文章编号 1004-924X(2007)07-1064-06

陀螺仪灵敏部自动升降的控制

夏桂锁,周晶晶,林玉池,林明春,黄银国
(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:设计了一种吊丝陀螺自动升降系统。采用数字信号处理器(DSP)控制直线步进电机,实现陀螺仪灵敏部的自动升降,完成了相关软硬件的设计,代替了传统的需要人工手动操作的凸轮装置。在陀螺自动升降的稳定性实验中,当脉冲频率为 26～40 Hz 时,陀螺运行稳定,摆动角度约为 94～210″;当脉冲频率为 33 Hz 时,陀螺下放及寻北效果最好,摆动角度约为 105～147″。在与人工手动操作的对比实验中,采用直线步进电机的自动升降系统运行稳定、重复率低、操作简单。实验结果表明:该自动升降系统具有较高的稳定性,并可以有效缩短寻北时间和提高寻北精度,对陀螺仪的自动寻北具有现实意义。

关 键 词:陀螺经纬仪;直线电机;自动升降;自动控制
中图分类号:P213;U666.123 **文献标识码**:A

Control for automatic rising-lowering of gyroscope

XIA Gui-suo, ZHOU Jing-jing, LIN Yu-chi, LIN Ming-chun, HUANG Yin-guo

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

Abstract: The automatic rising-lowering system of a hanging gyroscope is designed, in which linear motor controlled by the DSP (Digital Signal Processing) is adopted to automatically rising-lowering the sensitive components of the gyroscope instead of the traditional cam gear manipulated by manpower, and the relevant software and hardware are also designed. In the determination of stability, when the pulse frequency is 26～40 Hz, the gyroscope runs stably and the unilateral swing is 94～210″, when the pulse frequency is 33 Hz, the stability of lowing the gyroscope and north-finding effect are best and the unilateral swing is 105～147″. In the comparative experiments between automatic rising-lowering system and traditional manual operation, the automatic rising-lowering system shows its high stability, low repeat and simple operation. The experiment results indicate that the automatic rising-lowering system has a high stability, and can shorten the north-finding time and improve the precision of north-finding.

Key words: gyroscope; linear motor; automatic rising-lowering; automatic control

收稿日期:2006-07-23;**修订日期**:2007-03-21.
基金项目:天津大学博士点基金资助项目(No. 20030056017)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　引　言

陀螺经纬仪是一种能够实现自主定向的精密测试仪器,广泛用于军事、测绘、矿山开采等领域。新式全自动陀螺经纬仪被发达国家所垄断,国内的陀螺经纬仪寻北时大多采用人工测量,既影响测量精度,又无法满足现代科技发展的需求。为了实现全自动陀螺经纬仪的国产化,本课题围绕陀螺寻北仪全自动化过程中的关键技术问题展开研究。

现阶段国内陀螺经纬仪的数据采集和处理已经实现自动化[1],但陀螺仪灵敏部的下放多由人工手动进行。陀螺仪灵敏部下放是陀螺仪精密测量真北的关键步骤之一,传统的人工手动操作不仅工作效率低,而且稳定性差,因此有必要对陀螺经纬仪的陀螺灵敏部下放进行改进研究[2-3]。国外陀螺仪自动化研究方面已经远远走在我们前面,如日本索佳公司生产的 AGP-1 型全自动陀螺经纬仪,寻北时间 10 min 时,最高精度可达 6″,寻北时间为 2 min 时,精度为 32″。但国外此类先进技术对中国进行封锁,即使能够买到先进的产品,价格也非常昂贵。本研究基于徐州光学仪器厂生产的 JT-15 陀螺经纬仪,对陀螺仪的机械结构进行改造,并设计完成了自动升降系统。系统采用 DSP 产生直线电机运行所需要的脉冲与方向信号,控制直线步进电机代替传统陀螺仪中的凸轮装置实现陀螺仪灵敏部的自动升降,电机速度由脉冲频率控制[4-5]。限位系统将电机运动的位置反馈给 DSP 处理模块,从而控制电机的运行与停止。

2　陀螺寻北原理

JT-15 型陀螺仪属于传统刚体转子陀螺仪。刚体转子陀螺仪的核心部分是一个绕自转轴(又称陀螺主轴或转子轴)高速旋转的刚体转子。陀螺仪的转子采用陀螺电动机驱动,绕自转轴高速旋转,转速可达每分钟几千转至几万转。作为刚体转子陀螺仪的基本特征,它的转子绕自转轴高速旋转时具有一定的角动量,这样才能得到所需的陀螺特性。由于地球不断地由西向东转动,对惯性空间来说,悬挂陀螺仪地点的重力方向不断改变,而陀螺仪系统的重心又在悬挂点之下,重力将迫使陀螺轴维持在水平方向,相当于有外力不断地翻倒陀螺,这样总有一个指向北方向的外力矩(重力矩)作用在陀螺上,陀螺的动量矩按最小夹角方向向外力矩方向进动,陀螺轴就寻北了。

由机械光学陀螺仪的特点,在每次陀螺仪寻北时,需要将陀螺仪灵敏部从锁紧状态下放。现在国内大多的机械陀螺仪还是由人工手动下放,存在陀螺灵敏部摆动角度的大小和摆动稳定性都非常难以控制的问题。由直线步进电机控制灵敏部自动下放,可以有效控制陀螺寻北过程中的摆动角度,并且能够增强陀螺在摆动过程中的稳定性[6]。

图 1 所示为没有加直线电机前的结构。本课题的改造是将电机安装在凸轮的正下方,代替凸轮机构控制灵敏部底座的运动,从而托起和下放陀螺。

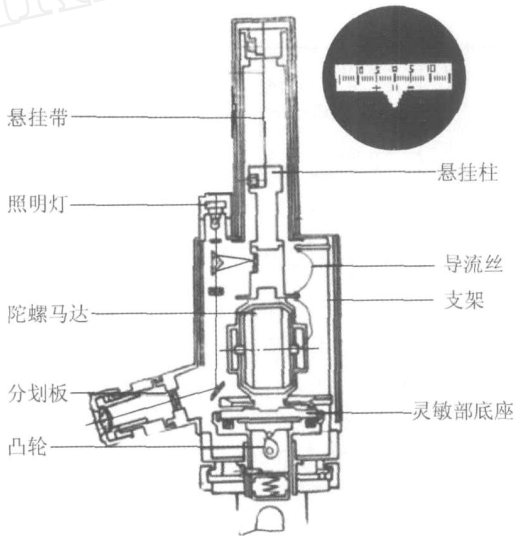


图 1　陀螺仪基本结构

Fig. 1　Basic structure of gyroscope

3　自动升降系统设计方法

3.1　直线电机原理

直线步进电机简称 LPM,是一种能将电脉冲信号转换成线位移的机电元件,实质上是一种数字/角度转换器。当这种电机外加一个电脉冲时,就会直线地运动一步并准确地锁定在所希望的位置上。步进电机控制系统主要由步进控制器及步

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

进电机等组成。步进控制器由缓冲寄存器、环形分配器、控制逻辑及正、反转控制门等组成,能把输入的脉冲转换成环形脉冲,以便控制步进电机,并能进行正反向控制。自动升降系统中,电机正向运动控制陀螺的托起过程;反向运动控制陀螺的下放过程[7]。

3.2　电机控制电路设计

文中研究的陀螺经纬仪自动升降系统基于数字化的陀螺智能寻北系统[8]。文献[8]中,光标信号通过智能寻北系统的处理,实现了读数的自动化[9];本文中,直线电机控制系统实现了陀螺升降的自动化。控制直线电机驱动器的脉冲和方向信号由 DSP 处理模块产生[10],直线电机的运行带动陀螺仪灵敏部的托起与下放。同时光电开关检测直线电机的运行情况,通过光电耦合器平滑电路,将位置反馈信号再送到 DSP 处理器。DSP 处理器根据反馈信号控制电机的运行与停止。直线电机控制电路如图 2 所示:

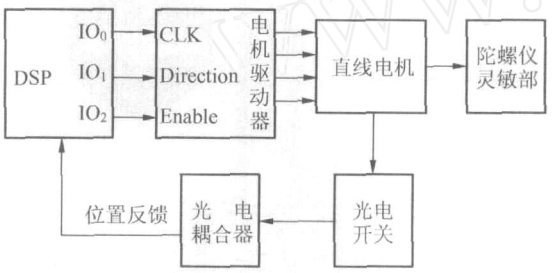


图 2　电机控制电路示意图

Fig. 2　Control circuit of motor

IO_0 控制电机脉冲频率(CLK)、IO_1 控制运行方向(Direction)、IO_2 控制电机使能(Enable),IO_0-IO_3 通过寄存器 ASPCR 和 IOSR 进行软件编程控制,ASPCR 的低四位设置输入/输出(0 为输入、1 为输出),IOSR 低四位读/写 IO 数据。本系统中,直线电机步长为 0.003 175 mm,电机采用半步控制。

3.3　电机控制软件设计

系统软件程序功能的主要任务是控制步进电机的启动,按顺序发出控制命令,判断步进电机是否到达极限位置,控制步进电机的转向和运行速度的变化等。

3.3.1　位置控制

所谓位置控制是指步进电机带动执行机构能够实现从一个位置到另一个位置的准确控制。一般需要两个参数:一是步进电机控制的执行机构和当前的位置参数,即绝对位置;另一个是运动距离。根据实际运行距离,结合步进电机的相关参数,可以得出所需走的步数。自动升降系统中位置控制有两种方法,其一是脉冲数;其二是光电开关反馈信号。电机运动距离由脉冲数和光电开关反馈信号综合控制,以保证系统的冗余。电机在执行托起或下放动作时,DSP 只分配给电机驱动器一定数量的脉冲,当达到这个脉冲数时,即使反馈电路没有发出位置信号,电机也将停止。反之,DSP 接收到光电开关的位置反馈信号时,停止发送脉冲。在机械设计方面,也考虑到了对电机的限位,电机工作行程约为 5 mm。

3.3.2　速度控制

控制步进电机的运行速度,实际上就是控制系统发出步进脉冲的频率或换相周期。在本系统中,电机只需低速运行,远远没有达到电机最大空载启动转速(本系统中,电机驱动器接收的最大脉冲频率为 300 Hz),所以电机在托起或下放过程中不会涉及到失步及抖动等现象。灵敏部托起过程电机运行尽量快的速度,在本系统中脉冲频率为 300 Hz。而在下放过程中,速度控制是按以下方式设计的:根据速度的需要,将下放过程中发送脉冲的频率划分为三个控制区:高频区、低频区和高频区。DSP 在一次陀螺仪灵敏部下放过程中最多发送 3 300 个脉冲给电机驱动器,设脉冲数目为 n,下放过程中脉冲的频率分布如下:$0 < n \leq 1\,000$,脉冲的频率为 200 Hz;$1\,000 < n \leq 2\,000$,脉冲的频率为 33 Hz;$2\,001 < n \leq 3\,300$,脉冲的频率为 200 Hz。陀螺灵敏部与底座从接触到脱离的一段行程要求控制速度(脉冲频率在 26～40 Hz),以限制摆幅的大小和控制摆动稳定性,另外的行程可适当加快电机运行速度,以节省系统运行时间[11-12]。

图 3 是电机控制程序的流程图,直线电机控制程序是使用 C 语言和汇编语言混合编程的方法实现的。

4　实验及数据处理

4.1　自动升降系统稳定性实验

利用具有智能化功能的机械光学式陀螺仪做

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

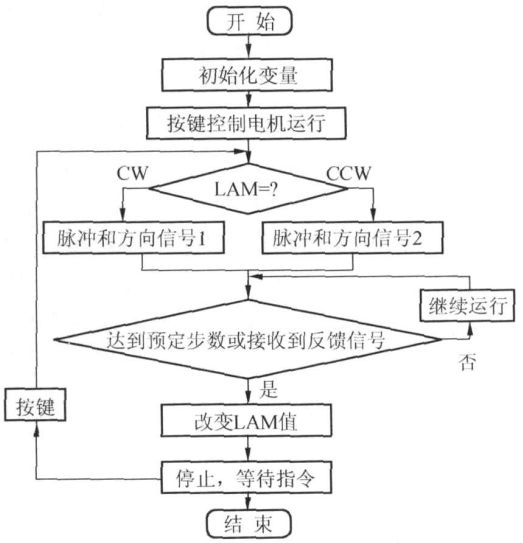


图 3　电机控制程序流程图

Fig. 3　Flow chart of control program for motor

如下陀螺自动下放实验。

(1) 将陀螺仪固定在一个位置,做三次下放,观察摆幅的标准偏差分布;

(2) 将陀螺经纬仪转动一个角度,重复步骤(1);

(3) 重复步骤(2)。

表 1 给出了摆幅大小的实验数据。本实验是在脉冲频率为 33 Hz 的情况下进行的。

表 1　陀螺自动升降的稳定性实验

Tab. 1 Stability experiments of automatic rising-lowering gyroscope

项目 / 位置	测回	摆动角度	均值	标准偏差
北偏东 6′	1	116.28′		
	2	137.45′	127.37′	10.62′
	3	128.38′		
向西偏转 3′	1	139.32′		
	2	124.06′	133.59′	8.31′
	3	137.39′		
向西偏转 3′	1	153.12′		
	2	136.82′	135.86′	17.77′
	3	117.61′		
向西偏转 3′	1	131.72′		
	2	118.26′	119.76′	11.31′
	3	109.25′		
向西偏转 3′	1	141.07′		
	2	138.47′	138.72′	2.24′
	3	136.62′		

自动升降系统控制陀螺灵敏部自动运行,结果比较稳定,电机控制下放的标准偏差最大不超过 20′,不会出现摆动角度过大或过小而必须锁紧陀螺重新下放的情况。JT-15 陀螺仪应用中无法进行寻北时,摆动角度在 105～168′范围内为最佳。从实验结果可以看出,用电机下放陀螺可以达到这个要求。通过观察发现,陀螺在摆动过程中的章动也比手动下放小得多,因为系统控制的电机速度较之人手平稳得多。

改变电机运行的速度,可以随意控制陀螺灵敏部摆动角度的大小。但是发送给电机驱动器的脉冲频率 > 50 Hz 时,灵敏部摆动时的章动明显增大。实验表明,当脉冲频率在 26～40 Hz 时,摆动及陀螺寻北都可以达到较好的效果,陀螺运行稳定,摆动角度为 94～210′。电机托起的速度没有严格的要求。

4.2　自动升降系统与人工手动下放的对比实验

本研究设计的自动升降系统中保留了陀螺仪用于手动升降的凸轮装置。利用仪器做如下的下放对比实验。

(1) 将陀螺仪固定在一个位置,用自动升降系统下放陀螺,记录完成下放时间,观察稳定性;

(2) 仪器位于同一位置,由具有多年使用经验的人手动下放陀螺,记录完成下放时间及重复下放次数;

(3) 现场指导没有用过此类仪器的人手动下放陀螺,记录完成下放时间及重复下放次数。

试验结果如表 2 所示。表 2 中,“是否需要重复”是指在下放过程中是否会出现陀螺灵敏部摆动角度过大或过小而需要将陀螺灵敏部托起重新下放的情况。只要是人工操作就不可避免地会出现重新下放的情况。重复率是指每次下放需要托起灵敏部而重新下放的次数。熟练操作人员每三

表 2　自动升降系统与人工手动下放的对比实验

Tab. 2. Comparative experiments between automatic rising-lowering system and traditional manual operation

下放方式 / 项目	自动升降系统	熟练操作人员	非熟练操作人员
下放次数	10	20	20
平均完成时间(s)	30.26	45.68	200.74
是否需要重复	否	是	是
重复率	0	0.33	2.48
摆角的标准偏差	11.81′	25.69′	40.58′

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

次会出现一次重新下放,而非熟练人员则要多得多。在本实验中,当摆动角度 < 60′或 > 300′时,必须重新下放,因为在 JT-15 陀螺仪的使用规程中,超出这个范围被认为不适宜寻北。表中摆角的标准偏差都是灵敏部摆动在合适的摆角范围内求得的。可以看到,采用直线步进电机自动升降系统升降陀螺,运行稳定、重复率低、操作简单,提高了仪器的智能化与自动化。

5 结　论

本文的研究实现了陀螺仪灵敏部下放的自动控制。设计了基于 DSP 的步进电机控制电路,编写了自动下放系统的控制程序,并利用下放系统进行了陀螺下放稳定性实验及与人工操作的对比实验。实验表明,陀螺自动升降系统可以控制陀螺灵敏部摆角在最佳的范围之内,以 JT-15 陀螺仪为样机,当脉冲频率在 26～40 Hz 时,摆动角度约为 94～210′;尤其是当脉冲频率为 33 Hz 时,陀螺下放及寻北效果最好,摆动角度约为 105～147′。运行稳定、操作简单,提高了仪器的智能化与自动化。说明自动升降系统应用到寻北测量中可以起到很好的效果,对陀螺的自动化寻北具有现实意义。

参考文献:

[1] 林明春,赵美蓉,孙占元. 改进型陀螺经纬仪提高读数精度方法的研究[J]. 光电子 ·激光,2003,14(9):1008-1010.
LIN M CH, ZHAO M R, SUN ZH Y. Study of improving the read precision of advanced gyroscope[J]. *Journal of Optoelectronics ·Laser*, 2003, 14(9): 1008-1010. (in Chinese)

[2] 朱荣生,李嵘,白洁雁. 全姿态动调陀螺定北仪研究[J]. 上海航天, 2002(6):40-42.
ZHU R SH, LI R, BAI J Y. The research of a dynamic tuned gyro north positioning equipment[J]. *Aerospace Shanghai*, 2002(6):40-42. (in Chinese)

[3] ZHONG P, JIN G, LIU YB. Design of a novel testing system for measuring dynamic drift of gyroscope[J]. *Optical Technique*, 2004, 30(1): 61-64.

[4] 节德刚,刘延杰,孙立宁,等. 一种宏微双重驱动精密定位机构的建模与控制[J]. 光学 精密工程,2005, 13(2):171-178.
JIE D G, LIU YJ, SUN L N, *et al*. Modeling and control of a macro-micro dual-drive ultra-precision positioning mechanism[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(2): 171-178. (in Chinese)

[5] 孙荣春,关宏伟,徐抒岩. 滚动 H∞控制方法在非对称约束系统中的改进算法[J]. 光学 精密工程,2005,13(增): 191-195.
SUN R CH, GUAN H W, XU SH Y. Improved moving horizon H-infinity control scheme for asymmetric constrained systems[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(supp): 191-195. (in Chinese)

[6] SINGH A K. Vibrating structure piezoelectric hollow cylinder gyroscope[J]. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 2005, 12(1): 7-11.

[7] 杨莉,魏萍. 基于单片机控制的步进电机转速控制系统[J]. 南昌工程学院学报, 2005, 24(2):77-79.
YANG L, WEI P. Speed control system with stepping motor by the microcomputer[J]. *Journal of Nanchang Institute of Technology*, 2005, 24(2): 77-79. (in Chinese)

[8] 孙占元,林玉池,赵美蓉,等. DSP 便携式陀螺仪智能寻北系统[J]. 航空精密制造技术, 2002, 38(6):31-33.
SUN ZH Y, LIN Y CH, ZHAO M R, *et al*.. DSP carry-home intelligent north-finding gyroscope system[J]. *Aviation Precision Manufacturing Technology*, 2002, 38(6): 31-33. (in Chinese)

[9] JIAO J W, HAN M, WANG X L, *et al*.. A digital demodulation solution to achieve stable driving for a micro-machined gyroscope with an AGC mechanism[C]. *Proceedings of the IEEE Sensors*, 2004, 1(04*CH*37603): 429-432.

[10] GOMA R, DAMM G R, NKWAWO H, *et al*.. Real-time implementation of an adaptive nonlinear control for synchronous machines[C]. 2004 *First International Symposium on Control, Communications and Signal Processing*, 2004: 455-460.

[11] FRATTOLILLO A. Simple automatic device for real time sampling of gas production by a reactor[J]. *Review of*

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Scientific Instruments, 2006, 77(6): 065-108.

[12] 张智永,范大鹏,范世←. 光电稳定跟踪装置的控制系统设计[J]. 光学 精密工程,2006,14(4):681-688.
ZHANG ZH Y, FAN D P, FAN SH X. Servo system design for E-O stabilization and tracking devices[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4): 681-688. (in Chinese)

作者简介:夏桂锁(1978 -),男,博士研究生,主要从事现代寻北测量方法及寻北自动化方面的研究。E-mail:xiaguisuo@163.com

周晶晶(1982 -),女,硕士研究生,主要从事无线传感网络及寻北仪器自动化方面的研究。

林玉池(1946 -),男,博士生导师,从事光电测控与视觉检测技术、现代传感与测试信息技术等方面的研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net