



漆海霞, 兰玉彬, 杨秀丽, 等. 无人机电控速度模糊 PI 双闭环控制仿真研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(6): 31-37.

无人机电控速度模糊 PI 双闭环控制仿真研究

漆海霞^{1,2}, 兰玉彬^{1,2}, 杨秀丽^{1,2}, 张铁民^{1,2}, 彭孝东^{2,3}

(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 国际农业航空施药技术联合实验室/农业航空应用技术国际联合实验室/广东省农业航空应用工程技术研究中心, 广东 广州 510642; 3 华南农业大学 电子工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】针对农用无人机作业时,对速度的稳定恒速需求,研究无人机无刷直流电机的速度控制模糊 PI 闭环算法。【方法】分析无人机电控系统的结构原理,根据电控系统驱动无刷直流电机的速度控制要求,在 Matlab/Simulink 环境下,构建电控驱动无刷直流电机系统的仿真模型,采用速度电流双闭环控制策略,其中,速度环使用模糊 PI 控制器,电流环使用电流滞环控制。设置系统参数,进行仿真分析,搭建 ARM 电路仿真板,验证算法的有效性。【结果】采用模糊 PI 后,该系统加快了速度响应,减少了系统超调量,提高了系统的抗干扰能力,提高了系统的动态特性和鲁棒性。【结论】本研究提出的模糊 PI 控制策略是有效的,可为无人机实际电机控制系统设计和调试提供理论参考。

关键词:无人机电控调速; 无刷直流电机 (BLDCM); 模糊 PI 控制器; 仿真模型

中图分类号:TP391.1; S252.9

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2016)06-0031-07

Unmanned aerial vehicle speed control simulation study based on fuzzy PI double closed loop control

QI Haixia^{1,2}, LAN Yubin^{1,2}, YANG Xiuli^{1,2}, ZHANG Tiemin^{1,2}, PENG Xiaodong^{2,3}

(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 International Laboratory of Agricultural Aviation Pesticide Spraying Technology/International Laboratory of Agriculture Aviation Applied Technology/Engineering Research Center for Agricultural Aviation Application of Guangdong Province, Guangzhou 510642, China; 3 College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】Fuzzy PI closed loop control algorithm was studied for constant speed demand in agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) operations. 【Method】The principle and structure of the UAV electrical control system was analyzed in this paper. According to the requirement of electrical control system for brushless direct current motor (BLDCM) speed adjustment, the simulation model of BLDCM control system was established in Matlab/Simulink software environment. Double closed loop control of speed and current was applied with fuzzy PI speed control and current hysteresis control. Simulation analysis was conducted with defined systematic parameters. The ARM circuit simulation board was built to verify the effectiveness of the algorithm. 【Result】Simulation results proved that the BLDCM control system had improved response speed, reduced overshoot, and higher anti-disturbance capacity with fuzzy PI control. In addition, the dynamic behavior and robustness ability of the system were improved as well. 【Conclusion】This study proves effectiveness of the fuzzy PI closed loop control algorithm and provides

收稿日期:2016-07-22 优先出版时间:2016-10-24

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20161024.1041.020.html>

作者简介:漆海霞(1969—),女,副教授,博士,E-mail:qihaixia_scau@126.com;通信作者:兰玉彬(1961—),男,教授,博士,E-mail:ylan@scau.edu.cn

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0200700);广东省科技计划项目(2014A020208107,2015B050501009);

<http://xuebao.scau.edu.cn>

theoretical reference for real UAV control system design and debugging.

Key words: electrical speed control of UAV; brushless direct current motor (BLDCM); fuzzy PI controller; simulation model

农用无人机按动力来源分为电动无人机和油动无人机;按机型结构分为固定翼无人机、单轴无人机、多旋翼无人机;按飞行方式分为助跑起飞无人机、垂直起落无人机等^[1-2]。电动无人机稳定性高、易操控、节能环保^[2]。电动机驱动的电力农业机械是农业机械化发展的重要途径^[3],电动无人机日益广泛应用在农业大田作业、畜牧业、农田信息检测、农业喷洒等生产环节^[4]。无人机电控系统对其飞行性能起决定性作用。无人机的电机速度控制是实现无人机位置和姿态控制的关键。电动直升机电控系统由无刷直流电机(Brushless direct current motor, BLDCM)、控制器组成,通过对直流电机驱动的速度控制,可改善电控系统动态性能,增加系统稳定性。无人机电控算法主要采用传统的 PID 控制^[5-10],BLDCM 是一个多变量、非线性、时变的复杂系统,传统的 PID 控制,比例系数(K_p)、积分系数(K_i)、微分系数(K_d),可以分别调节系统的响应速度、控制精度、改善动态特性,但控制器参数 K_p 、 K_i 和 K_d 需要严格整定,且参数不能随被控对象变化而相应变化^[11-13],否则难以达到控制要求;而模糊控制器不需

要精确的系统的数学模型,对非线性系统有良好的控制性能。

本文对无人机电控系统的原理及结构进行了分析,通过仿真研究无刷直流电机的模糊 PI 双闭环速度调节器的性能,在分析无刷直流电动机结构原理、数学模型的基础上,借助 Matlab/Simulink 的功能模块,将无刷直流电动机模型和 S 函数相结合,搭建 1 个 BLDCM 控制系统的转速电流双闭环的控制仿真模型,转速环采用模糊 PI 控制算法,通过该模型仿真验证模糊 PI 算法与传统 PID 算法的差别;通过仿真运行搭建的电路,验证该模糊 PI 控制策略的有效性,可为 BLDCM 无人机电控速度的调节提供理论参考。

1 无人机电控系统

无人机的控制系统包括本地(机载)控制回路和外部(地面)控制回路。机载控制回路控制无人机电驱动电机的速度,电控系统上位计算机输出 PWM,给定速度,输入机载控制器,通过机载控制器的控制策略,输出电机驱动信号,BLDCM 控制电机,其控制结构如图 1 所示。

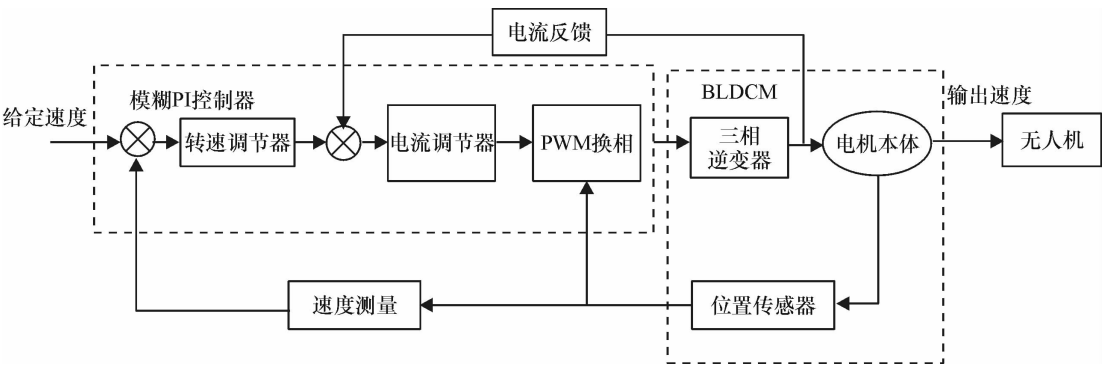


图 1 无人机机载控制回路结构图
Fig. 1 UAV airborne control circuit structure diagram

本系统控制器采用模糊 PI 双闭环控制策略,速度环是外环,电流环是内环,转速调节器采用模糊 PI 控制,电流调节即电磁转矩调节,电流调节器采用电流滞环控制。双闭环调速系统的工作方式是:在启动时,只有电流负反馈,没有转速负反馈,以获得允许的最大电磁转矩,加快启动过程;达到稳态后,只

有转速负反馈,没有电流负反馈,不让电流负反馈发挥主要作用,以获得希望的转速^[14-16]。

2 BLDCM 结构原理和数学模型

2.1 BLDCM 结构原理

无刷直流电机由电机本体、位置检测传感器、逆