

基于互补滤波的全数字拖靶高度控制系统

梅劲松, 屈 蓓

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 针对掠海恒高飞行拖靶系统在超低空飞行高度控制精度上的技术要求, 设计了基于 Kalman 互补滤波的全数字高度控制系统的结构及控制方案; 该方案通过采用 Kalman 互补滤波来处理高度信号, 提高了系统的控制精度; 同时, 全数字化设计使得系统具有较好的可移植性, 提高了使用效率。仿真分析与试飞实践表明: 基于互补滤波的数字拖靶高度控制系统精度高, 使用效率高, 且具有较强的抗干扰能力。

关键词: 拖靶; 超低空飞行; 高度控制; Kalman 滤波

中图分类号: V 249 **文章编号:** 1005-9830(2008)01-0065-04

Digital Tow Target Altitude Control System Based on Complementary Kalman Filter

MEI Jinsong, QU Qiang

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016 China)

Abstract: In view of the requirements of high height precision for super low altitude tow target, the structure and the control method of the digital altitude control system are designed, in which the altitude signal is dealt with the algorithm of complementary Kalman filter to improve the control precision. Simulation flight test results show that the system has the performance of high precision and strong anti interferences which can fulfill the design requirements. The digital design enables the system to have a better portability and improves the service efficiency.

Key words: tow target; super low altitude flight; altitude control; Kalman filter

拖靶是由有人或无人驾驶飞机吊挂牵引的一种空中靶标, 常用于新武器试验, 或部队训练, 也可

推广到其他民用领域(如航测和航拍等)^[1,2]。为了提高我国海军水面舰艇部队的反反舰导弹武器

收稿日期: 2007-03-09 修回日期: 2007-10-24

作者简介: 梅劲松(1967-)男, 江苏东台人, 助理研究员, 主要研究方向: 飞行控制及导航方面的研究。E-mail: qq@nuaa.edu.cn

的性能, 根据某部队委托研制了某型掠海恒高飞行拖靶来模拟某来袭反舰导弹的空用靶标系统。某型拖靶是目前国内唯一采用直接升力控制, 实现掠海恒高, 且能反复使用的拖靶系统, 其总体性能处于国内领先, 国际同类产品的先进水平。

大速度、超低空、恶劣的掠海飞行环境, 且要保证超低空飞行的高度控制精度是掠海恒高飞行拖靶系统的技术难点和关键^[3-4]。在国际上, 英国的 Rush-ton 拖靶代表了国外的先进水平, 靶体采用直接升力控制方式, 但其高度控制系统为模拟系统, 结构复杂, 元件离散性大, 每次只能装定一个高度值。本文设计并实现了高度控制系统采用全数字控制方式的模型, 提出了采用 Kaman 互补滤波算法获得靶体在飞行过程中的高品质垂直速度信号, 提高了系统的高度控制精度, 在国内首次研制成功了超低空拖靶使用的数字式飞行高度控制系统, 其恒高技术指标与 Rush-ton 拖靶相当,

并且全数字控制高度系统, 如有需要稍作修改, 即可实现一架次、多航次不同高度的定高飞行, 提高了使用效率, 方便用户的需求。

1 全数字高度控制系统方案

该文设计的某型掠海恒高飞行拖靶以 Rush-ton 靶体直接升力控制方式为依据, 即采用一对全动升力控制面产生的直接升力来控制拖靶的升降运动, 从而控制拖靶高度。直接升力高度控制能够提供更高的控制精度及带宽, 比通过控制俯仰姿态来控制飞行器的常规控制方式优越。而拖靶角运动的稳定则是依靠适当的气动布局产生的自然稳定性(即风标稳定性)来保证的。

为了提高控制系统的控制品质, 设计全数字高度控制系统, 其主要结构图如图 1 所示, 构成主要包括雷达高度表、加速度计、舵机和控制计算机等。

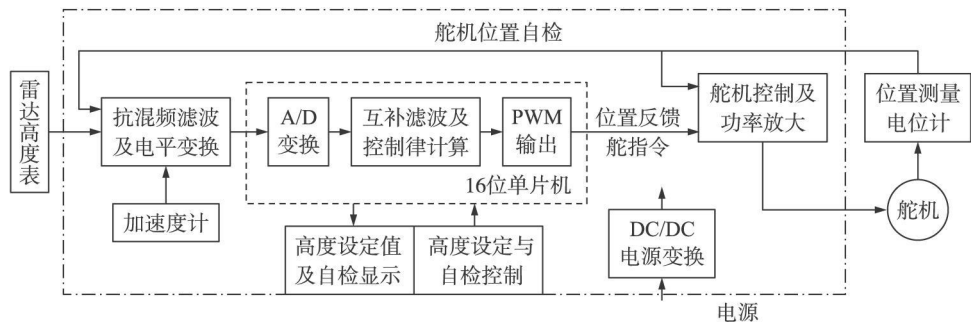


图 1 系统结构图

图 1 中, 雷达高度表和加速度计产生的模拟信号经低通滤波及电平转换后送入单片机进行 A/D 变换, 得到的数字信号再与高度控制数字信号进行 Kaman 互补滤波及控制律计算^[5-6], 从而获得舵面位置指令信号, 该信号与位置反馈信号一起送入舵回路控制器, 获得舵机所需的舵面信息, 来共同完成对拖靶的高度控制。

其中, 雷达高度表测量拖靶与海平面的相对高度, 采用国内生产的小型无线电雷达高度表, 高度信号用于恒高控制的主反馈信号。

加速度计测量拖靶垂直运动的加速度, 采用美国 AD 公司的加速度计, 其信号和高度信号一起进行 Kaman 互补滤波, 产生拖靶的垂直速度信号, 用于高度控制信号的阻尼信号。

舵机系统用于控制拖靶的操纵翼偏角, 采用以 PWM 专用集成电路为核心的舵回路控制器和力矩电机, 构成的直流伺服电动舵机。

高度控制计算机采用全数字控制系统, 以高性能 96 系列单片机为核心构成数字式高度控制系统, 能根据测量的高度信号及垂直加速度信号, 进行滤波及控制律计算, 产生舵位置指令信号。

2 Kaman 互补滤波算法

由于拖靶的工作高度在 7~150 m 范围内, 要求的高度控制精度为 1~2 m 以内, 即要求高度传感器的精度高, 且系统动态响应快。若采用无线电高度表, 必须解决无线电高度表的“高指”现象和海浪对系统的影响, 这样, 对控制系统的控制律设计和软件设计提出了新的要求。因此, 本文提出了 Kaman 互补滤波算法来解决上述问题。

无线电高度信号是拖靶高度控制系统的主反馈信号, 控制系统根据获得测量的高度信号 H_t 与设定的离海高度 H_s 的偏差, 计算控制律, 操纵升

本文针对掠海恒高拖靶系统需要保持超低空飞行高度控制精度的要求,设计了一种全数字高度控制的方案,并在此基础上,提出采用 Kaman 互补滤波算法处理高度信号的控制方法。仿真与试飞表明,本文提出的高度控制系统抗干扰能力强、精度高,在 7~150 m 高度范围内,稳定精度小于 1 m。目前,该拖靶系统已成功获得应用,并小批量生产。

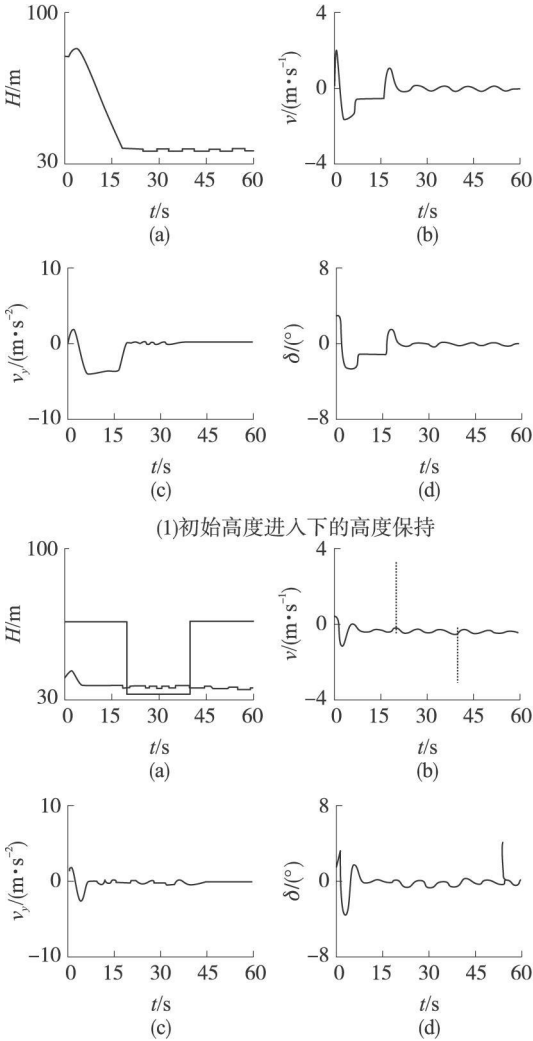


图 4 仿真结果图

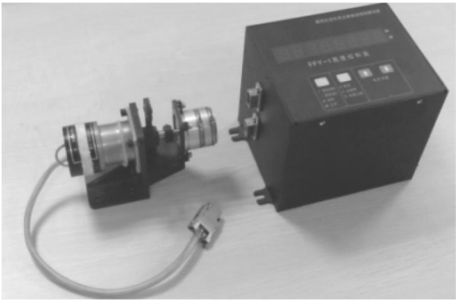


图 5 控制盒与舵机实物图

参考文献:

[1] Stephen R N, Dominick A. Longitudinal equilibrium solutions for a towed aircraft and tow cable [R]. AIAA 2001: 2 001—4 254

[2] Williams P, Sgarbo D, Trivajo P. Optimal control of an aircraft towed flexible cable system [J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2006, 29(2): 401—403

[3] Henderson J F, Potjewyd J, Ireland B. The dynamics of an airborne towed target system with active control [J]. Journal of Aerospace Engineering, 1999, 213(5): 305—319

[4] Cochran J E Jr, Innocenti M, No T S, Thukral A. Dynamics and control of maneuverable towed flight vehicles [J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 1992, 15(5): 1 245—1 252

[5] 盛安冬, 黄飞, 刘健, 等. 一种基于多角度的运动目标参数估计新方法 [J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(4): 353—356

[6] 姜雪原, 马广富. 基于平方根 Unscented 卡尔曼滤波的无陀螺卫星的姿态估计 [J]. 南京理工大学学报, 2005, 29(4): 399—402

[7] 付梦印, 邓志红. 卡尔曼滤波理论及其在导航系统中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003

[8] 王福瑞. 单片微机测控系统设计大全 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001