

# 某型飞机惯导系统检测设备研制

黄国荣<sup>1</sup>, 张海荣<sup>2</sup>, 张吉广<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军工程大学 训练部, 陕西 西安 710051)

**摘要:**针对某型飞机惯性导航系统研制的惯导系统检测设备,旨在实现自主保障、快速测试,以提高整机系统的综合维护和保障能力。该检测设备基于 Compact PCI 总线研制,在综合分析测试需求的基础上,自主研发了 32 位串行码总线收发、旋变数字信号转换等电路并开发了相应的驱动程序;采用 LabWindows/CVI 软件,综合采用定时器、线程池、数据保护和小型数据库等技术开发了测试软件。该设备测试精度高,故障定位快,操作简单,自动化程度高,自检测能力强,便于使用和维护,对保障该型飞机的正常使用和维护发挥了重要的作用。

**关键词:**惯性导航;检测;LabWindows/CVI;Compact PCI

**中图分类号:** V241.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)05-0015-04

惯性导航、制导系统以其高度的自主性、输出导航参数的全面性和实时性以及超强的抗干扰能力成为各种军用飞机及制导武器的主导航系统,其地位作用是其它种类导航系统无法比拟的<sup>[1-2]</sup>。在现代先进战机中,惯导系统已成为导航、飞控和火控系统最核心的信息源<sup>[3-7]</sup>,它直接影响作战任务的完成与飞行安全<sup>[1,8-9]</sup>。某型飞机惯导系统组成部件多,交联复杂,检测工艺十分繁琐<sup>[9-10]</sup>。针对该型惯导系统研制的新一代惯导系统检测设备对保障该型飞机的正常使用和维护发挥了重要的作用。本文介绍该型飞机惯导系统检测设备的研制方案及所采用的关键技术。

## 1 检测设备硬件组成

该惯导系统检测设备需要测试多种类型的信号,包括一次性指令、交/直流电压模拟量、压频信号、旋变-数字信号以及 32 位双极性串行码数字信号等。系统设计采用 Compact PCI 工控机,硬件设备包括 Compact PCI 主机箱、显示器、适配接口、打印机等,主要完成信号调理、数据采集、处理和发送等工作。检测设备硬件组成如图 1 所示。

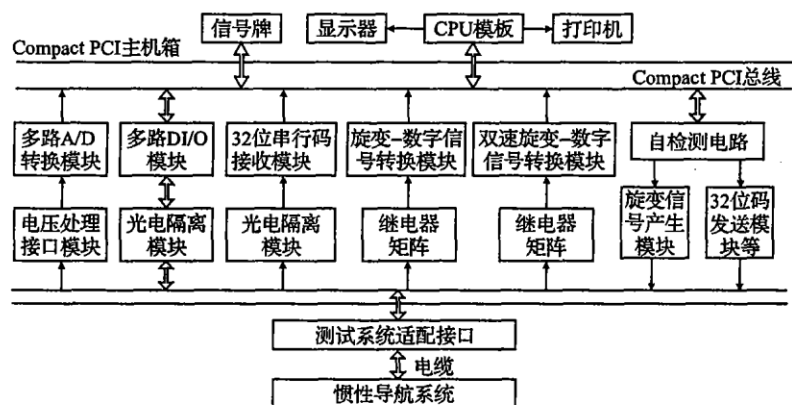


图 1 惯导系统检测设备硬件组成

Fig. 1 The hardware construction of the INS testing equipment

收稿日期:2007-12-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60304004)

作者简介:黄国荣(1972-),男,陕西华县人,副教授,博士,主要从事惯性导航与组合导航研究。

E-mail:hgr126@126.com

## 2 软件方案总体设计

检测设备在设计过程中,首先要对系统需要检测的信号进行分析和归类,并对检测系统所要完成的功能进行划分,在此基础上,设计出软件的总体结构。本测试系统中,用户对界面的操作和对检测流程的控制,虚拟面板上显示数据的自动更新,硬件之间的通讯以及自动检测流程需要同时进行,是一个很典型的多线程测试系统。采用多线程技术能够提高程序的执行效率,使程序并行工作,程序设计也比较自然;它独有的时间片(Time-slice)技术可为用户提供极大方便,特别是在基于PC的数据采集和仪器I/O应用方面。

压频信号的测试主要由APCI 5388完成。板上4片可编程高速计数/定时器芯片82C54,提供12路16位输入/出、计数/定时通道,板内嵌入了独立的内部时钟源能提供精确的定时时钟,通过在指定时间段内计数可得到压频信号数值的大小,它们对采样时刻的精度要求严格。旋变-数字信号的采集需要时间较长(几百ms)。其他一次性指令、32位串行码、电压等信号量的采集几乎不需要时间,并且对采样时刻的精度要求也不严格。

结合本系统实际,采用适用于在固定时间间隔内执行任务的异步定时器(Asynchronous timers)高级机制创建压频数据采集线程和校验线程,而采用适合于需要不连续的执行多次或在循环中执行任务的线程池(thread pools)执行检测流程、旋变-数字信号采集线程。使用主线程创建、显示并运行用户界面程序,次线程(线程池和异步定时器)中完成数据采集以及独立的检测流程,各线程相互通讯,协调工作,实现信号的实时采集分析、处理、保存等工作。测试软件总体方案结构框图如图2所示。

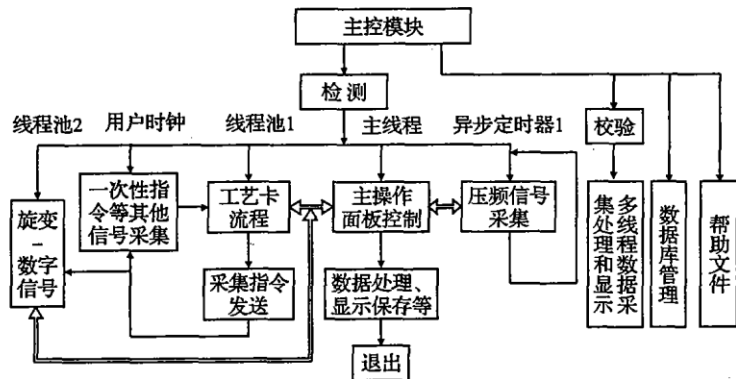


图2 测试软件总体方案结构框图

Fig. 2 The framework of the testing software

检测系统开始工作后,首先进行工作项目的选择,在检测项目中,提示用户进行电缆连接,将飞机、检测设备上的开关置于对应位置,按照检测的流程接通电源、调定飞机航向等,依次或选择完成正常准备方式、工作状态、磁通道、航向通道、监控部件、工具误差、罗差系数的测量和补偿等工作,同时进行检测数据、结论保存等。通过帮助、数据库、校验等模块可相应完成帮助索引、数据维护、校验等工作。检测系统的主流程如图3所示。

软件主要完成人机交互、仪器管理和驱动、测试流程控制以及结果的分析处理、显示、故障诊断、数据保存等功能。操作系统选择Windows2000,开发平台采用美国NI公司的面向仪器交互式C语言的LabWindows/CVI软件。

## 3 软件设计中的关键技术

### 3.1 自研板卡驱动程序

对于自研板卡,Lab Windows/CVI提供的仪器驱动程序无法直接驱动,可用C语言的端口输入函数Inp()和输出函数Outp()等来实现。在各事件驱动程序中直接编写对端口操作的语句实现底层I/O驱动,在Windows2000操作系统下,可以通过调用CVILowLevelSupportDriverLoaded()函数来检查是否在启动时装载了驱动程序。

### 3.2 用户界面定时器的应用

用户界面定时器会因打开、关闭窗口等其它进程或线程的影响而产生ms级的偏差,由于Windows系统每秒生成18个时钟信号,实际定时间隔精度不超过1/18s,使Timer的准确性只有0.056s,再加上系统内部可能存在的某些错误,使定时精度实际只有一半,故Timer控件只能用于长达数百ms以上的定时。利用它

每隔设定的时间间隔就产生 EVENT\_TIMER\_TICK 事件的特点,主面板上的所有控件操作、数据显示更新、以及对时间要求不高的数据采集、指令发送等都在其回调函数中完成。

### 3.3 异步定时器的应用

异步定时器使用 Windows 多媒体定时器来执行异步定时器回调。由于多媒体定时器采用子线程技术,由 Windows 直接调用,受其它应用程序影响小,其时间精度远高于用户界面定时器控件,大约可定时至 1 ms。通常设置时间间隔大于 10 ms,以避免出现不确定后果。可调用 toollib. fp 函数 NewAsyncTimer 来创建异步定时器。由于在检测过程中,压频数据是在次线程中对结构体变量赋值,在主线程中调用和处理等,必须保护数据以免被两个线程同时访问。LabWindows/CVI 提供了多种高级机制来保护数据被同时访问。线程安全变量 DefineThreadSafeScalarVar 有些类似 Windows 系统中线程同步法,把操作系统线程锁定对象和它保护的压频数据结构体组合起来,每次读取变量值的时候,首先要调用操作系统的 API 函数以获得操作系统的线程锁定对象,在读取完变量之后,释放线程锁定对象,操作系统在给定的时间内只允许一个线程获得特定的线程锁定对象。由于它只需传递线程安全变量句柄,而不是传递线程锁句柄和被保护的变量,使用简单且不易出错。异步定时器的运行状态(创建、挂起、启动、删除等)可以通过调用其资源函数实现。

### 3.4 线程池的应用

调用实用库 Utility library 中的 CmtScheduleTheadPoolFunction 函数,把想要在次线程中执行的函数名传递给它,线程池创建一个新线程来执行需要调度的函数。线程的运行状态(继续、删除、释放等)可以通过调用线程池资源函数 CmtReleaseThreadPoolFunctionID、CmtDiscardThreadPool 等来实现。

全局变量方式是一个进程中各个线程通过共享全局变量来进行通信的方式,是 Windows 系统中一种实现简单的线程间通信方式。检测设备软件通过对全局变量赋值,在次线程中每隔一定的时间判读变量值,并调用功能调度子程序,完成主控程序对次线程的控制(如继续、暂停、结束等);同时主线程通过对全局变量(在次线程中赋值处理)的监控调度检测项目的控制,从而实现相互之间的通讯。

### 3.5 利用 SQL 语句进行小型数据库开发

开放式数据库互连 ODBC(Open Data Base Connection)是作为一种标准的结构化查询语言 SQL(Structured Query Language)的接口而实现的。它是 Windows 操作系统的一个重要组成部分,由于这个接口是各数据库的外挂模块,它们通过调用 ODBC 函数,并将这些函数转化为对该数据库特定接口的调用,使用简单、灵活。采用 ODBC 和 SQL 语句进行小型数据库开发,使检测设备程序与数据库的连接来保存数据和处理结论等。具体开发过程如下:

- 1) 创建数据库、建好相应的表、字段名等。
- 2) 在“ODBC 数据库管理器”里完成数据库的注册。
- 3) 利用程序对数据库进行连接与操作。在通过 ODBC 数据源配置了一个 DSN 之后,创建的 DSN 使指定的数据库可以通过 ODBC 来访问。①初始化 ODBC 并获得一个唯一的环境句柄 henv,它只代表着线程对 ODBC 的使用和访问,可以通过调用 SQLAllocHandle() 函数来实现;②设置 ODBC 版本,可通过 SQLSetEnvAttr() 函数实现;③为了连接数据库,必须得到连接数据库的句柄 hdbc,可通过调用 SQLAllocHandle() 来实现;④有数据库的句柄 hdbc 后就可以连接数据库进行操作了,本程序通过调用 SQLConnect() 函数进行连接,INSERT 语句来实现。
- 4) 断开 SQL 连接,断开数据库、释放数据库的句柄、释放环境句柄等。

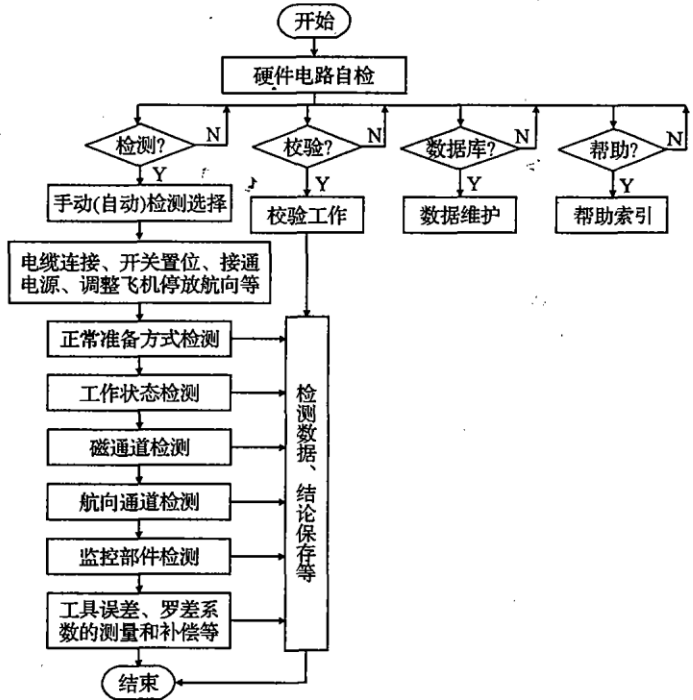


图 3 检测系统主流程图

Fig. 3 The main flow chart of the testing system

## 4 结论

本文研制的基于 Compact PCI 总线技术的惯性导航系统检测设备,旨在实现自主保障、快速测试,以提高整体系统的综合维护和保障能力。该设备测试精度高,故障定位快,操作简单,自动化程度高,自检测能力强,便于使用和维护,对保障该型飞机的正常使用和维护发挥了重要的作用。

### 参考文献:

- [ 1 ] 张宗麟. 惯性导航与组合导航[M]. 北京:航空工业出版社,2000.  
ZHANG Zonglin. Inertial and Integrated Navigation System[M]. Beijing: Aeronautic Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [ 2 ] 张宗麟,胡志强,郝顺义,等. 某型飞机惯导系统校正研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2000,1(1):10-13.  
ZHANG Zonglin, HU Zhiqiang, HAO Shunyi, et al. Study On the Inertial Navigation System Error Correction of A Kind of Plane[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2000, 1(1): 10-13. (in Chinese)
- [ 3 ] 黄胜,张吉广,张宗麟,等. 一种惯性导航仿真系统的设计研究[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(9):1276-1278.  
HUANG Sheng, ZHANG Jiguang, ZHANG Zonglin, et al. Study on A Kind of Inertial Navigation Simulation System [J]. System Engineering and Electronic, 2004, 26(9): 1276-1278. (in Chinese)
- [ 4 ] 刘放,陈明,罗兴文. 虚拟仪器技术在捷联惯导系统软件测试中的应用[J]. 计测技术,2003,33(3):34-36.  
LIU Fang, CHEN Ming, LUO Xingwen. The Application of Virtual Instruments in the Software Test of Strapdown Inertial Navigation System[J]. Metrology & Measurement Technology, 2003, 33(3): 34-36. (in Chinese)
- [ 5 ] Eduardo Nebot, Hugh Durrant Whyte. Inertial Calibration and Alignment of Low Cost Inertial Navigation Units[J]. Journal of Robotics Systems, 1999, 16(2): 81-92.
- [ 6 ] 郑梓桢,刘德耀,蔡迎波. 船用惯性导航系统试验方法研究[J]. 中国惯性技术学报,2004,12(1):58-62.  
ZHENG Zizhen, LIU Deyao, CAI Yingbo. Marine Inertial Navigation System[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2004, 12(1): 58-62. (in Chinese)
- [ 7 ] Kin J, Sukkarieh S. Flight Test Results of An INS/GPS Navigation Loop for an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation[C]. OR, USA, 2002:510-517.
- [ 8 ] Titterton D H, Weston J L. Strapdown Inertial Navigation Technology In: IEEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 5 [M]. London: Peter Peregrinus Ltd, 1997.
- [ 9 ] Miao Lingjuan, Shen Jun, Liu Wei, et al. Initial Alignment Technique for SINS of Vehicles in the Moving State[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 11(3): 234-239.
- [ 10 ] Daniel D R, Johnson P. Frequency Domain Analysis for RLG System Design[J]. Navigation, 1987, 34(3): 179-189.

(编辑:田新华)

## The Inertial Navigation System Testing Equipment Development for A Certain Type of Airplane

HUANG Guo-rong<sup>1</sup>, ZHANG Hai-rong<sup>2</sup>, ZHANG Ji-guang<sup>2</sup>

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Department of training, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** The Inertial Navigation System (INS) testing equipment is developed aiming at self-maintenance and fast testing, so as to improve the whole system maintenance and repairing ability. Based on the Compact PCI bus, after analyzing the testing requirements of the testing equipment, the 32-bit serial code receiving and transferring circuit board and the SXZ circuit board are developed, the relevant driving programs are developed, too. Using LabWindows/CVI, the testing software is developed adopting techniques such as timer, asynchronous timer, threading pool, data protection and minitype database, etc. The developed testing equipment play an important role during the maintenance of the type of airplane, for its high precision, fast failure detection speed, simple operation, high automatization and easy use and maintenance.

**Key words:** inertial navigation; test; LabWindows/CVI; Compact PCI