

动调陀螺高精度温度控制系统研究

Research on high precision temperature control system of dynamically tuned Gyroscope

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;

2.中国科学院研究生院;3.空军第三飞行学院) 李建荣^{1,2} 赵雁¹ 王志乾¹ 朱立民³ 刘航^{1,2}

LI Jian-rong ZHAO Yan WANG Zhi-qian ZHU Li-min LIU Hang

摘要: 为了使动调陀螺工作在最佳温度工作点,减小因温度变化带来的误差,结合工程实际应用,根据控制理论,设计了一个基于两级温控的陀螺高精度温度控制系统。为了消除温度控制系统因工作电流大而对动调陀螺信号产生的电磁干扰,根据是否采集动调陀螺输出值而把温度控制系统分为连续工作方式和间歇工作方式两种工作方式。实验结果表明,此种温度控制系统能在环境温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 的范围内温度控制精度达到 $73\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,满足动调陀螺对温度的指标要求。

关键词: 动调陀螺; 温度控制; 高精度; 工作方式

中图分类号: TB114.2.

文献标识码: A

Abstract: To make the dynamically tuned Gyroscope working on the best temperature and minish the error of the temperature variety, a temperature system is built up on the base of control theory and engineering. Avoiding the electromagnetism interference of the temperature control system, two kinds of work methods of continue work method and intermittent work method by gather the dynamically tuned Gyroscope's output is adopted in the temperature control system. The experiment results show that this kind temperature control system can control temperature at $73\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ when the environment temperature at $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$. The temperature control system can satisfy the index of dynamically tuned Gyroscope to temperature.

Key words: dynamically tuned Gyroscope; temperature control; high precision; working

1 引言

陀螺仪是决定惯性系统精度的核心部件,由于其对温度敏感度高,温度漂移成为其主要的误差源之一。由于陀螺温度控制系统的精度直接制约陀螺的输出精度,所以对陀螺的工作温度进行精密控制可以提高陀螺的输出精度,从而提高整体惯性系统的精度。由此可见陀螺温度控制系统的任务是快速启动并恒定陀螺内部温度,降低环境温度及其它形式的扰动对陀螺内部温度的影响。

本文设计了一个基于 DSP 的温度控制系统,本系统是用一种多位置捷联寻北系统上的动调陀螺温度控制。因为所选高温动调陀螺的最佳工作温度是 73°C ,远高于正常环境温度,所以只需加温系统即可。由于温度控制系统的电流大,电磁干扰强,影响动调陀螺输出精度,所以在读取动调陀螺数据时应停止温度控制系统工作以保证陀螺输出精度。为保证高精度温度控制要求本温度控制系统采用两级温度控制,根据不同物质的导热系数不同,分别对两级温控采用不同的控制算法。通过大量试验表明此方法可以使一级温度控制精度达到 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,二级温度控制精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2 温度控制系统的原理及组成

多位置捷联寻北系统是用电机带动轴系转动,使安装在轴系旋转面上的动调陀螺停在相对于真北的不同角度上,同时采集陀螺数据和编码器数据并利用这两组数据算出真北对应于编码器上的码值。动调陀螺的温度控制系统由两级温度控制系统组成,其结构图如图 1 所示。

李建荣: 博士生

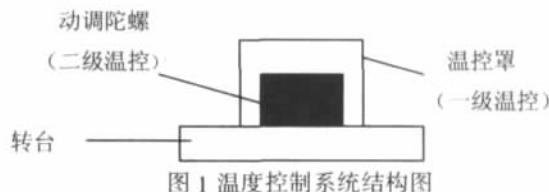


图 1 温度控制系统结构图

Fig1 configuration of temperature control system

在图 1 中温控罩温控为一级温控,其控制精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,主要是通过加热温控罩内壁上贴的加热片来加热温控罩与陀螺之间的空气来达到温度稳定,由于空气的导热系数比较小,导热速度慢,所以一级温控采用 PID 控制中的比例控制环节即可满足要求。陀螺温控为二级温控,其控制精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,主要是通过加热粘在陀螺外壁上的加热片来加热陀螺来达到温度稳定,由于陀螺是金属制成的,金属的导热系数比较大,导热速度快,且没有降温系统,所以二级温控采用 PID 控制中的比例控制环节和积分控制环节,即能使系统的稳态误差小,又能使系统的超调量小,从而满足控制要求。温度控制系统主要是由温度传感器、A/D 转换器、处理器、功放器、加热器等组成,其原理图如图 2 所示。

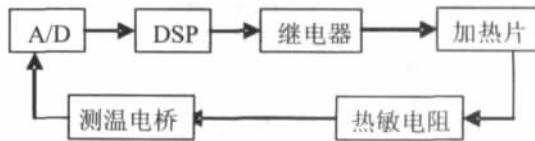


图 2 温度控制系统原理图

Fig.2 principle of temperature control system

两级温控的原理图相同,只是控制算法和稳态温度值不同。一级温度控制的稳态值是 65°C ,二级温度控制的稳态值是 73°C 。

3 基于 PID 的控制算法实现

为了消除加热系统对动调陀螺的电磁干扰,把温度控制系统分为连续工作方式和间歇工作方式两种工作状态。连续工作方式即在不采集陀螺数据时温度控制系统连续工作,保持对陀螺温度和温控罩温度的控制。间歇工作方式即在采集陀螺数据时温度控制系统停止工作,温度控制系统对陀螺温度和温控罩温度失去控制;当采集陀螺数据结束后且未开始采集陀螺的下一组数据时,温度控制系统恢复对陀螺温度和温控罩温度的控制,温度控制系统处于对陀螺温度和温控罩温度的控制与失控的不断交替中。根据一、二级温控系统控制的铁和空气的导热系数、比热系数及热平衡原理,DSP 内采用 PID 算法。一级温控的连续和间歇工作方式采用 PID 控制中的比例控制环节,二级温控的连续和间歇工作方式采用 PID 控制中的比例控制环节和积分控制环节。PID 控制的比例控制环节、积分控制环节的综合连续表达式为

$$u(t) = Kp[e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^t e(t)dt] \quad (1)$$

(1)式中 Kp 称为比例系数, Ti 称为积分时间常数,对式两边进行拉氏变换得:

$$U(s) = Kp * E(s) + Ki \frac{E(s)}{s} \quad (2)$$

传递函数为:

$$D(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Kp + Ki \frac{1}{s} \quad (3)$$

(2)、(3)式中 Kp 称为比例系数, $Ki = \frac{Kp}{Ti}$ 成为积分系数。增大比例系数 Kp 会加快系统响应,减小稳态误差,但是 Kp 过大会使超调量增大,使系统稳定性变差;积分项 Ki 用于消除系统的稳态误差,增大积分时间 Ti 减弱了积分作用,可使系统超调量减小,系统稳定性更好,但 Ti 过大,系统的稳定时间会变长。

本温控系统用的是数字 PID 调节器,就是对连续表达式的离散化

令:

$$u(t) \approx u(kT)$$

$$e(t) \approx e(kT)$$

$$\int_0^t e(t)dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT)$$

$$\text{得: } u(k) = Kp[e(k) + \frac{T}{Ti} \sum_{j=0}^k e(j)] \quad (4)$$

(4)式中 T 是采样周期,在离散化过程中,采样周期 T 必须足够短,才能保证有足够的精度。

由于陀螺初始升温时误差值很大,为了防止积分积累现象的发生,采用积分分离式 PID 控制算法。采用积分分离式 PID 控制算法的实质是当被控制量与设定值的偏差较大时,即在陀螺的初始升温阶段,取消积分作用。以免积分作用使系统稳定性减弱,产生超调。当陀螺温度接近设定值时加入积分作用,以便消除稳态误差,提高控制精度。这样既有利于改善陀螺温控系统的动态特性,又有利于消除稳态误差。

4 实验测试及结果分析

一级温控的稳态工作温度为 65°C ,二级温控的稳态工作温度为 73°C 。上电使系统自检,自检通过后温控系统开始工作。当一级温控在 65°C 和二级温控在 73°C 达到热平衡后,以一定的时间间隔记录一级温控和二级温控的温度值。这些温度值就是温控系统在连续工作状态下的温度测量值。连续工作状态测量完

毕后,使电机开始转动一定角度后停止并在开始采集陀螺数据,采集完毕后记录一组一级温控和二级温控的温度值;再使电机转动重复以上工作,并记录下一组温度值。以此重复记录的温度值为间歇工作状态下的温度测量值。实验测得一级温控工作在连续工作状态和工作在间歇工作状态的温度测量值,并计算出其与理想温度的误差如表 1 所示;测得二级温控工作在连续工作状态和工作在间歇工作状态的温度测量值,并计算出其与理想温度的误差如表 2 所示。由于篇幅所限表 1、表 2 各分别列了八组数据,相对于大量的试验数据其只是很小一部分。但它的变化趋势和极限误差基本不随数据量增大而变化,所以它可以说明误差的分布状况。由表 1、表 2 可见连续工作状态的误差要明显小于间歇工作状态的误差。这是由于间歇工作状态有一部分时间处于失控状态下造成的。

表 1 一级温控误差分析

Tab.1 error analysis of the first temperature control system

序号	给定值 ($^{\circ}\text{C}$)	连续状态测量值 ($^{\circ}\text{C}$)	间歇状态测量值 ($^{\circ}\text{C}$)	连续状态误差 ($^{\circ}\text{C}$)	间歇状态误差 ($^{\circ}\text{C}$)
(1)	65.00	65.06	65.01	+0.06	-0.09
(2)	65.00	64.97	64.95	-0.03	-0.05
(3)	65.00	64.92	64.91	-0.08	-0.09
(4)	65.00	65.01	64.97	+0.01	-0.03
(5)	65.00	65.04	65.08	+0.04	+0.08
(6)	65.00	64.99	65.12	-0.01	+0.12
(7)	65.00	64.95	65.04	-0.05	+0.04
(8)	65.00	64.98	64.97	-0.02	-0.03

表 2 二级温控误差分析

Tab.2 error analysis of the second temperature control system

序号	给定值 ($^{\circ}\text{C}$)	连续状态测量值 ($^{\circ}\text{C}$)	间歇状态测量值 ($^{\circ}\text{C}$)	连续状态误差 ($^{\circ}\text{C}$)	间歇状态误差 ($^{\circ}\text{C}$)
(1)	73.00	73.03	73.01	+0.03	+0.01
(2)	73.00	73.01	72.98	+0.01	-0.02
(3)	73.00	73.00	72.95	0.00	-0.05
(4)	73.00	72.98	72.99	-0.02	-0.01
(5)	73.00	72.99	73.06	-0.01	+0.06
(6)	73.00	72.99	73.08	-0.01	+0.08
(7)	73.00	73.00	73.04	0.00	+0.04
(8)	73.00	73.03	73.01	+0.03	-0.01

5 小结

针对高温动调陀螺的温度精密控制问题,根据工程实际情况,建立了温度控制系统模型,最后通过实验对该控制系统进行验证评价。实验测量结果表明该控制系统结构简单可行,精度高,有效地减小了高温动调陀螺由温度变化造成的误差。在实际使用过程中由于环境温度的巨大差异和加热片的功率限制会使温度控制系统的稳态值和误差值都有一定的变化,特别是在间歇工作状态下这种变化更为明显,这些问题还有待进一步探索研究。

创新观点:本文根据动调陀螺的两种不同工作状态,提出了温度控制系统的连续工作和间歇工作两种工作模式并设计了相应的控制算法。实验证明此种工作方式满足动调陀螺的工作温度要求。

参考文献

[1]马小霞,戴世荣等.基于 PC/104 的陀螺温度控制系统研究[J].导航与控制,2003(11),26-29.

- [2]王瑾. 基于模糊控制的陀螺仪温度控制系统[J]. 电力电子技术. 2008(3), 41-43.
- [3]宋春峰, 侯媛彬, 蒋军彪, 赵东洋. TRP 激光陀螺温度控制系统的参数辨识[J]. 西安科技大学学报. 2005(6): 236-240.
- [4]马小霞, 戴世荣等. 基于模糊控制的陀螺温度控制系统研究[J]. 中国惯性技术学报. 2004(4), 68-72.
- [5]庞新良, 范大鹏, 滕旭东, 彭建新. 数字式机载光电伺服系统的实现[J]. 光电工程. 2007(3), 11-15.
- [6]张文博, 范大鹏, 朱华征. 基于采样控制理论的光电跟踪伺服系统内模控制[J]. 光学精密工程. 2008(2), 221-228.
- [7]邵月慧, 崔燕. 陀螺温度控制及温度建模研究[J]. 微计算机信息[J]. 2006, 3-1: 57-60.

作者简介: 李建荣(1980-), 男(汉族), 陕西人, 长春光机与物理研究所, 博士生, 主要从事光电测量方面的研究; 王志乾(1969-), 男(汉族), 吉林人, 长春光机与物理研究所, 副研究员, 博士生, 主要研究方向为光电测量方面的研究。

Biography: LI Jian-rong (1980-), male (Han nationality), Shaan Xi, Changchun Institute Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Doctor, studying on technology of photo-electronic measure.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)

李建荣 赵 雁 王志乾 刘 航

(100039 北京 中国科学院研究生院) 李建荣 刘 航

(121000 锦州 空军第三飞行学院) 朱立民

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

LI Jian-rong ZHAO Yan WANG Zhi-qian LIU Hang
(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China) LI Jian-rong LIU Hang

(The Third Flight Academy of Air Force, 121000, China) ZHU Li-min

通讯地址: (130033 吉林长春东南湖大路 3888 号 长春光学精密机械与物理研究所光电测控部) 李建荣

(收稿日期: 2008.12.22)(修稿日期: 2009.03.22)

(上接第 9 页)

大量的实验证明, 本文所提出的方法相对于其它方法, 具有以下特点:

- 1、由于采用多尺度矩特征模型方法, 每一级内的矩特征在该级的尺度变化范围内是相对稳定的, 可以适应各种尺度及模糊程度的飞机目标;
- 2、采用粗糙集, 能够减少属性数目的同时不影响分类性能, 可提高识别速度;
- 3、支持向量机是专门针对小样本情况, 具有较高的泛化能力和较好的推广能力。

5 结语

本文着重研究了遥感图像中军用飞机识别分类的问题, 本文作者创新点是: 针对以往目标识别算法的缺陷, 提出了多尺度矩特征模型和基于粗糙集与支持向量机相结合的算法, 使得本方法具有以下特点: 可适应不同尺度和模糊程度的飞机目标; 利用粗糙集消除冗余属性, 可提高识别速度; 利用支持向量机可提高预测分类精度。但是, 由于团状军用目标种类较多, 各类目标的形状差别复杂, 进行目标分类对形状描述与识别技术要求很

高。这些问题都需要我们在下一步工作中继续研究。

参考文献

- [1]王晓红. 矩技术及在图像处理与识别中的应用研究:[D]. 西北工业大学, 2001. 4: 8~34.
- [2]张天序. 成像目标自动识别. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2005.
- [3]Pawlak Z, et al. Rough sets [J]. Communications of the ACM, 1995, 38(11): 89-95.
- [4]白秀玲, 王平, 曾杰信. 一种粗糙集值约简算法及其应用[J]. 微计算机信息, 2006, 11-3: 207-209.
- [5]王国胤. Rough 集理论与知识获取. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.

[6]Miao Duoqian, Wang Jue. An information-based algorithm for reduction of knowledge. IEEE ICIPS'97. 1991, 1155~1158

[7]范昕炜. 支持向量机算法的研究及其应用:[D]. 浙江大学, 2003. 5: 50-61.

[8]Platt, J.C., Cristianini, N. & Shawe-Taylor, J. Large margin DAGs for multiclass classification. In Neural Information Processing Systems (NIPS99), 1999.

作者简介: 黄雷(1977-), 男, 湖北麻城人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 模式识别、信息融合理论及其应用、数字图象处理; 郭雷(1951-), 男, 山东人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 模式识别、数字图象处理、数据融合; 马迎军(1978-), 男, 辽宁人, 硕士, 主要研究方向: 视频跟踪、图像和视频处理。

Biography: HUANG Lei (1977-), male, Hubei, Northwest Polytechnical University, lecturer, image processing, data fusion.

(710072 陕西西安 西北工业大学自动化学院) 黄 雷 郭 雷 马迎军

(College of Automation, Northwest Polytechnical University, XI'AN Shaanxi 710072, China) HUANG Lei GUO Lei MA Ying-jun

通讯地址: (710038 陕西西安 空军工程大学工程学院子女中学) 王亚玲 转 黄 雷

(收稿日期: 2008.12.20)(修稿日期: 2009.03.20)

《现场总线技术应用 200 例》

现场总线技术是现代工厂、商业设施、楼宇、公共设施运行、生产过程中的现场设备、仪表、执行机构与控制室的监测、控制装置及管理、控制系统之间的数字式、多点通信互连的, 数据总线式智能底层控制网络。

现场总线技术保证了现代工厂、商业设施、智能楼宇、公共设施(自来水、污水处理、输变供电、燃气管道、自动抄表、交通管理等), 高可靠、低成本、安全绿色生产运行, 同时易于改变生产工艺, 多品种生产过程。

本书 200 个应用案例, 介绍了 profibus、FF、CANbus、DeviceNET、WorldFIP、INTERbus、CC-Link、LonWorks 及 OPC、工业以太网、TCP/IP 在石油、化工、电力、冶金、铁路、制烟、造酒、制药、水泥、电力传动、机械、交通、设备管理、消防、自来水厂、电解铜、电解铝、继电保护、粮仓及储运、汽车检测、油库管理、造纸、气象、远程抄表、电缆生产、暖通空调、电梯、楼宇自动化及安防、……, 各方面的应用。

本书是工程设计人员、设备维护人员、设备采购人员、技术领导干部、大、中专学校教师的案头参考书, 同时也是大专院校本科生、研究生做课题、搞毕业设计的必备参考书。有志向有兴趣的高中以上文化水平的人均为本书读者。

本书已出版。大 16 开, 每册定价 55 元(含邮费)。预购者请将书款及邮资费通过邮局汇款至

地址: 北京市海淀区中关村南大街乙 12 号天作 1 号楼 B 座 812 室

微计算机信息 邮编: 100081

电话: 010-62132436 010-82168297(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn http://www.autocontrol.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn; E-mail: control-2@163.com