

# 测量船惯导系统单板故障检测平台的设计

毛亮 朱栋山 邓凤军

(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

**摘要:** 为了提高维护效率,实现对单板故障的快速诊断,设计开发了惯导系统单板故障检测平台。该检测平台硬件上以 FPGA 为逻辑单元,采用 ISA 总线与上位机进行通信,软件方面采用 Visual C++ 开发驱动程序和调用函数程序,供上层程序调用,采用虚拟仪器 LabVIEW 开发用户界面、测试程序和控制程序。最后,以 SM\_MB 板卡为例实现对单板故障检测平台的测试验证,结果表明,该平台操作简便、测试可信,满足测量船惯导系统电子单板快速故障诊断的要求。

**关键词:** 航天测量船;故障检测;虚拟仪器;LabVIEW

**中图分类号:** TP277 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.70

## Design of single board fault detection platform for the integrated navigation system on the tracking ship

Mao Liang Zhu Dongshan Deng Fengjun

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214440, China)

**Abstract:** In order to improve the maintenance efficiency and realize the rapid diagnosis of the single board fault, the fault detection platform of the inertial navigation system is designed and developed. The detection platform hardware based on FPGA logic cell and communicated with PC by ISA bus, the software develop driver program and call functions program called by the upper procedure using Visual C++, the user interface, test procedures and control process using Virtual Instrument LabVIEW. Finally, with SM\_MB card as an example implementation of single board fault detection platform test. The results show that, the platform is easy to operate and trustworthy, to meet the requirements of the fault rapid diagnosis test of the inertial navigation system electronic single board of the tracking ship.

**Keywords:** the tracking ship; LabVIEW

## 1 引言

测量船在海上动态条件下,船舶及测量设备的位置和姿态始终处于变化的状态,测量船以惯性导航设备为全船测控设备提供地平坐标系和测量姿态基准,因此,惯性导航系统的精度直接决定着测控设备的测量总精度<sup>[1]</sup>。目前,测量船采用的是平台式惯性导航设备,为了便于操作使用以及海上应急故障处置,该设备将故障高发的板卡分离出来形成电子板卡机柜以承担系统的控制、数据处理、显示等核心工作,系统结构复杂,线路板卡繁多,板卡故障是系统主要故障来源。然而由于惯性元件不适合反复启动,并且在故障排查过程中板卡的反复插拔也容易导致二次故障的发生<sup>[2]</sup>,不利于故障的迅速排查和设备的维护保养,同时还会缩短惯性元件的使用寿命。

针对以上问题,设计开发了基于虚拟仪器的测量船惯性导航设备系统的单板卡故障检测平台,在惯性导航设备板卡级故障发生时,利用该平台快速对板卡故障进行诊断测试和定位,提高故障诊断效率。

## 2 总体设计

虚拟仪器技术是一种由计算机操纵的模块化仪器系统<sup>[3]</sup>。具有性能高、扩展性强、开发时间少、无缝集成等优点。基于这种虚拟仪器技术设计的惯导设备单板卡故障检测平台总体架构如图 1 所示。平台以 PC 终端为核心,所有外部待检板卡都挂载在总线上,计算机通过总线发出各种控制信息给逻辑控制线路,用协议中规定好的命令来启用测量、改变工作方式等功能。

为了提高电子线路检测维修效率,平台利用装备的自

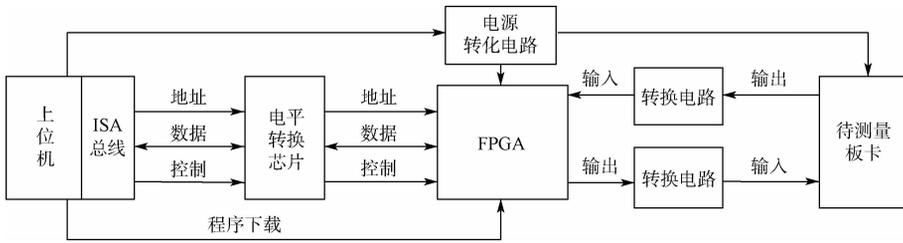


图1 故障检测平台功能结构

检功能机型板卡级故障定位,由上位机发出命令给自主开发的信号控制线路板上的FPGA芯片对其进行控制,使FPGA芯片通过I/O口对被测板卡的输入输出进行检测,并将检测结构送上位机进行判断,进而进行故障诊断。

### 3 硬件设计及实现

硬件系统以FPGA为核心控制模块,主要包括四部分,分别为电源电路、时钟模块、控制模块和转换电路实现<sup>[4]</sup>。完成的主要功能包括:获取待测板卡的数字信号,完成ISA总线的数据读写逻辑控制,实现与PC的通信,将待测板卡信号传送至上位机进行分析处理判断,实现对待测板卡的故障诊断。

#### 3.1 电源电路

为实现同时给FPGA和待测量板卡供电的实际需求,

考虑到待测板卡供电电压未知,对其输入电压必须是输入且可调节的,选用LM2577-ADJ电源芯片,其额定输入电压指标5V,输出稳定电压最大为28V,且输出电压时可调节,为满足给待测量板的电压供电要求<sup>[5]</sup>,设计其DC/DC升压型的直流开关稳压电源电路如图2所示,芯片内部有1.23和2.5V能隙基准电压单元,52kHz固定频率锯齿波震荡器、RS触发器、晶体管驱动电路和峰值电流可达3A的晶体管,还包括峰值电流采样电阻、采样电流放大器、采样电压放大器,共同组成电压、电流误差反馈系统,已达到脉宽调制(PWM)工作方式。另外,ISA总线信号为+5V的TTL电平,FPGA的I/O端口使用的为+3.3V的LVTTTL电平,因此需要进行+5~+3.3V的电源进行转换,采用电平转换芯片SN74ALVC164245可实现3.3~5V的电平双向转换,保证了FPGA与上位机之间的正常通信。

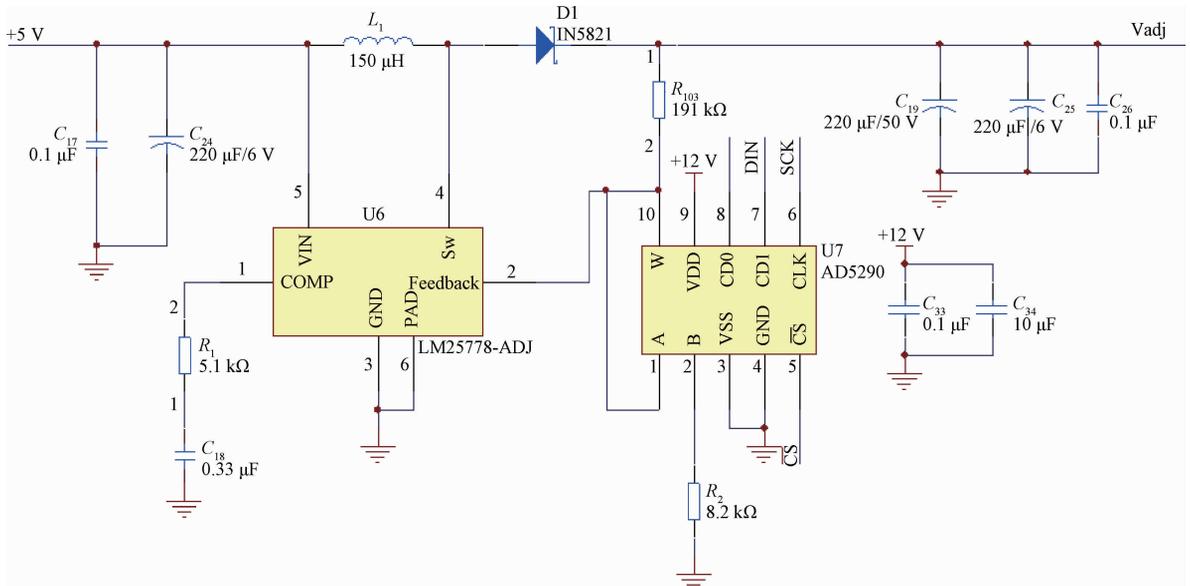


图2 LM2577-ADJ芯片DC/DC升压型直流开关稳压电源电路

#### 3.2 时钟模块

时钟模块对系统时钟进行分频,产生各个模块需要的时钟信号。系统时钟由ISA卡上的OSC管脚提供,并从FPGA的全局时钟管脚输入,如此可充分利用FPGA内部的全局时钟资源,实现各个模块工作时钟同步。

#### 3.3 控制模块

在控制模块中采用地址译码器实现ISA总线地址到各个寄存器的地址映射;在地址译码器的配合下,指令寄存器依据通信协议接收来自ISA总线的指令数据,对发送模块给出相应的读写信号及发送指令;发送缓存控制器依

照指令寄存器内的指令数据,为发送模块中的数据缓存器提供片选信号并控制相应的读写时序<sup>[6]</sup>;检测信号由信号发生器提供,系统根据待检测版的电路特征,发出程控信号控制信号源及矩阵扫描开关,将待测所需信号的标准信号灌入待检测板中,以观察待检板的工作状态,并对返回的信号参数进行分析。上位机通过 ISA 总线向 FPGA 发出命令,在 ISA 写入数据帧的过程中,FPGA 通过指令译码和地址译码向待检测板卡进行给定的信号输入,并在接受到待检测板卡的输出信号后,通过指令译码和地址译码将结果输入给上位机进行判断,实现对待检测板卡故障信息的检测。

### 3.4 转换电路

被测量板需要输入,输出均是 12V 的电平信号,而 CPLD 的 I/O 口的电压为 3.3 V,因此需要进行 12 和 3.3 V 之间的转换,设计其转换电路如图 3 所示。

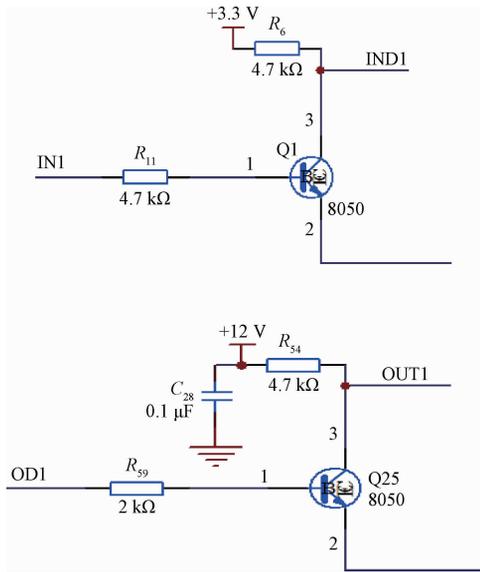


图 3 转换电路

## 4 软件设计及实现

单板故障检测及诊断平台软件设计实现对采集信号的数据分析、结果输出以及人机交互等功能<sup>[7]</sup>。通过对待检线路板信号走向的分析整理,应用 LabVIEW 对每一待检板进行测试程序的编写,在实际使用时可以做到针对某块线路板调用相应测试程序即可完成测试功能,测试平台软件整体设计结构如图 4 所示。根据系统实际需求,软件分为检测和查询两个系统,检测系统实现对惯性导航设备的各线路板进行检测,产生被测线路板信息和测试结果,并对测试结果进行打印和保存。查询系统实现查询已测线路板测试的结果,并对测试结果进行打印<sup>[8]</sup>,软件的数据流程如图 5 所示。

软件的实现主要是 3 部分功能模块的实现,分别是实

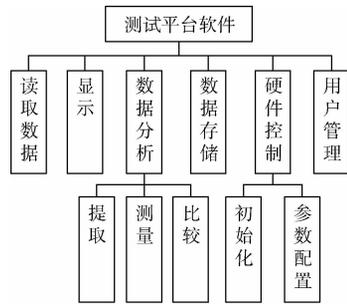


图 4 测试平台软件整体结构

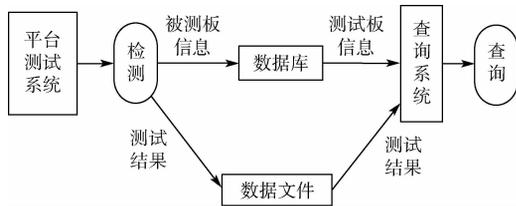


图 5 软件数据流程

现采样模拟数据的显示、分析、存储功能的模拟通道模块,实现测试项目指标参数读取功能的存盘数据读取模块和实现输出、采集数字信号功能的数字 I/O 模块;其实现流程如图 6 所示。

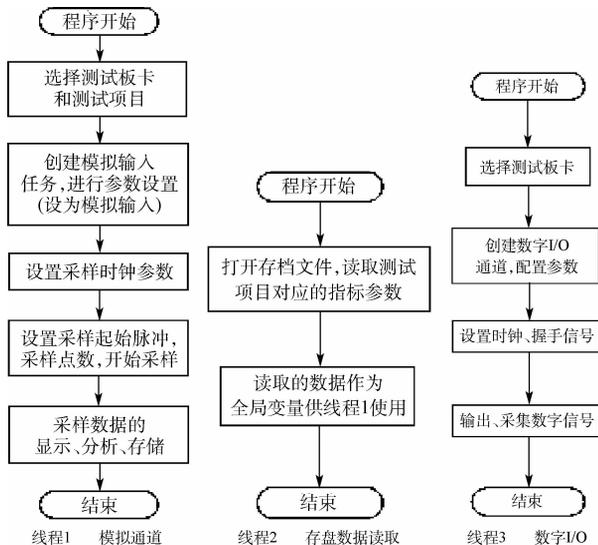


图 6 软件功能模块实现流程

系统的测试软件采用 LabVIEW 和 Visual C++ 多层次开发<sup>[9]</sup>,在 Windows 环境下运行。选用 LabVIEW 开发用户虚拟仪器界面、测试程序和控制程序,用 Visual C++ 开发硬件仪器驱动程序和调用函数程序,供上层程序调用。单板故障检测的程序部分主要采用了平铺式顺序事件结构,通过事件触发:“测试板卡选择”、“开始测试”、“保存数据”、“退出测试”来实现一系

列的功能要求<sup>[10]</sup>。以 SM\_MB 板卡为例,开发出的软件界面如图 7 所示。



图 7 单板卡故障检测及诊断平台软件界面图

## 5 系统测试

测量船惯导系统单个电路板种类繁多,需要根据各电路板的输入输出信号进行分析判断。现以 SM\_MB 板卡为例,测试该检测平台在离线状态下对 SM\_MB 板卡进行故障检测的工作情况。在日常维护中,SM\_MB 板卡要测试四部分内容:左边加计数、左边减计数、右边加计数、右边减计数,其中每部分都对应 3 种状态:单板计数无故障、无时钟信号输入、计数器无清零信号输入,其中后两种状态归为该板卡有故障,需要及时报警提示。测试时,先将 SM\_MB 卡与检测平台相连接,然后在图 7 中点击“开始测试”,系统开始自动检测 SM\_MB 板卡的状态。通过模拟故障产生,实现对检测平台的测试。图 8 所示为 SM\_MB 板卡正常情况下的检测状态,图 9 所示为有故障时检测状态,当板卡出现故障时,在相应的测试内容后面,会用红色字迹表示。当测试结束后,点击“保存数据”就会把测试结果保存到数据库中,点击“退出测试”系统则退出测试系统。从测试结果看,针对 SM\_MB 板卡,检测平台能够准确进行故障检测,测试的有效性得到了验证。



图 8 单板故障检测测试正常界面



图 9 单板故障检测测试异常界面

## 6 结论

本文提出了测量船惯导系统单板故障诊断检测平台的设计方案,综合利用虚拟仪器、计算机总线、信号调理、FPGA 等技术,实现了检测平台的开发,对系统的硬件设计原理及软件设计进行了介绍。通过对某型惯导系统 SM\_MB 板卡的测试,检测平台能够快速诊断板卡是否存在故障,验证了检测平台软硬件的正确性。后续,可以对各板卡开发独立的测试程序,并对其它类似检测平台的开发有一定的借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 潘良. 航天测量船船姿船位测量技术[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [2] 孙尧,王庭军,高延滨,等. 旋转式捷联惯导系统解算结构[J]. 中国惯性技术学报,2013,21(1):10-15.
- [3] 夏永松,刘铁萍,周益青. 基于虚拟仪器的自动化测试系统设计与软件实现[J]. 制导与引信,2010,31(4):44-48.
- [4] 董磊,李德才,韦俊新,等. 用隐 Markov 模型的陀螺电机故障诊断方法[J]. 中国惯性技术学报,2014,22(6):829-831.
- [5] 王丽君,刘悦,黄永亮. 基于 LabVIEW 的虚拟信号发生器及示波器的设计[J]. 华北水利水电学院学报,2010,31(3):57-59.
- [6] 姚君. 基于状态机方法的 CAN 总线通信的 FPGA 实现[J]. 国外电子测量技术,2015,34(3):64-68.
- [7] 翁浚,成研,秦永元,等. 车辆运动约束在 SINS/OD 系统故障检测中的应用[J]. 中国惯性技术学报,2013,21(3):406-410.
- [8] 张和杰,卞鸿巍,王荣颖. 基于在线数据自动记录装置的船用惯导系统快速故障诊断方法[J]. 中国惯性技术学报,2010,18(3):363-367.
- [9] 程政,邱智,郝世勇,等. 一种飞机输配电实验平台测

控系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015, 38(5): 72-74.

- [10] 李玉霞, 孟浩然, 吴庆林, 等. 基于 LabVIEW 的望远镜故障诊断与监测系统[J]. 电子测量技术, 2014, 37(1): 90-94.

## 作者简介

毛亮, 工学学士, 高级工程师, 主要研究方向为航天测

控技术、惯性导航系统、仪器与测试技术等。

朱栋山, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为惯性导航系统、光电测量技术等。

邓凤军, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为航天测控技术、测试计量技术等。

E-mail: dfj1981@163.com

(上接第 154 页)

- [8] 梁香美. SAR 人造目标识别方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [9] TIPPING M E. Sparse bayesian models (& the RVM) [EB/OL]. [2009-10-01]. <http://www.miketipping.com/index.php?page=rvm>.
- [10] 赵桐. 相关向量机优化方法的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [11] 李会丽. 空间目标 ISAR 成像仿真及基于 ISAR 像的

目标识别[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.

## 作者简介

张维坤, 1991 年出生, 装备学院硕士研究生, 主要研究方向为 SAR 信息处理与电子对抗。

E-mail: qingdaoweikun@163.com

叶伟, 1969 年出生, 装备学院博士生导师、教授, 主要研究方向为空间信息对抗。

(上接第 163 页)

- [7] 于旭东. 二频机抖激光陀螺单轴旋转惯性导航系统若干关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2011.
- [8] 徐晓东, 郑对元, 肖武. LabVIEW8.5 常用功能与编程实例精讲[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 2-3.
- [9] 张金玉, 张炜. 装备智能故障诊断与预测[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 13-16.
- [10] 魏国. 二频机抖激光陀螺双轴旋转惯性导航系统

若干关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2013.

## 作者简介

石玉巍, 1993 年出生, 国防科技大学光电科学与工程学院本科生, 主要研究方向为故障诊断。

于旭东, 1982 年出生, 博士研究生、讲师, 主要研究方向为光电检测。

E-mail: 2497688051@qq.com