

文章编号:1671-6833(2003)03-0078-05

超小型固定翼飞行器飞控系统研究

刘武发^{1,2}, 蒋 蓁², 龚振邦²

(1. 郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 由于超小型固定翼飞行器SUAV 结构尺寸小、重量轻、功能复杂等特点, 决定了其飞行控制系统具有同样的特点. 为了最终实现SUAV 自主飞行的控制目的, 采用系统集成技术、方法、MEMS 传感器及电子元器件, 从而构造了SUAV 飞控系统硬件平台; 并根据对遥控飞行控制参数的采集、分析、归纳, 构造了模糊控制表, 开发了飞控软件平台. 地面试验结果表明, 该飞控系统性能可靠, 实时性强, 满足SUAV 的要求.

关键词: SUAV; 飞控系统; 模糊控制

中图分类号: V 249

文献标识码: A

0 引言

无人飞机UAV(Unmanned Air Vehicle)引起了当今世界范围各个领域的极大兴趣, 当然莫过于军事领域. 尤其是在阿富汗战争、伊拉克战争中美国Predator 等无人飞机的表现, 更加凸现了无人飞机在现代战争中的作用及新的战争理念. 然而, 无人飞机除军事领域外尚有诸多的应用领域和应用潜力, 如科学试验的取样、危险场所的监视、反恐安全及大的火灾现场监控指挥等. 但目前用于军事的无人飞机体积大, 翼展为几米至几十米, 且费用昂贵.

微型飞行器 MAV(Micro Air Vehicle)^[1,2], 如MicroSTAR, Black Widow 等, 是基于MEMS 技术, 其翼展大致为 15~40 厘米, 在世界范围内引起一个研究热潮, 并取得了可喜的成绩. 尽管他们的体积小, 费用低, 但有效负载能力太低, 抗风能力差, 从而其应用也受到局限.

MAV 和 UAV 在技术上与自主机器人有诸多相同之处, 因此, 又常称为飞行机器人(Fighting Robot).

基于上述原因, 特征尺寸介于 UAV 和 MAV 之间的飞行器, 称之为超小型飞行器SUAV(Super Miniature Unmanned Air Vehicle), 其翼展常为 0.8~2 米, 并兼有 UAV 和 MAV 的特性, 体积小, 费用低, 具有适当的负载能力和抗风能力, 因而, 随着

SUAV 技术的进步, 性能的完善, 必将在诸多领域获得广泛的应用. 本文首先简要介绍超小型固定翼飞行器研究的主要内容, 然后着重地阐述其飞行控制系统.

1 主要研究内容

超小型固定翼飞行器和传统飞行器相比较, 存在如下特点: 飞行速度低、尺寸小, 常处于低雷诺数下飞行; 高雷诺数空气动力学不再适合于超小型固定翼飞行器^[3]; 抗扰能力差, 因此其飞行稳定性和安定性显得尤为突出; 要求结构尺寸小, 重量轻, 故其构型、结构、系统集成受到诸多因素限制; 虽然特征尺寸小, 但功能复杂, 如集飞行控制、导航、实时任务处理等于一身. 因此, 超小型固定翼飞行器和成熟传统飞行器类比, 需要研究的内容很广泛, 如图 1 所示.

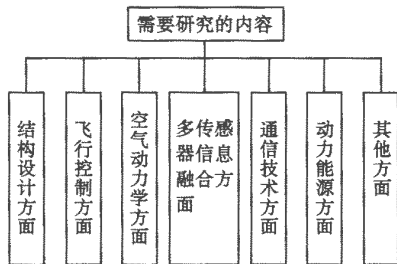


图 1 超小型固定翼飞行器研究内容

Fig. 1 Main research contents of SUAV

收稿日期:2003-04-25; 修订日期:2003-06-20

基金项目:国家“863”计划资助项目(2001AA 422160), 上海科技发展基金资助项目(02DG 11019)

作者简介:刘武发(1963-), 男, 河南省新蔡县人, 郑州大学副教授, 上海大学博士研究生, 主要从事机电一体化及超小型飞行器方面的研究.

本文的研究内容包括两大方面:飞行控制系统硬件体系结构和集成技术,即飞控硬件平台;飞行控制方法和飞控软件,亦即飞控软件平台.

2 飞行控制系统组成及研究

本文研究的超小型飞行器飞行方式主要有全遥控、半遥控和无人飞行三种.具有此三种飞行方式的飞行控制系统软硬件主要由机载飞行控制系统FCS(Flight Control System Onboard)和地面控制站GCS(Ground Control Station)构成.

飞行控制系统FCS 实现飞行器姿态控制、稳定性控制、导航和GCS 通信及飞行作业任务;地面控制站GCS 可以接收FCS 下传姿态信息、导航信息、图像,在无人飞行方式时可以实时修改飞行航线进行导航等.

2.1 飞控系统硬件及集成

因超小型固定翼飞行器的重量、体积和结构等限制,要求其各组成部分尽量减轻重量和减小体积.在此基础上优先采用集成度高、低功耗的元器件,使飞控系统的各部分协调集成,从而提高其性能和可靠性.

机载飞行控制系统部分采用模块化设计,根据飞行器结构而安装在不同位置,其系统结构框图如图2所示,由MCU 控制器模块、电源模块、姿态控制模块、导航模块、任务传感器模块、接收机和发射机模块等组成.

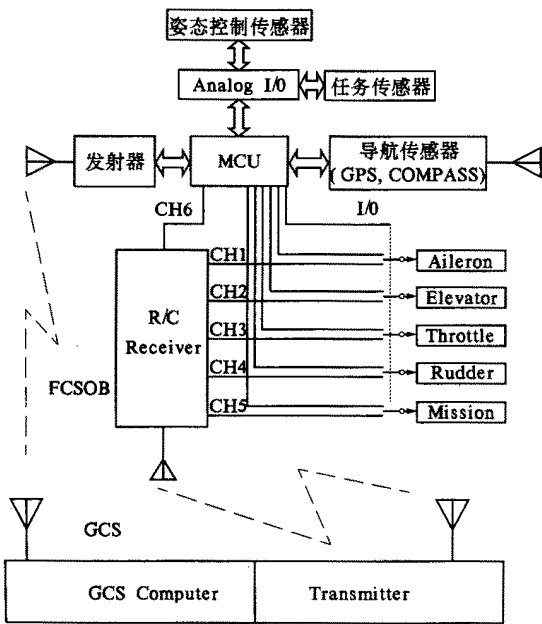


图2 飞控系统构成框图
Fig.2 Block diagram of FCS

FCS 模块主要由CPU 及存储器等外围器件组成,如图3所示,是机载飞控系统的控制中心,主要完成飞行控制实时计算和飞控管理等任务;姿态控制模块上集成有速率陀螺、倾角传感器、空速传感器、高度传感器,用以实现飞行器增稳和姿态控制;导航模块上集成有GPS、电子罗盘等用于飞行器的导航^[4~9];任务传感器模块上集成有任务传感器,如气敏传感器.

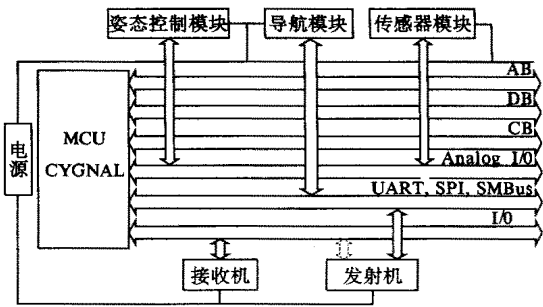


图3 FCS 模块构成框图
Fig.3 Block diagram of FCS module

2.2 飞控方法及软件

飞控系统硬件构成飞控硬件平台,和飞控系统软件平台构成完整的飞控系统.对于传统飞行器和UAV,他们的动力学方程、运动学方程、飞行控制规律等都已很成熟^[7~11].而超小型飞行器,其体积小、重量轻、飞行于低雷诺数下,加之对其研究刚开始,空气动力特性等知之较少.因此建立可用的动力学方程、运动学方程及飞控数学模型极为困难.从控制理论观点来看,超小型飞行器是一个有随机干扰、非线性、多输入多输出耦合系统,这又给建立飞控数学模型及控制雪上加霜.因此寻求一种合适的飞行控制方法是实现超小型固定翼飞行器飞控的关键之一.

固定翼飞行器共有6个自由度,即3个移动自由度,3个转动自由度^[13],如图4所示.姿态控制就是要控制飞行器的3个转动自由度,即滚转(Roll)、俯仰(Pitch)、偏航(Yaw)(简称RPY),使其在空中保持期望姿态并稳定飞行.导航就是使飞行器从空中一点飞行到另一点,即控制飞行器的三个移动自由度,按预定航线飞行.

本文通过对各种控制方法进行比较和研究,采用模糊控制,它不要求掌握受控对象的精确数学模型,而是根据人工控制规则组织控制决策表,然后由该决策表决定控制量的大小.模糊控制适合于滞后、时变、有随机干扰、非线性的复杂系统,具有很强的适应性.

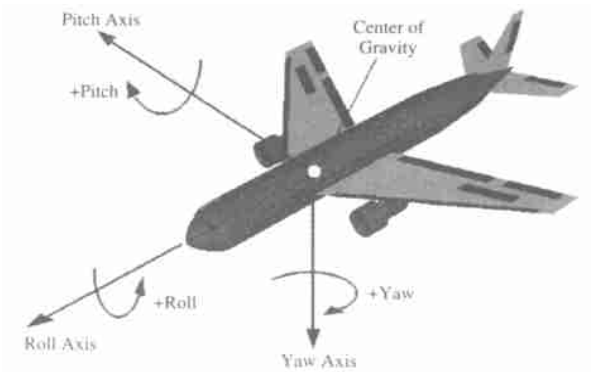


图 4 机身坐标系及自由度

Fig. 4 Coordinates and DOF of fuselage

2.2.1 纵向控制回路

基于控制方法分析和超小型飞行器系统特征,超小型飞行器纵向控制回路模糊控制框图如图 5 所示.根据角速率陀螺、倾角传感器、高度传感器的反馈量及期望飞行高度,Fuzzy Controller (FC) 完成定高飞行.

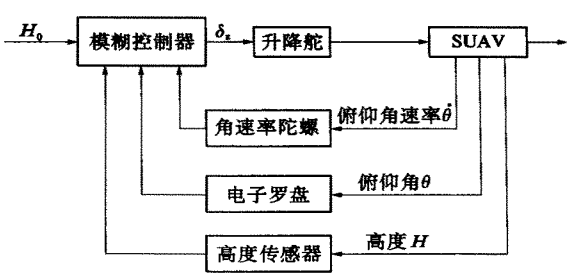


图 5 飞行器纵向控制回路框图
Fig. 5 Longitudinal control loop of UAV

2.2.2 横向控制回路

飞行器的纵向运动和横向运动相比相对简单些,主要因为其和滚转运动、偏航运动不存在耦合或存在很弱的耦合;而横向运动中,滚转运动和偏航运动存在较强的耦合,因此协调控制横向运动较为复杂,横向控制回路框图如图 6 所示.

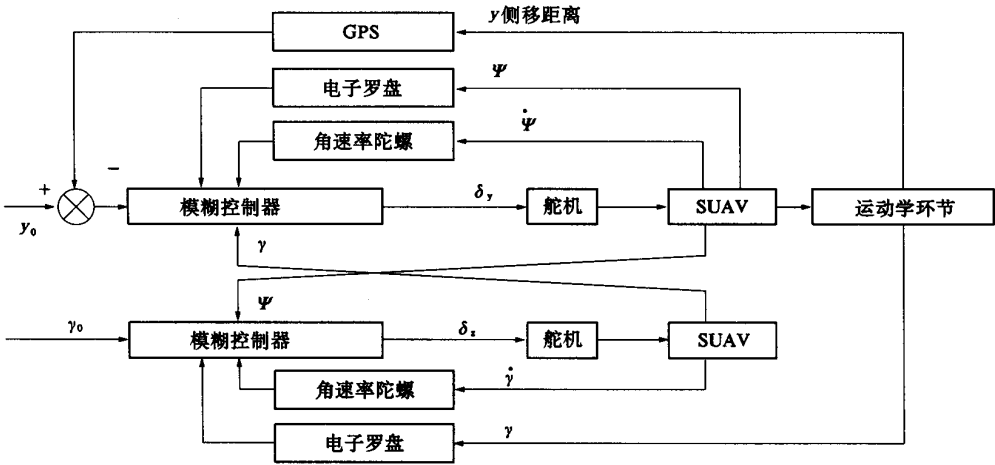


图 6 飞行器横向控制回路框图
Fig. 6 Lateral control loop of UAV

2.2.3 飞行控制方法

飞行器的姿态控制是根据其飞行速度通过操纵舵面的偏转量及偏转方向实现地.本文采用模糊控制的方法^[13~19]实现舵面偏转量的控制,从而控制飞行器姿态.下面以升降舵为例,简述纵向回路的控制.

舵机采用PWM 控制,当PWM 脉宽为 0.8 ms 时,舵机的转动使升降舵下偏最大,当PWM 脉宽为 1.5 ms 时,舵机位于偏转角的中间,当PWM 脉宽 2.2 ms 时,舵机的转动使升降舵上偏最大.对应产生上述 PWM 脉宽的寄存器的值分别为 62 336, 59 538, 56 737.

以高度误差(m)和空速差(m/s)为控制变量,升降舵面偏转角为控制量,根据采集遥控飞行的高度、空速及PWM 脉宽值,经分析、归纳和总结,构成模糊控制表,如表 1 所示,将该表作为程序代码存入程序存储器.根据高度传感器测得的实际高度与设定高度求出高度差,空速传感器测得的实际空速与设定空速求出空速差,然后模糊化,查表 1 即可得出控制升降舵的 PWM 脉宽寄存器的值,写入寄存器即可,实时性非常好.

2.2.4 飞行控制软件

飞行控制软件是飞行器控制的重要部分之一.根据 MCU 所采用的单片机特点,本文采用高

级语言和汇编语言混合编程,实时性强的中断程序或子程序用汇编语言;实时性较低的部分采用高级语言(C Language),这样缩短控制软件开发周

期.程序采用模块化、并行结构.超小型飞行器飞控软件主程序流程如图7所示.

表1 模糊控制 u 值表

Tab.1 Fuzzy control u

h	s										
	≤ -5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	≥ 5
-10	56 737	56 793	56 849	56 905	56 961	57 017	57 073	57 129	57 185	57 241	57 297
-8	57 185	57 297	57 353	57 409	57 465	57 521	57 577	57 633	57 689	57 746	57 857
-6	57 633	57 745	57 857	57 914	57 971	58 028	58 085	58 142	58 194	58 306	58 417
-4	58 081	58 193	58 305	58 414	58 471	59 528	58 585	58 642	58 754	58 866	58 977
-2	58 529	58 614	58 753	58 862	58 977	59 033	59 090	59 015	59 314	59 429	59 537
0	58 977	59 089	59 201	59 311	59 425	59 538	59 650	59 762	59 874	59 986	60 098
2	59 537	59 649	59 761	59 872	59 986	60 042	60 098	60 210	60 322	60 343	60 546
4	60 097	60 209	60 321	60 434	60 490	60 546	60 602	60 658	60 770	60 882	60 994
6	60 657	60 769	60 882	60 938	60 994	61 050	61 106	61 162	61 218	61 330	61 442
8	61 219	61 330	61 386	61 442	61 498	61 554	61 610	61 666	61 722	61 778	61 890
10	61 778	61 834	61 890	61 946	62 002	62 058	62 114	62 170	62 226	62 282	62 336

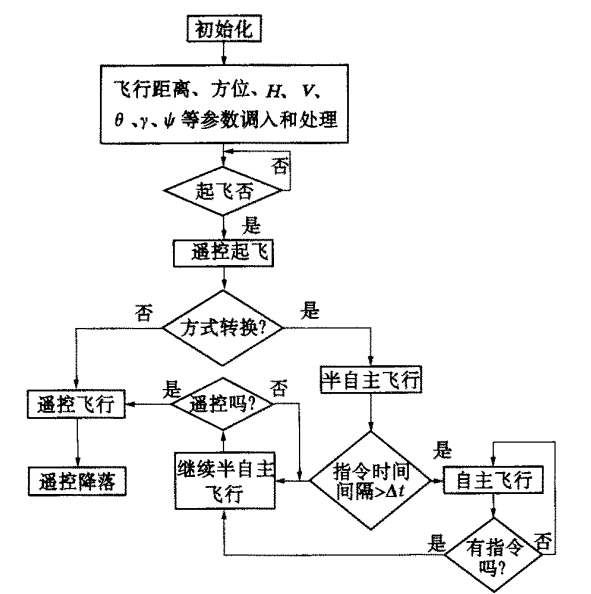


图7 飞行控制主程序流程框图

Fig.7 Main program control flow chart of UAV

3 结束语

目前,超小型固定翼飞行器飞控系统已完成硬件、软件设计及地面测试,结果表明系统可靠性高,实时性强,满足SUAV控制的要求.尚待进行飞行试验、测试及改进完善.

参考文献:

[1] MASOUD Rais-Rohari, GEORGE R. Hicks. Multidisciplinary Design and Prototype Development of a Micro Air Vehicle[J]. Journal of Aircraft, 1999, 36(1), 227~234.

[2] ALAIN Pelletier, THOMAS J. Mueller. Low Reynolds Number Aerodynamics of Low Aspect Ratio Thin Flat/Cambered Flat Wings[J]. Journal of Aircraft, 2000, 37(5), 825~832.

[3] 罗均,蒋蓁.国际上微型飞行器的进展及其关键技术[J].上海大学学报,2001,7(4),293~296.

[4] 陈皓生,李疆.单片机在微型飞行器增稳系统中的应用[J].测控技术,2001,20(1),51~54.

[5] 曹云峰,王柳文.微型飞行器控制与导航系统研究[J].航空电子技术,2002,(1),31~35.

[6] 陈皓生,徐军.HMR3000数字罗盘在微型飞行器中的应用[J].传感器技术,2001,20(9),44~46.

[7] 张明廉.飞行控制系统[M].北京:国防工业出版社,1984.

[8] 张明廉.飞行控制系统[M].北京:航空工业出版社,1994.

[9] 西北工业大学,南京航空学院,北京航空学院.气体动力学基础[M].北京:国防工业出版社,1980.

[10] 施理希廷,特鲁肯布罗特.飞行空气动力学(上册)[M].王星灿,译.北京:国防工业出版社,1978.

[11] 施理希廷,特鲁肯布罗特.飞行空气动力学(下册)[M].王星灿,译.北京:国防工业出版社,1984.

[12] 杨华保.飞机原理与构造[M].西安:西北工业大学出版社,2002.

[13] 李洪兴.模糊控制的数学本质与一类高精度模糊控制器的设计[J].控制理论与应用,1997,9(4),1~14.

[14] 李洪兴.模糊控制与PD调节器的关系[J].中国科学(E辑),1999,29(2),136~146.

[15] 李洪兴,苗志宏,王加银.非线性系统的变论域稳定自适应模糊控制[J].中国科学(E辑),2002,32(2),

211~223.

[16] KYUNGMMON Nho , RAMESH K Agarwal . Automatic Landing system design using fuzzy logic [J] . Journal of Guidance , Control , AND Dynamics , 2000, 23(1) : 60—65.

Research on Flight Control System of SUAV

LIU Wu -fa^{1,2}, JIANG Zhen², GONG Zhen -bang²

(1.College of Mechanical Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China ;2.School of Mechanical Engineering & Automation ,Shanghai University , Shanghai 200072,China)

Abstract :It is the little structural dimension light weight and complicated function of SUAV that determine the mini structure and complex performance of the flight control system(FCS) .To reach autonomously flying of SUAV system integration technology transducers and electronic devices based on MEMS are used to construct FCS hardware platform ;By means of gathering ,analyzing ,and concludeing of remote control flying control parameters fuzzy logic control (FLC) table is formed thus flight control software is programmed based on FLC .The ground test shows that the FCS high reliability and real time fulfil the requirements of SUAV .

Key words :SUAV ;flight control system ;fuzzy logic control