

# 筒式发射折叠微型多旋翼无人机设计

游安华<sup>a</sup>,宋乐恒<sup>b</sup>,肖航<sup>b</sup>,张嘉骏<sup>c</sup>,张旺<sup>d</sup>

(南京理工大学 a. 工程训练中心; b. 自动化学院; c. 理学院; d. 机械工程学院,江苏 南京 210094)

**摘要:**为了解决多旋翼在狭小筒内存放和发射飞行,借鉴炮射无人机原理进行优化和改造。通过机构及电路设计解决无人机的折叠机构和收纳装置,在质量增加不多的情况下,实现折叠和收纳无人机,并可以快捷释放,具有快速布署能力。实验验证了微型多旋翼无人机桶内折叠及展开 FPV 飞行,载荷的模块化设计变化及投送,同时进行多机的结构设计,对协同、集群飞行和低载荷、高机动的军事无人机具有一定的现实意义。

**关键词:**多旋翼无人机;筒式发射;折叠;结构设计

**中图分类号:**V279 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)03-0215-03

## Design of Barrel Launch Folding Micro Multi-rotor UAV

YOU Anhua<sup>a</sup>, SONG Leheng<sup>b</sup>, XIAO Hang<sup>b</sup>, ZHANG Jiajun<sup>c</sup>, ZHANG Wang<sup>d</sup>

(a. Engineering Training Centre; b. School of Automation; c. School of Science; d. School of Mechanical engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** To overcome the limitations of storage, launching and flying of UAV in a small barrel, the device is optimized and transformed based on the principle of gun launched UAV, and folding mechanism and storage function are completed by mechanical and circuit designing to develop a folding and storage functioned UAV with advantages of rapid deployment and speedy release but limited weight increase. Experiments are carried out to verify the validity of the folding of miniaturized multi-rotor UAV and unfolding of FPV flight in the barrel, and loaded modular design change and delivery as well as the structural design of multi aircraft, which has practical significance for collaborative, cluster flying of military UAV with low load and high mobility.

**Keywords:** multirotor UAV; barrel launch; fold; structure design

## 0 引言

因无人机机动灵活、简单实用,在现代信息化战争中的应用越来越频繁,多数国家正在大力拓展无人机应用平台<sup>[1-3]</sup>。无人机的小型化、快速布署一直是近年来无人机领域重要的课题。随着现代战争模式的发展,对无人机高效地完成的任务要求越来越强烈。无人机在侦查、运输、打击目标等多个领域能发挥重要作用,所以能够在短时间内发射尽可能多的无人机就意味着为作战赢得了先机。

搭载 FPV(第一人称视角)系统穿越机竞速运动是近年新兴的科技运动,其最高时速可达 140 千米<sup>[4]</sup>。穿越机具有速度快、易控制、体积小和易拆卸等优点,是开拓飞行器功能的理想载体,在技术上涉及空气动力、软件、电子工程等学科。现在市面上无人机特别是航拍用的无人机一般尺寸较大,不能适应复杂且狭小空间的侦察活动,而穿越机可以实现实时图像传输,通过摄像头第一视角观察无人机前方地形状况,进而对穿越机进行及时控制以避免障碍<sup>[5-6]</sup>。目前穿越机附加功能方向较单一,大部分并不能运输物资和折叠,而一般的多旋翼运输无人机体积较大、飞行速度较慢。全面分析研究无人机的优缺点,将有助于正确选择无人机的发展方向 and 重点,改进无人机的使用战

术,提高无人机的综合作战效能。

折叠、体积小、数量多的集群模式是在无人机基础上产生的一类新型模式,具有快速进入作战区域、突击能力强、战术使用灵活等优点。筒式发射结构简单、操作维护方便、机动灵活,适用于在各种地形、地貌条件下进行作战。如果在作战时需要发射多架无人机就意味着会占用极大的空间和时间,也会占用一定的人力、物力,短时间在狭小的空间内只能发射少量的无人机。而折叠多旋翼无人机系统可以在发射前通过折叠机臂减小自身所占空间,再通过升降平台控制,能在短时间内实现发射。

## 1 项目方案的总体设计

选择穿越机这一载体后,无人机筒式发射需要解决折叠、收纳、释放问题。

首先是无人机的折叠问题。无人机本身需要折叠来减少其占据的横向长度,在此设计一个可以在释放时自动展开的机架成为了必须要求。采用 12.7 cm(5 英寸)穿越机机架为母版,利用弹簧合页将机臂在空间层面上折叠,并设计一个投射装置挂载在无人机顶部,将载重物发射出去。其次是在一个桶里收纳和释放无人机,用市面上 PC 材料圆管模拟发射筒。因利用压缩气体将无人机冷发

射出管难度大,成本高,于是设计一个升降平台,内置在桶内,将折叠形态的无人机从管中送出来,再遥控展开无人机并起飞,投射时利用网球大小的物品模拟载重物。设计流程图如图 1 所示。

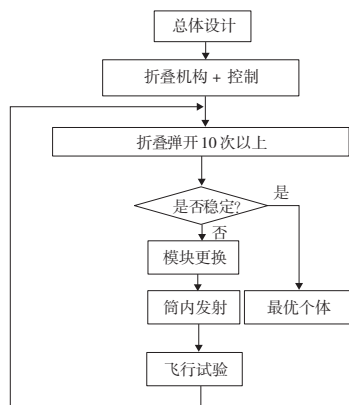
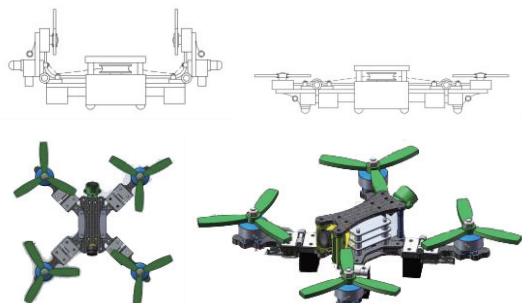


图 1 设计流程图

### 1.1 机体设计

在保证载重和穿越障碍门的条件下尽可能为无人机争取更大的机动能力,所设计的无人机机架为 10.16cm(4 英寸)竞速机架、T-motor 2207 系列电机、4045 三叶螺旋桨、T-motorV45 四合一电调及其配套飞控, RUSHTANK2, 功率 800mW 模块竞速图传,小樱桃天线,睿思凯 XM+接收机,展开及折叠后的外形结构三维图如图 2 所示。



(a) 机体折叠的外形结构 (b) 机体展开的外形结构

图 2 机体结构

自行设计机架并用弹簧合页来折叠和连接分开的机臂,通过设计卡扣使机臂在展开后锁定,保证展开飞行的稳定性,外形结构三维图如图 3 所示。卡扣使用 3D 打印领域常见的 ABS 材料,在打印时选择较大的打印密度以及较小的出丝直径,以此来保证卡扣的弹性和使用寿命。

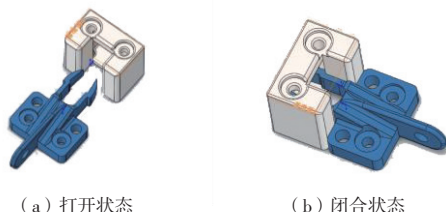


图 3 使用 3D 打印 ABS 卡扣开合状态

在实际操作过后,圆管的物理限位十分不稳定,无人机在快要升出圆筒时,由于弹簧合页的弹力飞出,并且飞出时各个机臂展开情况不一致,无人机也很难保持良好的起飞姿态,如图 4 所示。因此需要增加一个展开机构,最后利用卡扣限制其在折叠时位置的变化,并通过可以变化周长的绳套来解除对无人机的限制。

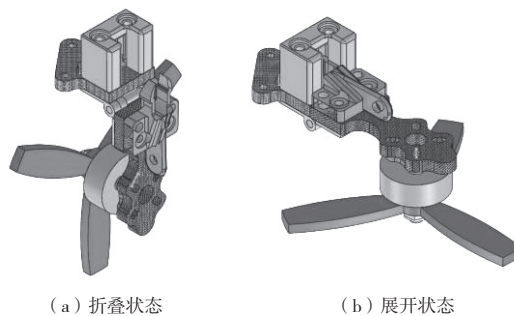


图 4 卡扣在机臂上的折叠以及展开状态效果图

在升降平台上加装一个舵机,舵机摇臂连接铁丝,以此来限制绳套的初位<sup>[7]</sup>。通过使用凯夫拉线设计一个绳套使多旋翼无人机在折叠的时候能够锁定保证不变形,再通过舵机连接铁丝作为绳套的激发装置,舵机与 2.4GHz 接收机连接,在接收到操作者遥控器信号后,打开绳套达到控制飞机展开的功能,如图 5 所示。



图 5 利用舵机控制绳套的展开

### 1.2 升降平台的设计

升降平台的设计思路是通过航模遥控器控制步进电机,将无人机平稳、可靠地提升至收纳容器顶部,使无人机能够安全起飞。为了实现这一设计,使用 Arduino nano 与接收机组成系统实现用普通航模遥控器对步进电机进行控制进而控制平台的升降<sup>[8-10]</sup>。通过遥控器给予接收机指令,接收机将信号传输给 Arunino nano 控制板,并由控制板控制电机提升,部分控制程序如图 6 所示。

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制电机,通过控制脉冲个数来控制角位移量使其精确定位<sup>[11-13]</sup>,并通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度。步进电机速度运行越快,所输出的转矩越小,但太快将会造成失步<sup>[14-16]</sup>。本次采用的步进电机为 42 步进电机 17HS4401,可通过调节 Arduino 控制引脚的电平来实现控制。

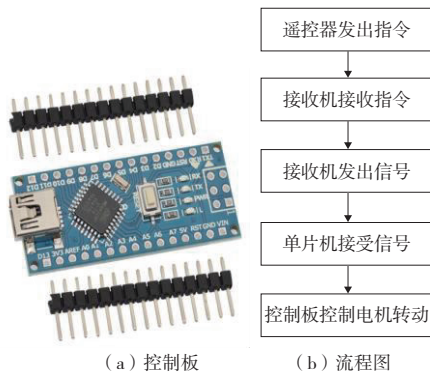


图 6 控制板外观图和控制流程图

通过制作简单的木制架子,将步进电机固定在架子上,依靠丝杆的转动带动木制平台上下移动,结构如图 7 所示。

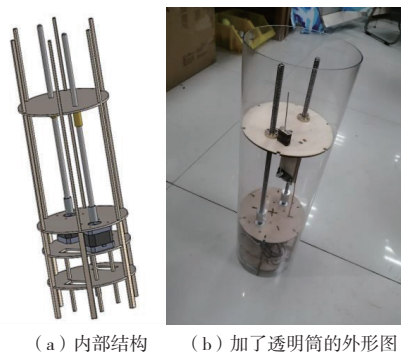


图 7 升降平台的简单机械结构

### 1.3 任务载荷

采用模块化设计,可以更换如发射装置、运动相机等部件以完成不同功能,如图 8 所示。发射机构采用弹簧,斜着投射出去,同样由舵机控制弹簧,解除压缩状态后弹出载荷物。

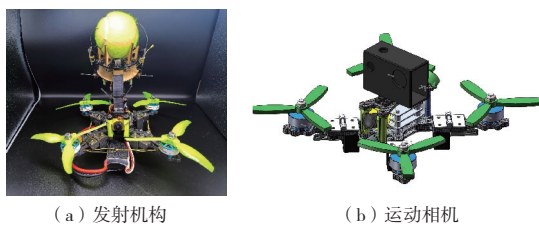


图 8 载荷物发射机构及运动相机

### 1.4 多机折叠收纳

为了实现多机的投送,采用升降分隔平台将折叠无人机纵向分隔在独立的存储空间内,方便运输和管理。同时,升降分隔平台能够将折叠无人机逐一输送到顶端进行放飞,实现短时间内发射多架无人机的效果,为战略救援及作战任务提供保障。折叠无人机收纳管理升降起飞平台的圆柱收纳筒下端连接控制底座,且控制底座与圆柱收纳筒之间通过密封隔板进行分隔,如图 9 所示。

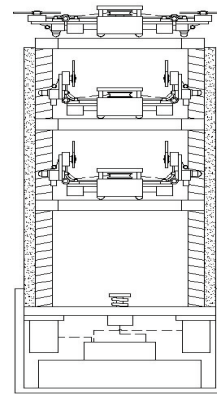


图 9 多机折叠收纳平台

## 2 飞行试验

在使用折叠筒式发射微型多旋翼无人机平台时,打开圆柱收纳筒顶端封闭盖,由遥控器与无线操控电路连接操作步进电机同步带动升降螺杆旋转,将起飞支撑平台向上推送至上端口,然后通过遥控器进行操控将无人机张开后发射,如图 10 所示。在此过程中,折叠多旋翼无人机上端任务载荷固定平台固定有对应的设备及物品,如拍摄设备、简易高能炸药投放设备等。另外,起飞支撑平台可根据无人机的型号及任务载荷的不同进行自由调节。

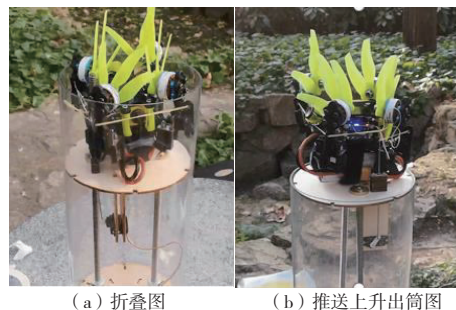


图 10 折叠放入筒内图和推送平台上出筒图

在折叠回收阶段,将折叠多旋翼无人机停放在顶端的起飞支撑平台上,并在步进电机与升降螺杆的配合下向下输送,如图 11 所示。

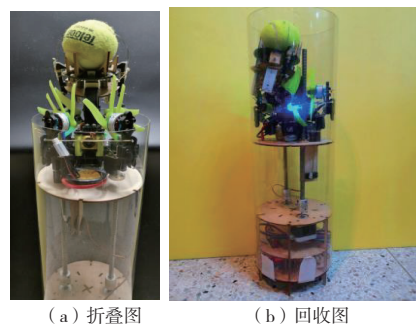


图 11 搭载任务载荷折叠状态图和折叠后回收入筒图

无人机顶盖采用模块化设计,能够通过装卸部件来更换不同功能的模块。如需要执行侦查任务,得到稳定清晰 (下转第 231 页)

成较大的压力损失,除在旋流器出口附近以外,带双级径向旋流器的燃烧室轴向速度更大;

2) 相比于单级轴向旋流器,带双级径向旋流器的燃烧室回流区直径增大,长度相当,回流强度增大 30.6%,燃油浓度增加,燃油充满整个主燃区,点火时有利于高温燃气回流,点燃新鲜混气,形成稳定的点火源;

3) 贫油点火试验表明,存在一个最佳火焰筒压降,带轴向旋流器的燃烧室最佳火焰筒压降为 4%,带双级径向旋流器燃烧室的最佳火焰筒压降为 4.5%;对比带单级轴向旋流器的燃烧室,带双级径向旋流器燃烧室的贫油点火边界在 3 个火焰筒压降下变宽了 40%以上,即在恶劣工况下,更容易点火成功。

#### 参考文献:

- [1] MCNELIS N, BARTOLOTTA P. Revolutionary turbine accelerator (RTA) demonstrator [C]//AIAA/CIRA 13th International Space Planes and Hypersonics Systems and Technologies Conference. Capua, Italy. Reston, Virginia: AIAA, 2005: 3250.
- [2] BOILEAU M, STAFFELBACH G, CUENOT B, et al. LES of an ignition sequence in a gas turbine engine [J]. Combustion and Flame, 2008, 154(1/2): 2-22.
- [3] JONES W P, TYLISZCZAK A. Large eddy simulation of spark ignition in a gas turbine combustor [J]. Flow, Turbulence and Combustion, 2010, 85(3/4): 711-734.
- [4] STEIL U, BRAUN-UNKHOFF M, AIGNER M. An experimental

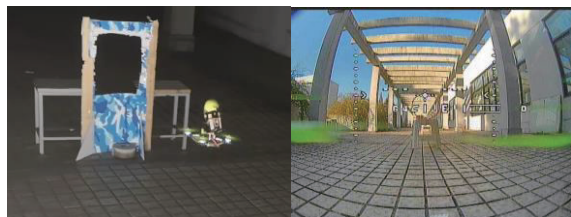
and modelling study on the autoignition of kerosene and surrogate fuel mixtures [C]//46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada. Reston, Virginia: AIAA, 2008: 973.

- [5] 汤朝伟, 李建中, 金武, 等. 主燃级旋流数影响三级旋流燃烧室流动与燃烧特性试验 [J]. 航空动力学报, 2021, 36(3): 634-645.
- [6] READ R, ROGERSON J, HOCHGREB S. Relight imaging at low temperature, low pressure conditions [C]//46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada. Reston, Virginia: AIAA, 2008: 957.
- [7] 姜磊, 熊健, 肖波, 等. 旋流杯结构及进气参数对燃烧性能的影响 [J]. 推进技术, 2020, 41(3): 605-614.
- [8] 刘桂桂, 林宇震, 胡好生, 等. 旋流杯一级旋流数变化对点火性能的影响 [J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(6): 1117-1121.
- [9] 刘威, 王成军, 于雷, 等. 中心分级燃烧室燃烧性能试验研究 [J]. 中国测试, 2019, 45(9): 149-155.
- [10] 康尧, 林宇震, 霍伟业, 等. 双级旋流杯结构变化对点火特性的影响研究 [J]. 推进技术, 2014, 35(5): 675-680.
- [11] 康尧, 林宇震, 蒋尧, 等. 旋流杯套筒混合段长度对点火特性的影响 [J]. 航空动力学报, 2016, 31(9): 2095-2103.
- [12] 代威, 林宇震, 张弛. 第 2 级径向旋流器旋流数对燃烧室点火和贫油熄火性能的影响 [J]. 航空动力学报, 2015, 30(5): 1092-1098.

收稿日期: 2022-01-13

(上接第 217 页)

的图像时,可安装侦查模块,可以 FPV 飞行控制无人机,用运动相机来获取画面,如图 12 所示。在需要达到物资的运输功能时,可以安装发射模块,运输小型物品如药品等,并且无需降落即可完成物品的投递任务。



(a) 侦查飞行画面 (b) 运动相机画面

图 12 穿越飞行障碍图和 FPV 运动相机中获取的画面

### 3 结语

综上所述,在实验过程中,实现了通过桶内折叠收纳及弹出,最后完成遥控展开并起飞,穿越障碍区投放载荷并安全返回。通过任务载荷的变化及多机的投送,能够完成协同、集群飞行。此研究也是一种无人机技术创新和尝试,无论在理论研究及军事应用中都具有有一定的借鉴价值。

#### 参考文献:

- [1] 强岁红. 无人机发展的启示 [J]. 飞机工程, 2007(3): 5-8.
- [2] 王文雅. 各国无人机状况简介 [J]. 长岭技术, 2006(2): 53-56.
- [3] 袁新波, 江多琨, 周前进, 等. 某型迫击炮射无人机应用研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(6): 105-109.

- [4] 赵林. 公共图书馆 STEAM 教育研究 [J]. 图书馆学报, 2020, 42(3): 17-20.
- [5] 王文建. 四旋翼无人机控制系统设计 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017.
- [6] 王建华. 炮兵防空兵侦察技术导论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [7] 张尧. 无人机载雷达结构轻型化设计与成型技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [8] 何梦林. 无人机的故障诊断与容错控制研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.
- [9] 李华锋, 王晨阳. 旋转式小型立体停车库设计 [J]. 技术与市场, 2019, 26(5): 170.
- [10] 黄蜜. 浅谈自动控制系统中控制电机的选用 [J]. 科学与信息化, 2020(23): 145-146.
- [11] 张明春. 基于 ULN2003 的步进电机控制器设计 [J]. 数码设计(上), 2019(7): 143-144.
- [12] 梁亮. 远程监控机器人专家服务系统移动载体设计 [D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [13] 孙瑞. PWM 技术在电机驱动控制中的应用 [J]. 科学技术创新, 2017(28): 54-55.
- [14] 周忠辉. 步进电机驱动的实现方法 [J]. 仪表技术与传感器, 2004(11): 61-62.
- [15] 王丹. 野外维护元器件智能管理系统的设计与实现 [D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2017.
- [16] 贺安之, 阎大鹏. 现代传感器原理及应用 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995.

收稿日期: 2021-12-29