

船载经纬仪视轴稳定方法的实现

Realization of LOS Stabilization for Carrier-based Theodolite

(1.长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 葛 兵^{1,2} 高慧斌¹
GE Bing GAO Hui-bin

摘要: 船载经纬仪的视轴稳定是实现海上跟踪测量的一个关键技术, 本文采用坐标变换的方法在伺服系统速度回路中引入速度前馈控制, 位置回路采用数引电视复合控制的方法, 以 PC104 作为主要控制器, 辅以外围电路, 实现了视轴的船摇自稳定。试验验证该方法可以有效隔离船摇扰动, 保证经纬仪跟踪精度。

关键词: 经纬仪; 视轴稳定; 伺服系统; 前馈控制

中图分类号: U666.12 **文献标识码:** A

Abstract: LOS Stabilization of Carrier-based theodolite is key point in tracking and measuring on sea. In this paper, through coordinate transform, feedforward control is adopted in the speed loop, and compound control is adopted in the position loop. PC104 is the primary controller with the peripheral equipments to realize self-stabilization of LOS. It has been proved this method isolating the ship-swaying disturbance and ensuring the tracking measure precision on sea.

Key words: theodolite; LOS stabilization; servo-control system; feedforward control

1 引言

经纬仪是测量船上高精度的测量设备, 主要用于测量船执行海上测控任务时提供精确的航向数据, 用来校准航向误差。

船在海上由于风、浪、流的作用会产生六个自由度的被动运动: 三个位移量为纵漂、横漂和升沉; 三个摇摆量, 分别为纵摇、横摇和艏摇。船的三个位移量对跟踪目标来说相对量值较小、速度也较慢, 所以对跟踪影响不大。但摇摆使设备视轴相对目标产生大的角度晃动, 如果不采取稳定措施, 会影响经纬仪测量精度, 甚至无法跟踪目标。船摇对视轴跟踪目标产生以下两方面的影响:

1) 船载经纬仪视场只有十个角分左右, 而船摇的幅度一般都在几度, 若不能很好地克服船摇对视轴影响, 就会丢失目标。

2) 在中心计算机提供数据引导下, 经纬仪具有外弹道测量的功能, 角度测量值是由视轴来量度的。如果伺服系统不能克服船摇影响, 使目标在视轴两旁晃动, 就增加了跟踪误差, 使精度下降。

所以经纬仪的视轴稳定是实现海上测量的一个关键技术。本文采用坐标变换的方法在伺服系统速度回路中引入速度前馈控制, 位置回路采用数引电视复合控制的方法, 克服船摇对视轴的扰动, 实现稳定跟踪。

2 视轴稳定方法的建模

计算目标(如星体)某一时刻的地平坐标参数(A、E)采集同一时刻的舰体摇摆和航向参数(纵摇角、横摇角、艏摇角), 带入位置坐标变换公式(1), 得到相应时刻的目标甲板位置参数(Ac, Ec)。这一位置作为数学引导跟踪时位置回路引导值。

$$\begin{cases} Ac = \tan^{-1} \{ [\cos E [\cos R \sin(A-H) + \sin R \sin P \cos(A-H)] - \sin E \sin R \cos P] / \\ [\cos E \cos P \cos(A-H) + \sin E \sin P] \} \\ Ec = \sin^{-1} \{ \cos E [\sin R \sin(A-H) - \cos R \sin P \cos(A-H)] + \sin E \cos R \cos P \} \end{cases} \quad (1)$$

葛 兵: 博士研究生

计算得到同一时刻船摇速度, 代入速度坐标变化公式(2), 得到目标在经纬仪坐标系下的运动速度。这一速度作为速度回路的前馈值。

$$\begin{cases} E_{cv} = -(\omega_p \cos R + \omega_{ij} \cos P \sin R) \cos Ac + (\omega_R - \omega_{ij} \sin P) \sin Ac \\ A_{cv} = \omega_p \sin R - \omega_{ij} \cos P \cos R - \tan Ec [(\omega_R - \omega_{ij} \sin P) \cos Ac + \omega_p \cos R + \omega_{ij} \cos P \sin R \sin Ac] \end{cases} \quad (2)$$

3 视轴稳定方法的实现

视轴自稳定方法是在原有位置回路和速度回路上加入引导值, 构成复合控制。因此, 实现的方法很简单。

跟踪控制系统由方位和高低两套相互独立工作又相互配合的跟踪系统组成。整个系统由数字控制器和功率驱动部分组成。如图1所示, 数字控制器硬件主要由 PC104 工控机、通讯接口卡、调宽输出电路等组成。功率驱动部分由智能型 IG-BT 模块、驱动电路、保护电路、电源等组成。跟踪系统的软件由工控机实现, 除方位有正割补偿外, 方位与高低系统的结构基本相同, 均是以速度反馈为内回路, 位置反馈为外回路的双闭环系统。

电视自动跟踪时电视跟踪测量系统将目标脱靶量信息经串行通讯送跟踪伺服系统。跟踪伺服系统将脱靶量数据处理后, 经过位置回路和速度回路数字校正, 送脉冲调宽波到功率级。这种跟踪方式跟踪精度高, 但是捕获能力差, 特别是在海况恶劣情况下, 电视跟踪的稳定性差。在数学引导跟踪时, 经纬仪根据主控计算机给出的目标位置进行跟踪。本文所述的视轴自稳定方法也是基于这种跟踪方式的实现的。这种跟踪方式是一种被动的跟踪方式, 精度完全取决于引导信息源。数引电视复合跟踪具有数引和电视跟踪优点, 并且互相补偿缺点。由于船载经纬仪以测星为重要任务, 可以通过计算机引导捕星, 完成自稳定功能, 通过电视修正来因船位、船姿变化产生的引星误差, 即使在恶劣海况下也可以取得高精度测星的效果。

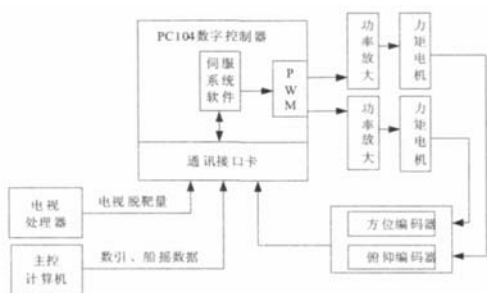


图 1 伺服系统硬件框图

在测星过程中,经纬仪接收惯导的船姿数据,采用最小二乘法对船姿数据进行平滑,预测下一帧的船姿及船体摇摆速度,根据预测的船姿,把惯导地平系引导值转换为甲板系引导值,再根据预测的船摇速度及甲板系引导值,生成船摇速度前馈量。最后完成甲板系到经纬仪测量系的转换,把测量系引导值及速度前馈量送伺服系统。前馈信号引导值计算流程如图 2 所示。伺服系统的软件流程图如图 3 所示。位置回路采用两路位置回路调节器控制一个速度回路,两个位置回路输入一个来自计算机程序引导构成数学引导回路,另一路由电视测量的脱靶量构成。在速度回路中引入船摇前馈控制构成复合控制。

4 实验及结果分析

为了保证船摇隔离度与跟踪精度的统一而有定量的联系,实验条件应该相近。根据船舶的特点,实验过程中船升摇周期应控制在船舶固有船摇周期左右,根据经纬仪工作的典型海况及相应海况条件下船摇幅度,并适当留一定余量,合理设置船升摇幅度。本文在拍星实验中采用的船摇幅度为:横摇 $-5^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 纵摇 $0.2^{\circ}\sim 0.3^{\circ}$ 艏摇 $-112.3^{\circ}\sim 113.7^{\circ}$ 。

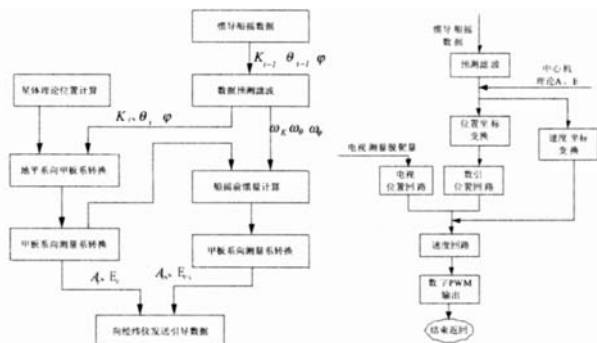


图 2 前馈信号引导值计算流程 图 3 伺服算法实现流程图

由星图计算得出星体的理论引导值 $A=47^\circ$ $E=39.5^\circ$ 。计算可以得到,在这样的海况下,船摇对视轴的影响幅度方位 2.5° , 高低 8° (峰-峰值)。

只采用位置引导,不加速度前馈,伺服系统跟踪误差如图 4 所示,方位跟踪误差 $0.073^{\circ} \times 60 = 4.4'$,俯仰 $0.04^{\circ} \times 60 = 2.4'$ 。

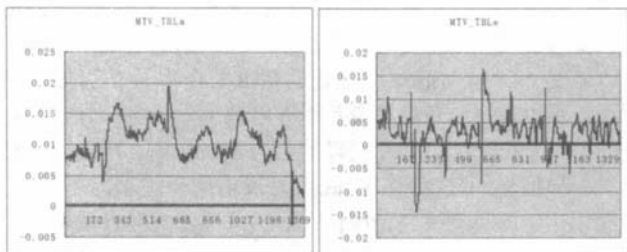


图 4 不加速度前馈

位置回路加位置引导,速度回路加速度前馈补偿,伺服系统的跟踪误差曲线如图 5 所示,方位跟踪误差为 $0.02^{\circ} \times 60 = 1.2'$,俯仰跟踪误差为 $0.015^{\circ} \times 60 = 0.9'$,满足精度要求。与采用两个自由度方法相比较,隔离度提高了 12dB,但是从图 5 可以看出引入速度前馈,跟踪误差中系统误差明显减小了,但是随机误差增加了。设备视轴稳定的意义是:船的摇摆视轴也作相应的摇摆,但经纬仪伺服系统使视轴产生一个相反的摇摆量,使之相对目标不产生附加的运动。视轴稳定效果用船摇隔离度来量度。船摇隔离度的定义为:船摇在 A、E 方向的分量与采取稳定措施后在 A、E 方向摇摆量之比。隔离度分为位置隔离度和速度隔离度。船摇对视轴位置干扰幅度,与只采用位置引导不加速度前馈时的视轴运动幅度之比为位置回路隔离度。加入速度前馈前后跟踪误差之比为速度回路隔离度。计算得位置回路隔离度方位为 44dB,俯仰 60dB。速度回路隔离度见表 2,其中的位置是星体相对于船的位置,分别列出了不加速度前馈控制和加入前馈控制跟踪系统的跟踪误差,计算得到隔离度一般可以达到 20dB 以上。

5 结论

目前提高陆基经纬仪的跟踪测量精度的研究已经取得了较好的成果,而船载经纬仪跟踪精度提高的方法还有待与进一步完善。实验结果证明采用本文的方法可以很好的隔离船摇,稳定视轴,取得较小的跟踪误差,隔离度达到 40dB 以上。但是实验过程中我们发现引入该方法使系统的跟踪误差会产生大量噪声,其原因主要是在计算船摇速度中采用的数值微分,引入了噪声。如何有效地消除噪声影响将成为进一步提高跟踪精度成为今后工作的重要课题。

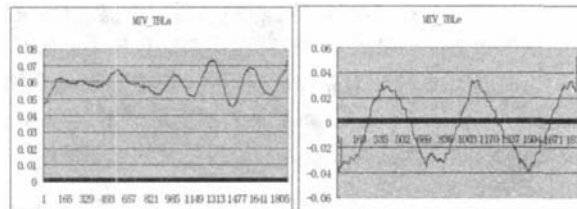


图 5 采用视轴自稳定方法

方位 误差 位置	无盲馈补偿		加入盲馈补偿		隔高度 $20\log(\Delta/\Delta')$	
	方位 $\Delta A'$	俯仰 ΔE	方位 $\Delta A'$	俯仰 $\Delta E'$	方位	俯仰
右舷	0.029874	0.041798	0.005231	0.006669	15.13417	15.94190
左舷	0.014708	0.065731	0.003651	0.005530	12.10284	21.50690
右艏	0.071731	0.013757	0.005773	0.003584	21.88611	15.68311
左艏	0.049011	0.027202	0.003977	0.002461	21.81476	20.86978
右翼	0.036809	0.034004	0.009202	0.001520	12.04144	26.99373
左翼	0.045304	0.019801	0.005348	0.005815	18.55890	15.64275

表 1 前馈补偿隔离度

本文作者创新点:采用坐标变换建立船摇自稳定模型,并应用船摇速度前馈控制隔离船摇速度干扰,实现经纬仪船摇自稳定功能。实验证明该方法达到稳定视轴,提高跟踪精度的目的。

参考文献

- [1]张岷峰,张忠敏.船用数字两轴稳定控制系统.电子对抗技术, 1996(1):34-40.
- [2]郭丽虹.舰载精密光学系统扰动速度的自稳定控制.光学精密工程 1997(3):71-74
- [3]徐开 陈长青.光电跟踪伺服系统中模糊控制器的设计与仿真.微计算机信息 2006(10):102-104 (下转第7页)

上下限频率为当前共振频率加减 1Hz,重新扫描耗时在 1 秒以下,速度快。谐振系统重新在新共振频率下工作,当共振频率下量超过达到 1Hz 时,对应曲轴开裂 2~3mm,测控系统停止工作。

3.2.6 恒载荷调节模块设计

为了保证试验数据的可靠性,机械谐振系统需在恒载荷下工作。当加速度波形幅值变小时,测控系统首先启动频率跟踪模块,找到新的共振频率,确保谐振系统再次共振,然后,调节激励信号的波形幅值使加速度幅值达到设定值。

4 结束语

利用 LabVIEW 强大的数据处理分析功能和形象、灵活的编程环境,配以通用传感器和数据采集卡等硬件,开发了曲轴疲劳试验机测控系统。该测控系统摒弃了功能单一、专机专用的传统测量仪器,缩短了开发周期,降低了开发成本,有很强的扩展性。

本文作者创新点:摒弃传统的测量和控制仪器,开发了基于虚拟仪器曲轴疲劳试验机测控系统,该系统界面友好,运行稳定,为曲轴疲劳试验数据的精确性和可靠性提供了保证。

预期产生经济效益 100 万元。

参考文献

- [1]徐家炽.DC-1 电动谐振式曲轴疲劳试验装置的研制[J].内燃机工程,1991,12(2):6~16
 - [2]刘刚,王立香,张连俊.LabVIEW8.20 中文版编程及应用[M].北京:电子工业出版社,2008
 - [3]林青松,孟凡深,陈耀廉.基于 LabVIEW 虚拟仪器的曲轴弯曲疲劳试验机[J].拖拉机与家用运输车,2002,(04):27~29
 - [4]谭营,许化龙,吴琳.基于 LabVIEW 的舵机测试系统设计[J].微计算机信息,2007,11-1:133~134
- 作者简介:程海正(1976-),男,硕士研究生,主要从事绿色设计与制造方面的研究;陈铭(1971-),男,研究员,博士生导师,主要从事绿色设计与制造研究。

Biography: CHENG Hai-zheng, male, born in 1976, Master, engaged in Green Design and Manufacturing.

(200240 上海交通大学机械与动力工程学院) 程海正 陈铭
(School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China)

CHENG Hai-zheng CHEN Ming

通讯地址:(200240 上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学 B0602093 班)程海正

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

(上接第 2 页)



图 4 对象实际增益变化曲线与预估增益变化曲线

5 结束语

本文的创新点在于提出了一种新的增益预估自适应内模控制算法并在实际的应用中获得了良好的控制效果。该算法

的特点在于充分利用了被控对象增益变化的历史规律,更加有效地预估对象增益的变化趋势,并在线修正对象模型和内模控制器的参数,提高控制系统鲁棒性的同时充分发挥了内模控制器的优良性能。

参考文献

- [1]贾磊,孙优贤.增益自适应内模控制器及其在纸机控制中的应用[J].信息与控制,1993,22-4:242~245
- [2]李华,胡元春.大时滞过程的增益自适应内模控制算法的研究与实现[J].自动化与仪器仪表,2006,6:12~14
- [3]王连铮,张建华,孟庆贤.增益预估自适应纯滞后补偿控制器[J].自动化学报,1997,23-1:139~142
- [4]杨大勇,李鸣.内模控制在电加热炉温度控制中的应用[J].微计算机信息,2008,4-1:42~43

作者简介:曾毅(1982-),男(汉),湖南,上海交通大学自动化系,硕士,研究方向:工业过程控制与智能控制;宫亮,男(汉),山东,上海交通大学自动化系,硕士,研究方向:工业智能系统控制;杨煜普(1957-),男(汉),陕西,上海交通大学自动化系,教授,博士生导师,研究方向:神经网络与智能控制。

Biography: ZENG Yi (1982-), male (Han Nationality), Hunan, Department of Automation of Shanghai Jiao Tong University, Master, Research area: Industry Process Control and Intelligent Control. (200240 上海 上海交通大学自动化系) 曾毅 宫亮 杨煜普
通讯地址:(200240 上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学 B0603294 班) 曾毅

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

(上接第 14 页)

Biography: WU Nan, male, 1982.11, han, Shan Xi, northwest A&F University, Computer application technology.

(712100 陕西杨凌 西北农林科技大学机械与电子工程学院) 吴南 张保健 余世干 王丽丽

(712100 陕西杨凌 西北农林科技大学信息工程学院) 黄林
通讯地址:(712100 西北农林科技大学西农校区 16 号信箱) 吴南

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

(上接第 16 页)

作者简介:葛兵(1983-),女(汉族),中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,博士研究生,主要从事伺服控制系统研究。

Biography: GE Bing(1983-), female (Han nationality), doctor of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, major in servo-control system, Graduate School of Chinese Academy of Science.

(130022 长春光学精密机械与物理研究所) 葛兵 高慧斌

(130033 中国科学院研究生院) 葛兵

通讯地址:(130033 中国科学院研究生院) 葛兵

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

《PLC 技术应用 200 例》将出版,
每册定价 55 元(含邮费),汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)