

文章编号:1671-4598(2012)05-1301-02

中图分类号:TP383; TP273

文献标识码:A

舰载天线稳定平台伺服控制器研究

高翌阳, 齐 蓉, 米月星

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710129)

摘要:采用高性能32位DSP TMS320LF2812,以速率光纤陀螺和水平倾角仪为传感器,研究位置环+速度环的双闭环舰载天线稳定平台控制器;针对舰船主桅杆顶的大振动、强冲击以及长天线倒单摆式惯量负载等干扰跟踪精度因素,在速度环,设计一种PID和模糊控制的多模结构复合型控制方案;在平台上安装倒单摆式仿制天线进行实验,实验结果表明该稳定平台控制器的动、静态特性很好,稳定隔离精度小于1°。

关键词:稳定平台;伺服控制;速率陀螺;复合控制;DSP

Design of Servo Controller for Shipborne Antenna Stabilized Platform

Gao Yiyang, Qi Yong, Mi Yuexing

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: This stabilized platform controller based on high-competence digital signal processor TMS320LF2812 adopts double closed-loops control structure, which uses rate fiber-optic gyroscope and gradiometer as the sensors. An PID+fuzzy complex controller in gyro stable loop is proposed for the servo system with nonlinear property factors. Doing the experiment on the platform mounted inverted pendulum antenna. The result indicates that the proposed controller has good dynamic and static characteristics and is proved to be effective in bating carrier disturbance.

Key words: stabilized platform; servo control; rate gyro; hybrid control; DSP

0 引言

舰载通信天线立于几十米的桅杆之上,在舰船航行遇见复杂的海况时,受到波浪、海风及海流等海洋环境扰动的作用,不可避免地产生各种摇摆和振荡,将严重影响天线的通信质量^[1]。承载天线的平台稳定控制系统必须反向补偿舰船的横轴和纵轴的摇摆,确保舰载天线通信系统能够有效工作。本文以自行开发的舰载小型天线稳定平台为背景,计系统中天线稳定平台控制器。实验测试表明,该系统有良好的稳定隔离效果,同时具有较强的鲁棒性和抗干扰性。

1 系统工作原理

舰载天线垂直安装在主桅杆顶的稳定平台上,通过两轴系伺服电机控制平台,克服舰船前后和左右两个方向的摆动带来的平台不水平稳定问题,从而保证舰载天线与平台的水平面垂直。

天线稳定平台伺服控制原理框图如图1,电机以及速度补偿器构成稳定环回路;水平仪、位置补偿器以及稳定环组成位置环回路^[2]。

在稳定平台主机上安装光纤陀螺仪和采用捷联式惯性技术(陀螺仪与加速度计组合)的水平倾角仪。光纤陀螺仪检测的惯性空间速度作为反馈量,形成内回路速度环,利用此闭合环路消除舰体运动至桅杆顶端天线的运动,实现天线在惯性空间的稳定。水平倾角仪检测的天线在惯性空间与水平面的角度作为反馈量,形成外回路位置环,使天线始终与水平面垂直,保证天线信号的可靠传输。

收稿日期:2011-10-21; 修回日期:2011-12-01。

作者简介:高翌阳(1987-),男,硕士研究生,主要从事稳定平台伺服控制系统方向的研究。

齐 蓉(1962-),女,博导,主要从事智能控制和检测等方向的研究。

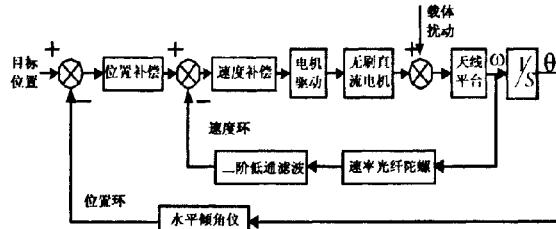


图1 天线稳定平台伺服控制原理框图

2 系统硬件设计

平台控制器的DSP选用TI公司生产的TMS320LF2812,伺服控制器需要控制两个框架(敏感舰船前后和左右两个方向的摇动)的无刷直流电机,DSP内包含两个事件管理模块EVA和EVB,共对应2对6路PWM信号输出,满足两个无刷直流电机驱动要求。平台控制器硬件组成如图2所示。

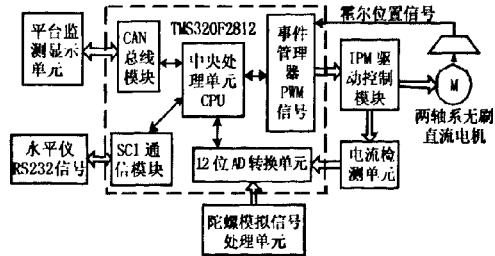


图2 平台控制器硬件组成

电机驱动单元采用三菱公司的第四代DIP-IPM模块PS21963A,外接高精度采样电阻实现模块的过流自保护功能。传至IPM的PWM信号经数字隔离芯片ADUM1401进行磁耦隔

离。另外，PS2196A 母线上串接高精度霍尔电流传感器 CSM002A，敏感母线电流的输出电压，经模拟电路处理接回 AD 单元，供控制监测使用。驱动电路硬件实现图如图 3 所示。

水平倾角仪和光纤陀螺安装于平台机体，为保证模拟信号长距离（长约 60m）的传输不受干扰，水平仪和陀螺输出的模拟电压通过 XTR111 芯片将 0~3V 电压信号转换为 4~20mA 电流信号，传送至 DSP 控制板时，采用 RCV420 芯片实现电流到电压的转化，并实现两端信号隔离。硬件实现见图 4。

3 控制策略

舰载天线稳定平台系统的控制存在明显的非线性不确定区域。例如：主桅杆顶的大振动和强冲击、细长天线安装施加于平台形成倒单摆式大惯量负载，这些都使得平台系统具有不确定性及参数时变性，对系统回路特别是稳定闭环回路影响明显。

3.1 稳定环的多模复合控制设计

模糊控制不依赖于对象的数学模型, 对参数变化不敏感, 有利于改善系统的动态性能。传统的 PID 控制可以使系统无静差地跟随给定信号变化, 提高系统的静态性能。采用两者结合的多模结构复合型控制可综合两者优点, 提高控制性能^[3]。

复合型控制原理框图如图 5 所示。

智能协调器的作用是：当大偏差或者小偏差但偏差率较大时采用模糊控制器，使系统在最短时间内接近给定值，保证系统快速动态响应性能；其他情况下采用 PID 控制，实现无静差精细调节。

传统 PID 控制器设计技术成熟，这里不再赘述。

模糊控制器设计^[4]如下：定义误差 e 、误差变化率 Δe 和输出量 U 的模糊集为：

$e = \&e = U = \{NB, NS, 0, PS, PB\};$

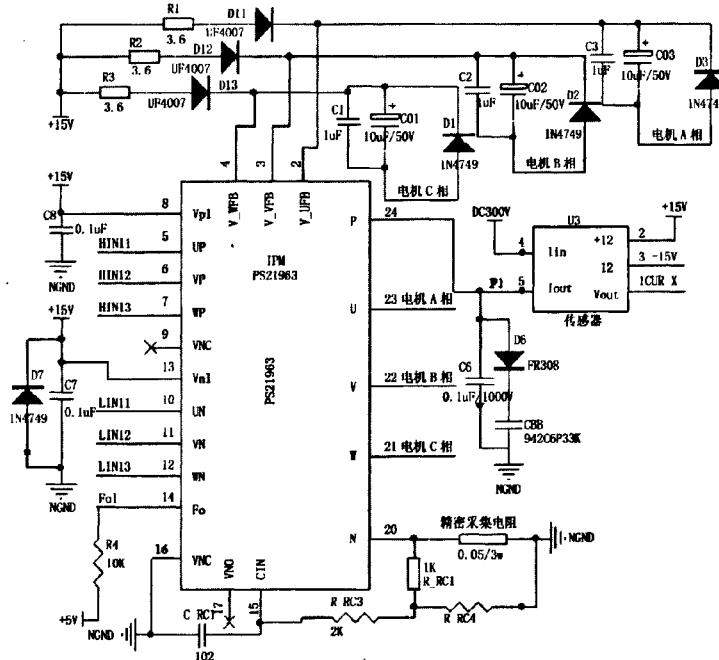


图 3 驱动电路硬件实现图

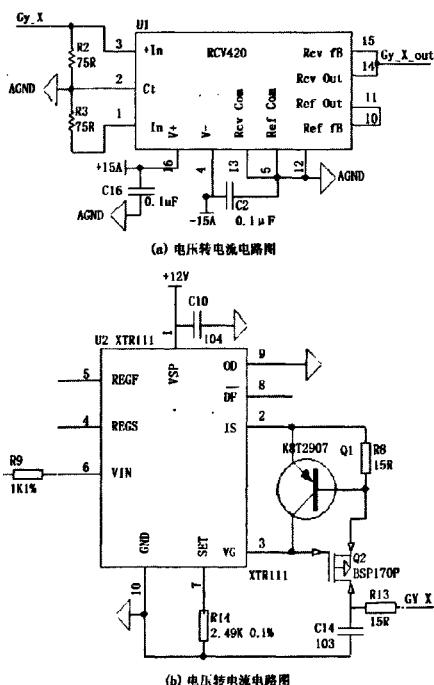


图 4 模拟信号转换电路图

5个模糊变量设定为正态型模糊变量，其正态函数 $F(x) = \exp[-(\frac{x-m}{n})^2]$ ；参考模糊集论域 $[-4, 4]$ 范围， n 取值 1.

2, 使相邻模糊变量曲线的交点处 $F(x)$ 的值接近 0.5。

论域均取为 $e = \&e = U = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$, 假设基本论域为 $[a, b]$, 精确量模糊化方法采用公式 $y = \frac{8[x - (a+b)/2]}{b-a}$ 将其转化到论域 $[-4, 4]$ 内。

参考实测经验数据, 得到二维模糊控制规则表如表 1 所示。

表 1 二维模糊控制规则表

U E -& E	NB	NS	0	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	PB
NS	NB	NB	NS	PS	PB
0	NB	NS	0	PS	PB
PS	NB	NS	PS	PB	PB
PB	NB	PS	PS	PB	PB

由控制表 1 对应的关系, 求 U 的模糊集。采用加权平均判别法去模糊化, 最终确定 U 的实际输出值。

3.2 位置环的改进型 PID 设计

水平仪构成的位置环起到对速度环的能稳定效果起到校正作用，它的调节周期较长。位置环 PID 积分饱和很容易引起大幅度的超调，

(下转第 1306 页)

雷定型试验设计和指标考核, 最终指导作战使用有重要价值。

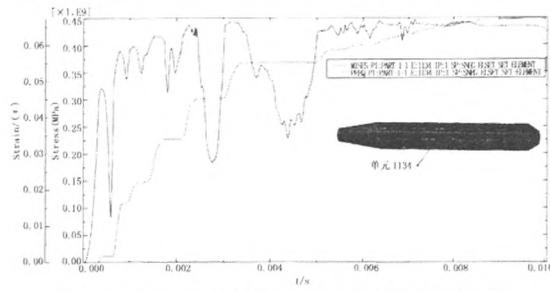


图 9 爆距 10m 时迎爆面 Mises 应力和等效塑性应变曲线

参考文献:

- [1] Kalavalapally R, et al. Configuration design of a lightweight torpedo subjected to an underwater explosion [J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36: 343–351.
- [2] Kalavalapally R, et al. Multi disciplinary optimization of a lightweight torpedo structure subjected to an underwater explosion [J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2006, 43: 103–111.
- [3] Jen C Y. Coupled acoustic - structural response of optimized ring-stiffened hull for scaled down submerged vehicle subject to underwater explosion [J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2009, 52: 96–110.
- [4] 姚亮亮, 杨树涛, 等. 水下爆炸载荷作用下鱼雷结构优化设计 [J]. 舰船科学技术, 2009, 31 (4): 75–80.
- [5] Kwon, Fox Y W, P K. Underwater Shock Response of a Cylinder Subjected to a Side-On Explosion [J]. Computers and Structures, 1993, 43 (4): 637–646.
- [6] Dassault Systèmes Simulia Corp. ABAQUS Example Problems Manuals, version 6. 9 [Z]. RI, USA: Dassault Systèmes, 2009.
- [7] Dassault Systèmes Simulia Corp. ABAQUS Analysis User's Manuals, version 6. 9 [Z]. RI, USA: Dassault Systèmes, 2009.

(上接第 1302 页)

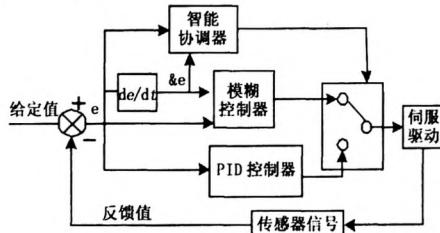


图 5 复合型控制原理框图

使系统稳定性下降。为避免控制量长时间停留在积分饱和区。采用限幅削弱积分的抗积分分饱和 PID 控制算法, 即当控制进入饱和区以后, 不再对积分项进行累加, 而只执行削弱积分的运算。PID 的控制参数及积分项的阈值通过寻优得到。

4 实验结果分析

稳定平台固定于两轴摇摆台上, 稳定平台顶部安装仿制天线, 形成倒单摆负载。设置二维摇摆台的摇摆方式模拟舰船航行时横纵轴摇摆。以横摇轴为例, 进行位置阶跃跟踪曲线实验以测试系统控制性能。横摇轴的位置阶跃响应曲线及稳态误差如图 6 所示: 从 -1° 到 8° 的横摇倾角位置, 系统阶跃响应时间小于 1s, 响应超调为 11.2%, 稳态误差小于 0.05° 。

利用摇摆台进行摇摆实验, 对平台横摇轴和纵摇轴两方向均施加不同幅值和频率的正弦扰动, 实测两轴稳定角度及隔离度如表 2 所示。

表 2 实测两轴稳定角度及隔离度

正弦扰动		横摇轴实验数据		纵摇轴实验数据	
幅值	频率	稳定角度	隔离度 (%)	稳定角度	隔离度 (%)
20°	15Hz	$<\pm 0.1^\circ$	0.5	$<\pm 0.1^\circ$	0.5
15°	10Hz	$<\pm 0.16^\circ$	1.07	$<\pm 0.15^\circ$	1
10°	8Hz	$<\pm 0.31^\circ$	3.1	$<\pm 0.33^\circ$	3.3
8°	5Hz	$<\pm 0.54^\circ$	6.75	$<\pm 0.57^\circ$	7.13
5°	3Hz	$<\pm 0.71^\circ$	14.2	$<\pm 0.74^\circ$	14.8

注: 1. 稳定角度的正负仅代表方向。2. 隔离度 = (最大稳定角度值 / 摆摆最大角度值) × 100%。

由表 2 可知正弦扰动的幅值越大, 频率越大, 两轴系的稳

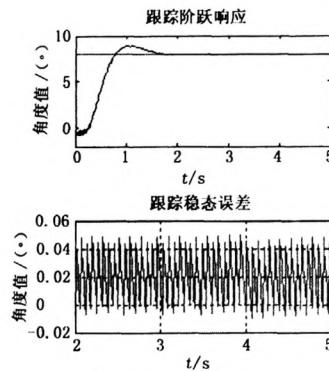


图 6 位置阶跃响应曲线

定角度越小, 隔离度越小, 稳定隔离效果越好。即使在 3Hz, 幅值 5° 的正弦扰动下, 平台两轴系的稳定角度均小于 1° 。

实验说明该天线稳定平台响应速度快, 并具有良好的隔离扰动效果。

5 结论

位置环十速度环双闭环平台控制器广泛应用于各类舰船的天线稳定平台。论文设计了系统的硬件结构, 针对舰载天线在航行中的各种非线性影响, 速度环研究了模糊控制和 PID 的多模结构复合型控和 PID 的多模结构复合型控制策略, 位置环采用抗积分饱和的改进型 PID 控制。实验结果表明系统设计方案和控制策略具有响应快, 隔离效果好, 鲁棒性强的特点。

参考文献:

- [1] 崔麦会, 等. 船载光电成像三轴自主稳定平台控制回路设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (4): 810–812.
- [2] 郭富强, 等. 陀螺稳定装置及其应用 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.
- [3] 陈机林, 杜新丽. 舰载火箭炮消摇摆稳定系统控制器设计 [J]. 火炮发射与控制学报, 2005, (1): 43–46.
- [4] 诸静. 模糊控制理论与系统原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>