

舰载精密光学系统扰动速度的自稳定控制

郭丽虹

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍了具有惯性导航系统的大型舰艇上前馈控制的自稳定方法。分析船摇产生扰动速度, 给出因船摇在方位和俯仰方向产生的附加速度及试验结果; 并与速率陀螺自稳定方法进行了对比。

关键词: 自稳定; 扰动速度

1 引言

当舰载光测设备进入目标跟踪状态时, 舰艇的不断摇摆会产生方位、俯仰误差信号, 光测设备在一定程度上会自动补偿一部分摇摆影响。然而动态摇摆产生的附加速度和加速度仅靠伺服系统克服会带来较大的跟踪误差, 甚至丢失目标。

为了保证在摇摆情况下有较小的跟踪误差, 在伺服系统中需要附加速度顺馈, 一种方法是前馈控制自稳定即通过船上惯性导航系统测量出船的摇摆角度, 采用数值微分法求出因船摇附加在经纬仪方位和俯仰轴上的加速度, 用顺馈方法将正比于速度的信号输入调速回路的输入端, 修正船摇影响, 减少跟踪误差。另一种方法是机电式速率陀螺自稳定方法, 在俯仰轴上安装二个速率陀螺, 以敏感出在方位和俯仰轴上所附加的角速度信号, 把这个信号反馈到伺服系统构成自稳定回路进行稳定, 以补偿因船摇带来的误差。

下面将主要介绍舰载经纬仪前馈控制的自稳定方法。

2 船摇产生扰动速度分析

首先利用先进的数值微分法, 对船的姿态数据横摇角度(θ), 纵摇角度(Ψ), 航向角度(K)进行精确计算得出船姿速度量即横摇角速度(ω)、纵摇角速度($\omega\Psi$)、航向角速度(ω_K); 经纬仪指向某一点时方位角为 A , 俯仰角为 E 。

把两个摇摆角速度转换到不稳定坐标系 (x, y, z) 上, 然后再转换为经纬仪俯仰角速度和方位角速度。

纵摇角速度 ω_ψ 的方向处于稳定坐标系的 x_1 轴上, 横摇角速度 ω 处于横摇轴 y 方向上, 如图 1 所示, 在甲板直角坐标系内的角速度分别为:

$$\begin{cases} \omega_x = \omega \cos \theta \\ \omega_y = -\omega \\ \omega_z = \omega \sin \theta \end{cases}$$

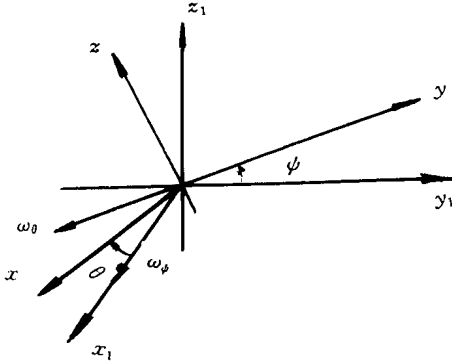


Fig. 1 Swing angle velocity of deck coordinate

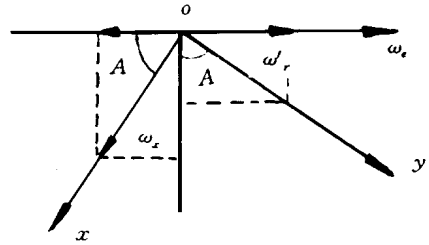


Fig. 2 Additional angle velocity by swing

设甲板坐标方位角速度 ω_x , 俯仰角速度 ω 。

2. 1 船摇引起俯仰角速度变化

俯仰角速度量与船艏艉线垂直, 在 xy 平面内见图 2, 得俯仰角速度为:

$$\omega = \omega \sin A - \omega \cos A = -\omega \cos A - \omega \cos \theta \cos A$$

2. 2 船摇引起方位角速度变化

a. 水平轴横向倾斜对方位速度影响

水平轴倾斜速度与俯仰速度 ω 垂直, 故在 xy 平面内如图 2 所示。

$$\omega_1 = \omega \cos A + \omega \cos A = -\omega \cos A - \omega \cos \theta \sin A$$

当俯仰角 E 不为零时, ω_1 水平倾斜将使视轴偏离目标, 需调整予以补偿, 关系如下:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \tan E$$

b. ω 引起的方位速度与水平轴影响的合成即为因船摇引起的甲板坐标系方位运动速度 ω_x 有:

$$\begin{aligned} \omega_x &= \omega_2 + \omega = \omega_1 \tan E + \omega \sin \theta \\ &= (-\omega \cos A + \omega \cos \theta \sin A) \cdot \tan E + \omega \sin \theta \end{aligned}$$

3 设计流程及检测结果

3.1 设计流程

硬件接口设计采用与惯导并行通讯方式, 直接采集惯导电子柜的船姿数据, 经纬仪每 50 Hz 1ms 内采集完惯导全部数据; 同时经纬仪全数字化速度回路具有漂移小、品质因数高等优点, 为船摇自稳定奠定了精度基础。

在 windows NT 操作系统下完成了软件设计, 充分发挥了 windows NT 多任务实时多线程的特点。实现过程中首先采集船姿数据横摇、纵摇、艏摇角度值, 用数值微分法进行滤波。预测、计算速度顺馈量、送调速回路。流程图见图 3。

3.2 检测结果

a. 假设测量船摇摆为简谐振荡 $\theta = 6\sin t$, 振荡幅值为 6° ; 周期为 2π , 若采样频率为 50 Hz, 则 $\theta = 6\sin(0.02N)$

采用数值微分法进行滤波, 预测, 下面给出 5 点, 40 点, 90 点预测时其角度、角速度、角加速度的估计误差:

Table 1 Estimate error

	$n = 5$	$n = 40$	$n = 90$
$\sigma_\theta / ^\circ$	1.135027×10^{-4}	4.23×10^{-5}	5.108×10^{-5}
$\sigma_{\dot{\theta}} / (^\circ/s)$	7.9584×10^{-3}	2.97×10^{-3}	3.545×10^{-3}
$\sigma_{\ddot{\theta}} / (^\circ/s^2)$	0.30196	0.113	0.133

实际中船摇摆周期一般在 12 ms 以上, 从以上数据可看出, 对船姿数据进行数值微分可以满足精度要求。

b. 在海上 5 级海况情况下(浪高 2.5 m ~ 4.0 m, 风级 7~8 级, 平均风速 13.9 ~ 20.7 m/s), 航向标定平均偏差 50 角秒, 均方根差为 55 角秒, 说明数据稳定, 标定精度高。

测得隔离度 > 30 db, 达到或接近资料上报导的国际先进水平。

4 结 论

速率陀螺稳定也是舰载光学系统扰动速度自稳定方法之一, 它与前馈控制自稳定的主要区别在于:

速率陀螺稳定方式结果简单容易实现, 它避免了昂贵的惯性导航系统, 对于没有安装惯性导航系统的小型舰船是非常适用的。但由于速率陀螺是随方位和俯仰轴系旋转的, 陀螺的信号要构成速度稳定回路, 跟踪系统的设计要综合予以考虑并给以适当校正以保证整个速度回路的动态性能。

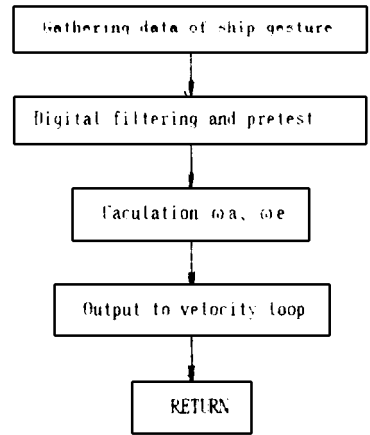


Fig. 3 Program block diagram

而对于大型舰载或测量船,已经安装了惯性导航系统并配备较完备的计算机系统来说,无疑顺馈方法是可行的。由于惯性导航系统与经纬仪轴系运动无关,因此对惯导系统信号的数字处理并不影响经纬仪的稳定性。本质上是开环控制方式,因此在用计算机进行坐标变换或数值微分时允许加入滤波平滑处理。

由此可见,在具有惯性导航系统的大型舰船上,前馈控制的自稳定应是最佳手段。

参 考 文 献

- [1] 光电捕获跟踪与瞄准技术论文选集. 成都: 中科院光电所, 1995
- [2] 李连升 编著. 雷达伺服系统. 北京: 国防工业出版社, 1990

Self-stabilization Control of Accurate Optics System Interference Velocity by Measurement Ship

Guo Lihong

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

This paper introduced the self-stabilization method of feedforward control in the measurement ship with inertial guidance system. It analysed interference velocity produced by measurement ship swing and gived experiment result. The method compared with the method of rate-gyro self-stabilization.

Key words: Self-stabilization, Interference velocity

郭丽虹 女, 1964 年 8 月出生。1986 年毕业于长春光机学院计算机软件专业。一直从事计算机软件设计及通讯接口设计工作。