

doi: 10.7690/bgzd.2019.03.021

# 一种小型多旋翼无人机的挂载设计与实现

葛超, 张植勋, 曾舒婷, 夏庆锋

(南京大学金陵学院信息科学与工程学院, 南京 210099)

**摘要:** 为满足多旋翼无人机短距离挂载重物运输的需求, 提出一种电动无人机自动化挂载重物方案。根据无人机飞行原理, 对无人机现有挂载方案存在的问题进行分析, 从易用性、可靠性、维护性、续航性、承载性对无人机性能进行评估, 采用 STM32 芯片的抓持器, 结合建模计算, 通过对多旋翼飞行器及挂载控制系统的设计, 得出其挂载方案, 并通过抓持实验进行验证。试验结果表明: 该方案切实可行, 能基本满足大多数载荷的运输。

**关键词:** 无人机; STM32 微型处理器; 电动; STM32F103RCT6

**中图分类号:** TP27 **文献标志码:** A

## Design and Implementation of a Small Multi-rotor UAV Mounting

Ge Chao, Zhang Zhixun, Zeng Shuting, Xia Qingfeng

(School of Information &amp; Engineering, Nanjing University Jinling College, Nanjing 210099, China)

**Abstract:** In order to meet the demand of multi-rotor UAV for short-distance loading heavy loads, an electric UAV automatic loading weight scheme is proposed. According to the flight principle of the UAV, the problems existing in the current unloading scheme of the UAV are analyzed, and the performance of the UAV is evaluated from the usability, reliability, maintainability, endurance, and load bearing capacity. The gripper with STM32 chip is used, combined with the modeling calculation, obtains the mounting scheme through the design of the multi-rotor aircraft and the mount control system, and verifies it through the gripping experiment. The test results show that the scheme is feasible and can basically meet the requirements of majority load transportation plans.

**Keywords:** UAV; STM32 microprocessor; electric; STM32F103RCT6

## 0 引言

目前, 在短距离运输上, 大多使用小型多旋翼无人机。因为其可以实现垂直起降, 无需跑道或者发射架, 适合在多平台、多空间使用; 又因为其结构简单、控制灵活、成本低廉、安全性好、拆卸方便、易于维护和更换。要想实现多旋翼无人机的运输, 一种可靠有效的挂载方案必不可少, 基于此, 笔者给出一种小型多旋翼无人机的挂载方案。

## 1 现有的挂载方案和存在的缺点

### 1.1 外挂盒子挂载方案

饿了么公司在上海举行无人机商业飞行发布会时宣布<sup>[1]</sup>, 已获准开辟中国第一批无人机即时配送航线。这种方案使用专门的快递盒挂载在多旋翼无人机下面, 由专人将外卖放置进盒子中, 再进行起飞运输。这种方案的优点是由专人放置, 可确保载荷稳妥得当才能起飞, 缺点是每次都需要专人进行放置, 而且到达后还需要顾客自行拿取, 在拿取过程中顾客有可能被无人机伤害。

### 1.2 钩子挂载方案

使用钩子进行挂载的优点是容易实现, 但在运输时遭遇侧风, 重物和无人机的摇晃势必会导致多旋翼无人机姿态发生变化, 如果无人机姿态调整不及时, 就可能导致坠机事故。

综上所述, 使用上述挂载方案, 实现起来有一定的难度和不稳定性; 因此, 笔者从性能评估的角度出发, 设计一种基于控制板来控制数字舵机并驱动机械爪的小型电动多旋翼无人机挂载方案, 并测试其挂载的效率和稳定性。

## 2 小型多旋翼挂载无人机的性能评估

对小型多旋翼无人机的性能评估, 可以从易用性、可靠性、维护性、续航性、承载性 5 个方面入手。

### 2.1 评估的 5 个方面

#### 2.1.1 易用性

易用性是指是否容易学习遥控小型多旋翼挂载无人机, 并实现其挂载及运输的悬停和机动飞行。

收稿日期: 2018-10-17; 修回日期: 2018-12-19

收稿日期: 2016 年南京大学金陵学院重点教学改革研究项目 (0010521608)

作者简介: 葛超 (1998—), 男, 江苏人, 学士, 从事智能系统与应用研究。

如果需要长时间进行练习，培养一个合格的飞手就需要非常大的成本。

### 2.1.2 可靠性

可靠性通常使用平均故障间隔时间来量化表示。相对于直升机和固定翼，多旋翼无人机结构相对简单，且采用无刷电机，小型多旋翼挂载无人机在进行多次运输中，几乎没有什么机械磨损，所以故障率相对较低。

### 2.1.3 维护性

维护性包括服务性和可修复性。多旋翼容易检查和维修、结构简单、容易安装，例如电机、电调、电池、螺旋桨等机构损坏时容易替换。而固定翼无人机和直升机零配件较多，机构相对比较复杂，因此其组装和维护也就相对困难。

### 2.1.4 续航性

续航性是指飞机在给定载荷和任务下的最大飞行时间<sup>[2]</sup>。多旋翼能量转换效率相对固定翼直升机要低很多。考虑到文中方案是进行短距离短时间内挂载运输的，所以采用了锂电池进行供电。目前小型多旋翼无人机上使用的锂电池全称为“锂聚合物电池”(Li-polymer，又称高分子锂电池)，具有小型化、轻量化、能量高等特点，可以通过放电来满足无人机在不同环境下的使用要求。

### 2.1.5 承载性

承载性能是指飞机在给定油门和任务下的最大载质量。挂载方案设计为整机加抓持器的总质量不超过 2 kg 的条件下，能实现稳定飞行和挂载更重的载荷，需要通过多次实验来求出最佳方案。

## 2.2 无人机性能估算

笔者对设计的小型多旋翼挂载无人机计算最大载重质量和飞行时间，研究其可运输的范围，以达到稳定实验的目的<sup>[3]</sup>。其动力系统参数如表 1 所示。

表 1 动力系统参数

组件	参数
螺旋桨	$\Theta_p = \{\text{直径 } D_p, \text{ 螺距 } H_p, \text{ 桨叶数 } B_p, \text{ 螺旋桨质量 } G_p\}$
电机	$\Theta_m = \{\text{标称空载值 } KV_0, \text{ 最大电流 } I_m, \text{ 标称空载电流 } I_{m0}, \text{ 标称空载电压 } U_{m0}, \text{ 内阻 } R_m, \text{ 电机质量 } G_m\}$
ESC	$\Theta_e = \{\text{最大电调电流 } I_e, \text{ 内阻 } R_e, \text{ 电调质量 } G_e\}$
电池	$\Theta_b = \{\text{容量 } C_b, \text{ 内阻 } R_b, \text{ 总电压 } U_b, \text{ 最大放电倍率 } K_b, \text{ 电池质量 } G_b\}$

根据表 2 计算得出无人机质量约为 1 897 g。

表 2 无人机各部件质量

组件	质量
动力系统	624
机架	420
主控	84
电池	425
挂载系统	344

### 2.2.1 最大质量估算

笔者采用朗宇 V2814-870KV 电机和 1147 桨叶，其最大推力可达到 1 000 g，即  $L_{\max}=1\ 000\ \text{g}$ ，电机个数  $N_{\max}=4$ ， $\alpha=0.3$ ，可得出最大载重质量：

$$W_{\max} = \frac{L_{\max} \times N_{\max}}{1 + \alpha} = 3\ 076\ \text{g}。$$

可得出该无人机载重在 1 000 g 以内，以满足大部分需要快速运送货的质量需求。

### 2.2.2 载重飞行时间计算

对于日常运输，当负载 500 g 时，每个电机需提供约 575 g 拉力，根据朗宇厂商测试数据得出，每个电机耗电约  $I_a=4\ 000\ \text{mA}$ 。设安全系数  $k=1.5$ ，最大电机数  $N_{\max}=4$ ，电池容量  $C_b=4\ 000\ \text{mAh}$ ，则无人机的飞行时间为

$$h_{\max} = \frac{C_b}{kN_{\max}I_a} = 0.16\ \text{h}。$$

即飞机在载重 500 g 情况下可飞行 0.16 h<sup>[4]</sup>。

### 2.2.3 空载飞行距离计算

笔者利用性能估算，得到本无人机的各项指标如表 3 所示。

表 3 无人机的各性能指标

参数	数值	参数	数值
悬停时间/min	13.97	正常使用/min	10.2
整机质量/kg	2	剩余载重/kg	3.02
最大平飞速度/(m/s)	22.7	单程飞行距离/km	5.59

## 3 小型多旋翼无人机挂载方案

### 3.1 飞行器设计

笔者采用常见的结构简单的四旋翼无人机进行设计<sup>[5]</sup>。四旋翼飞行器通过调节 4 个电机转速来改变旋翼转速，实现升力的变化，从而控制飞行器的姿态和位置。四旋翼飞行器是一种六自由度的垂直升降机，但只有 4 个输入力，同时却有 6 个状态输出，所以它又是一种欠驱动系统。无人机总体由四旋翼机架组成，机架分为 3 层，最上面一层放置电池，中间部分的中心放置飞控装置，其余 4 个角放置动力系统，最下面一层，挂载器放置于脚架之间。

实物如图 1 所示。



图 1 无人机实物

### 3.1.1 机架结构

无人机采用旋翼对称分布在机体的左前、左后、右前、右后 4 个方向，4 个旋翼处于同一高度平面，且 4 个旋翼的结构和半径都相同，4 个电机对称地安装在飞行器的支架端。

想要延长无人机续航时间，需要各个部件达到轻量化。在对比数种无人机材料刚度和强度后，笔者选用碳纤维材料，因其具有轻质高强、抗疲劳和防盐雾腐蚀，并选用小型灵活的 450 mm 轴距。

### 3.1.2 动力系统

对于动力系统的选择，笔者根据多旋翼飞行器设计与控制计算出拉力功率和相应飞行参数，经多个型号对比后，最终选用表 4 所示的系统配置<sup>[6]</sup>。

表 4 飞行器动力系统配置

配件	型号	规格	数量
电机	朗宇 V2814	KV870	4
电调	乐天 XRotor	40A	4
螺旋桨	乾丰	11X4.7	4
电池	格式 ACE 4S	4 000 mAH	1

### 3.1.3 飞控系统

飞控系统采用 DJI NAZA-M V2。该飞控采用了大疆独创的稳定姿态算法，内置了独立的 PMU 模块，可以单独给挂载系统主控板供电。

## 3.2 挂载控制系统设计

挂载控制系统如图 2 所示。笔者采用 Alentek MiniSTM32 开发板作为主控板，采用 LDX-335MG 耐烧舵机驱动机械爪，使用讯通科技 PTR5518 模块，通过蓝牙协议与手机端上位机进行通信<sup>[7]</sup>。

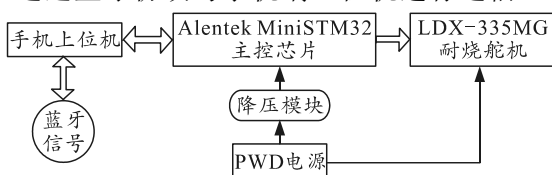


图 2 挂载控制系统原理

### 3.2.1 STM32 处理器介绍

笔者采用了 STM(意法半导体)推出的基于 ARM Coretex-M3 内核的 STM32F103RCT6 增强型处理器。它的资源包括 48 kB SRAM、256 kB flash、2 个基本定时器、4 个通用定时器、2 个高级定时器、2 个 DMA 控制器(共 12 个通道)、3 个 SPI、2 个 IIC、5 个串口、1 个 USB、1 个 CAN、3 个 12 位 ADC、1 个 12 位 DAC、1 个 SDIO 接口及 51 个通用 I/O 口。STM32 较市场上同类的单片机具有价格低、功能强、使用简单、开发方便等优势。

### 3.2.2 PTR5518 模块介绍

基于 Nordic nRF51822 的 SOM，采用了 ARM Cortex M0 32 位处理器，256 kB flash，16 kB RAM，支持 BLE、有 2.4 G 多种协议。同时拥有完整的低功耗蓝牙协议栈/profiles 解决方案(蓝牙 4.x 或更高)，最大发射功率为+4 dBm，接收灵敏度为-93 dBm@BLE。

## 3.3 软件设计

文中软件采用功能模块化设计方法，基于 MDK5.14 编译器，采用了  $\mu$ Vision Keil 集成开发环境。软件部分由流程控制模块、电机控制模块、蓝牙传输模块和手机上位机模块等组成。如图 3 所示，在接受到蓝牙信号后，调用舵机控制函数控制机械爪的开合。

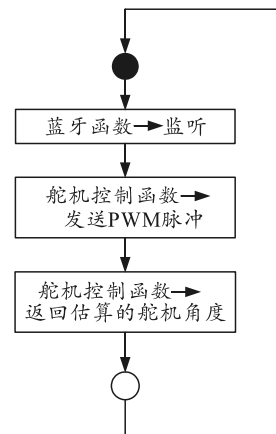


图 3 软件流程

### 3.3.1 舵机控制部分

如图 4 所示，控制信号由接收机通道进入信号调制芯片，获得直流偏置电压，并将其与内部的基准电路产生的基准信号相减，获得电压差，通过产生两路 PWM，在系统中断时，产生反向信号控制电机正反转。

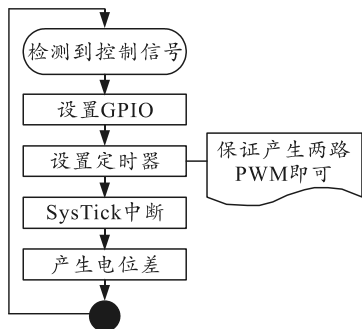


图 4 控制电机流程

### 3.3.2 手机上位机部分

手机上位机采用 Java 语言进行开发，通过 SPP 协议与核心板连接，其流程如图 5 所示。在其连接蓝牙设备后，与其建立连接隧道(BluetoothSocket)通过用户滑动进度条，发送信息到核心板上。

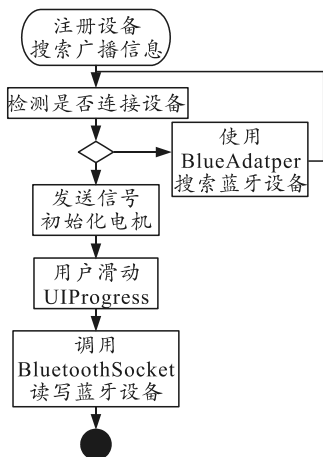


图 5 手机上位机流程

在此基础上，系统可以结合 STM32，使用 GPRS 模块属性，通过 Request 请求远程控制挂载装置，也可以获得无人机当前信息。

### 3.4 机械爪部分设计

机械爪整体采用硬铝合金，连接部分使用铜柱作为支撑。机械爪宽度可达 61 mm，并且爪子边缘采用波浪设计，在保持抓持性能的同时，不会因为爪子损害到载荷外部结构。机械爪长度为 127 mm，最大开口长度达到 230 mm，且采用对称设计，可以保证抓持的成功率以及抓取更大的物体。

## 4 实验数据验证与分析

笔者选用自行组装的四旋翼无人机，以挂载控

制板控制的机械爪作为实验对象，在 AB 间距为 3 m，高约 76 cm 的障碍物进行实验。通过控制变量法，测量当电池达到放电截止电时的载荷效率(载荷效率=飞行趟数×载荷质量×AB 间距)如表 5。

表 5 载荷效率

组数	载荷质量/ kg	飞行 趟数	飞行时间/ min	载重效率
第 1 组	0.5	22	5	33.0
	0.7	18	5	37.8
	1.0	13	5	39.0
第 2 组	1.0	10	5	30.0
	1.0	10	5	30.0
	1.0	13	5	39.0
第 3 组	1.0	6	3	18.0
	1.0	9	4	27.0
	1.0	13	5	39.0

由表可得：在其他条件不变的情况下，分别通过增加质量、延长飞行时间来提高多旋翼无人机的载重效率。

## 5 结论

由组装实验结果可知：在抓持性能方面，笔者采用的机械爪以及蓝牙控制方案使得抓取载荷时可进行远程控制，更加稳定、方便，在短距离运输方面的优势明显；在载重性能方面，该方案基本满足了大多数载荷的运输，在测试不同形状和质量载荷运输的情况下表现良好，很少出现载荷掉落的情况。

## 参考文献：

- [1] 相欣. 一线|饿了么获批中国首条外卖无人机航线 外卖 20 分钟到达 [EB/OL]. <http://tech.qq.com/a/20180529/022619.htm>, 2018-05-29
- [2] 金伽忆, 朱烨, 曾舒婷, 等. 小型多旋翼无人机续航问题研究[J]. 电脑知识与技术, 2017(16): 197-199.
- [3] SHI D, DAI X, ZHANG X, et al. A Practical Performance Evaluation Method for Electric Multicopters[Z]. Article in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics PP(99): 1-1 · March 2017.
- [4] 徐进. 锂电池充放电特性分析和测试[J]. 中国西部科技, 2011, 33(10): 3-5.
- [5] 王伟, 马浩, 徐金琦, 等. 多旋翼无人机标准化机体设计方法研究[J]. 机械设计与制造, 2014(5): 147-150.
- [6] 贺明飞, 李卫国, 陈晨, 等. 2 kg 以内起飞质量的无人机超长续航策略[J]. 兵工自动化, 2018, 37(3): 77-81.
- [7] 周永龙, 雷金奎. 基于 STM32 的数字舵机控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(1): 66-68.