



多旋翼飞行器设计与控制

第一讲 绪论

全权 副教授

qq_buaa@buaa.edu.cn

自动化科学与电气工程学院

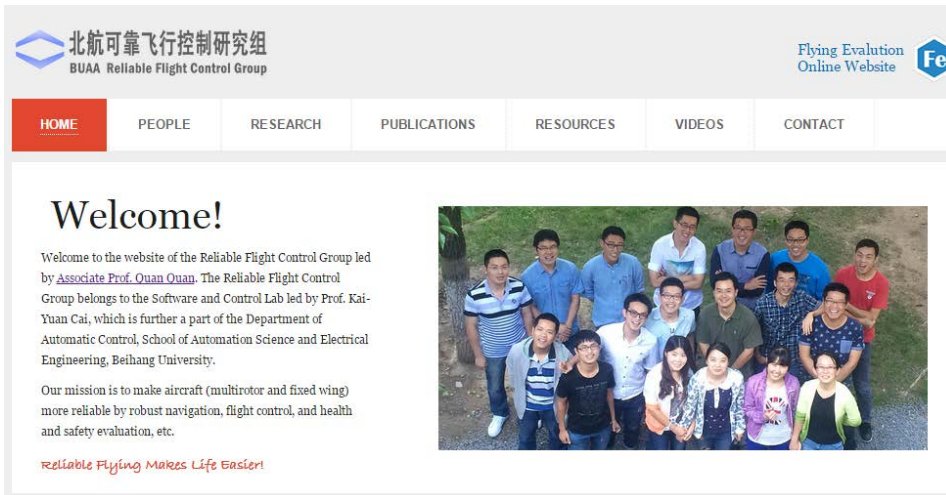
北京航空航天大学

2016年3月10日 北航新主楼B208



自我介绍

- 全权 副教授
- 305专业（飞控系，自动化科学与电气工程学院）
- 视觉导航、可靠飞行控制
- 主页：quanquan.buaa.edu.cn
- 实验室主页：rfly.buaa.edu.cn
- 微信公共号：[buaarfly](https://www.weixin.com/buaarfly)





前言



人们为什么最终选择了微小型多旋翼飞行器？





大纲

1. 基本概念
2. 多旋翼操控和评价
3. 多旋翼飞行器技术发展历史
4. 本门课的安排
5. 作业
6. 资源



1. 基本概念

□ 常见飞行器分类



(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



1. 基本概念

□ 常见飞行器分类



(a) 固定翼



(b) 直升机



(c) 多旋翼

(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



1. 基本概念

□ 常见飞行器分类



(a) 固定翼



(b) 直升机



(c) 多旋翼

(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. 基本概念

□ 常见飞行器分类

(3) 多旋翼

一般受力特点:

1. 合成拉力垂直桨盘平面
2. 拉力、重力





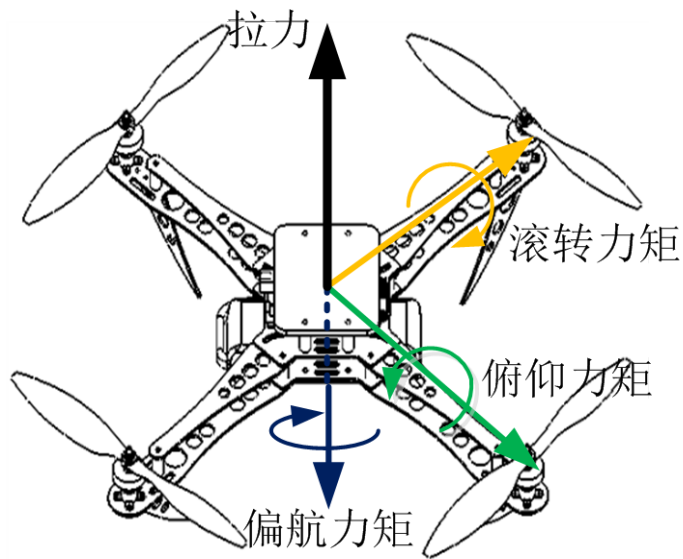
1. 基本概念

□ 常见飞行器分类

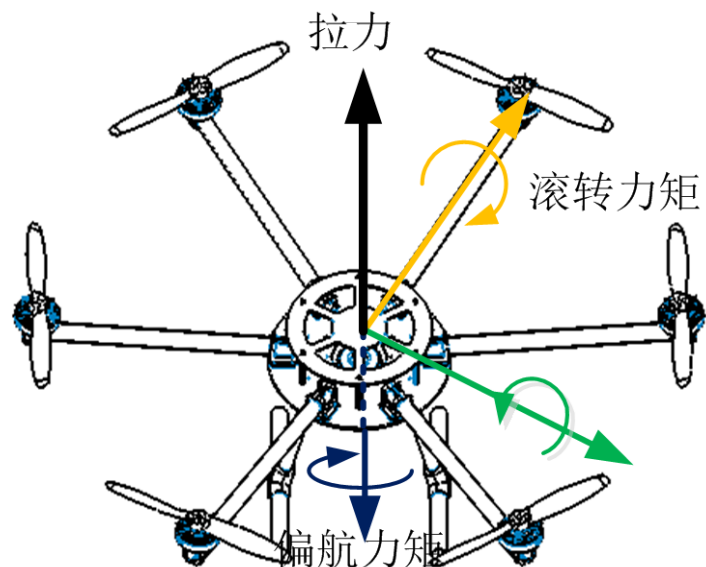
(3) 多旋翼

四旋翼和六旋翼有何分别?

- 无本质区别, 3个力矩+拉力
- 六旋翼控制分配更灵活



(a) 四旋翼



(b) 六旋翼



1. 基本概念

□ 常见飞行器分类

(4) 复合飞行器[1-2]



(a)



(b)

[1] 樊鹏辉.多轴飞行器的设计与控制.北京航空航天大学,硕士学位论文,2010.

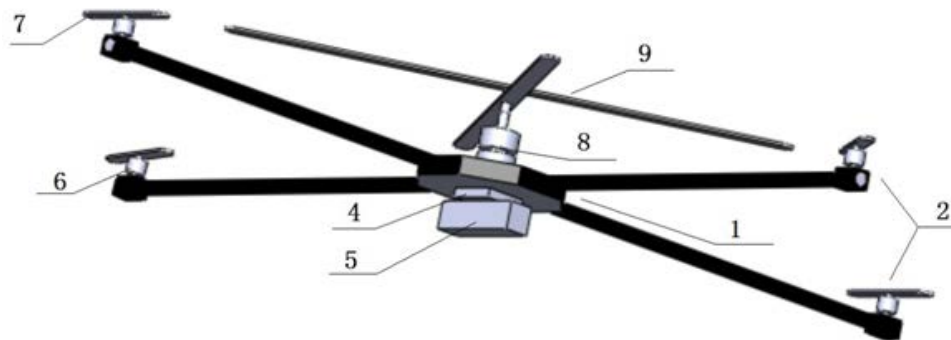
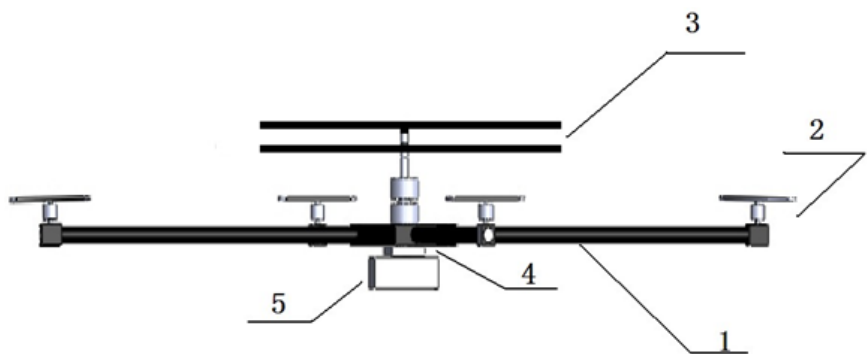
[2] 张瑞峰.面向可靠飞行控制的四旋翼复合直升机研究.北京航空航天大学,博士学位论文,2011.



1. 基本概念

□ 常见飞行器分类

(4) 复合飞行器[3]



[3] 全权等. 复合式多旋翼飞行器. 专利: 203005746U, 2013-06-19.



1. 基本概念

□ 无人驾驶飞机和航模[4-6]

(1) 无人驾驶飞机 (Unmanned Aerial Vehicle) : 简称“无人机”，英文缩写为“UAV”，是利用**无线电遥控设备**和**自备的程序控制**装置操纵的不载人飞机。微小型无人机英文“Drone”

(2) 航模 (Model Aircraft) : 在国际航联制定的竞赛规则里明确规定“航空模型是一种重于空气的，有尺寸限制的，带有或不带有发动机的，**可遥控**的不能载人的航空器。”

[4] FAI Aeromodelling Commission. F3B-Radion Control Soaring[Online], available: <http://www.fai.org/ciam-oursport/f3-radio-control-soaring>, February 28, 2016

[5] Palmer D. The FAA'S Interpretation of the Special Rule For Model Aircraft. *J. Air L. & Com.* 2015, 80: 567-749

[6] Federal Aviation Administration (FAA). Interpretation of the Special Rule for Model Aircraft. June 18, 2014



1. 基本概念

□ 无人驾驶飞机和航模

| | 无人机 | 航模 |
|------|-------------|----------|
| 操控方式 | 可自主驾驶 | 需遥控操纵 |
| 用途 | 军事用途/民用特种用途 | 接近于玩具 |
| 组成 | 复杂，需地面站 | 简单，无需地面站 |

半自主控制方式: 多旋翼属于航模范畴

全自主控制方式: 多旋翼属于无人机范畴



2. 多旋翼操控和评价

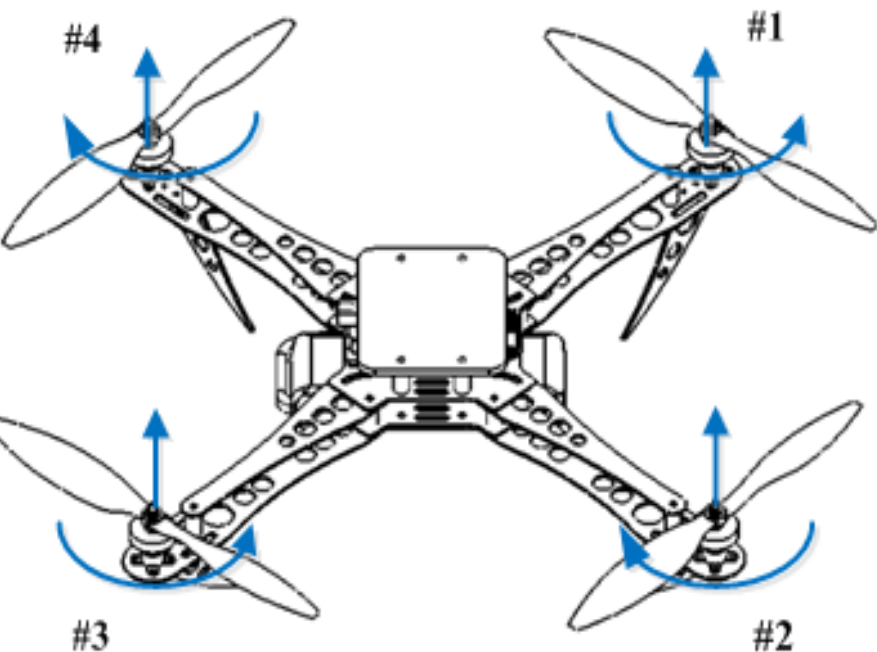
人们为什么最终选择了微小型多旋翼飞行器？



2. 多旋翼操控和评价

□ 四旋翼的操控

(1) 悬停



当飞行器悬停时，

- 拉力抵消重力
- 四个螺旋桨拉力产生的滚转、俯仰力矩为零
- 偏航力矩为零，四个螺旋桨反扭矩效应均被抵消

牛顿第三定律：相互作用的两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反。



来源<http://www.hzjys.net/>



2. 多旋翼操控和评价

□ 四旋翼的操控

(1) 悬停

直升机如何抵消反扭矩?



(a) 直10

尾桨



(b) 北航“海鸥”

共轴双桨



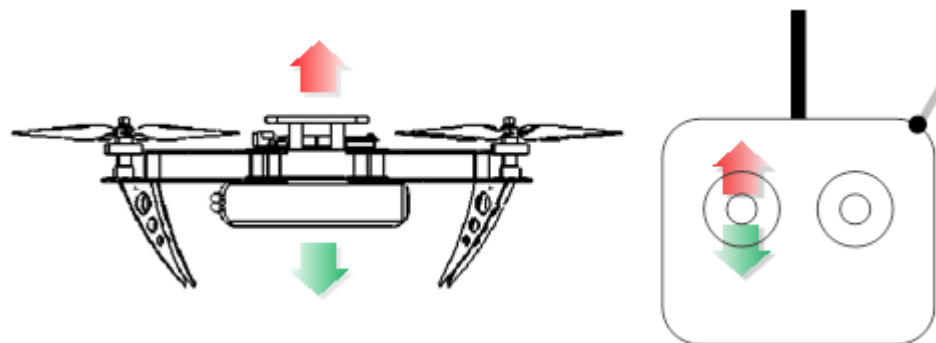
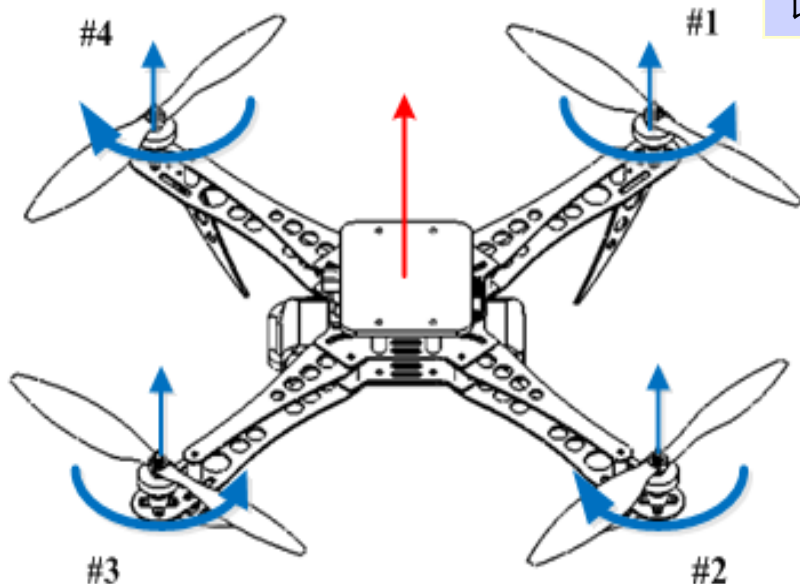
2. 多旋翼操控和评价

四旋翼的操控

(2) 升降运动

上升运动螺旋桨变化(+表示增加转速)

| | #1 | #2 | #3 | #4 |
|------|----|----|----|----|
| 改变拉力 | +1 | +1 | +1 | +1 |



遥控器操作



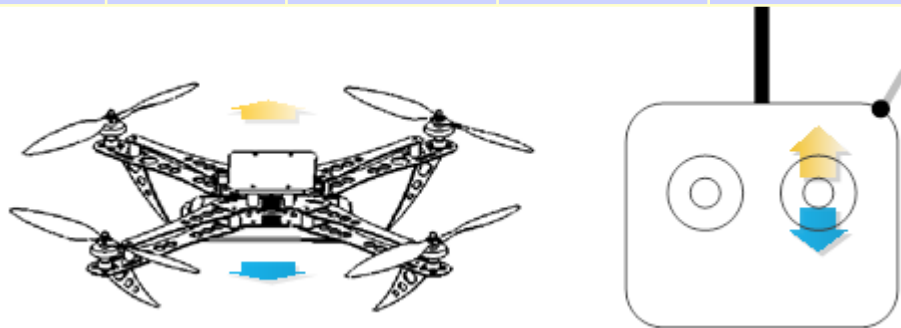
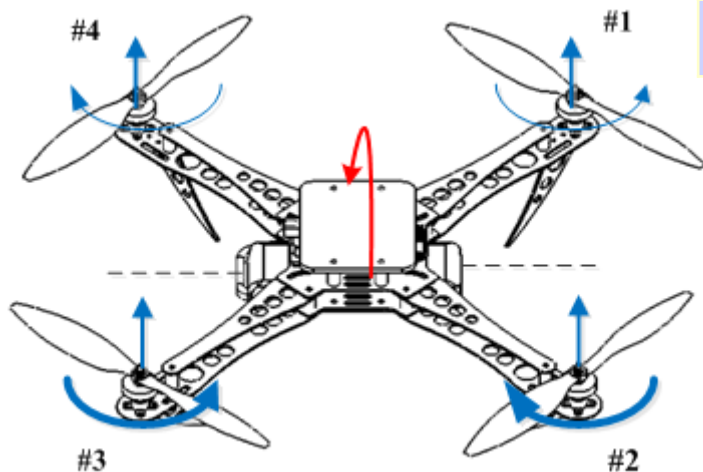
2. 多旋翼操控和评价

四旋翼的操控

向前运动螺旋桨变化(-表示降低转速)

(3) 前后运动

| | #1 | #2 | #3 | #4 |
|------|------|------|------|------|
| 改变俯仰 | -1 | +1 | +1 | -1 |
| 增加拉力 | +0.2 | +0.2 | +0.2 | +0.2 |
| 合成 | -0.8 | +1.2 | +1.2 | -0.8 |



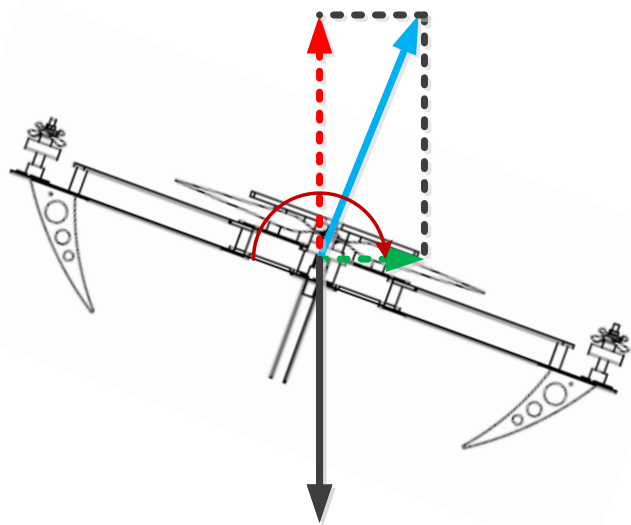
遥控器操作



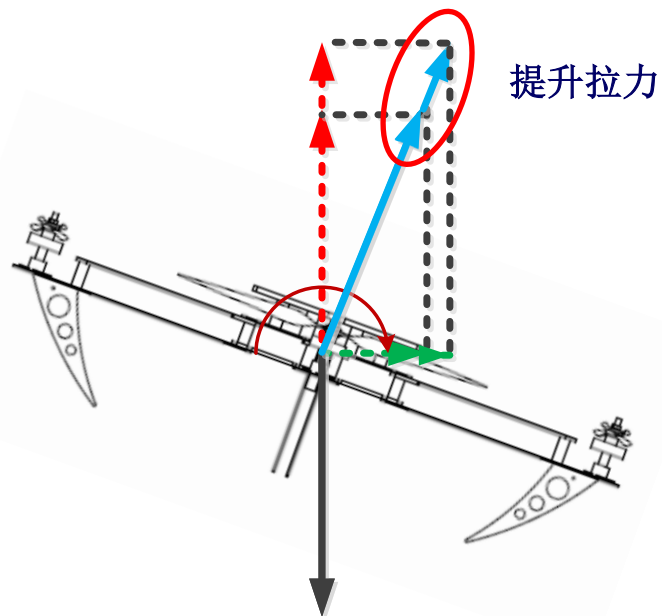
2. 多旋翼操控和评价

□ 四旋翼的操控

(3) 前后运动



(a) 改变俯仰



(b) 增加拉力

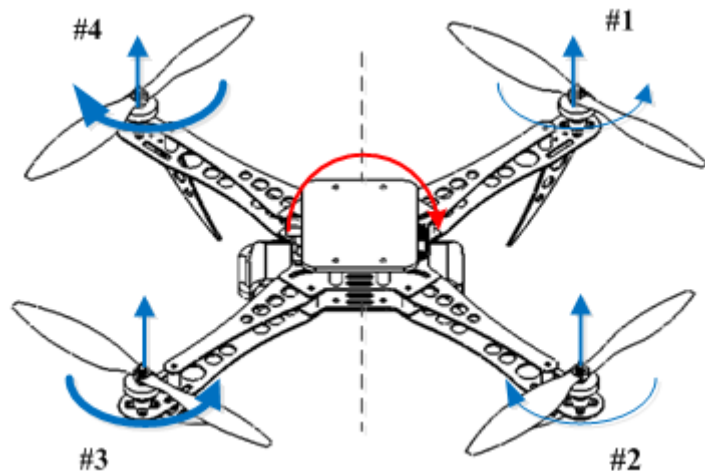
倾斜后拉力在重力方向的分量抵消不了重力，因此需要再提升拉力



2. 多旋翼操控和评价

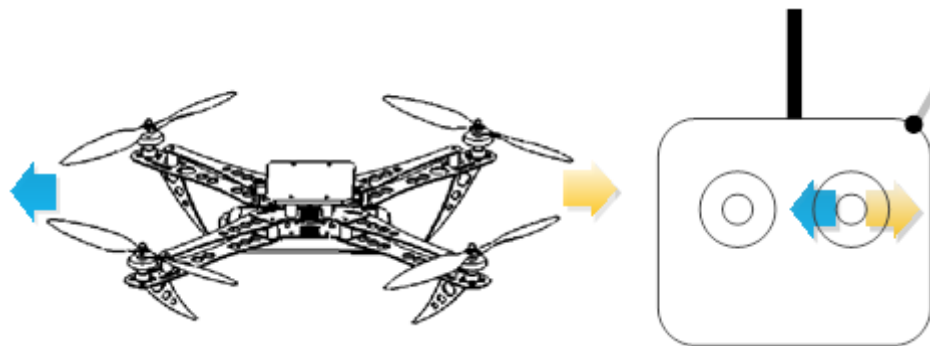
四旋翼的操控

(4) 左右运动



向右运动螺旋桨变化

| | #1 | #2 | #3 | #4 |
|------|------|------|------|------|
| 改变滚转 | -1 | -1 | +1 | +1 |
| 增加拉力 | +0.2 | +0.2 | +0.2 | +0.2 |
| 合成 | -0.8 | -0.8 | +1.2 | +1.2 |



遥控器操作



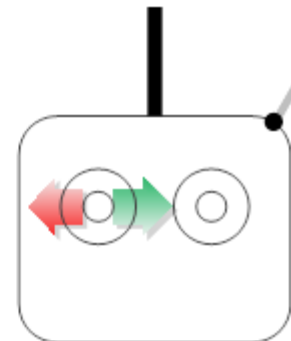
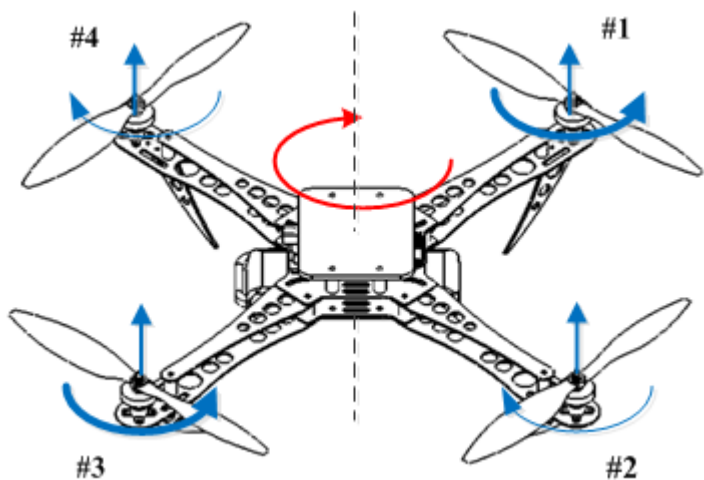
2. 多旋翼操控和评价

□ 四旋翼的操控

(5) 偏航运动

顺时针偏航运动螺旋桨变化

| | #1 | #2 | #3 | #4 |
|------|----|----|----|----|
| 改变偏航 | +1 | -1 | +1 | -1 |



遥控器操作



2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

(1) 对比

刚性
体
验

| | 固定翼 | 直升机 | 多旋翼 |
|-----|-----|-----|-----|
| 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



2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

(2) 局限性 (该方式不宜推广到大尺寸的多旋翼)

1) 桨叶尺寸越大, 越难迅速改变其速度

$$M = \frac{1}{2\pi} C_M \rho \omega^2 (2r_p)^5 \Rightarrow M \sim \omega^2 R^5$$
$$J \sim R^5$$
$$\alpha = \frac{M}{J} \sim \frac{\omega^2 R^5}{R^5} = \omega^2$$

桨尖速度常数假设 $\omega \sim 1/r_p \Rightarrow \omega \sim \frac{1}{R}$

$$\alpha \sim \frac{1}{R^2}$$

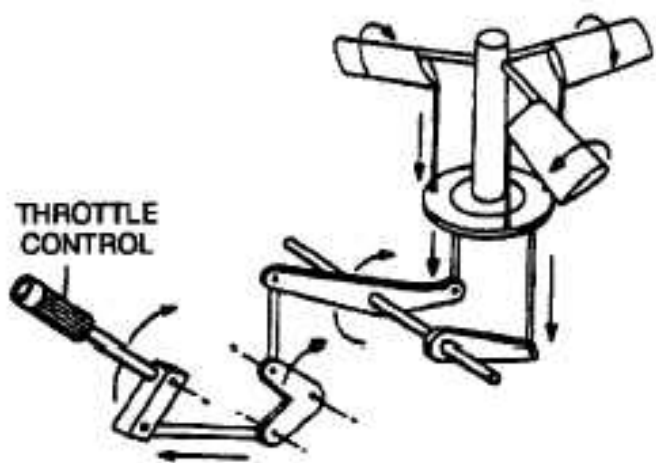


2. 多旋翼操控和评价

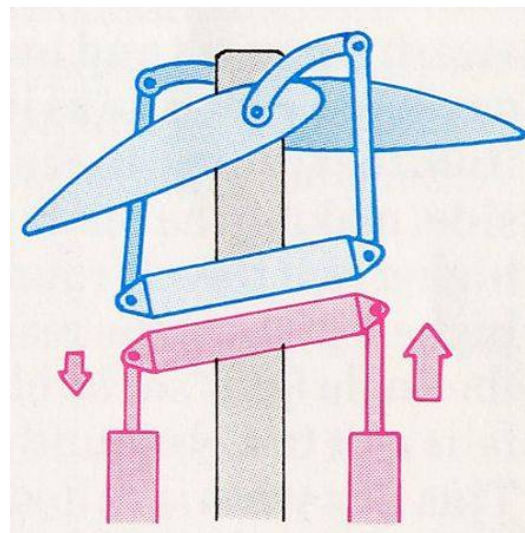
□ 多旋翼的评价

(2) 局限性

1) 桨叶尺寸越大，越难迅速改变其速度



来源<http://aviationmaintenance.tpub.com/>



来源<http://www.aerospaceweb.org/>

直升机通过变桨距控制

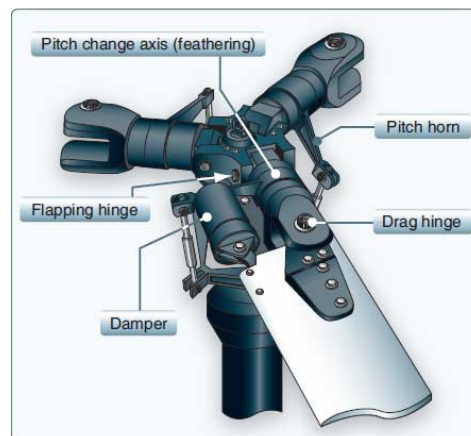
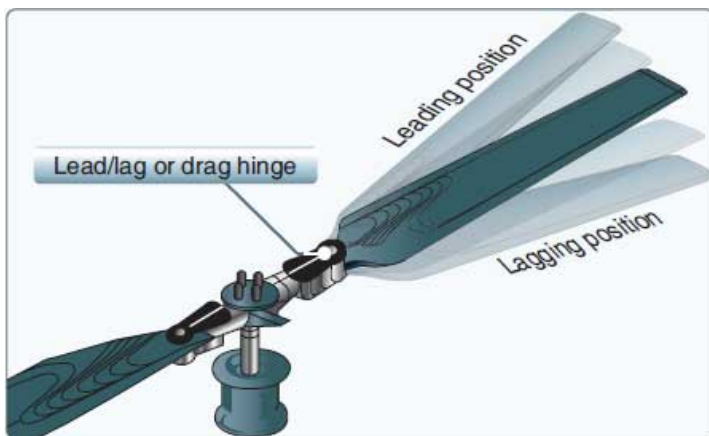


2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

(2) 局限性

2) 在大载重下，桨叶上下挥舞会导致刚性大的桨很容易折断



来源<http://www.danubewings.com/fully-articulated-rotor-system/>

直升机通过增加铰链结构



2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

(2) 局限性

因此，多旋翼该方式不宜推广到大尺寸，改进方式如 Volocopter VC200



(a) 正视图



(b) 拆解图



2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

(2) 局限性



Volocopter VC200

更安全?

(电机多冗余大)

or

更不安全?

(电机多故障率增加)

虽然单个电机失效概率增加，但通过控制分配安全性增加



2. 多旋翼操控和评价

□ 多旋翼的评价

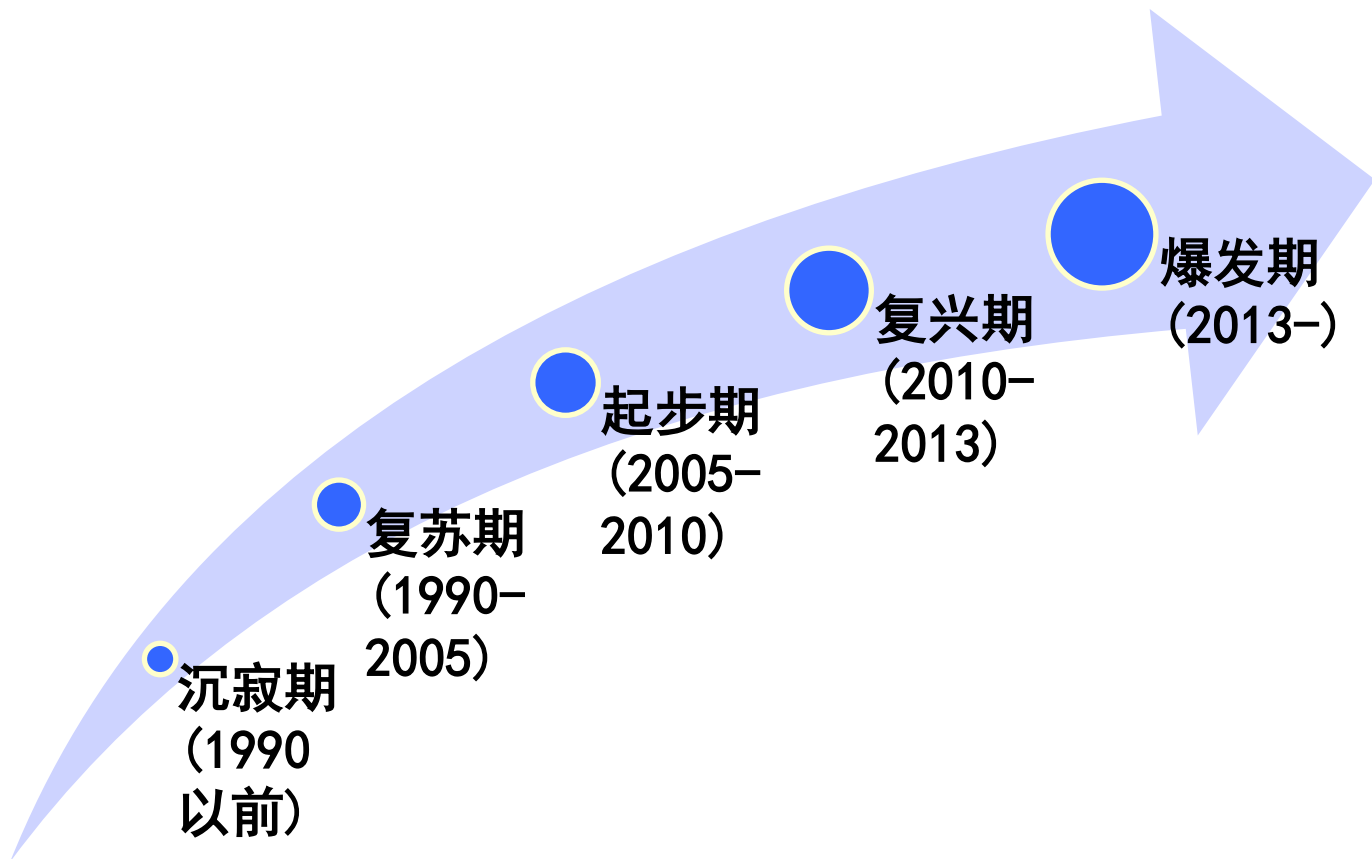
综上所述，人们选择了微小型多旋翼飞行器。

为什么现在多旋翼火了，而不是5年前10年前？

人们为什么 **最终** 选择了微小型多旋翼飞行器？

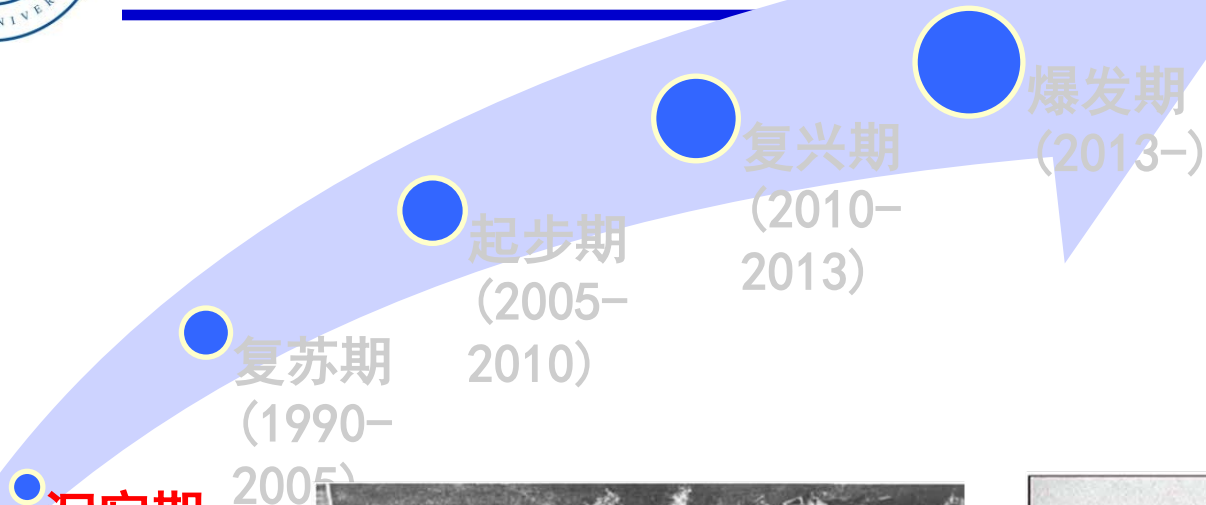


3. 多旋翼飞行器技术发展历史

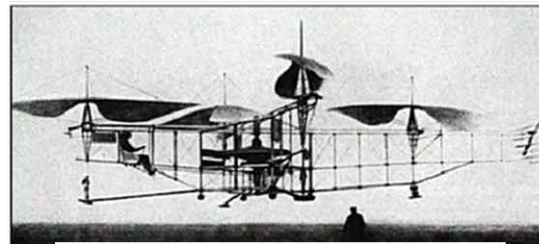




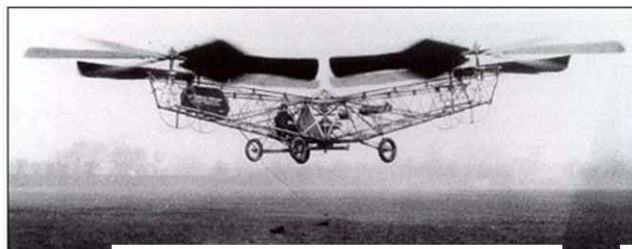
3. 多旋翼飞行器技术发展历史



(a) Breguet-Richet Gyroplane No.1



(b) Oemichen No.2



(c) De Bothezat helicopter



(d) Convertawings Model "A"



(e) Curtiss-Wright VZ-7



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 沉寂期(1990以前)



- 早在1907年的法国，在C. Richet 教授的指导下，Breguet兄弟进行了他们的旋翼式直升机的飞行试验，这是记录的最早构型。因为设计不切实际，只飞了1.5m，随后落下。



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 沉寂期(1990以前)



- E. Oemichen 于1920年开始设计多旋翼设计，第一次试飞失败；经过重新设计之后，于1923年实现了起飞并创造了当时直升机领域的世界纪录：该直升机首次实现了14分钟的飞行时间。



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 沉寂期(1990以前)



- 1921年 G. De Bothezat在美国俄亥俄州西南部城市代顿的美国空军部建造了另一架的大型四旋翼直升机，这架四旋翼飞机除了飞行员外还能承载3个人，原本期望的飞行高度是100米但是最终只飞到5米的高度。主要原因是发动机性能不行。



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 沉寂期(1990以前)



- 1956年, M. K. Adman 设计的第一架真正的四旋翼飞行器Convertawings Model “A”。试飞取得巨大成功, 这架飞机重达1吨, 依靠两个90马力的发动机实现悬停和机动。

在20世纪50年代, 美国陆军继续测试各种垂直起降方案。VZ-7的测试在1959年至1960年期间得到实现, 虽然它相对稳定, 但是它未能达到军方对高度和速度的要求, 该计划并没有得到更进一步的推行。



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复苏期(1990-2005)

(1) 产品方面

- 90年代初, Keyence Gyro Saucer II E-570登陆日本
- 美国工程师M. Dammar于90年代开发了电动四旋翼Roswell Flyer , 随后将其卖给加拿大公司Draganflyer
- 在2002年, Silverlit X-UFO 在德国Jugend forscht (年轻研究者) 比赛被设计发明



(a) Gyro Saucer I



(b) Roswell Flyer



(c) Silverlit X-UFO



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复苏期(1990-2005)

(1) 产品方面



Keyence Gyro Saucer



Silverlit X-UFO

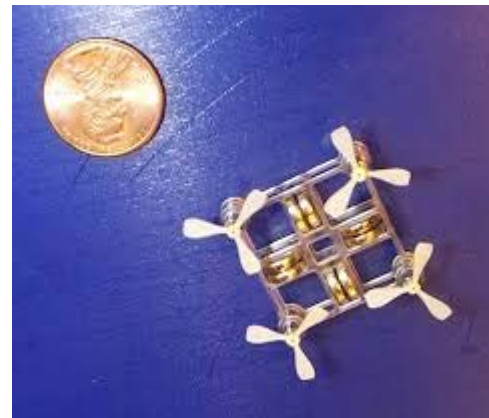


3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复苏期(1990-2005)

(2) 学术方面

- 几克重的MEMS惯导系统已经被研制出来
- 学术界开始研究建模和控制[7-11]
- 2005年左右，真正稳定的多旋翼无人机自动控制器才被制作出来



Mesicopter

[7] Hamel T, Mahony R, Chriette A. IEEE ICRA, 2002

[8] Altug E. Ph.D. dissertation, University of Pennsylvania, 2003

[9] Kroo I, Printz F. Mesicopter Project[Online], available: <http://aero.stanford.edu/mesicopter>,

[10] Borenstein J. The Hoverbot – An Electrically Powered Flying Robot[Online], available: <http://www-personal.umich.edu/~johannb/hoverbot.htm>

[11] Bouabdallah S, Murrieri P, Siegwart R. IEEE ICRA, 2004.



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 起步期(2005-2010)

(1) 产品方面

- 德国Microdrones GmbH于2005年成立，2006年推出的Md4-200四旋翼，2010年推出的Md4-1000四旋翼无人机系统
- 2006年，德国人H. Buss和I. Busker主导了一个四轴开源项目Mikrokopter
- 美国Draganflyer 公司在2004年推出Draganflyer IV四旋翼，并随后在2008年推出了工业级的多旋翼Draganflyer X6
- 2007年，德国Ascending Technologies创立，2016年被Intel收购



(a) Md4-200



(b) Draganflyer X6



3. 多旋翼飞行器技术

□ 起步期(2005-2010)

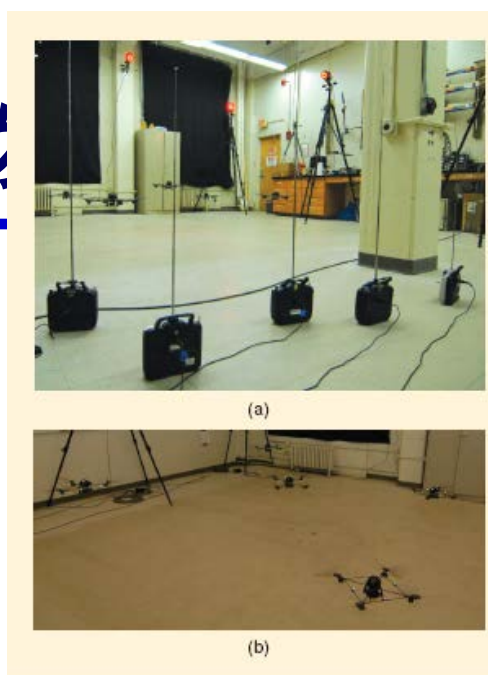
(2) 学术方面

- 越来越多的学术研究人员开始研究多旋翼，自己搭建四旋翼，验证算法，特别是姿态控制算法
- 个别研究者基于商业四旋翼+动作捕捉系统开发验证环境[12, 13]
- 得到《自然》杂志关注[14]

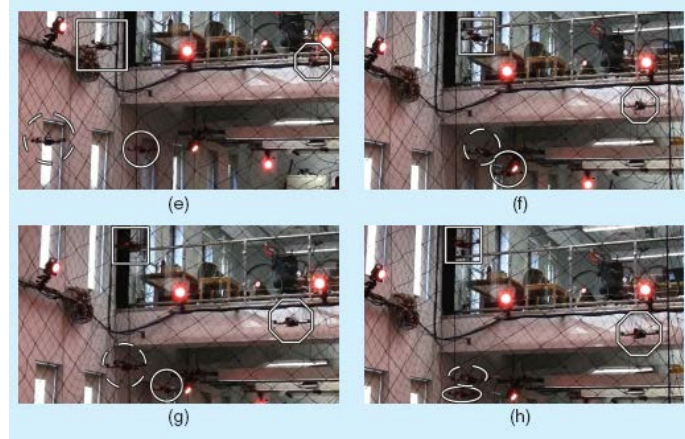
[12] How J P, et al. Real-time indoor autonomous vehicle test environment. IEEE Transaction on Control Systems, 2008, 28(2): 51-64.

[13] Michael N, et al. The grasp multiple micro-uav test bed. IEEE Transaction on Robotics & Automation Magazine, 2010, 17(3): 56-65.

[14] Stafford N. Spy in the sky. Nature, 2007, 445(22): 808-809



Real-Time Indoor Autonomous Vehicle Test Environment, MIT



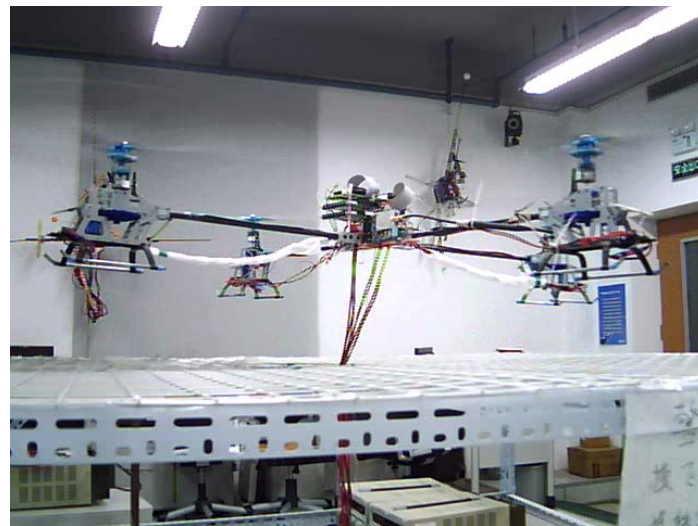
The Grasp Multiple Micro-UAV Test Bed, UPENN



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 起步期(2005-2010)

(2) 学术方面



我们实验室于2008年左右的多旋翼工作



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复兴期(2010-2013)

(1) 产品方面

- 2010年，法国的Parrot公司与学校共同合作，经过6年努力（2004-2010）[15]，推出消费级的AR. Drone四旋翼玩具，非常成功，它的技术和理念也十分领先
- 2013年左右，大疆推出小精灵Phantom一体机

[15] Bristeau P J, et al. The navigation and control technology inside the AR. Drone micro uav. 18th IFAC world congress. 2011, 18(1): 1477-1484



(a) AR. Drone 1.0

特点:

- (1) 光流测速，能够在室内悬停
- (2) 一键起飞
- (3) 手机、平板电脑或笔记本控制
- (4) 一体机，轻便小巧，安全。
- (5) 开放API接口



(b) Phantom



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复兴期(2010-2013)

(2) 学术方面

- 2012年2月，宾夕法尼亚大学的 V. Kumar 教授在 TED上做出了四旋翼飞行器发展历史上里程碑式的演讲，展示了四旋翼的灵活性以及编队协作
- 2012年，Robotics & Automation Magazine, IEEE, Aerial Robotics and the Quadrotor的专刊，比如文章[16, 17, 18]
- 多旋翼开源自驾仪增多

[16] Mahony R, Kumar V, Corke P. Multirotor aerial vehicles: Modeling, estimation, and control of quadrotor. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2012 (19): 20-32.

[17] Lim H, Park J, Lee D, et al. Build your own quadrotor: Open-source projects on unmanned aerial vehicles. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2012, 19(3): 33-45.

[18] Tomic T, Schmid K, Lutz P, et al. Toward a fully autonomous UAV: research platform for indoor and outdoor urban search and rescue. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2012 (19): 46-56.



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 复兴期(2010-2013)

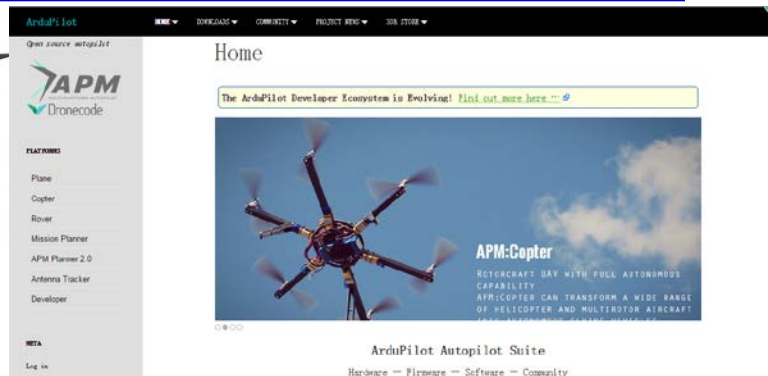
| 开源项目 (Open-Source Projects) | 网址 (Web site URL) | 开源项目 | 网址 (Web site URL) |
|-----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Arducopter | http://ardupilot.com | Taulabs | http://forum.taulabs.org/ |
| Openpilot | http://www.openpilot.org/ | Flexbot | http://www.flexbot.cc/ |
| Paparazzi | http://paparazziuav.org | Dronecode(开源无人机航空操作系统) | https://www.dronecode.org/ |
| Pixhawk | https://pixhawk.ethz.ch/ | Percepto(无人机开源视觉平台) | http://www.percepto.co/ |
| Mikrokopter | http://www.mikrokopter.de | Parrot API(开放SDK) | https://projects.ardrone.org/embedded/ardrone-api/index.html |
| KKmulticopter | http://www.kkmulticopter.kr/ | 3DR DRONEKIT(SDK) | http://www.dronekit.io/ |
| Multiwii | http://www.multiwii.com/ | DJI DEVELOPER(SDK) | http://dev.dji.com/cn |
| Aeroquad | http://www.aeroquadstore.com/ | DJI MATRICE 100+ DJI Guidance | https://developer.dji.com/cn/matrice-100/ |
| Crazyflie | https://www.bitcraze.io/category/crazyflie/ | SDK for XMission(SDK) | http://www.xaircraft.cn/en/xmission/developer |
| CrazePony (国内) | http://www.crazepony.com/ | EHANG GHOST SDK(SDK) | http://dev.ehang.com/ |
| 圆点博士 (国内) | http://www.etootle.com/ | | |
| 匿名飞控 (国内) | http://www.anotc.com/ | | |
| Autoquad | http://autoquad.org/ | | |
| MegaPirate | http://megapiratex.com/index.php | | |
| Erlrobot | http://erlerobotics.com/ | | |
| MegaPirateNG | http://code.google.com/p/megapirateng | | |



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 爆发期(2013-)

(1) 产品方面



- 大疆小精灵Phantom一体机得到持续关注
- 连线主编C. Anderson于2012年年底当任3D Robotics公司的CEO，连续推出Iris、X8+、Solo等四旋翼飞行器。同时，该公司维护和支持了APM开源多旋翼的软硬件升级，以及网站建设和维护
- 2013年底，3D Robotics公司牵手苏黎世联邦理工学院的PX4开源飞控开发团队，共同推出Pixhawk硬件
- 同样在2013年底，互联网巨头亚马逊发布的采用四旋翼送快递的视频，拉近了多旋翼飞行器与普通消费者之间的距离



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 爆发期(2013-)



(1) 产品方面 (2013年8月-2015年9月)

| 飞机型号 | 公司 | 发布时间 | 国家 | 飞机型号 | 公司 | 发布时间 | 国家 | 特点 |
|-------------------|-----------------------------|---------|------|----------------|-----------------------------|--------|-----|---|
| Spiri | Patrick Edwards-Daugherty | 2013.8 | 加拿大 | Splash Drone | Urban Drones | 2015.3 | 美国 | 防水设计, 可以停留在水面上 |
| Stingray500 | Curtis Young Blood | 2013.12 | 美国 | SOLO | 3D Robotics | 2015.4 | 美国 | 集最先进的技术于一身, 提高航拍体验 |
| AR.Drone 2.0 | Parrot | 2013.12 | 法国 | Phantom 3 | DJI | 2015.4 | 中国 | 集成了高清图传、视觉定位、4K摄像机等先进技术 |
| AirDog | Helico Aerospace Industries | 2014.6 | 拉脱维亚 | XPlanet | XAIRCRAFT | 2015.4 | 中国 | 智能规划航线、智能喷洒系统、智能电池管理等 |
| Rolling Spider | Parrot | 2014.7 | 法国 | Phenox2 | Ryo Konomura、Kensho Miyoshi | 2015.4 | 日本 | 一款可编程的无人机, 足够小、重量轻, 可在人手上起飞降落 |
| IRIS+ | 3D Robotics | 2014.9 | 美国 | CyPhy LVL1 | CyPhy Works | 2015.4 | 美国 | 水平飞行拍摄时机身不会倾斜 |
| Nixie | Fly nexie | 2014.11 | 美国 | Lily | Lily | 2015.5 | 美国 | 可手抛起飞、自动跟随、防水 |
| GHOST 1.0 | EHANG | 2014.11 | 中国 | PhoneDrone | xCraft | 2015.5 | 新西兰 | PhoneDrone其实就是一个外骨骼框架, 智能手机镶嵌到框架中组装为自动飞行的四翼无人机 |
| Mind4 | AirMind | 2014.11 | 中国 | Year! | airstier | 2015.6 | 德国 | 油电混合动力 |
| inspire 1 | DJI | 2014.11 | 中国 | Tayzu | Tayzu Robotics | 2015.7 | 美国 | 全程自动化处理的无人机系统 |
| Bebop | Parrot | 2014.12 | 法国 | Fotokite Phi | Perspective Robotics AG | 2015.8 | 瑞士 | 可折叠, 无需等待GPS锁定或校准 |
| Vertex VTOL | ComQuest Ventures | 2015.1 | 波多黎各 | 独角兽X | FPVStyle | 2015.8 | 中国 | 前飞速度快 |
| Skydio | Skydio | 2015.1 | 美国 | Micro Drone3.0 | Extreme Fliers | 2015.8 | 英国 | 3D虚拟情景的技术 |
| Steadidrone Flare | Steadidrone | 2015.1 | 捷克 | Feibot | Feibot | 2015.9 | 中国 | 基于智能手机平台 |
| Airborg H61500 | Top Flight Technologies | 2015.3 | 美国 | Snap | Vantage Robotics | 2015.9 | 美国 | 由于采用模块化的设计, 模块之间采用磁性连接器连接 |
| | | | | Flybi | Advance Robotix Corporation | 2015.9 | 美国 | 配备手表型遥控器, 采用LCD显示屏, 单操作杆和转盘配合控制机体, 可以通过随机的VR眼镜实现第一视角飞行。并且可以自动换电池。 |



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 爆发期(2013-)

(1) 产品方面



大疆
Phantom 4,
视觉避障
2016. 3. 2

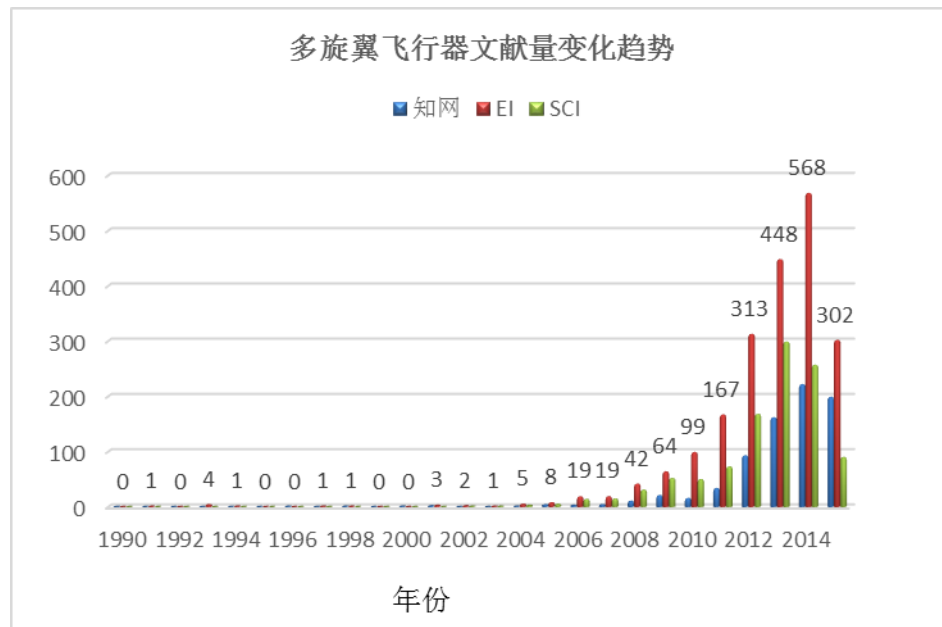


3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 爆发期(2013-)

(2) 学术方面

- 多旋翼的研究更偏向**智能化、群体化**
- 2013年，苏黎世联邦理工学院的R. D' Andrea教授在TEDGlobal的机器人实验室展示了四旋翼的惊人运动机能
- 《自然》发表综述文章分析和展望了小型自主无人机在民用领域的科学和技术[19]



多旋翼年度文章统计（2015年10月前）

[19] Floreano D, Wood R J. Science, technology and the future of small autonomous drones. Nature, 2015, 521(7553):460-466



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 爆发期(2013-)

(2) 学术方面



Raffaello
D'Andrea:
Meet the
dazzling
flying
machines of
the future
Feb, 2016



3. 多旋翼飞行器技术发展历史

□ 小结

(1) 大势所趋

硬件小型化、计算能力越来越强、电机功率提升、电池能量密度提升、智能手机、Gopro运动相机、活跃的社交网络

(2) 一体机改变了体验

AR.Drone、大疆小精灵Phantom

(3) 多旋翼会长时间占据微小型无人机市场



4. 本门课的安排

□ 目的

本门课程讲授多旋翼设计、动态模型建立、状态估计、控制和决策等方面的基础知识。具有两大特点：“基础性”和“系统性”。

(1) 基础性

本课程力求绝大部分多旋翼涉及的内容能够自包含，使得具有自动化专业本科知识的学生就能够听懂这门课。

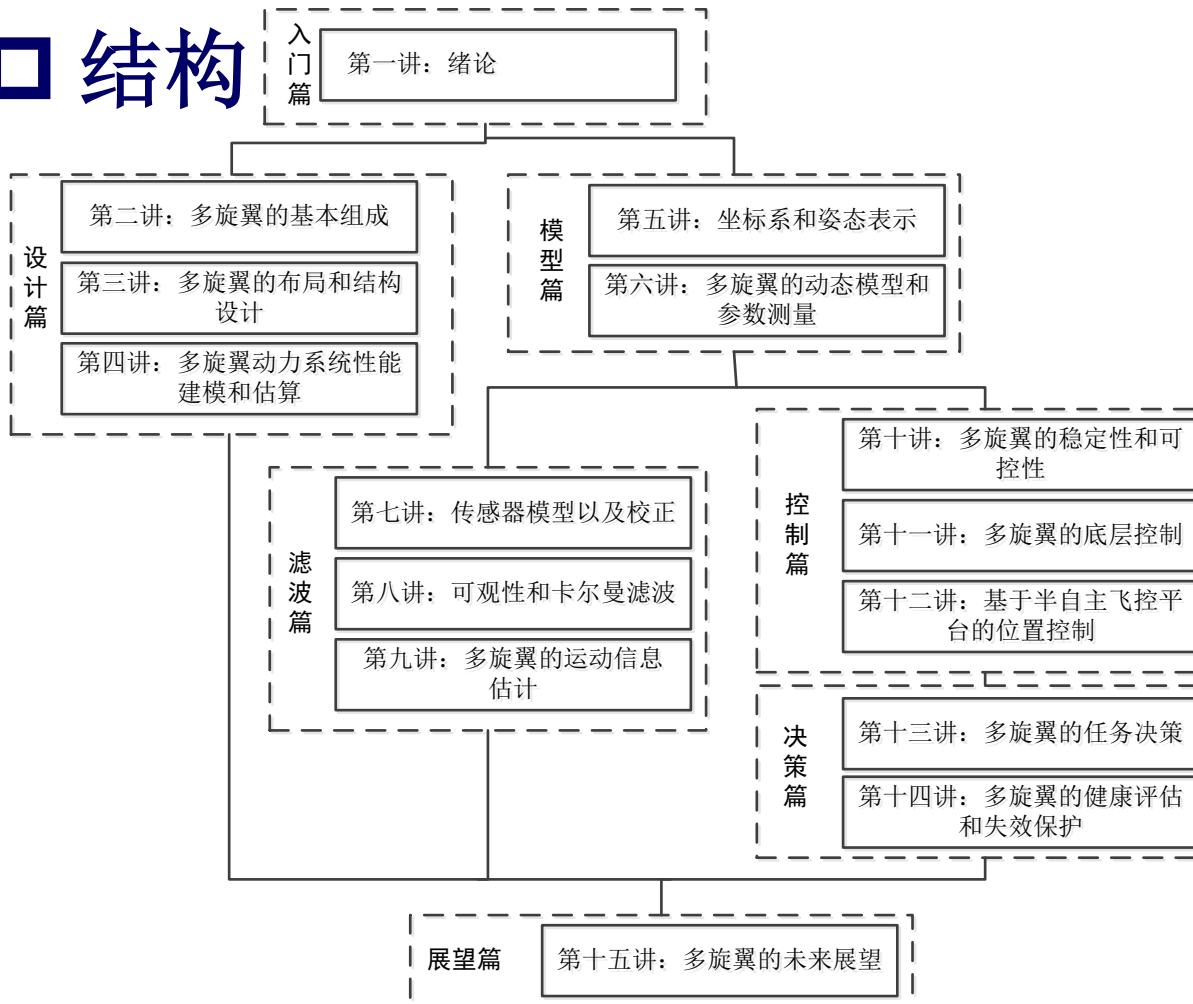
(2) 系统性

本课程目的是介绍多旋翼飞行器系统性的全貌，而不仅仅是某一个技术点。本课程通过多旋翼例子，将散落的知识实例化。



4. 本门课的安排

□ 结构



针对旁听同学:

(1) 仅多旋翼设计感兴趣的同学, 可参加入门篇、设计篇和展望篇课程;

(2) 多旋翼运动信息估计感兴趣的同学, 可参加入门篇、模型篇、滤波篇和展望篇课程;

(3) 对多旋翼控制算法感兴趣的同学, 可参加入门篇、模型篇、控制篇、决策篇和展望篇课程。



4. 本门课的安排

□ 考核方式

(1) 小作业 (20%)

选做10次小作业

(2) 大作业 (50%)

1) 多旋翼动力系统设计：根据部件估计性能、根据性能找部件
(20%)

2) 建模、控制、决策、仿真 (30%)

(3) 考试 (开卷, 30%)



4. 本门课的安排

□ 考核方式

大作业1说明：多旋翼动力系统设计

大作业2说明：建模、控制、决策、仿真





5. 作业

作业1：选择一个最近推出的多旋翼，进行简要分析，比如：技术特点、适用场合、为什么有前途等等。

注：通过北航课程中心交作业（电子版）

course.buaa.edu.cn/opencourse/



课程

搜索

全部课程

首页

教学组织

新闻公告

本科课程

研究生课程

视频课程

MOOC课程

登录 | 游客

学院列表

工科数学分析 基础物理学
弹性力学 实验流体力学

热门课程

博弈与社会 中国经典乐记
诗歌与中国文化 西方古典研读

最新公告

课程中心升级上线了
开学了

使用指南

新学期如何更新名单
课程中心培训通知

热门课程

本科课程

研究生课程

视频课程

MOOC课程

最新公告

使用指南

+更多

2016/3/10



6. 资源

- (1) 课程中心 (课件、资料、作业等)
- (2) 可靠飞行控制研究组主页 (课件等)

<http://rfly.buaa.edu.cn/resources/>

- (3) 关注可靠飞行控制研究组公众号 buaarfly (课件等)





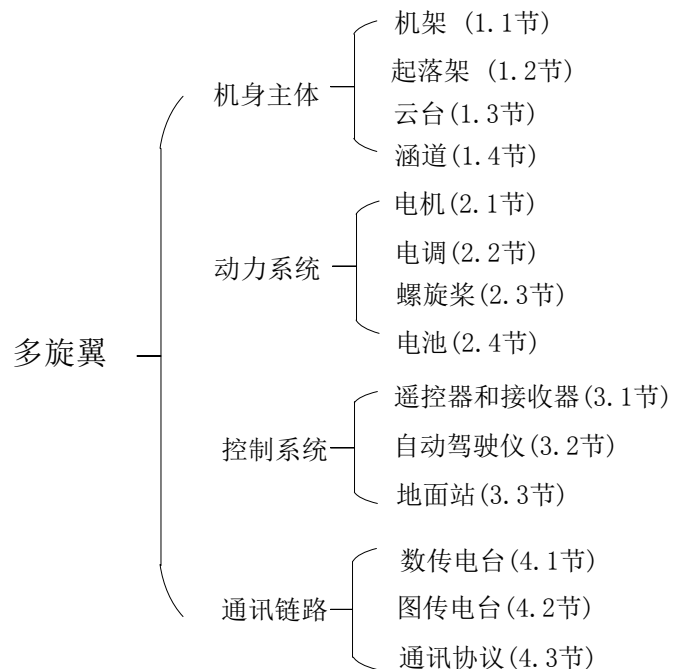
问题？



下堂课预告

第二讲 多旋翼的基本组成

核心问题：多旋翼的基本组成是什么，它们又有何作用？





谢谢!