

测量船准直式测角系统精度检测研究

Research on test precision of the collimation angle measuring system on the measuring ship

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 于萍时魁

YU Ping SHI Kui

摘要:采用发射光管与接收光管之间加入法线高精度旋转的平面反射镜的方法,使两个固定的光管间建立起动态联系,模拟了船体变形状态,实现静态测量光管在船下的精度检测。本文介绍了准直式测角系统的工作原理、平面反射镜法线旋转的检测原理,理论上分析了反射光线的旋转精度。检测结果表明,准直式测角系统的精度值 $\sigma=3.77''\leq 5''$,满足测量船上测量设备精度修正的要求。应用结果表明,该检测方法全面、准确反映出测量船体变形时准直式测角系统的测角精度,结构简单,成本低,适合工程实际需要。

关键词:发射光管;接收光管;法线旋转;平面反射镜

中图分类号: TP762

文献标识码: A

Abstract: Putting an plane reflector which can circumgyrate though its normal between the emission tube and the receiver tube can based an dynamic connection between the two fixed tubes. It also can simulate the distortion of the ship and measure the precision of the tube in static state. This article introduces the theory of collimation angle measuring system and analyses the circumgyrate precision of the reflex. The precision is $3.77''$ which can satisfy the demand of the measuring ship. The result indicates this method can give out the measure precision of the angle measuring system exactly, and be fit of the engineering demand by its simple structure and low cost.

Key words: emission tube; receiver tube; normal circumgyrate; plane reflector

1 概述

在某测量船上相距一定距离安装有雷达、惯导平台等各种测量设备,这些设备均需要以惯导平台提供的地平真北大地坐标作为基准。船在海上航行时由于载荷变化、风浪的作用、阳光对船不同方向照射及温差引起的船体膨胀、收缩均会导致船体变形,使测量船上各测量设备与惯导平台间会发生三自由度角偏移,为提高测量船上测量设备的测量精度,需要实时测出三自由度角偏移量并加以修正。由于测量船上各测量设备之间距离较远,因此采用非接触测量,在各测量设备间建立精密的光学联系,利用线阵 CCD 对光学狭缝成像,通过像位移量获得测量设备间相对变化量。

我国大型测量船的船体变形测量系统均采用了光学准直测量法,各测量设备与惯导平台间发生的任一自由度的角偏移量由发射光管与接收光管组成的准直式测角系统进行测量。在测量船的一个测量设备的基座上安装发射光管,在惯导平台的基座上安装与发射光管同光轴的接收光管,发射光管发出的光被接收光管接收,当船体发生变形时,船上各测量设备的基座与惯导平台间发生相对变形,使测量设备与惯导平台间产生一定的偏移角,发射光管的狭缝照射在接收光管中的 CCD 上的位置发生变化,同步实时测出由于船体变形在测量设备与惯导平台间产生的一个自由度的角偏移值,从而将船体挠曲的角度变化量,转化为光电信号在 CCD 靶面上的位置变化量,由高分辨率的线阵 CCD 器件对成像在靶面上的光电信号进行转换,并将获得的图像数据传送给中央控制台进行角度修正处理。由此可见,

准直式测角系统的测角精度直接影响测量船上测量设备的测量精度,所以,研究准直式测角系统精度检测方法是必要的。

检测准直式测角系统精度的方法通常采用多齿分度台、经纬仪等作为相对转动的测量基准,这种方法只能检测船体在准直式测角系统测量的这个方向上发生变形的精度,要想测出船体在所测量的垂直方向同时发生变形时准直式测角系统的测量精度,需要设计一套运动机构,使多齿分度台等角度测量设备沿垂直于旋转平面方向作上下位移运动,只有这样测得的精度值才能全面反映准直式测角系统的精度,但这样的结构设计太复杂,成本高,为了解决这个问题,本文采用发射光管与接收光管之间加入法线高精度旋转的平面反射镜,使发射光管与接收光管之间产生相对角度变化的方法,模拟船体变形状态,实现船下对准直式测角系统精度的检测。

2 准直式测角系统的测角原理

准直式测角系统由发射光管和接收光管组成,发射光管与接收光管相距一定的距离同光轴安装在被测设备的底座上。发射光管光源通过聚光镜照明狭缝,该狭缝位于望远物镜系统的焦面上,通过望远物镜,被照明的狭缝以平行光射出;接收光管的线阵 CCD 接收发射光管发出的平行光,当发射光管与接收光管的位置发生相对变化时,由狭缝所在的线阵 CCD 像元位置重心(指通光狭缝的亮带中心所在的象元位置)差测出角偏移量。如果船体只在所测量这一个方向上发生变形,线阵 CCD 中狭缝的位置在测量方向偏离起始位置,而与测量方向垂直的方向不发生变化;如果船体在与测量方向垂直的方向同时发生变形,线阵 CCD 中狭缝的位置与初始位置比较,在测量方向产生偏离的同时,在与测量方向垂直的方向也产生偏离,如图 1 所示。所以狭

于萍:副研究员

缝设计时长度方向较长,船体变形时狭缝长度方向的任一位置都有可能落在线阵 CCD 上参加角度输出。所以检测准直式测角系统的精度就是要检测狭缝长度方向的任一位置落在线阵 CCD 上的输出精度。

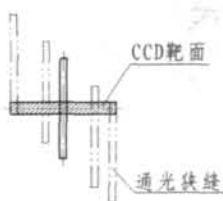


图1 通光狭缝与 CCD 靶面位置关系图

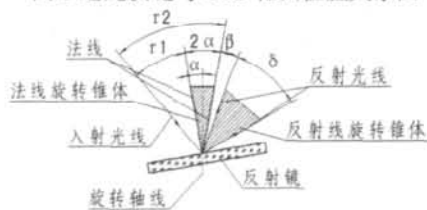


图2 反射镜反射特性示意图

3 精度检测及结果分析

3.1 检测的理论依据

为了提高船下检测准直式测角系统的测角精度与船上实际变形时的相符程度,同时使检测系统的结构设计简单,降低制造成本,根据平面反射镜入射角等于反射角的特性,设计一块平面反射镜,使其法线与旋转轴线成一夹角 α 安装。图2为反射镜反射特性示意图,当旋转轴线转动时,平面反射镜的法线以 2α 为顶角作圆锥转动;当发射光管发出的平行光线作为入射光线照射在平面反射镜旋转中心上固定不动时,反射光线以 $\delta=4\alpha$ 为顶角作圆锥转动,这个旋转的反射光线被接收光管接收,调整接收光管位置,使 CCD 上接收到的光线作圆周转动,这种转动的光线相当于发射光管与接收光管之间发生了相对位置变化,测出 CCD 上的变化角度与由旋转的反射光线推算出的 CCD 的变化角(作为真值)的差值,即为准直式测角系统在某一点处的测量精度,测量 n 个点,计算出 n 个点测量值的均方根值就是这个测量系统的精度。

3.2 精度检测方法

将平面反射镜的法线与电机旋转轴线成一夹角 α 安装,电机轴转角由编码器同步测量。调整发射光管位置,使其发出的光照射在平面反射镜旋转中心上,经平面反射镜反射后被接收光管的线阵 CCD 接收,当电机旋转时,平面反射镜的法线作圆锥转动,固定发射光管位置,调整接收光管位置,使反射光线在 CCD 接收面上作圆周转动,并且使反射光线在 CCD 上的行程比准直式测角系统的测量范围略大。这样可以使发射光管的狭缝长度方向不同位置与接收光管的 CCD 相交,从而模拟船体变形检测准直式测角系统的精度。

电机带动反射镜旋转一周,编码器旋转 360° ,发射光管发出的光经过平面反射镜后的反射光线也旋转一周。图3为反射光线转角与编码器转角关系示意图, α 为平面反射镜法线与电机轴的夹角,也就是与编码器轴的夹角,反射光线以 4α 为顶角转出一个圆锥, ζ 为反射光线由位置 a 转到位置 b 时经过的角度,就是反射光线在接收光管 CCD 上变化的角度,作为 CCD 应测出角度的真值, ε 为编码器轴由 a 位置转到 b 位置时转过的角

度。根据三角形关系变换得到 CCD 的真值与编码器值的换算关系式如下:

$$\sin 2\alpha \times \sin \frac{\varepsilon}{2} = \sin \frac{\zeta}{2} \quad (1)$$

接收光管的实测值 ζ' 与编码器转角折算到接收光管的角值 ζ (作为真值)取差值,求出均方根值,得出船体变形准直式测角系统的测量精度。

转动编码器轴,编码器转角 ε 与 CCD 测出的实际值 ζ' 通过计算机实时记录,由公式(1)可以计算出 ζ 的值, $\Delta = \zeta' - \zeta$ 即为船体变形测角系统在一点处的测量精度,测量 n 个点,计算均方根值

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}}, \text{即为准直式测角系统的测量精度。}$$

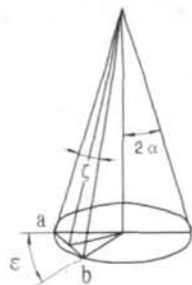


图3 反射光线与编码器转角关系示意图

3.3 CCD 的真值 ζ 的精度分析

由式(1)可见,影响 CCD 真值 ζ 精度的有 α 和 ε 两个影响因子, α 为固定的角度值,所以决定 ζ 值精度的只有编码器的测角精度 ε 。编码器旋转 360° ,反射光线在线阵 CCD 上移动两个测角范围,在实际测量中,准直式测角系统的测角范围为 $30'$,编码器旋转 $\varepsilon=360^\circ=21600'$ 时 $\zeta=60'$,也就是编码器的测量精度乘以 $60/21600=0.0028$ 因子为 CCD 真值的精度,选用 16 位的编码器,它的测角精度为 $40''$,则 ζ 的精度为 $0.11''$,测量船准直式测角系统的精度要求不大于 $5''$,所以 CCD 的真值 ζ 的精度对测量结果影响很小,完全满足要求。

3.4 检测结果及分析

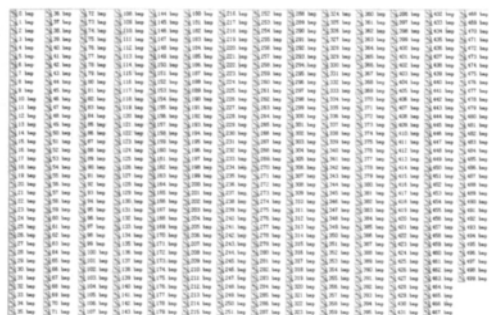
表1为反射镜法线与旋转轴线夹角 $\alpha=27'30''$ 时的一组准直式测角系统精度的检测数据。该准直式测角系统经过某测量船实际测试试验,检测数据与外场试验结果相符,此检测方法切实可行。

表1 检测数据

测量点	编码器值	理论 CCD 值 (作为真值)	实际 CCD 值	误差值 (u)	均方根值
1	323° 52' 51"	-9° 58.51"	-10° 3'	4.49"	σ=3.77"
2	323° 2' 33"	-9° 10.41"	-9° 17'	6.59"	
3	321° 53' 18"	-8° 4.14"	-8° 5'	0.86"	
4	320° 19' 35"	-6° 24.29"	-6° 36'	1.61"	
5	319° 21' 48"	-5° 39.01"	-5° 38'	-1.01"	
6	318° 12' 28"	-4° 32.33"	-4° 30'	-2.53"	
7	317° 11' 54"	-3° 34.43"	-3° 31'	-3.43"	
8	316° 15' 17"	-2° 40.11"	-2° 37'	-3.11"	
9	315° 41' 48"	-2° 7.98"	-2° 3'	-4.98"	
10	314° 45' 7"	-1° 13.87"	-1° 13'	-0.57"	
11	313° 58' 23"	-0° 28.72"	-0° 27'	-1.72"	
12	313° 28' 28"	0°	0° 0'	0"	
13	312° 49' 28"	0° 37.44"	0° 36'	-1.44"	
14	312° 5' 10"	1° 19.96"	1° 18'	-1.96"	
15	310° 58' 30"	2° 23.94"	2° 22'	-1.94"	
16	309° 32' 30"	3° 46.46"	3° 43'	-3.46"	
17	308° 28' 0"	4° 48.32"	4° 48'	-0.32"	
18	307° 59' 55"	5° 15.25"	5° 14'	-1.25"	
19	306° 21' 59"	6° 49.11"	6° 48'	-1.11"	
20	305° 48' 9"	7° 21.62"	7° 16'	-5.62"	
21	304° 43' 52"	8° 23.06"	8° 17'	-6.06"	
22	303° 30' 49"	9° 32.96"	9° 27'	-5.96"	
23	302° 40' 52"	10° 29.70"	10° 12'	-8.70"	

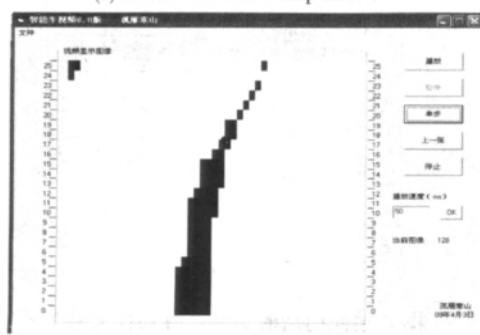
(下转第 108 页)

集的图像信息进行连续播放,得到小车的真正驾驶视野。这样为小车是如何脱离赛道、摄像头位置校正等提供了可靠依据。



(a) 黑白位图文件

(a) Black and white bmp files



(b) 驾驶视野

(b) Field view of driving

图5 提取的位图文件和动态显示画面

Fig 5 Black and white bmp files (a) & Field view of driving(b)

4 结束语

本文设计了一种精简的 FAT 文件系统,可移植于各类低端的微处理器系统,为获取实时海量数据,并借助上位机系统对获取的数据进行离线统计、分析提供了方法。该方案具有占用空系统空间小、运行效率高、海量数据存储、可移植于各种单片机系统的特点。经智能车系统的设计证明,该方案具有较强的应用价值。

参考文献

- [1]胡广书.数字信号处理理论、算法与实现[M].北京:清华大学出版社.2003.
- [2]黎小玉,卢博友,杨亮,等.基于 S3C2410 和 CF 卡的 FAT32 开发[J].微计算机信息,2008,5-2:135,184.
- [3]SD Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd. (MEI).SD Memory Card Specifications Part1 PHYSICAL LAYER SPECIFICATION-Version1.0[DB/OL].[2000-4-12].http://www.sdcard.org
- [4]应骏,江峰,李莉.嵌入式设备上的文件系统优化设计[J].计算机技术与应用,2007,(12):141-144.
- [5]吴怀宇,程磊,章政.大学生智能汽车设计基础与实践[M].北京:电子工业出版社,2008.

作者简介:汪玉凤(1962-),女(汉族),河北唐山人,教授,硕士生导师,主要研究方向:电力电子及自动化;章振海(1982-),男,浙江温州人,硕士研究生,主要从事嵌入式系统应用开发与数据分析等方面的研究工作;薛一鸣(1987-),男,本科生,从事通讯电力工程工作。

Biography:WANG Yu-feng (1962-), female, born in Tangshan Hebei, professor, supervisor, Research Direction: Power Electron-

ics and Automation.

(125105 辽宁工程技术大学) 汪玉凤 章振海

(100044 北京交通大学) 薛一鸣

(Liaoning Technical University, 125105, China) WANG Yu-feng
ZHANG Zhen-hai

(Beijing Jiaotong University, 100044, China) Xue Yi-ming

通讯地址:(125105 辽宁省葫芦岛市龙湾南大街 188 号辽宁工程技术大学电控研 08 级 1 班 94 号信箱) 章振海

(收稿日期:2009.11.11)(修稿日期:2010.02.11)

(上接第 113 页)

满足精度 $\sigma \leq 5''$ 的要求。

4 结论

采用发射光管与接收光管之间加入法线高精度旋转的反射镜的方法,使两个固定的光管间建立起动态关系,模拟了船体变形状态,检测出准直式测角系统的测角精度,其精度值 $\sigma \leq 5''$ 。测量结果全面反映出测量船体变形时准直式测角系统的测角精度,此检测方案切实可行,测量结果满足精度指标要求。该准直式测角系统随同某测量船参加海上试验,试验结果与船下检测值相吻合,此检测方法可以应用到工程实际中。

本文作者创新点:该种测量方法能准确反映测量船准直式测角系统的测角精度,为检测小角度、固定设备的动态测角精度提供了一种性价比较高的方法。

参考文献

- [1]张尧禹,李岩,于萍,等.新测量船船体变形测量系统的研究[J].测试技术学报,2006,20(12):244-247.
- [2]张尧禹,张明慧,乔彦峰.一种高精度非接触位置测量系统[J].光学精密工程,2002,10(1): 41-44.
- [3]薛乐常,刘廷霞,陈涛.舰载跟踪设备自稳定建横坐标旋转变换顺序研究[J].长春理工大学学报,2008,31(2):27-29.
- [4]朱昀昭,汪顺亨,缪玲娟,等.船体变形测量技术综述[J].船舶工程,2007,29(3): 58-61.
- [5]郑博睿,吴华等.圆锥扫描单脉冲雷达测角特性分析[J].微计算机信息,2008,8-3:p206-207
- [6]李岩,张尧禹,岳俊华.船体变形测量的新技术[J].光学精密工程,2008,16(11):2235-2238.

作者简介:于萍(1963-),女,吉林长春人,副研究员,主要从事光电测量设备的设计与研究;时魁(1982-),男,吉林长春人,研究生,主要从事光电测量设备的设计与研究。

Biography:YU Ping,female,was born in 1963, in Jilin Changchun, China. Now she is an assistant researcher, her interest is the design and research of equipment of photoelectricity measure.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 于萍 时魁

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China) YU Ping SHI Kui

通讯地址:(130033 长春市经开区东南湖大路 3888 号长春光学精密机械与物理研究所光电对抗部) 于萍

(收稿日期:2009.11.17)(修稿日期:2010.02.17)

欢迎投稿 欢迎订阅