

基于 CVI 和 VC++ 混合编程的雷达天线测试平台的软件设计

初晓军¹, 温倩², 董华²

(1. 海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041; 2. 南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘要: 为了提高雷达天线系统外场的测试水平, 研制了一种便携式雷达天线系统测试与控制平台; 文章介绍了平台的组成结构, 并详细地介绍了平台的软件设计; 平台的软件设计采用 LabWindows/CVI 和 VC++ 混合编程的思想, 利用 LabWindows/CVI 开发了上层应用程序, 实现了良好的人机交互界面, 采用 VC++6.0 开发了底层驱动程序, 底层驱动程序以动态链接库形式封装, 保证了硬件测控的实时性; 实际应用表明该软件能满足雷达天线系统测试的需求, 并能保证整个测试平台的实时性和可靠性, 简化了测试过程。

关键词: 雷达天线系统; LabWindows/CVI; VC++6.0; 动态链接库

Software Design for Radar Antenna Test Platform Based on Mixed Program of CVI and VC++

Chu Xiaojun¹, Wen Qian², Dong Hua²

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;

2. School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Developing a portable radar antenna system testing and control platform to improve radar antenna system field test level. This article describes the structure of platform and a detailed description of the platform software design. The software design of platform adopts mixed programming ideas, it uses LabWindows/CVI develop upper application program to achieve a good man-machine interface and uses VisualC++6.0 develop the underlying drivers that is packaged as dynamic link library to ensure hardware test and control real-time. The practical application shows that the software can satisfy the needs of the radar antenna system testing, and to ensure the timeliness and reliability of the test platform, simplifying the testing process.

Key words: radar antenna system; LabWindows/CVI; VC++6.0; dynamic link library

0 引言

某型雷达天线系统主要包括电子控制放大器 AEC 和扫描器^[1], 针对雷达天线系统外场检测问题, 研制了雷达天线系统测试与控制平台, 它是检测雷达天线系统故障的一种便携式自动检测设备, 便携式雷达天线测试平台的研制具有重要的军事和学术价值。该平台采用嵌入式处理器为主控制系统, 采用专用检测板卡来产生平台工作所需的指令信号及接收其响应信号, 采用 LabWindows/CVI 和 VisualC++6.0 混合编程的思想构建了整个平台软件。LabWindows/CVI 采用的标准 C 语言格式, 丰富的功能面板和库函数大大增强了 C 语言的功能, 为开发检测、数据采集、过程监控等系统提供了一个理想的开发环境, 但是其控制硬件效率较低^[2]。然而, Visual C++ 是 Windows 环境下最主要的应用开发系统。它不仅是 C++ 语言的集成开发环境, 而且与 Win32 紧密相连, 同时具有汇编语言和高级语言的功能和特点, 能够直接操纵硬件且编写方便, 便于调试且执行效率高^[3]。本文将结合两者编程语言的优点开

发了天线系统测试与控制平台的软件。

1 平台的结构与原理

雷达天线系统测试与控制平台的整体设计结合了虚拟仪器与便携式自动检测设备的思想。在硬件设计上, 专用的检测板卡进行信号的采集、处理、生成, 嵌入式处理器 S3C6410 作为整个平台的控制中心, 处理器通过 USB 接口芯片 FT245R 实现与检测板卡之间的通信, 避免了像 ISA、PCI 等总线复杂的主机底板和众多的总线接口的复杂性, 提高了天线测试与控制平台的便携性。在软件设计上, 采用 LabWindows/CVI 与 VC++6.0 相结合的混合编程思想设计了整个平台的软件, 保证了检测的实时性、可靠性。雷达天线系统测试与控制平台通过对天线系统进行静态测试、动态测试可将雷达天线的故障隔离到组件或插件, 实现对其的故障诊断。在通用测试仪和专用校准仪配合下, 天线测试与控制平台还可以进行自我校准。测试平台的校准包括两点: 首先是对天线测试与控制平台生成的信号进行校准; 其次是在平台接收到被测设备的反馈信号, 看平台能否正常地响应处理, 若不能正常地响应, 说明测试平台有故障, 则需检查维修。测试平台的自我校准这一功能更加准确地确定是测试平台自身有故障还是天线系统中的某个组件有故障, 保证了检测结果的准确性, 天线系统测试与控制平台的组成结构如图 1 所示。

收稿日期:2014-01-20; 修回日期:2014-03-10。

基金项目:航空科学基金资助项目(20100818017)。

作者简介:初晓军(1965-),男,山东威海人,教授,主要从事雷达信号处理与检测、自动测试设备方向的研究。

董华(1975-),女,河南郑州人,副教授,主要从事质量控制、信息处理方向的研究。

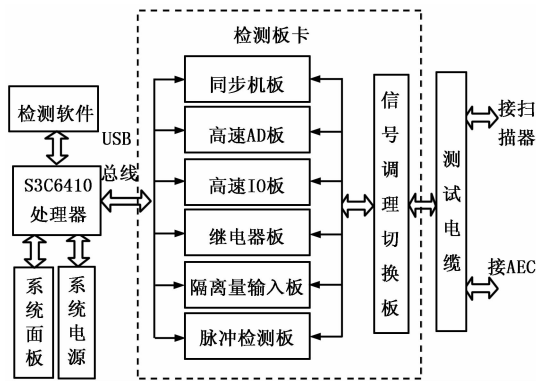


图 1 雷达天线系统测试与控制平台的组成框图

2 软件的总体结构

自动检测设备的运行离不开软件的支持, 一个现代化检测系统性能的优劣很大程度上取决于软件平台的选择与应用软件的设计。天线系统测试与控制平台的软件主要包括两方面: 一方面是硬件及软硬件接口的底层驱动程序, 包括 USB 接口芯片、检测板卡驱动程序, 在该平台中, 底层硬件设备的驱动程序封装成动态链接库 DLL (Dynamic Link Library) 的形式; 另一方面是对各种信号进行采集、模拟及对采集的信号进行处理、显示的上层界面测试程序, 这一方面主要应用 LabWindows/CVI 软件平台实现。界面测试软件通过 DLL 动态链接库技术来实现对检测板卡的操作。DLL 完成底层 USB 接口的控制, 封装底层通信协议, 为上层测试应用程序提供各个板卡的用户接口 API, 是上层界面应用程序与 USB 硬件设备通信的纽带^[4]。在该测试平台软件中, 界面测试程序通过调用 VC++ 编写的 DLL 中的函数来完成对底层硬件设备的控制行为, 将两个软件开发平台的优势很好地结合起来, 保证了平台软件的实时性、可靠性。

雷达天线系统测试与控制平台的软件开发采用模块化和层次化思路, 符合软件工程设计的原则。这样不仅可以使设计思路更清晰、结构更合理、过程更简单, 而且对后期软件维护和升级也带来方便。天线系统测试与控制平台软件的结构图如图 2 所示。其中, 上层测试程序是与用户进行交互的界面软件, 设计中应考虑软件的人性化和友好化等因素, 底层驱动程序通过 USB 芯片控制硬件系统。首先是平台界面测试程序发送指令到各个板卡的驱动程序, 再经过 FT245R USB 接口芯片驱动程序 FTD2XX.DLL 将指令送到各个板卡的控制中心, 从而实现对底层检测板卡的控制。

3 测试程序设计

测试程序作为整个平台软件的上层结构, 它是一个带有易用操作界面、用于管理和执行测试程序的环境, 它用于对整个测试流程的控制。测试软件主流程如图 3 所示, 首先是天线系统与测试平台进行自检, 若板卡自检有错误则必须调试检查重新启动测试平台, 若板卡自检正常, 则自动进入测试平台主界面, 进入测试台主界面后, 主界面会弹出一个提示消息, 提示用户是否需要关机连接测试电缆 J-1、J-2。然后, 检测平台能依据电缆 J-1、J-2 的连接情况判断进入天线静态测试、天线动态测试、测试平台校准界面进行相应项目的测试, 这一功能避免了由于测试人员错接测试电缆而导致测试结果的不准确性。

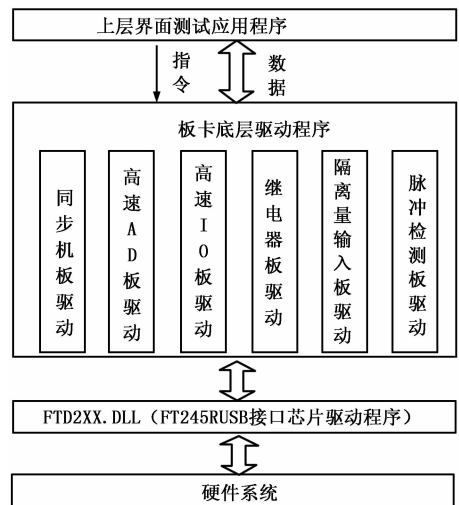


图 2 雷达天线系统测试与控制平台的软件结构

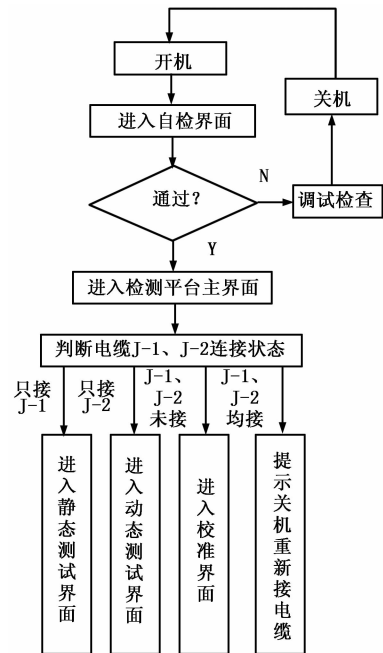


图 3 测试软件主流程图

天线系统测试与控制平台的测试程序基于众多优点的 LabWindows/CVI 10.0 环境开发的。在测试程序设计过程中, 首先在对 LabWindows/CVI10.0 编程环境和测试平台熟悉的基础上, 通过对测试平台的功能分析、测试项目分析, 确定平台所需的测试界面, 每个界面实现的测试项目, 每个测试项目涉及的信号, 每个信号的测试原理, 通过这一系列的分析研究, 确定出测试程序的整体框架。然后在 LabWindows/CVI 环境中按照以下几个步骤进行测试程序的开发。

(1) 打开 File/New/Project (*.prj) 建立工程文件, 根据任务所要实现的功能, 确定界面基本框架, 包括各类控件所需的各类函数。

(2) 打开 File/New/User Interface (*.uir) 创建用户图形界面。根据第一步的方案, 添加控件, 设置控件属性及确定控件的回调函数名。

(3) 在用户界面 (*.uir) 确定好了之后, 选择 Code/Generate/All Code 自动生成程序代码及回调函数的基本框架。然后向源文件中添加程序代码, 完成所要实现的功能

(4) 最后调试程序和生成可执行文件 (*.exe)。

4 驱动程序的设计

4.1 驱动程序

驱动程序是连接应用程序、硬件以及操作系统的桥梁, 其作用是提供系统与硬件设备的接口函数, 必须支持用户及其应用程序要求的信息流, 能实现对硬件设备的访问, 从而避免了对底层硬件的直接操作^[5]。在图 1 平台组成中, 测试平台的检测板卡组成包括同步机板、AD 板、IO 板等板卡, 在图 2 的软件结构中, 测试程序通过各个板卡的驱动程序实现对底层板卡的控制, 所以在平台的驱动程序设计中要编写各个板卡的驱动程序。在天线系统测试与控制平台的驱动程序设计中, 各个板卡的驱动程序是以 DLL (Dynamic Link Library) 即动态链接库形式呈现的。动态链接库 (DLL) 是一种函数集或者资源库, 它只是提供若干函数供 Windows 应用程序或其他动态链接函数库调用, 只有在别的模块中调用了它的某个函数以后才发生作用^[6]。DLL 通过一种特殊函数集来实现代码和资源的共享、多平台间快捷的互相调用, 最大限度的节省空间, 并达到良好的移植、兼容效果。使用 DLL 有许多优点, 最主要的一点是使多个应用程序, 甚至是不同语言编写的应用程序可以共享一个 DLL 文件, 真正实现了“资源共享”, 大大缩小了应用程序的执行代码, 能更加有效地利用内存空间。另一个优点是 DLL 文件独立于应用程序, 在需要软件升级时只要修改 DLL 文件而不需要对调用它的程序做任何修改, 为软件升级提供了方便, 提高了软件的开发速度。正是基于 DLL 的众多优点, 在该平台中以 DLL 形式作为驱动程序的开发是最佳的选择。

4.2 驱动程序的创建

在该平台中, 各个板卡的驱动程序主要在 FTDI 公司提供的 FT245R USB 接口芯片驱动程序和动态链接库 FTD2XX.DLL 的基础上, 开发各个检测板卡的硬件控制和数据采集软件即动态链接库。各个检测板卡的驱动程序均采用 VC++6.0 进行开发, 封装了数据采集板与主控处理器的通信协议, 完成数据采集板的初始化、读写、关闭等操作。在 VC++6.0 开发环境下, 可以选择 Win32 Dynamic-Link Library 或 MFC App Wizard [dll] 工程类型来创建 Non MFC Dll、Regular Dll、Extension Dll 等不同类型的动态链接库^[7]。在该平台中, 采用的是 Win32 Dynamic Link Library 的方式来创建各个板卡的 DLL。由于文章篇幅有限, 在此以同步机板的动态链接库的创建为例, 简要说明一下动态链接库的大体创建过程。同步机板包括 USB 接口的自整角机/旋转变压器→数字转换器 (简称 SD) 和数字→自整角机/旋转变压器转换器 (简称 DS)。在实际测试平台中同步机板主要负责模拟雷达天线需求信号及回测天线实达方位。同步机板驱动程序的创建过程如下。

(1) 首先在 Visual C++6.0 开发环境下, 选择打开 File/New/Project 选项, 选择 Win32 Dynamic-Link Library 的方式建立一个空的 DLL 工程, 命名为 TBJ.DLL。

(2) 在 TBJ.DLL 工程下, 分别添加 TBJ.h 头文件和

TBJ.cpp 源文件, 由于在该平台中, 处理器是通过 FT245R 芯片实现与同步机板的 USB 总线通信, 所以建立一个 TBJ_OWN.h 头文件, 该头文件的作用是对主处理器和同步机板之间命令帧定义及其对 FTD2XX.DLL 的动态加载。

(3) 根据同步机板卡所要实现的功能, 分别对 TBJ.h 头文件和 TBJ.cpp 源文件进行相应的变量定义和应用程序接口 API 函数的编写。

(4) 然后, 对同步机板卡的 TBJ.cpp 源文件进行调试、编译、链接, 最后生成 TBJ.dll, TBJ.lib 文件。

在同步机板 TBJ.cpp 源文件中包括打开关闭驱动程序、打开关闭设备、复位、初始化同步机板等函数, 在此以 TBJ_OpenDevice 打开设备函数为例, 说明一下板卡功能函数的编写思路, 它的作用是打开同步机板设备。TBJ_OpenDevice 函数的源代码如下所示, dwCardNo 表示同步机板设备代号。

```
TBJ_USB_API DWORD WINAPI TBJ_OpenDevice(
    DWORD dwCardNo)
{
    FT_STATUS ftStatus;
    //查看列出的设备数据量
    if(! g_bDeviceListed)
        //打开设备驱动程序,返回同步机板卡的数目
        { TBJ_OpenDriver(&g_dwDevNums); }
    //如果卡号小于 1 或者大于设备总数则是一个无效卡号
    if(dwCardNo<1 || dwCardNo>g_dwDevNums)
        return TBJ_INVALID_CARDNO;
    //打开同步机板,并返回设备的句柄
    ftStatu= FT_Open(g_dwDeviceIndex[dwCardNo], &g_hDevice
[dwCardNo])
    if (FT_OK==ftStatus)
    { //清除卡对应的读线程的句柄
      g_hReadUSBThread[dwCardNo]=NULL;
      //清除卡对应的解包线程的句柄
      g_hDePacketThread[dwCardNo]=NULL;
      //清除线程已停止运行事件的句柄
      g_hEventQuit[dwCardNo]=NULL;
      //清除向应用程序发送的接收事件的句柄
      g_hAppRxEvent[dwCardNo]=NULL;
      //清除向应用程序发送的出错事件句柄
      g_hAppErrEvent[dwCardNo]=NULL;
      //初始化线程缓冲区中头尾指针管理
      InitializeCriticalSection(&g_csPack[dwCardNo]);
      //初始化 USB 设备环形缓冲区头尾指针管理 InitializeCriticalSec-
tion(&g_csUSB[dwCardNo]);
      return TBJ_OK;}
    else
        //打开设备失败则返回错误代码
        return TBJ_OPENDEVICE_ERROR;}
}
```

5 动态链接库的调用

在天线系统测试与控制平台的软件设计中, 采用 LabWindows/CVI 进行了测试应用程序的编写, 来实现整个测试流程的控制。平台的硬件设备、接口的驱动包括 USB 接口、同步机板卡、AD 板卡、IO 板卡等的驱动程序均是 DLL 的形式。然而, 在底层驱动程序和测试程序设计好之后, 测试应用程序如何调用动态链接库实现对硬件设备的直接控制是要解决的问题。

(下转第 1657 页)

户可以根据需要扩展,使其可对其他同类被测对象进行测试和故障诊断。

(2) 针对设备检测需求,开发不同的软件测试模块并集成,实现了测试程序的重用性和可移植性,提高了软件编程、使用和维护的效率。

(3) 系统集成度高,配置灵活,操作智能化,功能完整,测试项目齐全,并带有故障诊断功能,同时符合地面测试设备标准化、模块化、系列化的发展思路。

(4) 经试用表明,该检测系统具有良好的操作性和维护性,可以满足导弹逼近告警器及无源干扰设备检测维修的迫切需要,具有良好的军事效益。

虽然完成了软件系统的设计和实现,但系统故障诊断子系统处于初步构建中,有待于进一步分析和完善,主要表现在模糊知识库不够充实,不能进行自主学习,需要适时对模糊知识库的内容进行更新。

参考文献:

[1] 肖明清,胡斌,薛辉辉,等.某型导弹发射装置通用检测设备自

检与校准装置设计[J].计算机测量与控制,2013,21(10):2723-2725.

[2] 樊国创.某型飞机机载武器控制系统自动测试设计与实现[D].西安:空军工程大学,2005.

[3] 陶东香,郑海波,茹东生.基于PXI和LabVIEW的无源干扰设备测试诊断系统构建[J].现代电子技术,2011,34(7):120-122.

[4] 于劲松,李行善.下一代自动测试系统体系结构与关键技术[J].计算机测量与控制,2005,13(1):1-3.

[5] 李润生.基于PXI总线的机载计算机通用测试系统的设计和实现[J].航空计算技术,2004,34(4):54-56.

[6] 王宝龙,黄考利,魏忠林.基于LabVIEW的通用自动测试系统设计[J].兵工自动化,2005,24(6):30-32.

[7] 张毅刚,彭喜元,姜守达,等.自动测试系统[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.

[8] 彭芳.PXI技术在某型雷达测试系统中的应用研究[D].西安:空军工程大学,2004.

[9] 乔文军,万晓冬.嵌入式软件覆盖测试工具的研究[J].计算机测量与控制,2007,15(9):1238-1242.

(上接第 1652 页)

动态链接库的调用式有两种:静态调用和动态调用。静态调用(隐式调用)就是在编译和链接应用程序时提供头文件(*.h)和导入库文件(*.lib),这样链接器将向系统提供加载DLL所需的信息,并在加载时解析需要调用的DLL函数的位置。应用程序像调用本地函数一样对DLL中的函数进行调用,这种方式操作简单,适用于内存空间足够,要求效率高的程序中。动态调用(显式调用)就是应用程序调用LoadLibrary函数或LoadLibraryEx函数以在程序运行时加载DLL。成功加载DLL后使用GetProcAddress函数获得要调用的DLL函数地址。在使用动态调用时,无需使用导入库文件(*.lib),依次对要调用的函数进行加载。这种方式的加载速度要比使用静态调用的应用程序快,但使用起来复杂,适用于编写大型应用程序^[8]。

前面介绍了用VC++完成了DLL建立及生成了导出函数库*.lib的过程和测试程序的设计,结合天线测试与控制平台软件的特点,在这里选择静态调用即隐式调用的方式来实现DLL的调用。这种方式比较简单易操作并且执行效率高。现在以同步机板的动态链接库ZY_TBJ_USB.dll为例,描述一下在界面测试程序下动态链接库具体的调用过程。

(1) 首先在Labwindows/CVI10.0环境下,打开File/Open/Project(*.prj)选项打开天线系统测试与控制平台界面测试软件名为ST1.prj总工程,所有的测试界面程序都在这个工程中,再把TBJ.h、TBJ.dll、TBJ.lib文件拷到ST1工程所在的目录文件中。

(2) 然后右击ST1.prj工程图标,在出现的菜单下选择Add Existing File选项,把同步机板的TBJ.h、TBJ.dll、TBJ.lib文件分别添加到ST1.prj工程中去。这样就完成了动态链接库的隐式调用。

6 结束语

本文将一种LabWindows/CVI和VC++混合编程的软件设计方式应用到雷达天线系统测试与控制平台,充分利用两者的优点构建了雷达天线系统测试与控制平台的整个软件,实现了人性化、友好化的测试界面,同时又保证了对底层硬件设备准确实时地控制。通过对雷达天线进行静态、动态测试,表明该软件能实时准确地将指令信号传输到雷达天线系统并能处理与显示反馈的测试数据。应用表明,该测试与控制平台适合应用于对体积和功能都有较高要求的某型雷达天线系统的故障检测,解决了某型雷达天线系统外场检测的难题。

参考文献:

[1] 初晓军.XX雷达设备[Z].青岛:海军航空工程学院青岛分院,2005.

[2] 张风均.LabWindows/CVI开发入门和进阶[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.

[3] 习郑虎,年夫顺,梁胜利.基于LabWindows/CVI的USB总线微波功率计软件设计[J].计算机测量与控制,2011,19(1):214-215.

[4] 陈凯,赵刚.便携式鱼雷发控系统测试仪研制[J].鱼雷技术,2009,17(5):2-3.

[5] 朱中锐,蔡志明,郭岩.LabWindows/CVI数据采集系统[J].电子测量技术,2007,30(1):105-106.

[6] 耿娟,原亮,吴彩华.DLL在LabWindows/CVI的虚拟仪器中的应用[J].微计算机信息,2006,22(8):115-116.

[7] 理查特.Windows核心编程[M].王建华,等译.北京:机械工业出版社,2000.

[8] 宁娅娜.通过动态链接库实现VC和LabWindows/CVI的混合编程[J].重庆教育学院学报,2011,24(6):76-77.