

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.025

用于危险区域物品清理的四旋翼飞行抓捕手

王帅, 周洋

(哈尔滨工业大学 电气学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 针对目前危险区域工作安全系数不够高的现状, 设计带有可控机械手的小型四旋翼飞行器。以在军事领域广泛应用的四旋翼飞行器为载体, 在此基础上添加机械手, 并运用无线通信手段对二者构成的整体进行联合控制。结果表明, 该设计能将原来必须由人直接完成的工作变成用遥控的方式处理, 可实现危险区域的物品清理等工作, 能有效地提高工作安全性, 具有良好的应用价值。

关键词: 四旋翼飞行器; 机械手; 安全

中图分类号: TP241; V279.1 **文献标志码:** A

Four-Rotor Helicopter Manipulator for Cleaning up Hazardous Areas

Wang Shuai, Zhou Yang

(School of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Aiming at the low security index in hazardous areas, introduces the design of mini-type four-rotor helicopter with controllable manipulator. Based on four-rotor helicopter that have been widely applied in military, manipulator and wireless communication facilities have been added to realize combinational control. The result shows that the design can use remote method to carry out work which directly completed by people before. It can clean up hazardous areas, and improve the security and has good application value.

Keywords: four-rotor helicopter; manipulator; security

0 引言

据调查, 在全国各高山风景区, 一些游客随手把矿泉水瓶等垃圾扔到山下, 同时, 消防队员也经常要清理一些危险物品。在这些危险区域和一些特殊情况下, 需要设计一种机械设备代替人来完成类似的危险工作。

四旋翼飞行器是一种可以垂直起降的微型无人飞行器, 其优点是: 能够适应各种环境; 具备自主起飞和着陆能力, 高度智能化; 能以各种姿态飞行, 如悬停、前飞、侧飞和倒飞等。主要应用有: 难以接近或很难到达的工作环境(如星际飞行)^[1]; 危险的工作环境(如战争中); 飞行单调的工作环境; 飞行时间长的工作环境(大气观测, 数据传输)。由于其对可靠习惯要求较高, 功能复杂^[2], 研发成本高, 一直主要的应用是在军事领域。

机械手, 也被称为自动手, 是能模仿人手和臂的某些动作功能, 用以按固定程序抓取、搬运物件或操作工具的自动操作装置。主要由手部、运动机构和控制系统 3 部分组成。自由度是机械手设计的关键参数。自由度越多, 机械手的灵活性越大, 通用性越广, 其结构也越复杂。一般专用机械手有 2~3 个自由度。

若在四旋翼飞行器下面安装一个机械手, 并通过舵机控制其动作, 可以实现在紧急时刻的救援搜索, 清理易燃易爆物品, 在悬崖等不便于人出没的地方进行勘探地质等工作。因此, 笔者设计带有可控机械手的小型四旋翼飞行器, 将现有的四旋翼飞行器和机械手进行简化后巧妙地结合起来, 并运用无线通信的手段实现对系统的控制。

1 系统的工作原理与硬件组成

1.1 系统的整体组成

整个系统分为四旋翼飞行器系统和地面站控制系统, 2 个系统可以通过无线通信系统实现信息交换。在四旋翼飞行器的下端安装一个机械手, 并通过舵机控制其相对运动。操作人员可以在地面站控制系统的人机接口部输入飞行器控制指令, 通过无线通信系统, 控制飞行器的飞行状态, 同时机械手的控制指令也传递给四旋翼飞行器系统, 使机械手做出相应的动作。系统框图如图 1。

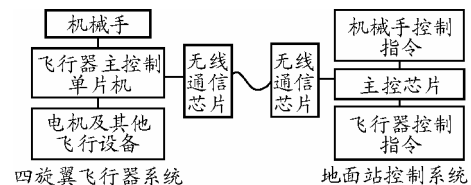


图 1 系统框图

收稿日期: 2010-10-12; 修回日期: 2010-12-20

基金项目: 国家大学生科技创新性实验计划项目“用于危险区域物品清理的四旋翼飞行抓捕手”(091021326)

作者简介: 王帅(1989-), 男, 黑龙江人, 从事测控技术与仪器研究。

1.2 四旋翼飞行器的系统组成和工作原理

1.2.1 四旋翼飞行器的系统组成

四旋翼飞行器系统框图如图 2。

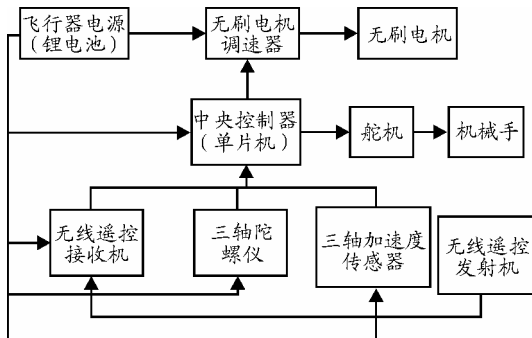


图 2 四旋翼飞行器控制系统框图

其中，三轴陀螺仪用来测试飞行器的角位移，经过对时间的微分可以得出飞行器适时的角速度；三轴加速度传感器可以测试出系统的角加速度。将这 2 方面的信息送入到中央控制器中，经过适当的算法进行分析和综合，得出的角速度即可反应当前情况下飞行器的飞行状态。通过无刷电机调速器调节电机的旋转速度和旋转方向，即可实现对飞行器的调速和控制。中央控制芯片还可以控制舵机的运动，以实现对机械手的控制。

1.2.2 四旋翼飞行器系统的姿态调整方法

四旋翼飞行器是固联在刚性十字交叉结构上由 4 个独立电机驱动的螺旋桨组成的系统，如图 3^[3]。

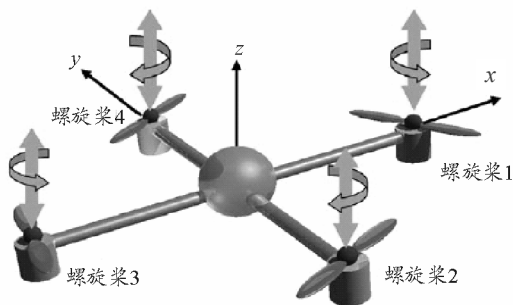


图 3 四旋翼飞行器

尽管有 4 个驱动，但因为四旋翼直升机具有 6 个坐标输出^[4-5]，所以飞行器是欠驱动的。为了实现全部的运动控制目标，必然存在旋转力矩与平移系统的耦合。同时增大或减小 4 个螺旋桨的速度可以产生垂直的动作；保持对角线上一组螺旋桨速度不变，同时另外一组螺旋桨一个速度增大，一个速度减小就会产生俯仰和滚动的姿态；2 组螺旋桨阻力矩的差异产生偏航姿态。

1.3 机械手的控制原理

飞行器的载荷一般是微型摄像机（配无线视频

传输）或空气采样器等，在本系统中，飞行载荷为机械手。若采取最简单易行的方案，机械手可以只设计 3 个手指。其中 2 个机械手指保持静止，第 3 个活动的机械手指在舵机带动下运动，即可调整各手指之间的距离，实现对物体的夹取与释放。具体示意图如图 4。

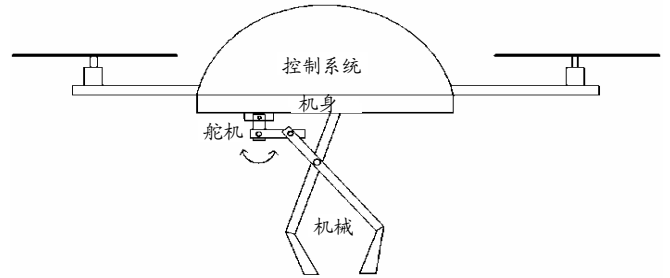


图 4 机械手部分示意图

无线通信系统传递的指令经过单片机的分析和综合，可通过人的操作来控制舵机的运动，舵机的左右摆动可以带动横杆机械结构的运动，进而控制机械手的开合。

2 系统的软件设计与实验

2.1 控制系统的任务

四旋翼飞行器是一个静不稳定的系统，需要不断地调整系统的输出来达到一个宏观上的稳定状态。在无外部扰动情况下悬停的稳定性，以及在外部扰动后恢复平衡的能力，对四旋翼飞行器都是十分重要的。在该闭环控制系统中，需要首先得到输出端的反馈，也就是飞行器当前姿态角。

控制系统的任务是在没有操作人员给予指令之时，保持飞行器悬停；在接收到操作指令之时，能迅速响应并完成指定动作。其首要任务：计算飞行器当前姿态角。本系统使用 3 个单轴陀螺以及 1 个三轴加速度传感器^[6]来实现飞行器姿态角的测量。

2.2 振动对加速度数据的影响

实验所用飞行器采用 atmega644p 单片机作为系统的核心控制芯片，加速度传感器采用 mma7260。用电压 15 V，容量 2 200 mAh 的锂电池对系统供电，进行下面实验。图 5 为机身倾斜 10° 左右静态下，加速度传感器计算得到的姿态角，基本在 10° 左右。图中，纵坐标为测试所得倾角，横坐标为间隔 0.01 s 的采样点数。图 6 为施加了一个低频振动，其输出变的杂乱无章，但中心线大约还在 10°。均值滤波可以去掉噪声，但会带来较大延迟，这种延迟对于飞行器可能是致命的，会导致控

制失效甚至飞行器坠毁。

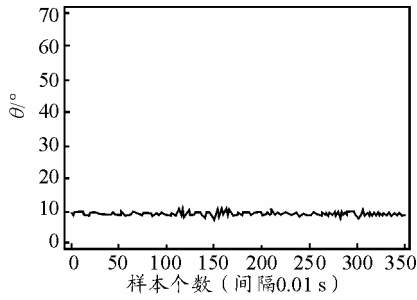


图 5 机身倾角静态测试

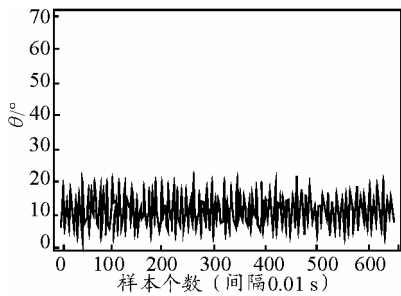


图 6 机身倾角动态测试

2.3 陀螺的积分误差

陀螺仪输出角速度是瞬时量，一般角速度姿态平衡上不能直接使用，多数惯导系统控制需要角度信号，所以需要角速度与时间积分计算角度，得到的角度变化量与初始角度相加，就得到目标角度，其中，积分时间 Dt 越小，输出角度越准，但陀螺仪的原理决定了它的测量基准是自身，并没有系统外的绝对参照物，加上 Dt 是不可能无限小所以积分的累积误差会随着时间流逝迅速增加，最终导致输出角度与实际不符，所以，陀螺仪只能工作在较短的时间尺度内。

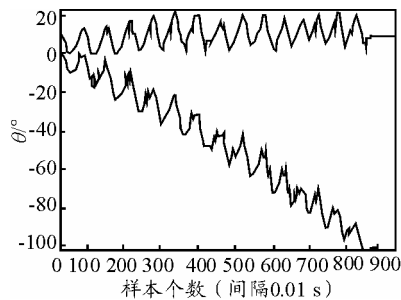


图 7 积分误差对比实验结果

实验中陀螺仪采用 adxrs610，图 7 上曲线为机身在 10° 左右做往复的俯仰运动的实际角度输出，下面的曲线为陀螺计算的角度输出。可以看出，陀螺的漂移导致输出越来越偏离中心。因此，单纯使用加速度计或者陀螺仪测量姿态角进行是不准确的。比较理想的方案是将二者测量的数据加权综合，

短时间内增加陀螺仪数据的权值，长时间内增加加速度计数据的权值，进而提高姿态测量的准确度。

2.4 控制算法简图

系统的控制算法简图如图 8，陀螺仪和加速度传感器所测得的数据在单片机中实现综合，可以得到飞行器当前转台的姿态角，此时的姿态信息和遥控指令相结合。通过比例积分微分算法控制电机驱动器调整集体的状态。陀螺仪和加速度传感器又可以针对此时调整后的转台继续测试数据。整个过程形成一个闭环，经过一系列的调整，最终使系统达到稳定的工作状态。

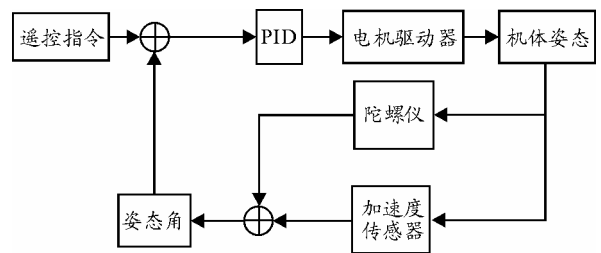


图 8 系统的控制算法简图

3 结论

该系统将原来必须由人直接完成的工作变成用间接遥控的方式处理，实现质量在 5 kg 以内体积较小的危险物品在直径为 100 m 范围内的转移，受能源限制，飞行时间在 20 min 左右，有效提高了危险区域工作的安全性，挽救人的生命和财产安全。在洪水等自然灾害发生时，还可以向被困人员投递救援物资。该系统可由技术改造实现，成本不高，应用性强，有很好的应用前景和竞争能力。

参考文献:

- [1] 姚元鹏. 四旋翼直升机控制问题研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [2] S.Bouabdallah, P.Murrieri, R.Siegwart. Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor[C]. Lausanne, Switzerland: IEEE Trans. on Robotics and Automation, 2004: 4393-4398.
- [3] 万德旺. 四旋翼垂直起降机控制问题的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [4] 刘丽丽. 四旋翼飞行仿真器的建模研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [5] McKerrow P. Modelling the Draganflyer four-rotor helicopter[C]. NSW, Australia: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004: 3596-3601.
- [6] 何环飞. 四旋翼无人直升机飞行控制系统的研究与设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.