设计 ■ 无定位系统情况下的实验



# 致谢

感谢可靠飞行控制研究组同学  
为本门课程准备做出的贡献



杨兰江

# 谢谢!

全权

qq\_buaa@buaa.edu.cn

可靠飞行控制研究组

