

文章编号: 1002-1582(2004)01-0061-04

一种新型陀螺动态漂移检测系统的设计*

钟平, 金光, 刘延斌

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

摘 要: 在分析传统陀螺动态漂移测量方法的基础上, 介绍了一种新的高、低温陀螺动态漂移测量系统的原理和结构设计。该系统由计算机软件控制其检测全过程, 系统的中心部件由 CCD 摄像机、图像采集卡和处理软件等构成。处理软件用 VC 开发而成, 利用一种快速的目标跟踪算法, 它能实时的跟踪目标并能画出其运动轨迹, 计算出陀螺的动态漂移。实验证明了该系统的简单性和实用性, 其分辨最小动态漂移角度的能力不低于 $1.8'$ 。

关键词: 陀螺; 动态漂移; CCD; 数字图像处理

中图分类号: V241.5 **文献标识码:** A

Design of a novel testing system for measuring dynamic drift of gyroscope

ZHONG Ping, JIN Guang, LIU Yan-bin

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

Abstract: Based on analysis of the traditional measuring method for dynamic drift of gyroscope, the principle and structure design of a novel testing system for dynamic drift of gyroscope in the conditions of high and low temperature is introduced. The system is controlled by computer software. The core parts of the system are CCD camera, image collection and processing. The software of image processing is written using VC. By adopting a fast algorithm not only the movement track of target is captured and plotted, but also the dynamic drift of gyroscope can be calculated automatically. The experimental results show that test system is very simple and practical and its resolution of the small angle measurement is better than $1.8'$.

Key words: gyroscope; dynamic drift; CCD; digital image processing

1 引 言

陀螺仪是一种由动力对称式急转转子和支架所组成的装置, 它的支架能保证转子绕位于其主轴上的固定点而运动。由于它具有稳定地保持其轴方向在空间不变的性质, 因此广泛地应用于地理经度和垂直方向的指示器, 控制飞机和船舶运动的自动器, 及用于导弹的惯性制导系统。陀螺是一种高精度的定位仪器, 其精度直接影响系统的稳定性, 因此陀螺产品在其出厂前需对陀螺的各项性能指标进行严格的检测, 符合要求的产品方能出厂。某规格型号的陀螺在高、低温状态下零点漂移是一项要求被检测的重要内容。对该性能检测的传统方法是在手工半自动的方式下进行的。在检测过程中, 用人工目测的方法, 通过判定陀螺上“小反射镜”所反射平行光的光点是否落在漂移坐标板上规定的误差范围内来判定该陀螺是否合格。由于该方法测量效率低, 主观性强, 检测精度也往往难于满足现代技术的要求。本文提出一种陀螺动态漂移的自动检测系统, 该检

测系统主要由各种传感器、控制器、光学镜头、CCD 摄像仪、图像采集卡、和图像处理软件等组成, 它能准确实时地捕捉到陀螺上“小镜子”所反射回的“光点”在漂移坐标板的精确位置, 在计算机上显示陀螺漂移的运动轨迹, 自动判定陀螺是否合格。其检测过程由软件自动控制。

2 陀螺动态漂移的检测原理和系统的结构

2.1 陀螺动态漂移的检测原理

陀螺的动态漂移检测包括两部分, 一是检测陀螺的内环漂移、外环漂移, 二是在测试陀螺漂移时做回输信号的检测, 回输信号的检测主要由陀螺检测仪和数字滤波器完成(本文不重点讨论), 陀螺动态漂移的检测原理如图 1 所示。

陀螺的动态漂移是通过陀螺上的小镜子的运动来体现的。在动态检测过程中, 小镜子反射由检流计光源射来的平行光, 并投影到偏移坐标板上, 其反射光点在坐标板上运动位移的大小就能反映陀螺的动态漂移。其中, X 轴的值反映其内环漂移的角度, Y

* 收稿日期: 2003-05-15

E-mail: zhongp937@sohu.com

作者简介: 钟平(1963-), 男, 江西人, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生, 从事图像处理、光电信号检测研究。

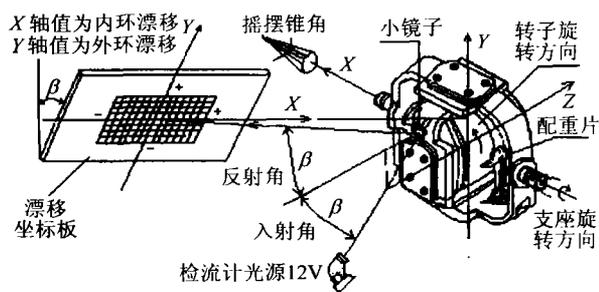


图 1 陀螺检测示意图

轴的值反映其外环漂移的角度。由于在 Y 轴方向，小镜子并非装在其中点位置，因而偏移坐标板 Y 轴的单位长度则严格按一定的规律从上到下递减。

2.2 系统结构(见图 2)

2.2.1 CCD 摄像系统

CCD 摄像系统是整个测试系统的关键部件。其主要由光学镜头、CCD 摄像仪、图像采集卡、计算机和图像处理软件等组成，由它自动完成陀螺零漂移的检测。

2.2.2 回输信号测试系统

它主要由陀螺测试仪、直流电源、示波器等组成，它主要完成陀螺回输信号的检测，对所测的波形可在示波器和计算机上连续的显示。对所测波形的“毛刺”利用高档的示波器能自动地捕获，并通过计算机判定是否合格。

2.2.3 自转机构

自转机构主要由陀螺夹具、集流环、永磁直流电机、直流调速器、速度传感器 1(编码器)等组成。对电机可实现无级变速。为

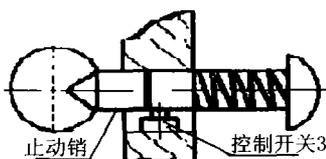


图 3 止动销示意图

了便于夹紧陀螺，在机构中设计一个转轴止动销，如图 3 所示，止动销在图示位置时电机不允许转动，利用控制开关 3 输出一个锁定信号，以此保证机构的安全，止动销弹回信号消失，系统方可运行。

2.2.4 速度传感器

该传感器用于陀螺转子转速的测定，为非接触式，测量范围为 0~30000r/min。通过计算机设定传感器测量值。当传感器测量到设定值时，系统应完成如下动作：(1)使气缸电磁阀 1 动作，汽缸带动吹风机构下移至行程开关 1 的位置。(2)行程开关 1 的信号传给自转机构的电机和 CCD 摄像系统。(3)自转系统启动后系统开始计时，在达到检测时间要求时，系统停止运行。这里要达到两个要求：第一，记时到 30s 时 CCD 和回输信号测试系统停止工

作。第二，记时到 5min 时，自转机构停止工作。但速度传感器 2 始终工作。

2.2.5 吹风机构

该机构主要由管路、压力传感器、温度传感器、电磁阀 1、电磁阀 2、汽缸、行程开关 1,2 等组成。压力传感器和温度传感器用于测量管路的压力和温度，当管路中气体的压力、温度达不到设定的要求时，整个系统将不工作。控制开关 1 用于监控操作口是否关好，如没关好，则系统不能工作。

2.2.6 高低温箱

高低温箱用于对被检测陀螺进行高、低温恒温处理，当温度达到设定的温度时，系统开始计时，达到系统设定的时间后，系统开始报警。提醒用户可对陀螺进行高、低零漂移检测。

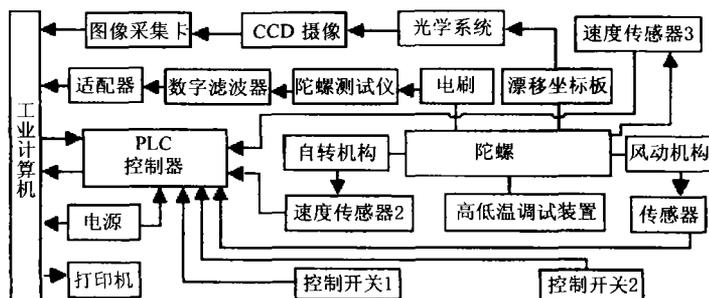


图 2 陀螺自动检测系统结构图

2.3 系统的工作程序

整个系统的工作过程主要由计算机软件 and PLC 控制器控制。打开高低温箱，将一批被检测陀螺放入箱内，设定温度后启动高低温箱，当箱内的温度达到设定的温度时，系统开始记时，对陀螺进行恒温(4h)。当到设定的时间后，系统报警，告知操作人员陀螺可被检测。按下止动销，打开操作口，将陀螺夹紧在自转机构的夹具上，提升吹风机构到行程开关 2 的位置(此时电磁阀 1 动作)，关闭操作口，按回止动销，启动电磁阀 2，高压风开始吹动陀螺转子，速度传感器开始测速，当转速达到设定值之后，电磁阀 2 关闭，电磁阀 1 动作，汽缸将吹风机构退回，退到行程开关 1 的位置时，其信号同时传给自转机构的电机、CCD 摄像系统，回输信号测试系统，系统进入测试状态。当测试时间达到 30s(可调)时，CCD 摄像系统和回输信号测试系统停止工作；当测试时间达到 5min(可调)时，自转机构停止工作，(在此期间速度传感器 2 始终工作)。一发陀螺测试完，打开操作口，装上另一发陀螺，进行下一个循环的测试。

操作中如没关好操作口，止动销没有回位，系统处于自锁状态，不能工作；系统中各项指标(箱内温度、高压气体的压力和温度、转子转速等)没有达到

设定要求,将处于自锁状态,也不能工作。

3 光点运动的跟踪算法

在动态检测的 30s 中内,如何实时、精确地捕获、跟踪陀螺“小反射镜”所反射平行光在漂移坐标板上“小光点”的运动是该检测系统的关键。被检测陀螺在检测过程中,陀螺上的反射镜所反射的平行光是投影在一背景固定不变且带有刻度的毛玻璃投影屏上(即漂移坐标板),采用灰度投影的算法进行光点的跟踪,不仅能快速捕获光点的运动,且精度高。

3.1 灰度投影算法求光点位置的原理

实现运动物体跟踪有许多的算法,如差影法^[1]、模板匹配跟踪法^[2]及边沿检测跟踪算法^[3]等,每一种方法均存在不同特点和适用范围。在陀螺检测系统中,由 CCD 所摄取的视频连续图像序列包含固定的背景和运动的光点,视频图像序列的变化是由于各帧图像光点的运动而导致局部区域产生灰度。投影算法是基于图像的灰度变化这一特点实现目标检测的,它具有算法简单,执行速度快,检测精度高等特点^[4],尤其是对固定的背景,能准确地估计出在图像中的运动物体的位置。投影算法的原理和实现方法如下。

对于输入的图像序列中的每一帧图像经过适当的处理后,把其灰度值映射成两个独立的一维波形,其投影方法可用公式表示如下

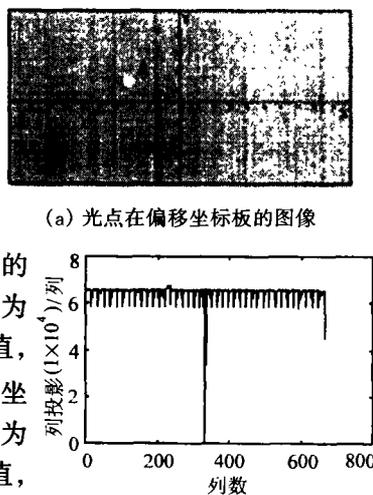
$$G_k(j) = \sum_i G_k(i, j) \quad (1)$$

$$G_k(i) = \sum_j G_k(i, j) \quad (2)$$

式中 $G_k(j)$ 为第 k 帧图像第 j 列的灰度值; $G_k(i, j)$ 是第 k 帧图像上 (i, j) 位置处的像素灰度值; 而 $G_k(i)$

为第 k 帧图像第 i 行的灰度值。则: 令 I_{\max} 为 $G_k(j)$ 最大时 j 的值, 则光点水平方向的坐标为 I_{\max} ; 令 J_{\max} 为 $G_k(i)$ 最大时 i 的值, 则光点垂直方向的坐标为 J_{\max} 。

图 4 显示投影检



(a) 光点在偏移坐标板的图像
(b) 图像的列投影曲线
图 4 图像及行投影曲线

测光点位置的原理。图 4(a) 是 CCD 所摄取的一帧含有光点的偏移坐标板图像,其分辨率为 346×668 像素,其中, A 为光点,则其横坐标可用以下方法求得。对图 4(a)进行列投影,其列投影曲线如图 4(b)所示,从列投影曲线上找到其投影灰度的最大值点所对应的列数即为光点的横坐标值。同样地对图像进行行投影则可求 A 光点的纵坐标。对 CCD 输入的每一帧视频图像进行如此处理,即可实现光点位置的跟踪。

3.2 光点运动轨迹跟踪的实现方法

在实际工程应用中,不仅要满足对陀螺所反射光点运动跟踪的实时性,而且还要确保所跟踪光点运动轨迹的可靠性及精度要求。由于成像环境和器件等因素影响,所摄取图像干扰的存在是不可避免的。若直接对 CCD 传来的图像经采集后就进行投影处理,一般是难以精确地捕获光点的坐标。采用分区的方法和二值化处理技术对图像进行处理,再用投影算法能提高检测精度,增强其鲁棒性。

3.2.1 图像的分区

对图像进行分区,主要是考虑到所检测的光点相对于坐标板其几何尺寸较小及图像存在噪声的干扰。用分区的方法对图像进行处理,能增强光点灰度值对投影曲线的权重影响,从而提高其检测精度。下面以图像列投影为例介绍图像分区方法。对输入要处理的图像,从上到下分成重叠且大小严格相等的若干个区,如对于分辨率为 346×668 像素的图像,将该图像分成从上到下的 10 个重叠区域,如图 5 所示(区域的大小可根据所检测光点的几何尺寸而定)。其中第 0~48 行像素为第一区域,第 33~81 行像素为第二区域, ..., 第 297~345 行像素为第十区域。每一个区域图像的大小为 49×668 像素。采用这样重叠的分区方法,可以了保证有一个区能完整地包含被检测的光点图像。

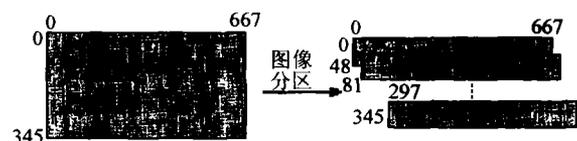


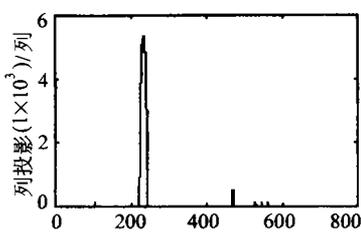
图 5 图像的分区方法(单位:像素)

用分区的方法,在求其每一帧图像光点位置的时候,先对每一区域进行列投影,得到各个分区的投影灰度的极大值及对应的行坐标。然后求其各分区极大值的最大值,最大值所对应的行坐标为光点的行坐标。需要注意的是,有时分区的极大值是连续几个相等的灰度值,这时须取位置中间的那一个视为极大值。

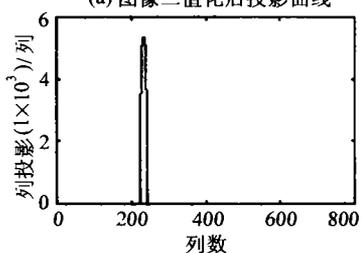
3.2.2 对图像进行二值化处理

对输入的图像进行二值化处理目的是为了抑制噪声的干扰,提高该算法的鲁棒性。由于 CCD 所摄取图像中的光点灰度值总是最大的,通过选择适当的图像二值化的域值,对图像进行二值化,再用分区投影的方法检测光点位置,可进一步提高系统的可靠性和精度。

对比图 4 和图 6 可看出所采用方法检测光点 X 坐标的检测效果。图 4(a)的 A 为偏移坐标板上光点的位置,图 4(b)是对输入图像直接进行列投影的投影曲线,图 6(a)是对输入图像二值化后处理的投影曲线,而(b)是二值化处理后再进行分区处理的投影曲线。



(a) 图像二值化后投影曲线



(b) 二值化分区后投影曲线

图 6 投影曲线

3.2.3 对光点运动的跟踪

在整个陀螺的检测过程中,实时地对采集到的每一帧图像进行如上所说方法进行处理,设置存储器,记下对采集的每一帧图像所检测到光点的位置,即可实现对光点运动的跟踪,从而实现对陀螺动态漂移的检测。

4 软件设计及检测的精度

基于以上算法,对陀螺零漂移的检测软件用 VC++ 6.0 开发完成,它能运行于 Window98 及更高的系统平台。检测陀螺零漂移软件的流程图如图 7 所示。

图像采集卡选自北京嘉恒中自图像技术有限公司的 OK-C30/S 图像采集卡。该卡基于 PCI 总线,是既能采集彩色又能采集黑白图像的采集卡,它具有滤除奇偶场锯齿现象的功能,所以特别适合要求采集动态图像的场所。利用视频采集卡所提供的函数,每采集一帧图像,即进行光点坐标的检测,并存于计算机中。采用以上介绍的检测算法每秒能处理图像的帧数可达 17 帧,能满足实际工程检测的要求。当采集 30s 后,进行数据处理,输出陀螺零漂移的最大值,按漂移坐标板的格式显示光点的运动轨迹,并自动判定陀螺是否合格,打印检测报告。

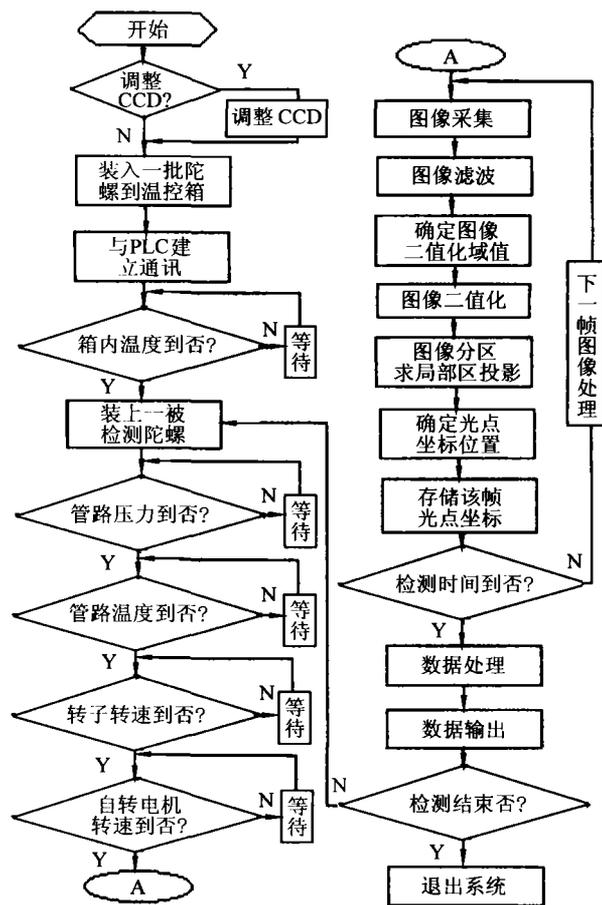


图 7 软件流程图

经反复实验和工程的实际操作,用该软件实现对光点的检测其误差均不大于 1 个像素,由于漂移坐标板可显示陀螺内环漂移,即 X 轴为 $\pm 10'$,陀螺外环漂移即 Y 轴为 $\pm 5'$,视频采集卡输出图像的分辨率为 668×346 像素,因此用该方法检测陀螺的零漂移的精度要优于 $1.8'$,要大大的优于所规定的 $15'$ 检测精度的要求。

5 结论

用软件控制和图像处理的技术实现陀螺动态漂移自动检测,不仅能改善工作条件和环境,提高生产效率,而且检测精度高、实时性强。能较好地满足实际工程的需要。

参考文献:

- [1] 王栓,艾海舟,何克忠. 基于差分图像的多目标的检测与跟踪[J]. 中国图形图像学报, 1999, 4(6):470—474.
- [2] Lu J H, Liou M L. A simple and efficient search algorithm for block matching motion estimation[J]. IEEE, Circuits and systems for video technology, 1997, 7(2).
- [3] Paik J K, Yong. Y C, Kim D W. An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching[J]. IEEE, Consumer Electronics, 1992, 38(3).
- [4] 钟平,于前洋,金光,等. 动态图像序列运动估计算法研究[J]. 光学技术, 2003, 29(3):219—225.