

基于 MATLAB 的直升机飞行控制系统建模与仿真

戴宁, 司云玲

(西北工业大学自动化学院, 陕西西安 710072)



摘要: 介绍了基于 MATLAB6.5 开发的某型直升机飞行控制系统仿真软件包, 讲述了系统的各单元的数学模型及系统仿真的实现。在某型直升机飞行控制系统的设计过程中, 本软件取得了较好的效果, 对控制律的设计及验证发挥了较好的作用。

关键词: 直升机; 飞行控制; 建模与仿真; MATLAB

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2006) 01-0240-03

Helicopter Flight Control System Modeling and Simulation by MATLAB

DAI Ning, SI Yun-ling

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A helicopter flight control system simulation software package was introduced, which was developed on MATLAB 6.5. Several unit math models and system simulation were introduced. The software has made good effect on designing one helicopter flight control system. It is helpful for designing and validating the control law of helicopter.

Key words: helicopter; flight control; modeling and simulation; matlab

引言

现代直升机的飞行品质规范已不仅仅作为飞行品质的鉴定标准, 而且也成为直升机飞行品质的设计标准。通过对直升机飞行品质设计技术的研究, 可以获得大量经过验证的飞行品质数据库、丰富直升机主机及飞控系统的设计经验, 从而更好地发挥飞行品质规范的设计指导作用。

在世界各国普遍采用或参考的军用直升机飞行品质规范 ADS-33^[1] 中, 大多数指标是基于或者可以通过时域响应来进行评定的, 仿真是获得时域响应的简便而有效的重要手段之一, ADS-33 明确在设计过程中采用数学仿真等方法对直升机的飞行品质进行评定。开发编制一个界面友好、使用方便、性能完整的直升机飞行仿真软件包, 对于飞控系统的设计工作是十分必要的。本文开发了基于 MATLAB 的直升机飞行控制系统仿真软件, 并对直升机全包线飞行, 以及飞行控制系统的全模态功能进行了仿真研究。

1 直升机飞行控制系统简介

直升机具有静不稳定性 (在悬停和小速度状态下)、强烈的操纵耦合、宽大的飞行范围、危险的低高度飞行等特点, 因此直升机必须加装飞行控制系统来改善其特性。解决上述问题的一种方案是, 采用以控制增稳系统 SCAS 为主, 辅以自动驾驶仪系统, 以改善直升机的操纵性能, 减小轴间耦合, 从而减轻驾驶员的工作负荷。

本软件包是针对某型直升机飞行控制系统设计的。该系统是具有控制增稳的四轴双余度数字式飞行控制系统, 系统具有俯仰、横滚、偏航和总距四个控制回路, 采用全电的串、并联作动器结构。总距通道没有独立的串联作动器部件, 而是利用俯仰和横滚串联作动器实现总距串联控制功能。系统提供多种自动驾驶功能以减轻驾驶员的工作负担, 从而提高该型直升机在未来战场上的作战任务能力和自身的生存能力。

2 系统各部件数学模型

直升机飞行仿真系统主要由传感器、伺服机构、助力器等部件, 以及直升机方程、控制系统模型等系统模型组成。

2.1 传感器模型

直升机上传感器的种类和数量非常多, 其中飞行仿真需要模拟的信号, 如姿态、姿态变化率、空速、地速等, 主要由组合导航系统、大气数据系统提供。根据信号变换方程编写 S 函数, 并进行封装得到相应的仿真模块。

2.2 伺服机构

本文针对各种舵机实物建立了简单的等效线性模型以及更为准确的非线性模型, 并针对飞控系统采用的串、并联舵机复合操纵方式, 建立完整的仿真模型。并经过了与实际舵回路相应的比对, 仿真效果令人满意。

各通道串联舵机模型如图 1 所示。由于总距串联舵机靠俯仰、左横滚、右横滚串联舵机共同动作来实现总桨距的运动。仿真中总距串联舵机模型与其它轴串联舵机结构相同, 其传动比进行相应折算。俯仰、滚转和偏航并联舵机模型如图 2 所示。总距并联舵机模型如图 3 所示。

收稿日期: 2004-11-11

修回日期: 2005-10-21

作者简介: 戴宁 (1969-), 男, 北京市人, 高工, 博士, 研究方向为导航、制导与控制; 司云玲 (1972-), 女, 西安市人, 工程师, 本科, 研究方向为飞行控制。

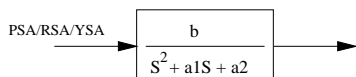


图1 俯仰、滚转和偏航轴串联伺服系统线性模型

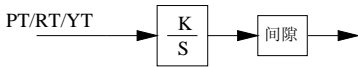


图2 俯仰、滚转和偏航轴并联舵机模型

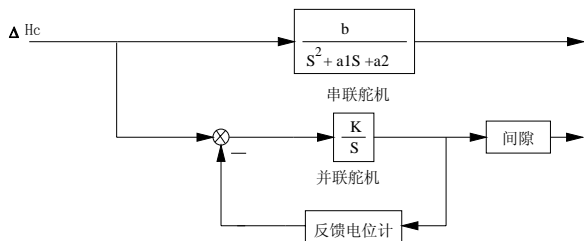


图3 总距串/并联舵回路模型

2.3 助力器模型

直升机的助力器是核心部件之一,其模型非常复杂。但对于飞行控制系统的仿真来说,助力器模型可以简化为如图4所示的线性模型。

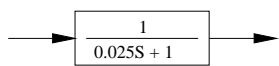


图4 助力器模型

2.4 直升机数学模型

对于直升机大机动飞行仿真需要使用其非线性仿真模型,对于配平状态附近的小扰动飞行仿真可以使用线性数学模型。直升机线性方程描述如下:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (1)$$

式中:

$$\begin{aligned} u &= [A_{1c} \quad B_{1c} \quad \theta_{0u} \quad \theta_{0r}]^T; \\ y &= [u, v, w, p, q, r, \alpha, \beta, \gamma]^T; \end{aligned}$$

2.5 大气模型

大气扰动对直升机飞行的影响是很重要的,要完全真实地描述大气扰动极其困难,但依据合理的假设和简化得到一些可用于直升机飞行品质的模型是可能的。一般大气扰动模型可以分为大气紊流、离散突风和风切变模型三种。本文主要针对大气紊流模型进行了分析建模。

对直升机来说,可以使用按平稳随机过程理论建立的大气紊流速度一维频谱的两种形式,即 Vol-Kalman 形式和 Dryden 形式。这两种形式的紊流频谱模型都满足各向同性大气紊流的全部数学要求,且对于所有的高度都适用。本文采用频谱模型为有理式的连续随机大气紊流的 Dryden 模型。

Dryden 模型大气紊流的时间频谱为:

$$\Phi_u(\omega) = \sigma_u^2 \cdot \frac{2L_u}{\pi V} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{L_u}{V} \omega\right)^2} \quad (2)$$

$$\Phi_v(\omega) = \sigma_v^2 \cdot \frac{2L_v}{\pi V} \cdot \frac{1 + 12\left(\frac{L_v}{V} \omega\right)^2}{\left[1 + 4\left(\frac{L_v}{V} \omega\right)^2\right]^2} \quad (3)$$

$$\Phi_w(\omega) = \sigma_w^2 \cdot \frac{2L_w}{\pi V} \cdot \frac{1 + 12\left(\frac{L_w}{V} \omega\right)^2}{\left[1 + 4\left(\frac{L_w}{V} \omega\right)^2\right]^2} \quad (4)$$

$$\Phi_{v_x}(\omega) = \frac{\left(\frac{1}{V}\right)^2 \omega^2}{1 + \left(\frac{3D}{\pi V} \omega\right)^2} \Phi_v(\omega) \quad (5)$$

$$\Phi_{w_x}(\omega) = \frac{\left(\frac{1}{V}\right)^2 \omega^2}{1 + \left(\frac{4D}{\pi V} \omega\right)^2} \Phi_w(\omega) \quad (6)$$

$$\Phi_{w_y}(\omega) = \frac{\delta_w^2}{L_w V} \cdot \frac{0.4 \left(\frac{\pi L_w}{2D}\right)^{1/3}}{1 + \left(\frac{4D}{\pi V} \omega\right)^2} \quad (7)$$

2.6 飞行控制系统模型

本文针对飞行控制系统的功能,利用 SIMULINK 强大的分级建模能力,将体积庞大,结构复杂的飞行控制模型分解成飞控计算机、操纵杆系、伺服机构、直升机数学模型和传感器等若干子系统,在此基础上按照自底向上的方式搭建整个系统。

本系统是包括了线性,非线性,离散的,连续的,多采样速率各种动态系统模型的混杂系统,利用 SIMULINK 搭建仿真系统模型,模拟真实动态系统的运行。仿真系统的框图界面如图5所示。

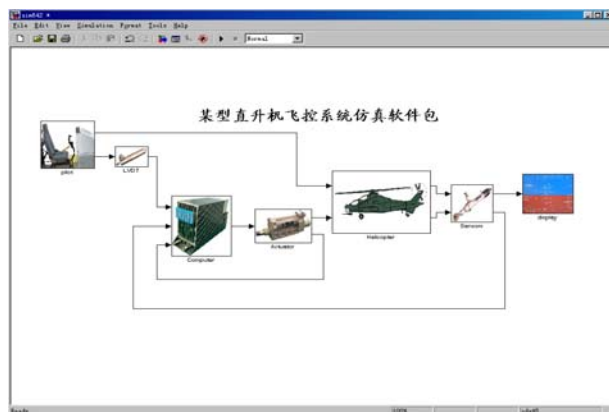


图5 仿真软件界面示意图

本系统采用了多模态及轴间解耦控制律,根据不同的任务要求,适当配置不同的控制变量和回路参数,以获得最优的响应特性。控制律结构模型如图6所示。

3 仿真实例

本文针对自动悬停模态进行了仿真验证,仿真结果见图7。仿真结果表明,解耦效果良好,系统具有良好的飞行品质,设计结果令人满意。

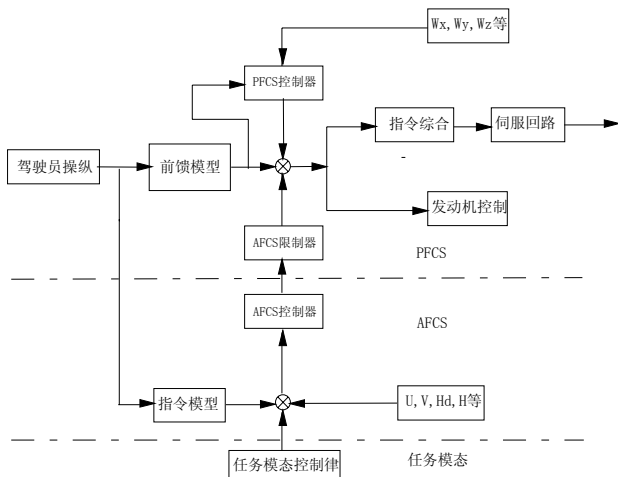


图 6 控制律结构原理图

4 结论

一次成功的系统开发，从概念设计、快速原型、到最终的物理实现应该具有良好的一致性，三者之间的比对结果应该是接近的，其差异是可接受的。本软件通过数学仿真，验证了直升机的控制律设计，检验了飞控系统的功能和性能，为硬件在回路的半物理仿真提供了重要的参考依据，显著地减少了实验次数，对某型直升机飞行控制系统的研制起到重要的作用。

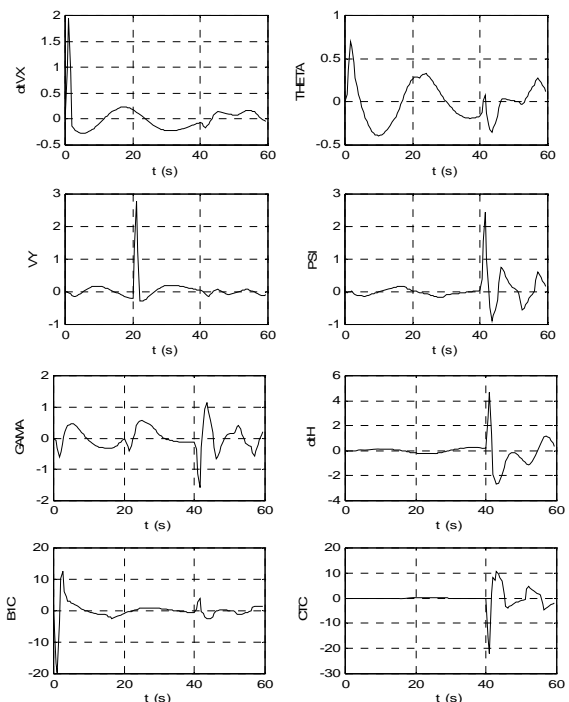


图 7 自动悬停模式时域响应曲线

参考文献:

- [1] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [2] Raman K Mehra et al. ADS-33E [Z]. IEEE. 2000.

(上接第 239 页)

ELSE IF 对方在我方半场控球 THEN

阵型由 433 转换到防守性更好的 442 (靠中间的前锋变成中场队员, 回来参与防守)

ELSE

保持或者由其它阵型转换成攻守比较平衡的 433

END

ELSE

IF 我方在对方半场 30m 后的任意球、边界球和角球 THEN

阵型由 433 转换到 334

ELSE IF 对方在我方半场的任意球、边界球和角球

THEN

阵型由 433 转换到 442

ELSE

保持或者由其它阵型转换到 433

END

END

3 结论

本文提出的动态阵型策略较好地解决了足球机器人的站位问题, 在实战中进攻能上得去, 防守能回得来, 取得较

好的效果, 基于此阵型策略的南强机器人足球队在 2003 年和 2004 年中国足球机器人大赛以及第八界 RoboCup 世界锦标赛中都取得不错的成绩。如何把局部的跑位战术策略融入此动态阵型策略是我们今后的研究方向。

参考文献:

- [1] Jinyi Yao, Jiang Chen, Zengqi Sun. An application in RoboCup combining Q-learning with Adversarial Planning [EB/OL]. Available in http://robocup.lits.tsinghua.edu.cn/download/document/singhuaeolus_kick.zip.
- [2] Peter S. Layered Learning in Multi-agent System [D]. Pittsburgh: school of computer science, Carnegie Mellon University, 1998.
- [3] Hiroki K, Minoru A, Yasuo K, et al. RoboCup: A Challenge Problem for AI and Robotics [C]// Hiroki K. RoboCup-97: Robot Soccer WorldCup I. Berlin: Springer, 1998. 1-19.
- [4] Kostas K, Hu Huosheng. Reinforcement Learning and Co-operation in a Simulated Multi-agent System [C]// Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Japan: IEEE, 1999. 990-995.
- [5] Endo K, Ito S, Yamaguchi H, et al. Team Description for "DONGURI" [C]// Hiroki K. RoboCup-98: Robot Soccer WorldCup II. Berlin: Springer, 1998. 305-308.
- [6] 韩力群. 神经网络理论、设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [7] 袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.