

基于 CPCI 总线的雷达数据采集与控制系统显控软件设计

张晓愚

(北京环境特性研究所, 北京 100854)

摘要: CPCI 总线作为 PCI 总线的加固版本, 目前已成为计算机上流行的高速外设接口总线; 在工业自动化领域, 进行数据采集和控制基本上也都是通过这一成熟技术来实现的; 文章简要介绍该测量雷达和数据采集与控制系统的结构, 以及 CPCI 总线标准, 重点分析显控软件的功能需求, 采用自顶向下的设计, 并在 VC 环境下基于 MFC 架构利用多线程和双缓存技术以及多种 ActiveX 控件进行显控软件设计; 实现了对测量雷达的控制以及对雷达回波的原始数据的实时存取和绘制。

关键词: 数据采集与控制; CPCI; 显控软件; 自顶向下; 多线程; 双缓冲

Design of Display and Control Software of Radar Data Acquisition and Control System Based on CPCI Bus

Zhang Xiaoyu

(Beijing Institute of Environmental Feature, Beijing 100854, China)

Abstract: CPCI bus is the reinforced edition of PCI bus and is the one of the highest speed peripheral interface bus in computer. In automatic control field of industry, data acquisition and control system is using the mature technique. This paper describes the constitute of the measuring radar and data acquisition and control system structure, and also CPCI bus criterion. The key point is focused on function requirements of display and control software which use Top-Down design method. Display and control software is designed by using multi-thread and double buffer and Active X controls based on MFC in the Visual C++ environment. Display and control software realizes to control the measuring radar, and also to real time store and display raw data of radar echo.

Keywords: data acquisition and control system; CPCI; display and control software; Top-Down design; multi-thread; double buffer

0 引言

数据采集和控制系统是一个雷达系统中的重要组成部分。解决雷达系统接收回波的数字采集、数据存储和数据处理问题, 实现对雷达系统的控制, 包括对接收机、发射机、频综等的控制, 有时还会将对伺服系统、温控系统等的控制集成进显控软件中。

随着雷达接收机将数字化推向中频甚至射频, 对采样率要求越来越高, 高的数据传输率必然带来海量的数据量, 给数据交换、数据存储带来很大困难; 与此同时, 雷达系统还有很多多通道、多设备的应用需求, 这些都会增加数据采集、数据传输和数据存储的难度。

对中频或者射频采样不仅可以选择高采样率的 AD 器件, 还可以通过多片相对低速的高精度 ADC 拼接来提高系统的总采样率。但是数字化带来的海量数据量对数据交换和数据存储都提出了挑战。解决这一难题, 势必要增加总线传输带宽和传输速率。CPCI 总线宽度具有 32 位和 64 位两种, 可以工作在 33 MHz 和 66 MHz 的总线频率上, 峰值数据传输率至少为 132 MByte/s, 最高可以达到 528 MByte/s, 可满足大部分系统对信号传输速率的要求。同时, CPCI 总线能够在恶劣的环

境下稳定、高效、持久工作的特性特别适合本项目测量雷达对高可靠性、抗恶劣环境的要求。

1 数据采集与控制系统基本结构

图 1 是常见的测量雷达结构框图, 工作频段为 34 GHz~36 GHz, 采用点频脉冲、频率步进脉冲和线形调频波体制, 双极化机收通道, 可根据被测目标和场地的实际情况调节脉宽和重频。

数据采集和控制系统是其中的重要组成部分, 其内部结构框图如图 2 所示。

它主要包括 CPCI 单板机、信号采集处理板卡和后 IO 板三部分。其中信号采集处理板卡是核心, 它包括一片大容量 Virtex-5FPGA 芯片; 双通道 ADC 采集芯片; 单通道 DAC 模拟输出芯片; PCI9656 桥通信芯片, 支持 64 位总线带宽, 66 MHz 总线频率; 两片 DDR2 存储芯片; 时钟模块可以使用内部时钟芯片 AD9522 进行逻辑控制, 也可以接入外部时钟进行逻辑控制; CPCI 单板机实现数据存储、处理; 后 IO 板卡连接后 IO 通道实现 IO 功能控制。数据采集和控制系统

2 CPCI 总线

2.1 简介

CPCI 又称紧凑型 PCI (Compact PCI), 是国际工业计算机制造者联合会 (PCI Industrial Computer Manufacturing Group, PICMG) 于 1994 年提出的一种总线接口标准, 是以 PCI 电气

收稿日期:2014-08-21; 修回日期:2014-10-17。

作者简介:张晓愚(1980-),女,上海人,工程师,硕士研究生,主要从事雷达系统主控和工程应用方向的研究。

规范为标准的高性能工业用总线。

可长期使用的应用领域。

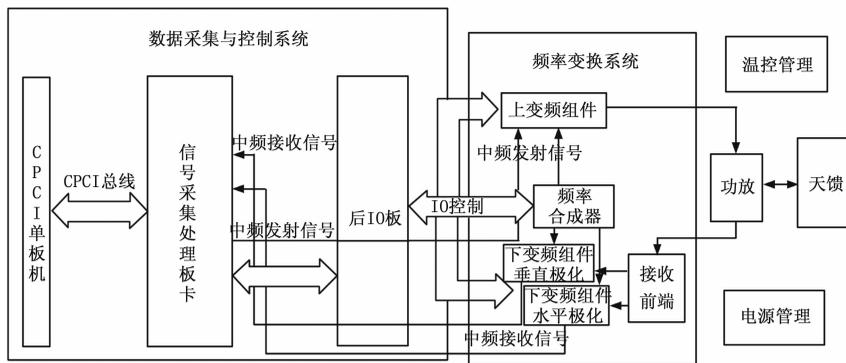


图 1 某测量雷达结构框图

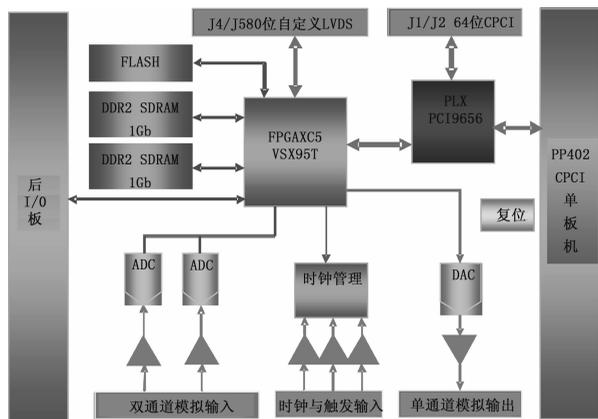


图 2 数据采集与控制系统结构框图

CPCI 定义了更加坚固且耐用的 PCI 版本，用于工业和嵌入式应用。在电气、逻辑和软件功能方面，它与 PCI 标准完全兼容。在外设标准上与 PCI 相同，对操作系统、驱动和应用程序而言，两者没有区别，将一个标准 PCI 插卡转化成 CPCI 插卡几乎不需要重新设计，只要在物理上重新分配一下即可。

2.2 优点

CPCI 的 PICMG2.0 标准是在 PCI 标准基础之上改造而来的，与 PCI 总线相比，具有以下优点：

- 1) 继续采用 PCI 局部总线技术，电气特性与 PCI 总线相同，易于软件移植和向下兼容；
- 2) CPCI 使用 2 mm 高密度针孔总线连接器，和 PCI 卡相比，具有连接可靠、完全气密、抗震性和抗腐蚀性高的特点，进一步提高了可靠性，增加了负载能力；
- 3) CPCI 卡片采用经过 20 余年实践检验的高可靠欧洲卡结构，改善了散热条件、提高了抗震动冲击能力、符合电磁兼容性要求。

2.3 特点

CPCI 技术中最突出、最具吸引力的特点是热插拔 (Hot Swap)。这一技术是指在运行系统没有断电的条件下，拔除或插入功能模板，而不破坏系统正常工作的一种技术。该技术可广泛应用在通讯、网络、计算机电话整合，且适合实时系统控制、工业自动化、实时数据采集、军事系统等需要高速运算、智能交通、航空航天、医疗器械、水利等模块化及高可靠度、

特别是 Hypertronics 2 mm CPCI 连接器。具有抗震性强、可垂直安装散热性好、良好的电气特性、防辐射和电磁屏蔽性好、抗静电性好等优点。

由于 CPCI 总线的诸多优良性能，能够在恶劣的环境下稳定、高效、持久的工作，因此特别适合用于可靠性要求高但是工作环境恶劣的航天工程中。

3 显控软件设计

3.1 运行环境

该系统显控软件运行的硬件平台是一款标准 6U CPCI 单板计算机，Intel Core™2 Duo 双核处理器，主频高达 2.16 GHz，2 G 内存。

该显控软件运行在 Windows 操作系统下，在 Visual C++ 6.0 编译环境下利用 MFC 实现软件架构。

3.2 功能需求

该系统显控软件下发系统控制指令、实现中频数字采集、处理和存储、实时显示目标回波图像；系统模块之间的数据交互和信息传输通过 CPCI 总线实现。

该系统显控软件的具体功能如下。

1) 控制系统工作模式：

RCS 测量模式、成像测量模式、自检模式、校准模式、调试模式等；

2) 控制系统工作参数：

功放开关、自检开关、大功率开关、各级衰减量、极化方式、频点设置、频率间隔、脉冲宽度、重复周期、双距离门延时等；

3) 发送 DA 波形文件，给上变频组件提供三中频模拟信号；

4) 对系统进行自检，接收和显示系统自检信息；

5) 执行 AD 采集和存储，实时显示目标回波信号；

6) 可对存储的原始数据进行回放和后处理。

3.3 软件设计

按照自顶向下的设计原则，显控软件的设计先进行框架的搭建，即界面布局设计；再进行功能实现部分。

3.3.1 界面布局设计

根据显控软件的功能需求设计界面布局。按照功能对视窗资源进行分区：

- 1) 信息提示区；
- 2) 功能设置区；
- 3) 功能实现区；

功能设置区在视窗界面的左侧，设置了“系统设置”、“数据采集”、“数据回放”功能，为了便于用户了解和操作设备，还提供了“帮助”功能。在功能实现区中具体实现每项功能，通过在功能设置区中切换功能，功能实现区中显示不同的执行内容。信息提示区中会以列表形式按时间顺序显示用户的每步操作内容。

该显控软件基于 MFC 单文档应用程序，基类选择 CView

类。在 CMainFrame 类中对重载虚函数 OnCreateClient (LPCTSTR lpcs, CCreateContext * pContext) 进行静态划分, 在以工程名命名的 CxxView 类中重载函数 OnCreate (LPCTSTR lpcs, CCreateContext * pContext), 再次进行静态划分, 三大区域即可形成。功能设置区和功能实现区的基类是 CFormView 类, 信息提示区的基类是 CListView 类。

由于 MFC 提供的视图资源没有丰富的颜色和醒目的控件, 为了使显控软件人性化, 丰富有层次感的色彩界面会使用户在操作软件时感觉愉悦, 不显枯燥和疲惫。为此设计了四种配色方案, 分别是灰色系、蓝色系、绿色系和橙色系, 用户可根据自己的喜好通过菜单项“更换皮肤”进行选择 and 切换。

为实现颜色的切换设计了用户自定义消息, 并定义一个关于视窗颜色的头文件 SkinState.h, 为灰、蓝、绿、橙 4 种颜色分别定义枚举类型。进行颜色切换时, 传递具体颜色的 RGB 值并将用户自定义消息投递到消息队列中, 在自定义消息中实现各种视窗和控件颜色的改变。

3.3.2 控件

由于 MFC 为编程人员提供的控件无论是颜色还是图形显示都较为单一, 为了用户使用更加直观和形象, 该显控软件增加了 Active X 控件, 并对若干控件类进行了重写。

1) TeeChart:

TeeChart Pro 是 Steema Software 公司开发的图表图形组件, TeeChart Pro Active X 适用于 VB、VC++、ASP 以及 Visual Studio .NET 系统平台等。它可以提供上百种 2D 和 3D 图形风格、40 余种数学和统计功能、加上无限制的轴和多种调色板组件可以选择, 以及 20 余种用于图标操作的工具, 将图标制作与操作功能发挥的淋漓尽致, 为程序设计人员提供了一个高效、直观、节省时间的编程接口, 为终端用户提供了随心所欲的发挥空间。该显控软件使用 TeeChart 组件用于数据采集和数据回放功能的实现。

2) CGradientProgressCtrl:

CGradientProgressCtrl 类重写了进度条控件, 其基类是 CProgressCtrl, 在实现进度条基本功能的同时获得颜色渐变的效果。

3) CButtonST:

CButtonST 类重写了按钮控件, 其基类是 CButton 类, 不仅具有按钮控件的基本功能, 同时令按钮呈现不同的颜色, 还可以使按钮上的文字呈现不同的颜色, 并且还可以展现不同的图片。

4) CTabSheet:

CTabSheet 类的基类是 CTabCtrl, 它继承了 Tab 控件的成员函数。该显控软件使用 CTabSheet 类并实例化一个对象, 通过属性页的方式加载系统五种工作模式。

3.3.3 功能实现

根据显控软件要实现的特定功能可将软件划分为几个功能模块: 初始化模块、系统控制模块、通信模块、数据采集模块、数据存储模块、实时显示模块、数据回放模块、自检模块和帮助模块。

1) 初始化模块完成设备工作之前的准备, 功能之一是与信号采集处理板的桥芯片建立连接并进行诸如上电复位等初始

化设置; 功能之二是进行网络通信的初始化; 功能之三是为系统的各配置参数设置默认值。

2) 系统控制模块按照指定的系统工作模式将相应的工作指令和系统参数写入指定寄存器中, 通过 FPGA 控制系统频率、衰减、开关等。

3) 通信模块实现 CPCI 单板计算机与信号采集处理板之间的 CPCI 总线通讯, 具体是指 CPCI 单板计算机与 PCI9656 桥芯片建立通信, 显控软件中要包含 PlxAPIs.dll 和 PlxA-Pls.lib 两个库文件。显控软件向信号采集处理板发送控制命令和 DA 波形文件, 信号采集处理板向单板机发送的自检信息和采集数据。

4) 数据采集模块、数据存储模块和实时显示模块是显控软件的核心。这三个功能模块是基于 Windows 的多线程, 即数据采集线程、数据存储线程和实时显示线程。主线程启动一次测试任务后, 会启动这三个线程。要保证任务的实时处理就要实现线程之间的同步。这里采用事件方式实现同步。首先定义一个事件对象 CEvent m_Event, 并初始化为无信号状态。采用 DMA 方式读取数据, 在数据采集线程完成一帧数据采集后, 用 SetEvent () 来触发事件, 即发送一个同步信号, 启动另外两个线程: 数据存储线程和实时显示线程。在数据存储线程和实时显示线程函数中用 WaitForSingleObject (m_Event, INFINITE) 函数等待事件触发, 接收到同步信号后即执行数据存储和绘制图形的功能, 并再次将事件对象 m_Event 设置为无信号状态, 启动下一帧 DMA 数据采集, 如此循环, 直至一次测试结束。

在数据采集和数据存储中采用双缓冲技术, 即开辟两块内存缓冲区 A 和 B, 交替缓存信号采集处理板通过 CPCI 总线发送的数据, A 在缓存的同时, B 将缓存区的数据写进硬盘; B 在缓存的同时, A 将缓存区的数据写进硬盘。如此循环, 乒乓交替执行数据采集和存储功能。

1) 数据回放模块是对存储的采集数据进行后处理的功能模块。数据回放功能中要读取数据, 数据存储功能是写入数据, 因此要定义好数据帧的格式, 包括一帧数据的长度、帧头标志、帧尾标志、数据含义等。将一个数据文件按照数据帧的格式全部读出, 在显控软件的界面上画出幅度、相位等曲线。

2) 自检模块对测量设备工作时的各级信号功率进行监测。通过与设备正常工作时的阈值进行比较, 在显控软件界面上以绿灯和红灯表示各级信号功率正常和不正常, 帮助用户判断设备工作情况, 如果不正常还可以辅助用户进行故障定位。

3) 帮助模块辅助用户操作显控软件和定位系统故障。在帮助模块中, 将系统各组成部分的结构框图作为 *.bmp 位图调用, 并提供软件使用文档, 供用户查看。

设计显控软件的工作流程, 如图 3 所示。

3.4 关键技术

1) 多线程技术:

Windows 系统是一个抢先式多任务系统, 其多任务的基本单元是线程。线程是可由系统调度的最小单元, 一个进程可由多个线程组成。系统调度程序将 CPU 时间划分成许多小时间片, 并按一定的优先级将时间片划分给各个线程, 各个线程在各自的时间片内使用 CPU, 从而实现了微观上的轮流执行,

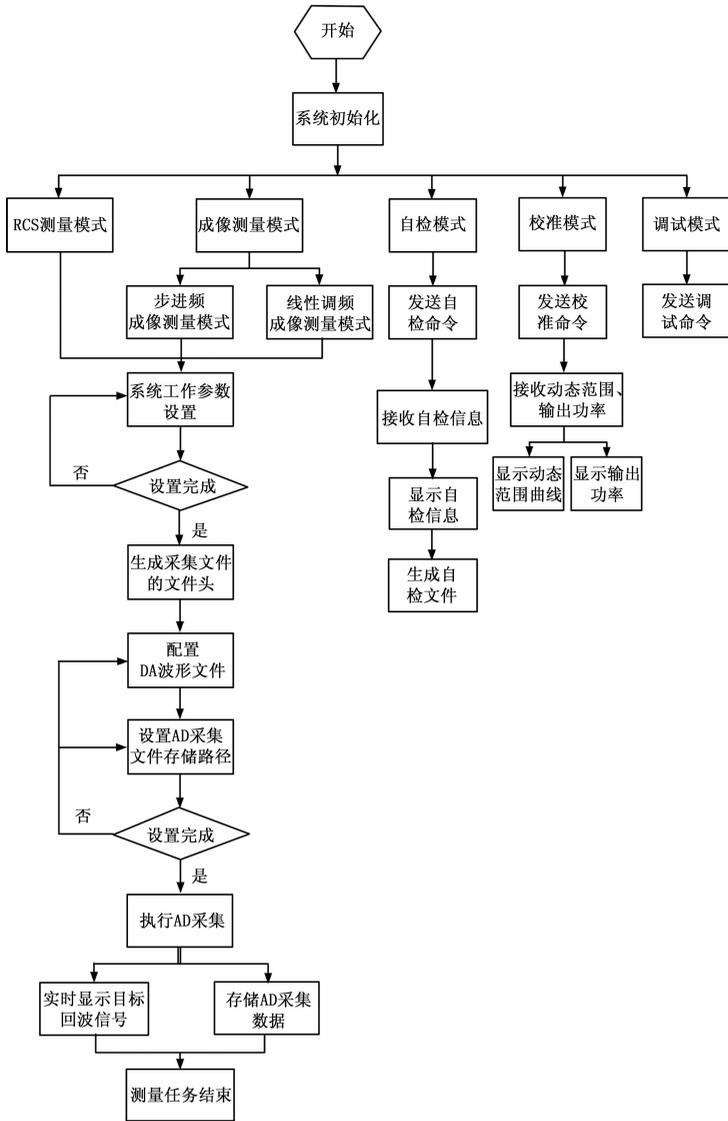


图 3 系统显控软件工作流程图

宏观上并发运行的多任务效果。

在本软件中，创建了 3 个线程，数据采集线程、数据存储线程和实时显示线程：

```
CreateThread (NULL, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE) ADThreadProc, this, 0, &m_ADThreadID);
```

```
CreateThread (NULL, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE) FileThreadProc, this, 0, &m_FileThreadID);
```

```
CreateThread (NULL, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE) DisplayThreadProc, this, 0, &m_DisplayThreadID);
```

第一个参数是安全属性，一般设为 NULL。第二各参数是线程堆栈尺寸，一般设为 0，表示与此应用的堆栈尺寸相同，即主线程与创建的线程有一样长度的堆栈，并且长度会根据需要自动变长。第三个参数是最重要的，是指向线程函数的指针，此函数在对应线程被激活时由操作系统调用，它规定了线程所完成的工作。第四个参数是需要向线程函数传递的参数，

一般是一个指向结构的指针。第五个参数是与线程有关的一些标志，在程序中设为 0，表示一旦线程建立就立即调用，即三个线程创建后立即被调用，通过事件实现同步，在功能实现中已经介绍具体实现同步的方法。最后一个参数时系统分配给这个线程的唯一的 ID 标识。

线程一旦被创建，它将独立于创建它的线程运行，一个进程中的所有的线程都共享该进程的虚拟地址空间，从而可以访问该进程得所有全局变量。利用这个机制，用于实现线程间同步的事件对象、为 DMA 数据开辟的缓冲区以及缓冲区满标志等都应当声明为全局变量。

2) 双缓冲技术：

由于从信号采集处理板卡读取数据的速度比往磁盘存储数据的速度要快，这种速度差会遭成数据的丢失。为了解决数据采集和数据存储之间的速度匹配问题，利用双缓冲技术设置两个线程分别处理从信号采集处理板上读取数据和往磁盘存储数据。程序中开辟的两块大小相等的内存缓冲区 A 和 B 以及缓冲区满标志都应当声明为全局变量。读取线程即数据采集线程轮流往两个大小相等的缓冲区保存数据，缓冲区满后就通知数据存储线程将数据保存到磁盘文件。两个缓冲区乒乓交替执行从信号采集处理板上读取数据和往磁盘存储数据。

4 结束语

本文设计的雷达数据采集和控制系统显控软件，较好地完成了对雷达系统的控制，实时存取雷达回波的原始数据并实时显示曲线，同时为用户提供数据后处理功能和帮助信息。显控软件采用了自顶向下和模块化的设计以及面向对象技术，使代码编写思路清晰、效率提高；关键技术方面对多线程技术的引入，充分利用了 Windows 系统的多任务特点，使得对实时性没有严格要求的系统实现宏观上的准实时。在该系统中同步实现数据采集、数据存储和实时数据显示，提高了数据存储和显示的时效性，解决了多任务的实时工作；使用双缓冲技术，可解决数据传输过程中的速度不匹配问题，即高速数据采集和存储的速度不匹配问题，实现高速数据采集和存储的同步。并且显控软件运用丰富的颜色和控件使用户操作更加方便。

在实际工作中对该雷达数据采集和控制系统显控软件的使用证明其是一款设计合理符合要求、操作便利富于人性化、功能丰富满足需求的软件产品。

参考文献：

[1] 汤伊黎, 于敏, 戴振东, 等. 基于多线程技术的运动控制与数据采集程序设计 [J]. 工业控制计算机, 2007 (3): 46-48.
 [2] 黄德勇. 高速数据采集系统设计和 CPCI 接口研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
 [3] David J. Kruglinski. Visual C++ 技术内幕第四版 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.