

文章编号 1004-924X(2001)06-0557-04

微型旋翼飞行器飞行控制系统设计

张庆, 程维明, 蒋蓁, 邓寅吉
(上海大学 机电与自动化学院, 上海 200072)

摘要: 微型飞行器(MAV)是一项包含了多种交叉学科的高、精、尖技术,是集微机械、电子、高性能数字计算机于一身的微机电系统。在民用,特别是在军事领域应用具有深远的意义。针对双旋翼式 MAV,根据其飞行动力学特点,以微直流电机锂电池驱动为动力,单片机为控制核心,采用遥控加脉宽调制控制方式,实现了微风条件下微型飞行器的起飞、悬停、前后飞行和降落整个过程的飞行,为微型飞行器的进一步研制打下了良好的基础。

关键词: 微型飞行器; 单片机; 遥控; 脉宽调制
中图分类号: V279.2 文献标识码: A

1 引言

微型飞行器(Micro Aerial Vehicle — MAV)是一种长度在 15cm 左右,重量在几十到上百克,有效载荷 20g 左右,航程 10km 左右的微型飞行器,是微机械系统和微机控制系统的高度集成。由于 MAV 的尺寸较小,负载有限,响应速度快,在空气动力学特征及飞行控制方面具有不同于普通飞行器的特点。因此,对微型飞行器的飞行及控制系统的设计提出了较高的要求。在微型飞行器研究的起始阶段,首先实现其稳定起飞、悬停、前后飞行和降落是系统设计的最基本的目标。

本文在分析双旋翼微型飞行器控制模式的基础上,结合微型飞行器的特点,设计了一套小重量单片机飞行控制系统,实现了微型飞行器的起飞、悬停、前后飞行和降落的完整飞行。

2 飞行控制模式

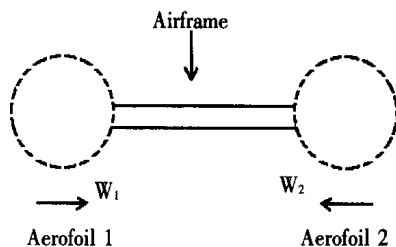
旋翼飞机是在改变旋翼拉力和本身重力关系的基础上实现升降、悬空与飞行的^[1]。旋翼拉力的计算公式为:

$$F = \rho \times A \times (W \times R)^2 \times C_T \quad (1)$$

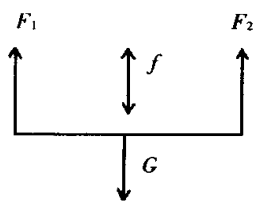
式中 ρ 为空气密度, A 为旋翼桨盘面积, W 为旋翼转速, R 为桨叶展长, C_T 为拉力系数。

针对双旋翼微型飞行器,在各种结构特征参数确定的情况下,通过改变旋翼转速来改变拉力。

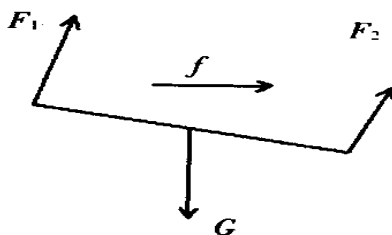
图 1 为双旋翼飞行器的结构简图及受力分析。



(a) Structure diagram



(b) Up and down



(c) Forward

Fig. 1 Flight mode.

图中 F_1 和 F_2 为旋翼 1 和 2 的拉力矢量, G 为飞行器重力矢量, f 为三力合力矢量。 W_1 、 W_2 为转速。

图 1(a) 中, 双旋翼采用反向旋转方式, 以抵消旋翼产生的扭矩。为了保证上下飞行的平稳, 应调整好旋翼和飞行器的重心之间的相对位置, 并尽量保证旋翼 1 和旋翼 2 在上下飞行时具有相同的转速。即使

$$F_1 = F_2 \quad (2)$$

(1) 上下飞行及悬停

上下飞行是通过同时增加或减少二个旋翼转速以改变拉力合力与重力 G 的关系来实现。如图 1(b) 所示, 飞行器的受力方程如下:

$$F_1 + F_2 + G = f \quad (3)$$

f 方向向上时, 飞行器上升。

f 方向向下时, 飞行器下降。

$f = 0$ 时, 飞行器悬停。

(2) 向前飞行

向前飞行控制方式如图 1(c) 所示, 在两个旋翼同速旋转的前提下, 进一步增加旋翼 1 的转速, 使拉力 F_1 增大。为了尽量减少两旋翼反扭转不平衡而使飞行器发生明显的水平转动, 两旋翼的转速差不能过大。这样, 由于存在拉力差, 合力 f 方向向前, 即产生向前水平拉力, 因此, 可控制飞行器向前飞行。

同理, 增加旋翼 2 的转速, 保持旋翼 1 的转速, 则产生向后水平拉力, 控制飞行器向后飞行。

3 飞行控制系统及结构

根据飞行器的飞行模式以及体积小、重量轻、响应速度快、所带动力能源有限等特点, 同时考虑到控制的便利及实用性, 飞行器采用遥控的方式, 以直流微型电机加锂电池驱动作为旋翼动力, 以 MCS-51 系列单片机为核心, 辅以专用的脉宽调制芯片, 组成了系统的主控制电路。以脉宽调制的方式, 控制微直流电机的转速, 来改变拉力 F 。由于单片机程序扫描周期在毫秒级, 同时, 结构上尽量保证电机参数及旋翼结构及安装参数的一致性, 因此, 可以基本保证双旋翼的同速旋转, 图 2 为控制系统结构简图^[2-3]。

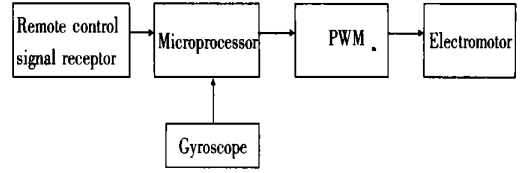


Fig. 2 Structure chart of the control system.

遥控信号采用两路周期性的非同步电平信号, 高电平有效。一路控制上下飞行及悬停, 一路用于控制前后飞行。分别接单片机的 P1.0 和 P1.1 口。每个周期内有效高电平长度从 1ms 到 2ms 随遥控器手柄的位置而实现无级变化。对于上下飞行及悬停遥控信号, 1ms 宽度高电平对应电机停转, 2ms 宽度高电平对应电机以最高速旋转。对于前后飞行控制信号, 高电平宽度小于 1.5ms 且大于 1ms 则飞行器前飞, 大于 1.5ms 则飞行器后飞。偏离 1.5ms 越多, 前后飞行的速度越快。

在单片机的控制下, 通过定时扫描 P1.0 和 P1.1 上的高电平信号, 并分别计算出 P1.0 口和 P1.1 高电平的时间长短, 经判别并结合陀螺仪的平稳性信号后, 控制并调整脉宽调制信号的占空比大小。通过调宽脉冲控制电机电路中的 MOS 管的开和关的时间长短, 利用电机的感性负载特性, 来改变电机两端的平均电压, 起到改变电机转速的目的, 达到控制飞行器的上下、悬停及前后飞行的目的。

为了实现电机的转速从零到最大的改变的平稳性及实时有效性, 脉宽调制信号的周期保持在 1kHz 左右。

考虑到控制系统便于调试并最大限度地利用标准部件且便于进一步的改进, 用于控制飞行平稳性的微陀螺仪和信号接受器与主控制系统的接口均采用标准化设计, 以方便主控制系统和其它辅助控制系统的互换连接。

4 控制软件

控制软件采用定时中断扫描方式扫描两路遥控信号, 根据信号宽度控制电机转动。图 3 所示为主程序框图:

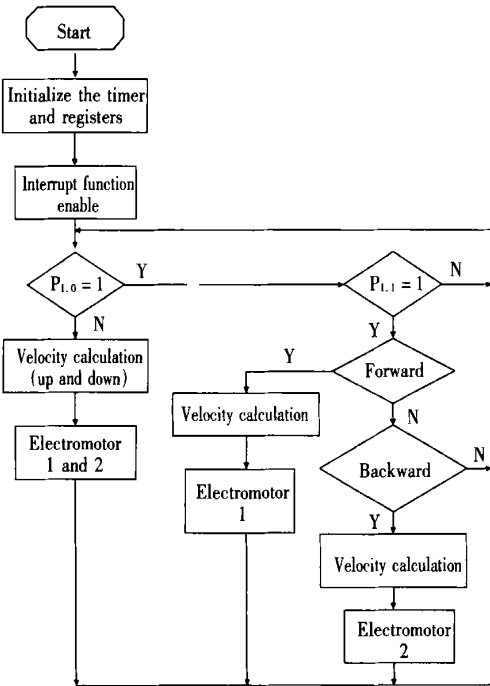


Fig. 3 Main program diagram.

5 实验与结论

根据以上的设计思想制作了 35g 左右重的实

参考文献:

- [1] 肖永利. 厘米级旋翼型微型飞行器研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2001.
- [2] 张友德, 赵志英. 单片微型机原理、应用与实验[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [3] Hess R A, Gorder P J. Quantitative feedback theory applied to the design of a rotorcraft flight control system[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 1996, 16(4): 748-753.

Design of a Flight Control System of a Micro Aerial Vehicle

ZHANG Qing, CHENG Wei-ming, JIANG Zhen, DENG Yirzhe

(School of Mechatronics Engineering and Automation,
Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Micro aerial vehicle is an integrated system that consists of micro-machinery, electron and high capability digital computer. It has a bright future in many application fields, especially in military. The paper discusses the characteristics of flight dynamics and the flight control ways of a micro two-rotor rotorcraft. With the help of the power provided by micro continuous current motors driven with lithium cells, the chip microprocessor acting as a control core and the method of remote control and PWM, the micro two-rotor rotorcraft can take off, stay in the sky, fly forward and backward and descend favorably under the

验主控制电路, 接入了标准的信号接受电路和其他部件, 与 7.2V 的锂电池及两个带旋翼的微直流电机一起安装在一台 50cm 长的简易试验机架上。试验机总重 370g 左右。在微风条件下, 通过遥控使飞行器最大输出了 390g 左右的拉力, 并顺利地实现了双旋翼微型飞行器上下平稳飞行及悬停。在两个电机转速差不大于 15% 时, 实现了飞行器的前后飞行, 且没有出现飞行器的明显水平转动。同时实现了 8min 左右的滞空停留。初步实现了原设计的基本要求。

实验表明在以下方面还必须作进一步的改进:

(1) 试验模型离 MAV 的定义结构尺寸尚有差距, 有待进一步缩小, 并延长留空时间。

(2) 前后飞行的效率不够高, 有待在控制和机械两方面加以优化。

总之, 实验结果表明, 上述设计思想是可行的, 为微型飞行器的动力结构和飞行控制的进一步研究打下了基础。

condition of breeze. The research has laid a good foundation for further studies of micro aerial vehicles.

Key words: micro aerial vehicles; chip microprocessors; remote control; pulse width modulation

作者简介: 张 庆(1969-), 男, 上海市崇明县人。1991年毕业于合肥工业大学精密仪器系, 1999年获上海大学机电与自动化学院精密仪器与机械专业硕士学位。现为上海大学机械电子工程专业在职博士研究生。现主要从事精密机械与精密测量及计算机测控方面的研究工作。E-mail: qinzh@citiz.net

中国仪器仪表学会第四届青年学术会议 征文通知

中国仪器仪表学会第四届青年学术会议将于2002年9月在北京召开。本次会议由中国仪器仪表学会主办; 中国仪器仪表学会青年工作委员会, 沈阳市仪器仪表与自动化学会, 冶金自动化研究设计院承办。大会顾问委员会由王大珩, 杨家骝, 金国藩, 张钟华, 庄松林, 卢佩章, 王立鼎, 唐九华, 黄尚廉, 王威琪等十位院士组成。

一. 征文范围:

(1) 各种测量、计量、检测、监测、测试、试验、实验(以下统称测量)和控制方法研究;(2) 各类传感器, 敏感元件, 各类仪器仪表, 各种测量与控制装置的新原理, 新技术, 新元件, 新材料, 新工艺;(3) 模式识别(文字识别、图象识别、语音识别等)及应用;(4) 故障诊断;(5) 现场总线技术及应用;(6) 信息融合, 虚拟仪器, 软测量技术及应用;(7) 微电子机械系统(MEMS);(8) 在网络通讯, 生物医学工程, 材料工程, 环境监测, 安全工程, 智能建筑, 医学, 能源, 交通运输, 农业等领域涉及的测量与控制新技术;(9) 前沿综述与技术动态;(10) 工控机, PLC, 变频器, 组态软件等先进控制部件的应用;(11) 其它。

二. 征文要求:

(1) 论文应具有较高学术或应用价值, 未公开发表;(2) 第一作者年龄不超过45岁;(3) 来稿请用Word97文稿编排, A4纸打印, 一式三份并附软盘, 排版要求请参考《仪器仪表学报》或《沈阳测控信息网》, 提供中英文摘要, 全文控制在二个版面以内;(4) 投稿时请注明文章所属类别(见征文范围);(5) 受各类基金资助的论文, 请注明项目名称及编号;(6) 请用A4纸打印论文题目, 作者姓名, 作者简历, 通讯地址, 邮编, 电话, 传呼, 手机, 电子信箱等;(7) 版权纠纷, 作者自负。

三. 重要信息

本次会议将评选优秀论文, 由中国仪器仪表学会颁发优秀论文证书。

本次会议录用论文将刊登在代表中国仪器仪表领域最高学术水平的学术性刊物, 《仪器仪表学报》2002年第4期增刊上, 并将送往EI, SCI, CA, SA, 日本科技文献速报等国际检索系统。

为便于交流, 在本次会议的会刊中将刊登参会作者的简历。

会议具体时间, 地点等信息请关注《沈阳测控信息网》, 网址: <http://www.syias.org.cn> 或 <http://www.cekong.com>。

四. 重要日期

论文截稿日期为2002年3月18日。论文录用通知发出日期2002年4月15日。

五. 投稿地址:

沈阳市铁西区南十三路1号29信箱(邮编110023)沈阳市仪器仪表与自动化学会 贾冬娜收。

电话: 024-25415320 25691417 传真: 024-25415320 电子信箱: syias@online.ln.cn 或 webmaster@syias.org.cn

中国仪器仪表学会

2001年10月8日