

光纤陀螺自动化测试软件的设计

赵忠, 范毅, 赵玉

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710129)

摘要:随着自动化水平的提高,光纤陀螺的测试逐渐向自动化测试方向发展。该文介绍了光纤陀螺自动测试软件的设计,着重阐述了各个模块的功能及实现过程,其中转台控制模块和数据处理模块是该软件设计的关键部分。该软件是基于 Windows 平台,采用面向对象的方法进行设计,实现接收转台和陀螺数据,并进行实时曲线绘制和数据处理等功能。该软件充分利用现有设备,降低了光纤陀螺标定的成本。

关键词:光纤陀螺; Visual C++; 通讯接口; 程序设计

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A

Design of Automatic Testing Software for Optical Fiber Gyroscope

ZHAO Zhong, FAN Yi, ZHAO Yu

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: The test of the optical fiber gyroscope has developed gradually towards the test automation with the increase of the automation. The design process of the test software has been introduced in this paper, focusing on the functions and realization of each module, in which the turn-table control module and data processing module are the key parts in the software design. The software has been designed based on the Windows platform by adopting the object-oriented method to realize the functions of the turn-table and gyroscope data receiving, real-time data processing and curve drawing. The proposed software has made use of the existing facilities and thus can reduce the cost of the optical fiber gyroscope calibration.

Key words: optical fiber gyroscope; Visual C++; communication interface; program design

0 引言

光纤陀螺以动态范围宽,功耗低,体积小,系统设计灵活和使用时间长等突出特点被广泛应用于惯性领域。特别是在捷联系统中,惯性器件的性能指标直接影响着系统的精度^[1]。

提高光纤陀螺精度的途径主要有两种:

1) 硬件补偿。需要改造光纤陀螺的结构设计和加工工艺。

2) 软件补偿。对光纤陀螺进行测试,建立数学模型,并通过误差补偿技术提高光纤陀螺的实际精度。在实际应用中,由于硬件补偿耗费大,研制时间长,见效慢,已被软件补偿所取代^[2]。

该系统采用软件补偿法来实现光纤陀螺的自动化测试。此测试方法能准确标定光纤陀螺的性能参

数和估计精度,并在此基础上更进一步评定和估计整个惯性系统的性能和精度。光纤陀螺自动化测试软件是基于 Windows 平台,采用 VC++ 面向对象的方法进行设计,该系统具有系统配置合理,功能较齐全;采用 VC++ 开发工具,测试过程由程序自动控制执行,提高了工作效率,减少了工作时间,避免了人为错误,实现了自动化测试。

1 光学陀螺的数学模型与主要性能指标^[3]

光学陀螺的模型方程为

$$\omega_{gx} = \frac{N_{gx}}{I_{gx}} = D_{ix} + S_{gx}\omega_x + K_{gxy}\omega_y + K_{gzy}\omega_z + \epsilon_{gx} \quad (1)$$

$$\omega_{gy} = \frac{N_{gy}}{I_{gy}} = D_{iy} + S_{gy}\omega_y + K_{gxy}\omega_x + K_{gzy}\omega_z + \epsilon_{gy} \quad (2)$$

收稿日期:2011-10-19

作者简介:赵忠(1960-),男,贵州人,教授,硕士,主要从事检测技术与自动化装置,导航、制导与控制,精密仪器及机械等研究。通信作者:范毅(1984-),男,陕西宝鸡人,硕士生,主要从事惯性导航系统惯性器件标定等方面的研究。E-mail: fanyil984820@126.com

$$\omega_{gz} = \frac{N_{gz}}{t_{gz}} = D_{gz} + S_{gz}\omega_z + K_{gzx}\omega_x + K_{gzy}\omega_y + \epsilon_{gz} \quad (3)$$

式中： ω_i 为光学陀螺的输入角速率； ω_{gi} 为光学陀螺的输出角速率； N_{gi} 为光学陀螺的脉冲数输出； t_{gi} 为光学陀螺的脉冲输出的采样时间； D_{gi} 为光学陀螺的常值漂移； S_{gi} 为光学陀螺的标度因数； K_{gij} 为光学陀螺的 i 轴相对于 j 轴的安装误差， $i \neq j$ ； ϵ_{gi} 为光学陀螺的随机误差； $i = x, y, z$ ； $j = x, y, z$ 。

根据式(1)~(3)可见，表征光学陀螺的主要性能指标有标度因数、零偏及安装误差系数等。

2 自动测试系统

2.1 测试系统的组成

该系统由 4 部分组成^[4]：监控计算机系统主要包括工控机和打印机；被控制的测量仪器或设备（转台系统），由转台控制柜和转台等设备组成；接口是连接各设备之间的总线；测试软件主要完成转台的控制、数据处理和保存等功能，是整个测试系统的核心。

测试中使用 2TD-320 速率转台，它是台面式单轴多功能转台，主轴具有位置、速率、摇摆功能，在位置状态时，控制范围为 $0^\circ \sim 359.9999^\circ$ ；在速率状态时，控制范围为 $(\pm 0.001 \sim \pm 800) (^\circ)/s$ 。图 1 为转台的轮廓图。图 2 为转台控制柜的外形图。

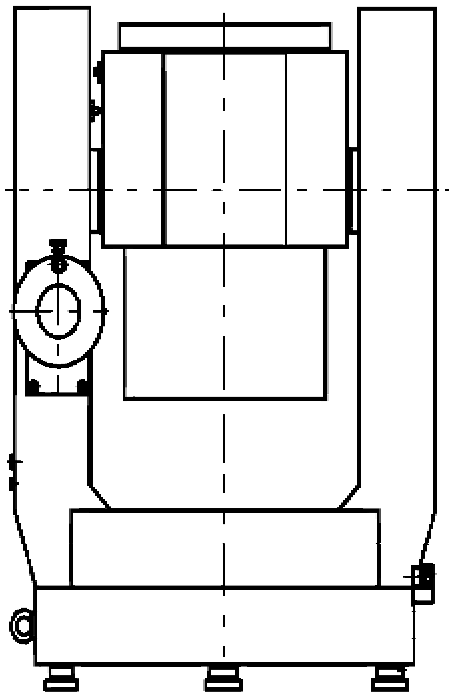


图 1 转台的轮廓图

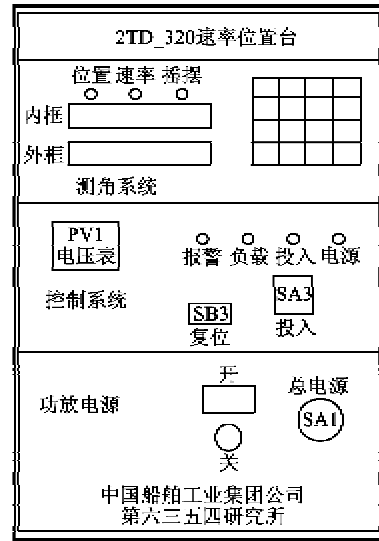


图 2 转台控制柜的外形图

2.2 工作原理

控制柜通过 RS232 串行总线与工控机相连，工控机上的测试软件向转台控制柜发送命令，以控制转台进行相应的运动，同时接收转台发送的数据，实时监控转台的状态。光纤陀螺安装在转台台面上，光纤陀螺输出的数字信号通过 RS232 传送到工程控制计算机进行数据处理。测试软件完成测试数据的接收、处理，自动完成对各测量点的数据处理和状态转换，图 3 为惯性器件自动测试系统的总体结构。

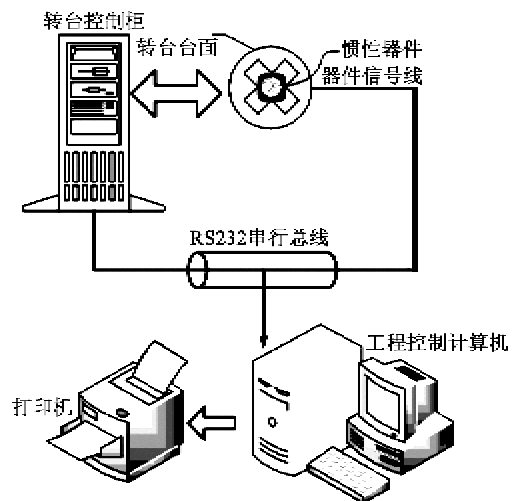


图 3 自动测试系统总体结构

3 软件设计

本软件基于 VC++ 6.0 的开发环境，采用 C++ 编程语言作为主要设计工具，根据测试系统总体要求，从 5 个方面进行软件的总体设计，程序框架图如图 4 所示。

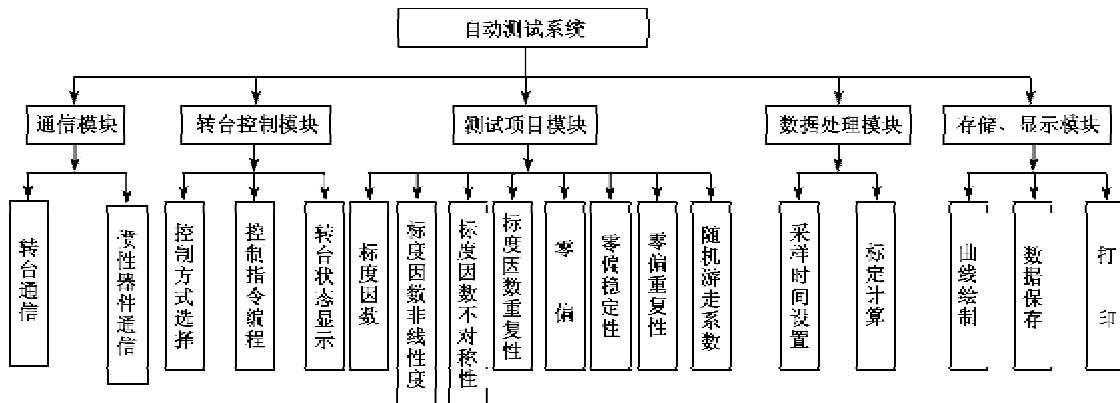


图4 系统程序框架图

3.1 通信模块

在串口通讯模块,使用多线程串口编程工具 CserialPort 类,该类支持线连接(非 MODEM)的串口编程操作,它是基于多线程的,其工作流程如下:首先设置好串口参数,再开启串口监测工作线程,串口监测工作线程监测到串口接收到数据、流控制事件或其他串口事件后就以消息的形式通知主程序,激发消息处理函数来进行数据处理,这是对接收数据而言的,发送数据可直接向串口发送^[5]。

```

BOOL CSettingDlg::OnButtonOpen()
{
int nPort=m_com. GetCuSel()+1;
int nSpeed=m_speed. GetSel()+1;
int nData=m_data. GetSel()+1;
int nStop=m_stop. GetSel()+1;
if(m_SerialPort. InitPort(this, nPort, nSpeed,
'N', nData, nStop, EV_RXFLAG|EV_RXCHAR,
512 ))
m_SerialPort. StartMonitoring();
m_SerialPortOpened=TRUE;
else
AfxMessageBox("没有发现此串口");
m_SerialPortOpened=FALSE;
}

```

接着为程序主对话框建立响应事件的处理函数,对 CserialPort 类,它必须手动添加消息处理函数,首先在该工程的头文件中添加消息响应函数的声明,再在源文件中添加消息 ON_MESSAGE (WM_COMM_RXCHAR, OnComm),最后加入消息响应函数 OnComm (WPARAM ch, LPARAM port)。

```

LONG CturnView:: OnComm ( WPARAM ch,
LPARAM port)

```

```

{
static BOOL bNewframe=false;
static int k=0,index=0;
CString str;
if(! bNewframe)
{
for(int j=0;j<sizeof(b)-1;j++)
{
buffer[j]=buffer[j+1];
}
buffer[j]=ch;
for(j=0;j<sizeof(b);j++)
if(buffer[j]!=b[j])
break;
if(j==sizeof(b))
{
bNewframe=true;
index=sizeof(b);
}
}
:
:
return 0;
}

```

OnComm(WPARAM ch,LPARAM port)函数主要接收转台的数据,即每秒转台的角位置的值,可实时显示转台的状态,同时也可接收光纤陀螺发送给计算机的数据。由于光纤陀螺输出的是数字量,因而可以直接发送给计算机,不需要电路进行信号

转换。

3.2 转台控制模块

3.2.1 转台的工作方式

转台的工作方式有速率方式及位置方式^[6]。

1) 速率方式。在速率方式下,可对光纤陀螺的标度因数、标度因数非线性度、标度因数不对称性等参数进行测试,主要步骤如下:

a. 由测试软件发送命令启动转台,角速度平稳后,接通光纤陀螺电源。

b. 在输入角速度范围内,按照 GB312 规定的 R5 系列适当圆整,从小到大依次输入角速率为 10 (°)/s,16 (°)/s,25 (°)/s,40 (°)/s,63 (°)/s,100 (°)/s,且正、反方向旋转。

c. 将转台静止,再测试转台静止状态下陀螺的输出。

2) 位置方式。光纤陀螺的静态主要性能指标有随机游走系数、零偏、零偏稳定性和零偏重复性。在光纤陀螺的位置试验中可对上述参数进行测试,主要测试步骤如下:

a. 启动转台,转台初始化并复位。

b. 测试采用四位置测试法,取的位置分别是 0°、90°、180°、270°,在转台初始化复位后,延时 5 s 并采集数据,接着测试软件会自动向转台发送命令,指示下一个目标位置 90°。根据上述步骤依次类推,一直到转台转到 270°延时 5 s 采集完数据后。

3.2.2 转台状态显示

根据转台在各个时间段的不同角速率值,将其在曲线上进行显示,同时主界面上使用编辑框控件来显示角速率值。对动态曲线绘制有很多种方法,本文使用 CScope 类绘制曲线,而要进行曲线的动态绘制,则需要使用定时器。首先在 OnInitDialog() 函数中写入 SetTime(1,1000,NULL) 语句,它表示定时器 1 每秒调用 1 次 OnTimer() 函数,然后再 OnTimer() 中加入曲线绘制的语句,代码如下:

```
void CturnView::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    double dTime = ::timeGetTime()/1000.0;
    double dValue;
    dValue = atof(m_dangqianjiaosudu);
    m_wndscope.AddValue(dTime,dValue);
    m_wndscope.UpdateCurve();
}
```

转台控制模块设计的特点:

1) 在速率试验中,对转台的速率方式进行了改进,将角速率手动调整改为自动调整,使角速率从小到大依次变换,每个角速率的时间间隔为 10 min,直到给定的角速率的值全部被执行完毕后,再发送停车指令终止测试。

2) 光纤陀螺的速率试验和位置试验都是通过改进以往的测试软件,如将测试软件中的人为操作全部改为自动操作,增添更友好的用户界面,而且在每次试验中可根据采集的数据进行光纤陀螺性能参数的计算,得到标度因数、标度因数不对称性、零偏等参数,这样在很大程度上节省劳力,更好的实现了光纤陀螺的自动化测试。

3.3 测试项目模块

在对光纤陀螺性能参数的测试中,从标度因数的测试可得到标度因数、标度因数的非线性度和标度因数不对称性的测试值;在零偏的测试中,可得到零偏和零偏稳定性的测试值。

3.4 数据处理模块

数据处理模块的功能是处理光纤陀螺发送给工控机的数据,对所测试数据给出均值和方差等。下面以标度因数为例,给出它的计算方法。设 F_j 为第 j 个输入角速率 Ω_j 时陀螺的输出值,其平均值:

$$\bar{F}_j = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N F_{jp} \quad (4)$$

$$\bar{F}_r = \frac{1}{2} (\bar{F}_s + \bar{F}_e) \quad (5)$$

$$F_j = \bar{F}_j - \bar{F}_r \quad (6)$$

式中: F_{jp} 为陀螺仪第 p 个输出值; N 为采样次数; \bar{F}_r 为转台静止时,陀螺仪输出的平均值; \bar{F}_s 为测试开始时,陀螺仪输出的平均值; \bar{F}_e 为测试结束时,陀螺仪输出的平均值。

建立光纤陀螺输入输出关系的线性模型:

$$F_j = K \cdot \Omega_j + F_0 + \nu_j \quad (7)$$

式中: K 为标度因数; F_0 为拟合零位; ν_j 为拟合误差。

用最小二乘法求 K 、 F_0 :

$$K = \frac{\sum_{j=1}^M \Omega_j \cdot F_j - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \Omega_j \cdot \sum_{j=1}^M F_j}{\sum_{j=1}^M \Omega_j^2 - \frac{1}{M} \left(\sum_{j=1}^M \Omega_j \right)^2} \quad (8)$$

$$F_0 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M F_j - \frac{K}{M} \sum_{j=1}^M \Omega_j \quad (9)$$

式中 M 为输入角速度的个数。

由式(8)、(9)依次可得到标度因数的非线性度、标度因数的不对称性、标度因数的重复性。同理,根据光纤陀螺的位置实试验可得零偏、零偏稳定性等性能参数。

3.5 存储、显示模块

数据的存储包括接收数据的存储和测试参数值的存储。工控机接收到光纤陀螺的数据并将其保存在硬盘中,以便以后进行必要的数据分析,而且测试中所得参数也必须保存,因为在后面的测试中会用到这些参数,如对零偏的测试就需要前边标度因数的参数值。

显示模块主要用于显示计算机实时接收陀螺的数据,文中使用 ST_Curve 控件来完成曲线的实时绘制,它具有强大的自定义画面,主要的可自定义属性有背景色、坐标轴色、文字色、网格色、背景图(其中又包括拉伸、平铺、居中3种显示模式)等;易操作性;效率高、移动缩放曲线时无闪烁现象^[7]。

4 结束语

该文阐述了光纤陀螺的自动测试系统设计流程和关键技术的实现。本软件实现了测试过程由程序自动控制执行,进一步增强了工作效率,使测试时间相对缩短;同时使用 CSerialPort 类和 ST_Curve 控件,使软件设计的更为方便、简单,减少了复杂的代码。在软件设计中各个功能模块相互独立,易于维护,可扩展性强。

(上接第 833 页)

- [5] 霍炬,王石静,杨明. 基于小波变换阈值法处理光纤陀螺信号噪声[J]. 中国惯性技术学报, 2008, 16(3): 343-347.
HUO Ju, WANG Shijing, YANG Ming. Noise processing of FOG signal based on wavelet threshold-value [J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2008, 16(3): 343-347.
- [6] 李文林,张骏,胡俊杰. 小波包阈值降噪法处理光纤陀螺信号[J]. 现代电子技术, 2011, 34(5): 92-94.
LI Wenlin, ZHANG Jun, HU Junjie. Fiber optic gyro signal based on wavelet packet threshold denoising[J].

参考文献:

- [1] 韩剑辉,陈桂红,杨功流. 光纤陀螺测试系统设计[J]. 航空精密制造技术, 2003, 39(3): 37-39.
HAN Jianhui, CHENG Guihong, YANG Gongliu. Design and realization of test system for fiber optic gyroscope[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2003, 39(3): 37-39.
- [2] 王纪南,鲁浩,杜毅民. 激光陀螺惯性组合综合性能自动测试系统的设计和实现[J]. 航空兵器, 2001(2): 5-8.
WANG Jinan, LU Hao, DU Yiming. Laser gyro inertia combination comprehensive performance of automatic test system design and implementation[J]. Aero Weaponry, 2001(2): 5-8.
- [3] 李辉. 基于单轴转台的惯性器件自动标定系统研究[D]. 西安:西北工业大学, 2008.
- [4] 佟柳燃,申功勋. 光纤陀螺可视化测试系统的设计[J]. 中国惯性技术学报, 2005, 12(13): 79-81.
TONG Liuran, SHEN Gongxun. Design and realization for FOG visualizing test system. [J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2005, 12(13): 79-81.
- [5] 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [6] ZHANG Hongliang, WU Yuanxin. A multi-position calibration algorithm for inertial measurement units [C]//Beijing: Navigation and Control Conference and Exhibit, 2008.
- [7] 胡文龙. 基于 VC++ 6.0 的串口实时数据采集及实时曲线显示[J]. 科技广场, 2004(7): 43-45.
Modern Electronics Technique, 2011, 34(5): 92-94.
- [7] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis [C]//London: Proceeding of Royal Society A, 1998 (454): 903-995.
- [8] HUANG N E, SAMUEL S P. The Hilbert-Huang transform and its applications[M]. Singapore: World Scientific Publishing, 2005.
- [9] FLANDRIN P, RILLING G, CONCALVES P. Empirical mode decomposition as a filter bank[J]. IEEE Signal Processing Letter, 2004, 11(2): 112-114.