

基于 DSP+CPLD 的无人机双余度全电刹车系统设计与实现

林 辉, 王宇良, 张 希, 武 勋

(西北工业大学 自动化学院, 西安 710129)

摘要: 为了提高无人机现有刹车系统的刹车性能和刹车效率, 文章针对无人机双余度全电刹车系统进行设计, 介绍了双余度全电刹车系统的原理及结构特点, 特别对无人机双余度全电刹车系统的关键技术即半物理防滑控制盒和驱动控制器的设计进行了详细分析; 设计了以 DSP+CPLD 为控制核心的 28 V 低压刹车驱动控制器, 通过半物理实验表明刹车过程压力平稳均衡, 系统工作高效可靠, 控制性能能够满足无人机全电刹车系统的要求。

关键词: DSP+CPLD; 全电刹车; 半物理仿真; 刹车控制盒

Design and Implementation of Dual-Redundancy Electric Braking System for Unmanned Aerial Vehicle Based on DSP and CPLD

Lin Hui, Wang Yuliang, Zhang Xi, Wu Xun

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: In order to improve the performance and efficiency of the braking system for unmanned aerial vehicle, this paper design a dual-redundancy electric braking system. An analysis is given for the structure and features of the system, specially describing the key technique of unmanned aerial vehicle that is the design of electric actuator and brake-control box in detail. The control core of 28V low voltage brake drive controller is designed by DSP + CPLD, the hardware in the loop simulation platform show that the braking pressure is stable and balanced, the system is efficient and reliable, the control performance can meet the requirements of the electrical brake system.

Key words: DSP+CPLD; electric braking; hardware in the loop simulation; brake-control box

0 引言

全电飞机概念的提出, 即用电作动机构代替飞机上的液压装置, 显现出很多优点: 系统重量减轻、易于维修、效率提高及可靠性提高等。全电刹车系统作为其中一个至关重要的子系统, 它与传统的液压刹车系统相比具有很大的优势。由于不再使用液压油, 可以减少潜在的燃烧危险。同时, 整个系统的重量大大减轻; 电刹车系统是直接用电流或电压信号对电机实现控制, 这样不仅可以提高系统的响应速度, 而且可以采用比较先进的控制方式, 提高系统的刹车效率; 系统的模块化和实时监测功能更易于故障的识别和隔离, 使飞机更易于维修。可以说, 全电刹车系统是下一代刹车系统的发展趋势。

无人机作为近年来迅速发展的新一代飞机, 它具有实现全电飞机得天独厚的优势。受传统飞机的发展思路影响较小, 很多新的思路、新的想法可以在无人机上进行验证和实现。双余度电刹车系统由于其结构简单、重量轻、反应迅速及可靠性高等特点在无人机上的应用前景非常广阔。本文就是针对无人机的双余度全电刹车系统展开研究的。

1 双余度全电刹车系统的组成及原理

无人机双余度全电刹车主要由以下 3 部分组成: 半物理仿真部分、刹车驱动控制器和机电作动机构。系统总体结构如图 1 所示。

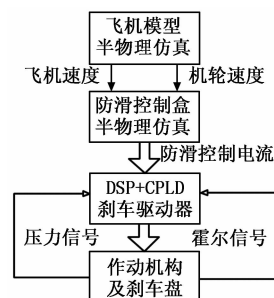


图 1 系统总体结构图

其基本工作原理是: 在 Matlabs/Simulink 中搭建合理的飞机模型, 通过 DSP 的 AD 口实时采样经信号调理电路调理后的刹车盘压力传感器的值, 把飞机模型计算得到的机轮速度和飞机速度信号通过接口电路传输给刹车防滑控制器; 在刹车防滑控制器的仿真模型中我们采用多门限的带 PBM 调节 PID 控制方式, 最终可以得到飞机刹车时刹车压力给定信号; 在刹车驱动单元我们利用刹车给定信号、刹车压力反馈信号以及霍尔传感器的信号, 经过 DSP+CPLD 控制单元可以得到用来控制双余度无刷直流电机工作的 PWM 波信号, 将其送到驱动电路即可控制双余度无刷直流电机工作, 然后完成系统刹车。由系统的工作原理可以看出, 半物理仿真和刹车驱动控制器的设计是无人机双余度全电刹车系统的关键技术, 它直接决定刹车系统的性能和效率, 下面主要就这两部分进行分析和设计。

2 半物理仿真的设计

半物理仿真部分主要包括飞机模型的建立、刹车控制率的

收稿日期: 2013-12-19; 修回日期: 2014-01-20。

作者简介: 王宇良(1989-), 男, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 主要从事自动控制和电气工程方向的研究。

设计以及代码的自动生成。无人机双余度全电刹车半物理仿真系统数字仿真是应用 Matlab 2009a 的 Simulink 框图直接生成代码程序在 SEED—DEC2812 中运行来实现的。

2.1 防滑控制率的设计

飞机在刹车过程中，刹车压力如果太大，可能会造成机轮打滑甚至抱死，这种情况非常危险。本系统机轮速度调节的控制率采用多门限带 PBM 调节 PID 控制方式，它的积分级中采用平方律放电来实现 PBM（压力偏调）职能以保证在每次打滑解除后系统有足够的时间维持刹车压力于较低水平，防止二次打滑接踵而来。这种控制方式有对跑道的适应性强、安全可靠等优点。PBM 控制的整体结构如图 2 所示。

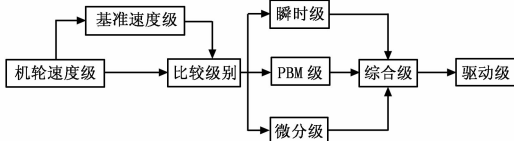


图 2 PBM 控制的整体结构

机轮速度通过防滑控制策略控制的输出即为防滑力的电流信号。然后把它和刹车力的电流信号做差就可以得到用来控制双余度无刷直流电机工作的控制信号。

2.2 代码自动生成的 Matlab 框图

代码自动生成前的 Matlab 框图如图 3 所示。

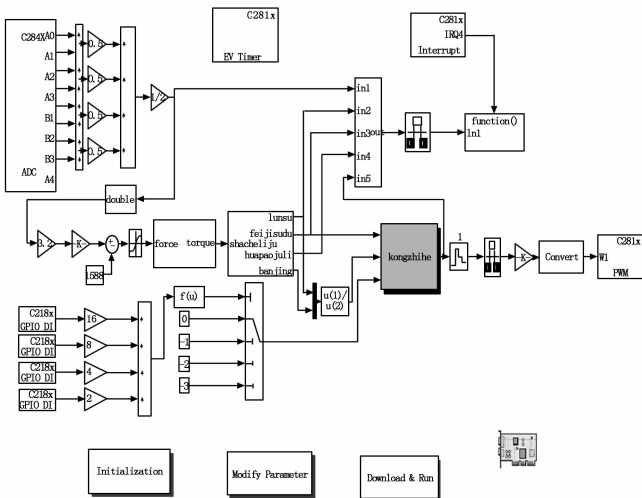


图 3 代码自动生成的 Matlab 框图

系统自动生成代码前的 Matlab 框图如图 3 所示，其中，ADC 模块共有 8 路，用来采集 4 个双余度电机压力传感器的信号；GPIO 模块共有 4 个，通过 4 位二进制编码得到刹车减速率的给定信号；硬件中断、SCI 模块以及定时器各用一个，定时器产生硬件中断，利用 SCI 模块将包括帧头帧尾、8 路压力、飞机速度、机轮速度、滑跑距离、给定压力和反馈压力的 15 路信号传送给上位机；PWM 模块 1 个，用来将刹车压力信号通过相应的硬件滤波电路传给刹车驱动控制器。

3 刹车驱动控制器的设计

3.1 刹车驱动控制器的余度设计

为了提高无人机刹车系统的可靠性，本文采用余度设计技

术，余度设计的结构如图 4 所示。涉及余度的结构有：无刷直流电机的定子绕组、霍尔传感器、压力传感器、驱动主电路、驱动电源和控制电源。

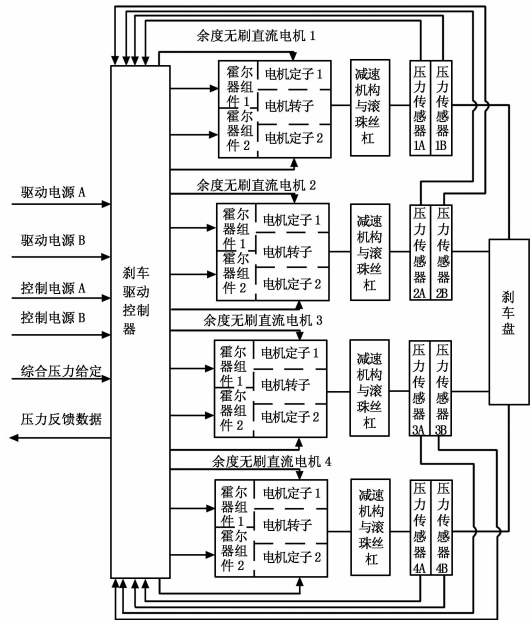


图 4 余度设计的结构框图

3.2 刹车驱动控制器的硬件设计

刹车驱动控制器的硬件设计如图 5 所示。驱动器由数字控制核心（DSP + CPLD）、隔离电路、功率驱动电路、电流保护电路及电流采样调理电路组成。驱动器接收刹车压力给定信号，输入 DSP 的 AD 端口，DSP 经算法控制，产生控制无刷直流电动机的控制信号（转向信号和占空比信号），CPLD 接收电机控制信号和霍尔位置信号，经逻辑运算，通过隔离电路和功率驱动电路，驱动双余度无刷直流电动机工作。压力传感器实时反馈刹车压力信号，经压力反馈调理电路输入 DSP 的 AD 端口，完成压力闭环控制。电流采样电路采集无刷直流电动机的母线电流，通过数字控制核心进行电机的电流保护。

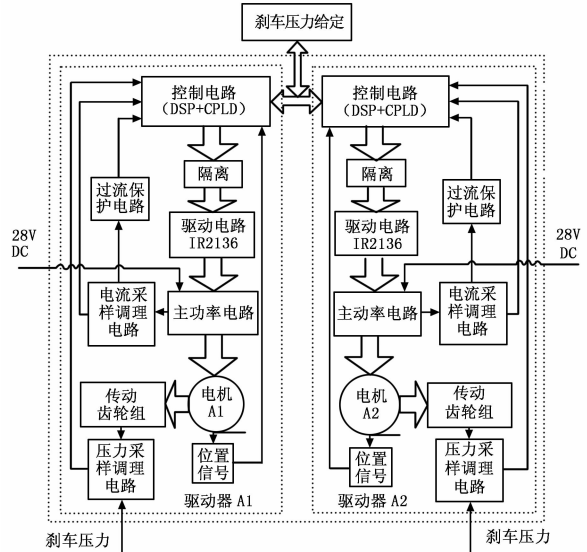


图 5 刹车驱动控制器的硬件结构框图

3.3 刹车驱动控制器的控制策略设计

控制策略采用压力外环和均流内环控制。在双余度工作模式下, 驱动控制器接收压力给定和压力反馈信号, 经压力 PID 调节器调节输出, 为了使双余度电机的两套绕组出力相同, 将压力环输出平分作为两个均流环的给定, 通过经典的 PID 调节器, 实现绕组电流均衡, 最终实现刹车压力给定跟踪刹车压力反馈, 如图 6 所示。

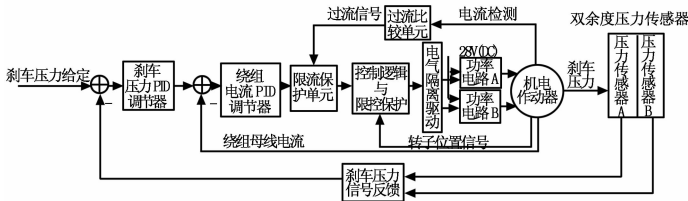


图 6 刹车驱动控制器的控制策略

4 实验结果分析

图 7 为初始速度为 72 m/s, 给定减速率为 -3 m/s^2 时的自动刹车实验结果。计算可知, 理想的刹车时间为 24 s; 滑跑距离为 864 m。

图 7 (a) 为刹车滑跑距离曲线, 刹车时间为 27 s, 滑跑距离为 1 060 m。这是因为在刹车过程中刹车作动机构从接受指令到执行完成需要 2~3 s 的延迟, 所以距离误差不可避免, 实验结果满足刹车系统性能指标。

图 7 (b) 为飞机速度和机轮速度的对比曲线, 从图可以看出, 两条曲线基本重合, 说明刹车过程平稳, 没有大的波动和机轮打滑, 系统安全可靠。

图 7 (c) 为刹车压力曲线, 从图可知, 开始阶段刹车压力为零, 这是因为起始阶段作动机构有信号延迟。刹车过程中, 刹车压力平稳, 基本维持在 1 500 N 附近, 满足刹车系统的设计要求。

5 结语

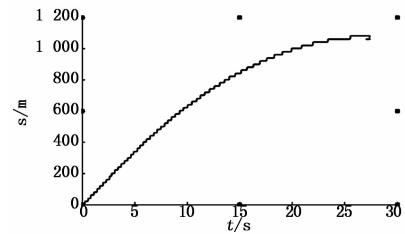
本文设计了一种无人机双余度全电刹车系统。通过对半物理仿真和 DSP+CPLD 刹车驱动器的设计, 实现了无人机刹车系统的功能。实验结果表明, 该系统控制系能良好、可靠性高。

(上接第 1928 页)

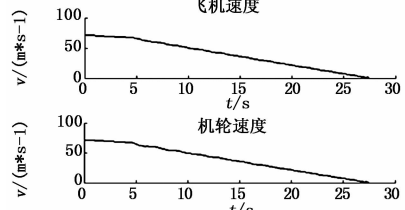
数据说明工作正常。同理将 55555555 数据发送给网口, 网口也可以正常接收单板发送过来的数据, 说明网口工作正常。通过以上测试, 验证了 IPMC 硬件上都符合标准, 本设计是可行的。

5 结论

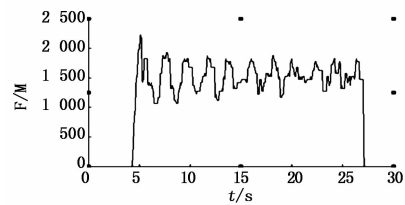
依据 ATCA 的发展趋势以及当前不同厂商设计生产的 IPMC 和 ShMC 兼容性不好的问题现状, 本文提出了一个基于 ARM9 处理器的 IPMC 通用载板设计。该 IPMC 载板遵循 PICMG 3.0 规范和 IPMI 2.0 标准, 功能性好, 通用性强, 具有广阔的应用空间。该载板已经完成了软硬件的生产调试, 实际应用可适用多种不同应用场景的 ATCA 机箱和单板。然而, 本文设计也存在一些问题, 即对于 IPMI 规范的完整性并没有完全的适用, 包括 IPMI 中提到的网络访问、远程配置等方面虽然硬件资源满足, 但软件还没有开发完全, 下一个阶段可以



(a) 滑跑距离波形



(b) 飞机速度和机轮速度波形



(c) 刹车压力波形

图 7 自动刹车实验结果

参考文献:

- [1] 刘冠志. 飞机全电刹车驱动器设计与关键技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 326-328.
- [2] 李晖晖. 飞机全电刹车系统建模与仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15 (10): 1458-1460.
- [3] 蔡文举. 飞机全电防滑刹车控制器设计 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [4] 王玉梅. 基于 DSP 的无刷直流电动机控制系统的研究 [D]. 山东: 山东大学, 2008.
- [5] 蔡文举. 飞机全电防滑刹车控制器设计 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [6] Lennon W K, Passino K M. Intelligent control for brake systems [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 1999, 7 (2): 188-202.

将其完善。

参考文献:

- [1] 侯旭敏, 郑正奇, 童 燕, 等. 一种基于 ATCA 平台下的 IPMI 监视软件 [J]. 计算机技术与发展, 2008, 18 (2): 17-20.
- [2] PICMG 3.0 Revision 3.0 AdvancedTCA Base Specification [S]. PICMG, 2008.
- [3] IPMI 2.0 Intelligent Platform Management Interface Specification [S]. Intel, Hewlett_Packard, NEC, Dell, 2006.
- [4] 覃江毅, 刘纯武, 张羿猛, 等. 基于 ARM 的实用 Advanced TCA 智能管理系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (10): 2817-2820.
- [5] 郑巨明, 张和生, 贾利民, 等. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 和 LwIP 的嵌入式以太网接口设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (11): 2238-2242.