

文章编号 1004-924X(2007)05-0719-06

# 电子罗盘在全自动智能陀螺寻北仪中的应用

林明春, 夏桂锁, 林玉池, 黄银国, 刘红星

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

**摘要:** 提出了一种电子罗盘取代人工实现粗寻北的方法。根据电子罗盘原理, 用 DSP 从电子罗盘串口实时采集系统与北方向的夹角值, 并根据所得角度值驱动系统指向粗北方向, 从而代替跟踪逆转点法实现陀螺仪粗寻北自动化。实验结果表明, 电子罗盘粗寻北系统提高了机械陀螺仪的粗寻北速度, 粗寻北时间由原来的 10 min 左右减少到 1.5 min 以内; 粗寻北精度可以达到  $30'$  以内, 满足了中天法精寻北要求。

**关键词:** 陀螺仪; 寻北方法; 电子罗盘; 粗寻北; 自动化

中图分类号: V241.5 文献标识码: A

## Application of electronic compass to all automated intelligent gyroscope north finder

LIN Ming-chun, XIA Gui-suo, LIN Yu-chi, HUANG Yin-guo, LIU Hong-xing

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** To improve the north-finding speed of the traditional mechanical gyroscope, a coarse north finding method through electronic compass is presented. Based on the principle of electronic compass, the angle values between the north and heading of the system are real time acquired through the digital port and serial port of the electronic compass using DSP processor, and the heading of the system is driven to the coarse north direction through the acquired angle values. The automatization of gyroscope coarse north-finding instead of the track reversion point way is achieved successfully. Experiments show that the time of coarse north finding is reduced from 10 min to 1.5 min, and the precision within  $30'$  can reach the requirement of precise north finding.

**Key words:** gyroscope; north finding ways; electronic compass; coarse north finding; automatization

## 1 引言

进入 21 世纪, 虽然不断有新型陀螺仪问世<sup>[1]</sup>, 然而要在近期完全取代传统光学机械陀螺

经纬仪并不可能, 尤其是在国内, 新型陀螺仪的发展比较缓慢, 与国外相比有很大一段距离。相对于新型陀螺仪, 传统的光学机械陀螺经纬仪技术成熟, 一次观测精度高, 在一次定向时间要求不高的情况下, 显示出独特的实用价值, 而且在某些特

收稿日期: 2006-10-21; 修订日期: 2007-03-18.

基金项目: 天津大学博士点基金资助项目 (No. 20030056017)

定要求高精度的场合,传统光纤机械陀螺经纬仪也有着不可取代的作用。在现代控制理念中,已经越来越多地强调减少对仪器的人为干预,加强仪器本身的自动化、智能化和自诊断能力。在现代寻北测量中,人们也正在致力于寻北智能化、自动化的研究。现阶段,国内的机械陀螺仪寻北大多还是应用跟踪逆转点法和中天法<sup>[2]</sup>。跟踪逆转点法寻北,操作人员劳动强度大、易疲劳,测量过程中对光标位置记录易产生误差,测量精度和速度都不十分理想,所以跟踪逆转点法一般在粗寻北时采用;而中天法测量精度高,观测具有省力、眼睛不易疲劳、观测者在观测过程中可以应付外界来往人员及其它突发因素的干扰等优点。但中天法只在一定的北方向角度范围内适用,否则此方法将失效,无法完成寻北过程。传统的寻北过程首先利用跟踪逆转点法粗寻北,然后再利用中天法精寻北,两种方法结合来完成整个寻北任务。本课题用到的 JT-15 型陀螺仪,精寻北周期为 8 min 左右,加上粗寻北所需总寻北时间将达到 25 min 左右。本文研究利用电子罗盘组成系统代替传统跟踪逆转点法来实现陀螺仪粗寻北,在电子罗盘系统所指示的粗北方向基础上,再用中天法进行精寻北,从而使总寻北时间缩短到 10 min 左右,而且实现了仪器的寻北自动化。

## 2 全自动智能陀螺仪的硬件组成

全自动智能寻北系统机械结构如图 1 所示。陀螺经纬仪和电子罗盘固定安装在同一旋转平台,采用步进电机<sup>[3]</sup>通过联轴器对旋转平台进行驱动,并经过减速比  $R=90$  的减速器实现平稳紧凑的传动。

全自动智能寻北系统结构如图 2 所示。把全自动测量系统放置于测量地点,系统上电自检,自检通过后开始自动调平,然后电子罗盘开始工作,测得的北方向信号输入给数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor),根据数据处理结果由复杂可编程逻辑器件 CPLD (Complex Programmable Logic Device) 通过驱动模块驱动步进电机,经回转系统,把陀螺经纬仪照准部往大致北方向靠近,如此反复,最终实现陀螺经纬仪粗寻北;陀螺经纬仪在粗北方向,通过陀螺下放装置下放陀螺仪灵敏部,同时反映陀螺灵敏部运动信息的

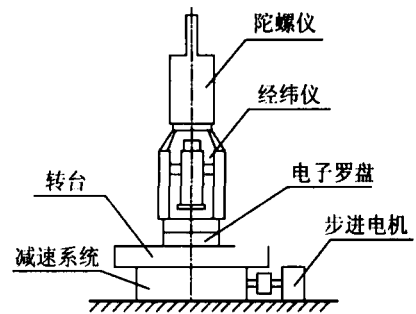


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 System architecture

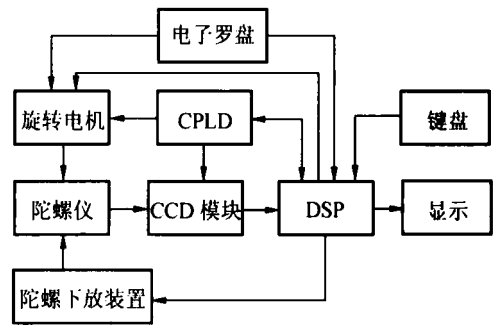


图 2 全自动智能寻北系统组成

Fig. 2 Structure of all automated intelligent north finder

光标信号通过陀螺经纬仪的光路系统成像,光标像由 CCD (电荷耦合器件) 采集模块接收,通过 CCD 的光电转换,光标信号由光信号转变为反映光强的电压信号。电压信号为模拟信号,通过 A/D 转换芯片转换得到数字信号,然后数字信号处理器 DSP 对输入的数字信号进行预处理和寻北运算,最后再把运算结果送到显示模块。键盘输入为人机接口模块,通过对其控制可以实现所需的各种操作。

## 3 电子罗盘

### 3.1 电子罗盘<sup>[4]</sup>

本系统所应用的罗盘为美国 KVH 公司生产的 C100 电子 (数字) 罗盘,具有体积小、价格低、性能稳定可靠等特点。它采用磁通门技术,定向精度可达到  $0.5^\circ$  以内,分辨率为  $0.1^\circ$ ,通过其数字接口,可提供地球磁场  $X$ 、 $Y$  轴的水平分量,其本身采用铝壳封装,工作温度  $-40^\circ\text{C} \sim +65^\circ\text{C}$ 。

内置的自动校准软件,可提供对磁场变化而引起的误差进行修正。

### 3.2 KVH C100 的接口介绍

C100 提供了多种接口供用户使用。包括串口(Serial Port)、数字口(Digital Port)、模拟口(Analog Port)、电源输入(Power Inputs)。

C100 的数字口提供三路信号线与外部处理器进行通信,分别是时钟信号 Clk, 数据信号 Data, 选通信号 Strobe。数字口有两种工作模式,一种是连续模式,另一种是触发模式。在连续模式下,时钟信号 clk 与数据信号 Data 以固定的刷新率 10 Hz 输出信号;而在触发模式下,时钟信号与数据信号的输出由选通信号 Strobe 的下降沿来触发。

C100 串口提供两根信号线及一根地线,分别是 RXD、TXD、Ground。C100 串口可以直接与 PC 机标准串口进行通讯,通过 KVH 提供的软件对 C100 进行参数设置和电子罗盘的标定。C100 串口接收和发送的都是 NMEA 0183 标准<sup>[5]</sup>的 ASCII 码。

本文通过 C100 串口与 DSP 处理器进行通讯。

### 3.3 罗盘标定

C100 提供了三种校准方法<sup>[6]</sup>: 八点校准法、三点校准法和旋转校准法。本文采用旋转校准法。

把电子罗盘至于水平面,花至少 1~2 min 的时间将其缓慢旋转一周。当罗盘内部单元收集到足够的数时,校准软件提示罗盘正在计算校准系数。当校准完成后,软件可显示校准积分(Score)和磁环境数(Magnetic Environment Count)。积分表示校准质量,是 0~9 内的数字,0 表示校准质量最差,9 表示校准质量达到最佳状态。如果积分值  $\leq 7$ ,为了达到理想的精度需要重新校准罗盘。

## 4 陀螺仪粗寻北模块设计

JT-15 是一种吊丝上架式陀螺仪<sup>[7]</sup>,测量方法多采用跟踪逆转点法和中天法。如果用跟踪逆转点法寻北,则要求操作人员技术熟练,劳动强度大,且受客观条件限制,分散性较大;若应用中天法,则需要首先粗寻北,在粗寻北基础上才能应用

中天法精寻北,寻北时间将达到 25 min 左右。应用电子罗盘粗寻北,然后用中天法进行精密寻北,即可以保证寻北精度,又可以缩短寻北时间。

### 4.1 自动粗寻北的实现

系统在任意水平方向下,电子罗盘根据其原理识别出系统所指方向与北方向的夹角并通过接口输出角度值。由微处理器 DSP 采集电子罗盘输出的角度值,进行各种判断、处理;同时 DSP 发出指令给回转系统,驱动总系统往粗北方向靠近,如此反复,从而实现粗寻北。电子罗盘粗寻北自动控制系统<sup>[8]</sup>如图 3 所示。

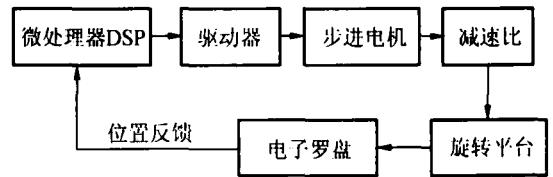


图 3 电子罗盘粗寻北控制系统结构

Fig. 3 Control system of electronic compass coarse north finder

数字控制器可以根据电子罗盘输出的位置信息变化的快慢来决定步进电机的运转速度。

陀螺经纬仪和电子罗盘固定在转台上,通过连轴器,采用步进电机驱动,并经过减速比  $R=90$  的减速器连接到从电机到转台的机械传动系统上。

### 4.2 电子罗盘数据采集

图 4 是 DSP 与 KVH C100 电子罗盘串口通讯<sup>[9]</sup>的控制电路示意图。电子罗盘偏离北向角度值通过 RXD 引脚以 NMEA0183 标准的 ASCII 码形式输出。NMEA0183 语句由 19 个字节组成,信号通过 RS232 电平转换后,由 DSP 的 RX 引脚采集。DSP 通过串口每采集一个角度值,需要连续采集 19 个字节,每个字节最高位为 0,低 7 位为 ASCII 码。在传输过程中,每个字节加上一个开始位和一个停止位,一共为 10 位。数据采集由 DSP 的异步串口中断子程序来完成,每一次中断采集一个字节,每次角度值读数需要 19 个异步串口中断。然后对采集到的 NMEA0183 格式的数据进行拆分,提取其中的角度值,进行分析比较,进而控制回转系统,从而达到粗寻北自动化的目的。

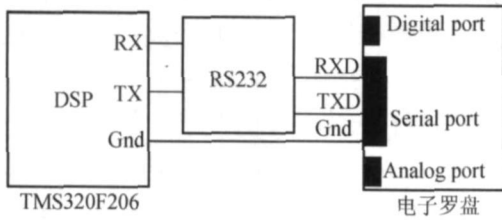


图 4 DSP 与 C100 接口

Fig. 4 Interface of DSP and C100

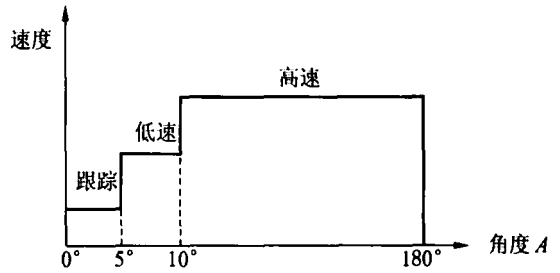


图 6 控制区分类示意图

Fig. 6 Fields of control speed

### 4.3 粗寻北转台方向和速度控制

粗寻北转台方向和速度由步进电机决定,而步进电机的控制及电子罗盘数据的采集由数字信号处理器 DSP 和复杂可编程逻辑器件 CPLD 完成<sup>[10]</sup>。如图 5 所示,数字信号处理器 DSP 通过 IO<sub>2</sub> 控制步进电机旋转方向,通过 IO<sub>0</sub>, IO<sub>1</sub> 控制复杂可编程逻辑器件 CPLD 达到控制步进电机速度的目的。

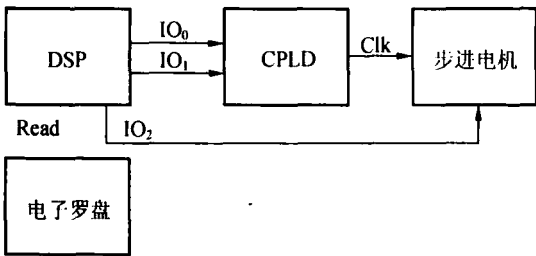


图 5 电子罗盘反馈控制电机示意图

Fig. 5 Control of step motor through feedback of electronic compass

设电子罗盘读数,也即陀螺经纬仪照准部与真北方向角度偏差值为  $A$ , 针对系统的控制要求,控制系统应遵循的控制规则为:当  $A$  较大时,要求控制作用快速、灵敏;当  $A$  较小时,要求控制作用平稳、缓慢;当陀螺经纬仪照准部与真北方向角度偏差值接近电子罗盘所指示的粗寻北角度时,要求系统进行位置跟踪。将整个控制过程根据陀螺经纬仪实际转过的角度分为 3 个控制区<sup>[11]</sup>:高速区、低速区和跟踪区。如图 6 所示,当  $0^\circ < A \leq 5^\circ$  时,回转控制系统运行在跟踪区,此时转台转速为 0.04 r/min;当  $5^\circ < A \leq 10^\circ$  时,回转系统运行在低速区,此时转台转速为 0.31 r/min;当  $10^\circ < A \leq 180^\circ$  时,回转系统运行在高速区,此时转台转速为 1.22 r/min。

### 5 实验及数据处理

实验一:电子罗盘自动粗寻北系统粗寻北的可靠性和稳定性实验。

把系统照准部分别置于顺时针和逆时针方向  $30^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $179^\circ$  的方位进行自动粗寻北实验,具体操作过程如下。

把系统照准部对准电子罗盘指示为  $0^\circ$  的位置;利用系统中 JT-15 型陀螺经纬仪,通过跟踪逆转点法结合中天法确定真北方向,并旋转陀螺经纬仪照准部使其对准真北方向,此时电子罗盘和陀螺经纬仪所指方向即为真北方向。利用转台系统把系统照准部转到初始方位为  $A$  (该值由电子罗盘读出) 的角度位置,然后启动自动粗寻北系统,系统照准部自动回转到粗北方向;在该粗北方向利用陀螺经纬仪自动精寻北系统进行精寻北,即可得出粗寻北精度(进行两次精寻北测试,取平均值)。按此方法,依次在顺时针和逆时针方向  $30^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $179^\circ$  处进行实验,每个角度位置重复五次,从而验证电子罗盘自动粗寻北系统粗寻北的可行性和稳定性。实验数据如表 1、表 2 所示。

表 1 顺时针不同方位的粗寻北精度(单位: ( ' ) )

Tab. 1 Precision of coarse north finding in different clockwise orientations (Unit: ( ' ) )

起始方位 $A$	顺时针			
	30°	75°	150°	179°
实验次数				
1	1.671	- 4.435	- 16.829	- 0.078
2	18.157	- 9.889	0.743	10.924
3	16.130	- 5.794	- 23.887	- 7.102
4	- 19.652	- 9.959	- 5.706	- 27.981
5	- 7.020	- 22.457	- 26.523	- 14.365
绝对值均值	12.526	10.507	14.738	12.090

表2 逆时针各角度位置粗寻北的精度(单位:('))

Tab. 2 Precision of coarse north finding in different anticlockwise orientations (Unit: ('))

实验次数	逆时针			
	30°	75°	150°	179°
1	11.834	-9.884	-2.477	9.558
2	-4.945	6.909	24.373	0.352
3	-2.688	-3.236	-11.813	12.199
4	-6.812	9.971	-7.667	13.671
5	3.859	-4.664	14.407	9.476
绝对值均值	6.028	6.933	12.147	9.051

通过实验可以看出粗寻北最大误差是  $-27.981'$ , 而中天法适用误差范围是  $\pm 30'$ , 完全符合粗寻北精度要求。

实验二: 电子罗盘自动粗寻北系统粗寻北时间测定实验。

## 参考文献:

- [1] 张文博, 范大鹏, 张智永, 等. 光电稳定跟踪装置中微机电陀螺应用研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4): 689-696. ZHANG W B, FAN D P, ZHANG ZH Y, et al.. Research on application of MEMS gyro to servo system for E-O stabilization and tracking devices[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4): 689-696. (in Chinese)
- [2] 林玉池, 孙占元, 赵美蓉, 等. 中天法在陀螺智能寻北系统中的应用研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(8): 116-119. LIN Y CH, SUN ZH Y, ZHAO M R, et al.. Application and research of transmitt method in intelligent north finding gyroscope system[J]. *J. Mech. Eng.*, 2003, 39(8): 116-119. (in Chinese)
- [3] 李开龙, 魏彪, 米德伶, 等. 基于FPGA的工业X\_CT2代扫描运动控制卡设计[J]. 光学精密工程, 2005, 13(增): 168-172. LI K L, WEI B, MI D L, et al.. Design of the 2<sup>nd</sup> generation scanning motion control card based on FPGA for industrial X-CT[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(supp.): 168-172. (in Chinese)
- [4] RACZ R, SCHOTT C, HUBER S. Electronic compass sensor[J]. *Proceedings of IEEE* 24-27, 2004, 3: 1446-1449.
- [5] CHIH-YEH K. Virtual instrumentation based system in a real time applications of GPS/GIS[C]. *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Space Technologies (IEEE Cat. No. 03EX 743)*, 2003: 403-8.
- [6] RUSS R. Testing and field calibration procedure for the KVH C100 compass[R]. Space and Subsea Robotics Lab., University Victoria, 2001.
- [7] 郭喜庆, 武克用. 新型陀螺经纬仪的研究与应用[J]. 光学精密工程, 2001, 9(2): 182-185. GUO X Q, WU K Y. New type gyro theodolite and its applications[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(2): 182-185. (in Chinese)
- [8] 黄令龙, 郭阳宽, 蒋培军, 等. 高精度伺服转台控制系统的设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(8): 1054-1056. HUANG L L, GUO Y K, JIANG P J, et al.. Control system for high precision turn table[J]. *J. Tsinghua Univ.*, 2004, 44(8): 1054-1056. (in Chinese)
- [9] YEARY M B, FINK R J, BECK D, et al.. A DSP-based mixed signal waveform generator[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2004, 53(3): 665-671.
- [10] 朱明, 鲁剑锋, 胡硕. 采用DSP的电视测量跟踪器的研制[J]. 光学精密工程, 2005, 13(增): 232-235.

通过转台速度控制方案及实际测试, 当初始位置在偏离真北方向最大角度即  $+180^\circ$  或者  $-180^\circ$  时进行自动粗寻北, 其粗寻北时间大约为 1.189 min. 采用传统逆转点粗寻北需要启动陀螺仪、制动陀螺仪、半个陀螺寻北周期进行跟踪, 加起来大约需要 10 min 多, 而且对操作人员要求很高。

## 6 结论

综上所述, 本文设计的电子罗盘自动粗寻北系统完全可以取代传统的逆转点粗寻北方法。粗寻北精度可以达到  $\pm 30'$  以内, 寻北时间为 1.5 min 以内。该项设计为全自动陀螺经纬仪的实现奠定了基础。

ZHU M, LU J F, HU S H. Development of TV measuring and tracking system by using DSP [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(supp.): 232-235. (in Chinese)

[11] 过润秋, 林晓春, 鲍建跃. 基于模糊控制的自动回转控制系统[J]. 西安电子科技大学学报, 1999, 26(94): 10-16.

GUO R Q, LIN X C H, BAO J Y. Study of the automatic rotary control system based on fuzzy control [J]. *J. Xidian Univ.*, 1999, 26(94): 10-16. (in Chinese)

作者简介: 林明春(1977-), 男, 江西石城人, 现在天津大学攻读博士学位, 主要研究方向为光电测控与视觉检测技术的研究。E-mail: Archan.Lin@gmail.com