

文章编号: 1672-2892(2011)01-0012-05

信息化雷达远程显控终端的设计与实现

王 凯, 孙立国, 李世丹, 张 辉

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 信息化雷达终端系统为实现雷达远程显控功能提供了崭新的技术平台。与传统雷达终端相比, 信息化雷达终端以信息包的处理为核心, 信息包记录了雷达终端系统所需的全部信息, 为实现雷达的远程显示与控制奠定了良好的基础。本文利用现有成熟网络技术实现了基于信息化的雷达远程终端显控系统, 该系统具有通用性强, 成本低的优点, 且在实际工程中得以应用, 性能稳定, 具有良好的应用前景。

关键词: 信息化雷达终端; 网络传输; 远程显控

中图分类号: TN957.7

文献标识码: A

Implementation of information collection module for information-based radar remote-control

WANG Kai, SUN Li-guo, LI Shi-dan, ZHANG Hui

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The information-based radar terminal system provides a new technical platform for realizing radar remote display and control. Compared with the traditional radar terminals, the processing of information package is the core of the information-based radar terminal, it records all the information needed by radar terminal system, provides a good foundation for the implementation of the radar's remote control and display. Based on this, this paper applies the mature networking technology to realize the terminal remote control and display radar system. This system bears the advantages of strong generalization and low cost. The design has been applied in the actual project and shows stable performance.

Key words: information-based radar terminal; network-transmission; radar remote control and display

雷达作为一种重要的信息探测设备, 在国土防空作战领域中发挥着重要作用。然而, 大多数军用地面雷达站都分布在高山、海岛等自然条件比较恶劣, 工作环境艰苦的区域, 雷达操作人员经受着辐射、潮湿等对人体健康的危害; 同时, 雷达站也存在交通不便, 保障人员多以及管理难度大等问题, 因此, 实现雷达终端系统的无人值守和远程监控, 可以很好地改善战勤人员的工作环境, 而且管理方便, 极大地拓展了雷达布设的范围。此外, 雷达远程显控可使指挥控制中心监控雷达网内的多部雷达, 做到对整个作战区域内空情的实时监控。同时, 各种雷达的探测信息及时地传输到指挥中心, 也为作战指挥员及时、准确地获取掌握战场信息和敌我态势, 提供了可靠保证。因此, 实现雷达远程显控终端对于实战中提高防空网的工作效率和自我防护能力具有重大战略意义。现代计算机技术和网络技术的不断发展, 促进了雷达终端技术向信息化、软件化、网络化方向发展, 为雷达远程显控终端技术的发展创造了条件。雷达终端的信息化架构能最大限度地提高信息利用率和通过网络实现信息共享。

1 信息化雷达终端介绍

信息化雷达终端的涵义是: 利用现代信息技术对图像、语音等信息的处理方式, 将雷达的所有时变信息(视频、与视频相关的所有状态信息、工作模式信息、自检 BIT 信息、操控信息、I/O 和网络通信信息等)按照时间顺序全部格式化为信息包序列的形式。终端的工作全部转化为宿主计算机通过功能软件对信息包的处理, 实现显示和控制功能^[1]。正是基于上述思想, 信息化雷达终端与传统雷达终端在信息处理方式上有本质的不同, 传统雷达

终端的数据处理是基于电气信号,而信息化雷达终端的处理是基于雷达信息包。

同传统的雷达终端相比,信息化雷达终端的系统结构有根本上的改变,如图 1 所示。首先,它是基于通用计算机平台,利用计算机强大的数据处理和图形处理能力,实现终端系统的软件化和网络化,从而淘汰了硬件电路方式实现的终端系统;其次,利用现有计算机所提供的多种外部数据通信接口,可以很方便地实现雷达终端之间的通信以及相应的功能扩展;第三,雷达信息包为实现雷达终端的信息共享和多终端显示提供了得天独厚的条件。

信息化雷达终端有以下典型特征:

- 1) 专有硬件设备的最简化;
- 2) 功能实现的软件化;
- 3) 便于实现数据网络化传输。

2 信息化雷达终端远程显控的实现

2.1 信息化雷达终端易于实现远程显控

远程显控是雷达终端系统的一个重要功能,它能够实现雷达数据的远距离传输和远程人机交互,极大地提高雷达的使用效能。

目前,国内实现雷达的远程显控还是通过设计专用的硬件图传设备来实现。图传设备将本地需要传输的各路信号进行调制后,经过专有通信链路(电缆、光缆等)传输至远程控制端的图传设备的收端,经过对调制信号的解调,再由显控终端进行数据处理并再现雷达信号。这种结构方式存在以下缺陷:

- 1) 远程显控终端只能获得经过本地显控终端处理后的雷达一次信息,而不能获得本地雷达获得的原始信息;
- 2) 图传设备都是针对单一型号的雷达设计,通用性差;
- 3) 不同体制雷达由于图传设备的差异不能实现信息的共享。

由于信息化雷达显控终端和现有的雷达显控终端有着根本上的区别,在现有雷达显控终端实现信息化雷达远程显控终端的功能必须对现有终端进行改造,为了实现低成本改造,提出了信息采集传输模块的设计构想。

2.2 系统的设计思路和要求

针对所要实现的功能,设计了信息采集和网络传输的独立应用功能模块。独立的功能模块设计不用对现有的雷达终端的硬件进行大规模的改造,提高了系统的兼容性,同时,模块亦可作为本地终端的冗余,提高整个终端系统的可靠性^[2]。

模块的设计采用硬件加功能软件的形式,硬件采集雷达各类信息(视频、状态、操控等),向各雷达系统的各控制单元发送控制信息。功能软件实现网络的远程显控功能。

模块的硬件结构采用工业控制计算机加板卡的形式。目前,大多数雷达终端系统都采用工业控制计算机,产品设计成熟,可靠性高,可以得到广泛的软、硬件支持。同时,工控机具有强大的数据处理能力,接口丰富,具备较强的可扩充性,便于功能扩展和升级,不用单独设计 DSP 数据处理板和网卡,降低了硬件设计的难度和复杂程度,提高了系统的兼容性,降低了开发成本,因此,模块的设计工作在硬件方面只需设计信息采集设备。具体的功能可通过设计功能软件来实现,大大节约了开发时间。模块功能的扩展和升级通过修改功能软件完成,通用性和可扩展性大大提高。

3 远程显控系统的实现方案

3.1 模块硬件的组成

模块硬件组成为工业控制计算机和数据采集卡。工控机根据应用环境需要,通过商业采购,考虑到大多数工控机都具有 PMC 接口,因此,信息采集卡的设计采用基于 PCI 总线规范 PMC 卡的形式,从而提高了采集卡的通用性。

PMC 卡是 PCI 背卡(PCI Mezzanine Card)的简称^[3],符合 PCI2.2 规范。接口特性为:3 个标准 PMC Connector (J1-J3),提供 32 bit,33 MHz(64 bit,66 MHz)的 PCI 接口。J4 为用户扩展 I/O 接口。图 2 为 PMC connector 布局及安装在 mother-board 上的视图。

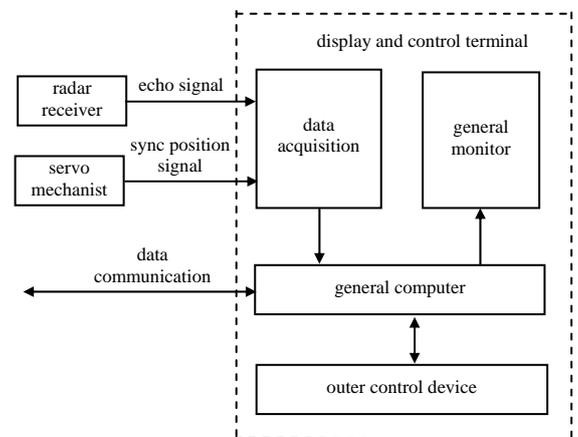


Fig.1 Structure of informationization radar terminal system
图 1 信息化雷达显控终端系统框图

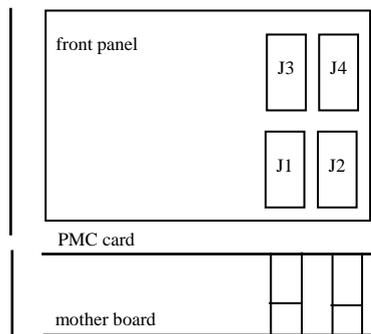


Fig.2 View of PMC connector arrangement on mother-board
图2 PMC connector 布局安装在 mother-board 上的视图

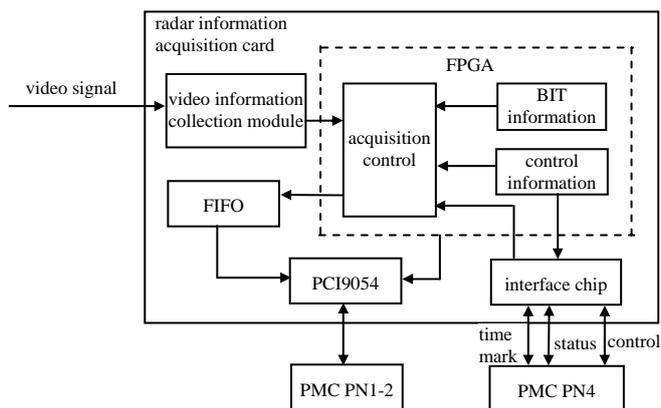


Fig.3 Acquisition card for radar information
图3 雷达信息采集卡

3.1.1 数据采集卡

这是一款基于PCI总线标准和PMC接口规范的数据采集卡，对雷达接收设备产生的视频、操控、状态、时标进行连续的实时采集并封装为雷达信息包，数据通过PCI桥接芯片以DMA(Direct Memory Access)方式传输到数据处理终端。板内的器件主要有FPGA、FIFO、PCI接口芯片、ADC芯片，系统结构见图3。

该采集板主要有以下特点：

- 1) 采用大规模集成器件，硬件设计简单，可移植性强，制作成本低；
- 2) FPGA为中心控制器，完成信息包的封装以及实现FIFO和PCI接口对本地总线的访问；
- 3) PN4为用户自定义接口，将其与FPGA相连，提供丰富的外部I/O扩展接口，提高了扩展性；
- 4) 信息包中包含外部操控命令信息位，可通过采集板实现远程显控。

下面简单介绍一下采集板的工作过程：首先，雷达视频数据经视频增益控制电路后进行AD采样，采样后的数据送入FIFO进行缓存，同时，FPGA将时标、操控、状态等信息数据送入FIFO，在一个雷达主脉冲触发周期内完成一个雷达信息包的封装；然后，将封装好的雷达信息包从FIFO经9054接口芯片，通过PMC的PN1-2接口送至数据处理系统。除此之外，该数据采集卡还具备以下优点：

- 1) 采样频率可针对不同型号的雷达，由FPGA根据需要通过软件进行配置；
- 2) 采用符合PMC规范的背板，具备很强的通用性。

3.1.2 数据采集卡主要电路设计

1) 采集控制电路

采集电路主要采集雷达信息、时标信息和外部操控等信息并封装成信息包。采样芯片对经过运放电路的雷达视频进行采样，采样后的数据写入FIFO，为了保证同步视频采样，FIFO的写时钟采用视频采样时钟。信息采集的时序和流程控制由FPGA完成，采样时钟信号可以根据实际需要由FPGA通过软件产生。

2) PCI总线接口电路

PCI接口电路的设计需要围绕实现PCI协议所规定的基本功能，主要包括PCI总线的设置和局部总线的响应和控制。主要包括：a) PCI总线的命令译码。接口电路对总线信号C/BE[3:0]和IDSEL进行译码，产生相应的控制信号，以确定来自主机的PCI命令是I/O访问还是存储器访问。b) 地址产生电路。为前端的数据采集电路提供连续的地址。c) 产生FRAME#,IRDY#,TRDY#和DEVSEL# 4个总线信号控制。d) 在DMA传输时，接口电路必须能够实现DMA控制器的功能^[4]。综合以上4个方面，设计中选用PLX公司的PCI9054作为接口芯片，它是一个32位、33 MHz总线主控I/O加速器，使用该专用芯片桥接PCI总线和本地总线，可以很好地达到PCI2.2规范的要求，达到132 MB/s的突发传输速率。

PCI9054的本地总线有3种工作模式：M模式、C模式和J模式，可方便地与多种微处理器连接。其中在C模式下，本地总线为非复用的32位地址/数据总线，时序与控制比较简单。PCI9054有3种数据传送方式：直接主模式，直接从模式和DMA模式。其中DMA模式支持PCI总线与本地总线之间的高效突发传输。在DMA传输中，PCI9054既是PCI总线的主控设备，又是本地总线的主控设备，能够完全实现PCI总线控制器以及DMA控制器的功能。

3) 数据存储电路

利用DMA方式传输高速雷达数据时，PCI9054内部的FIFO大小远远不能满足数据传输的要求，因此，在Local总线加上FIFO用来缓冲数据的存取。设计采用IDT72V36110，该芯片具有多种位宽设置模式，提供5个

状态指示信号:空、满、半满、几乎空和几乎满,通过使用半满信号实现对DMA传输的控制。

3.2 Linux环境下采集卡驱动程序

3.2.1 DMA实现机制

采集板要对高速雷达数据进行连续的采集和传输,常用的数据传输方式有程序查询方式、中断方式、DMA方式和DMA结合中断方式。程序查询方式和中断方式的数据传输速率都较低,DMA方式只适宜做单次传输,因此只能采用DMA结合中断方式。这样不仅可以有效提高PCI总线和本地总线的传输效率,同时,也大大减轻了数据处理终端CPU的负担。

PCI9054提供2个独立的DMA通道:通道0和通道1。各个通道控制相应通道的DMA控制寄存器,同时通过PCIBAR0(PCIBAR1)和它们的片内偏址来访问这些控制寄存器^[5]。2个通道都支持从PCI to Local或Local to PCI的DMA数据传输方式,都具有块(block)传输和分散/集中(scattered/gather)传输模式,通道0还支持请求模式的DMA传输。

DMA块传输模式要求PCI主机或Local主机提供传输时的PCI空间和Local空间起始地址、传输字节、传输方向,并由主机设定DMA开始位,启动一次数据传输,一旦传输完成,设置传输结束位,结束DMA传输。这种模式适合于源、目的存储空间连续,数据连续存放的传输,最大传输长度为4 MB^[6]。

在DMA方式传输时,PCI9054对于PCI和Local两总线来说都是主控设备。DMA传输前,必须设置主控设备使能位,使PCI9054成为PCI总线的主设备。

3.2.2 DMA传输数据流程

系统上电后,FPGA接收到PCI9054发出的复位信号LRESET#,系统进行复位,同时FPGA发给FIFO复位信号RS#,FIFO进行初始化。当进行数据采集时,视频信息采集模块送出的数据进入FIFO。为了保证数据采样的连续性,防止数据丢失,在FIFO半满时必须执行数据的DMA传输。这样,即使在AD速率较高时,从FIFO读取数据和从模数转换器接收数据在一段时间内可以同时进行,而DMA的速率高于采样速率,从而可以有效避免数据丢失。FIFO在半满时发出半满信号HF#,HF#和PCI9054的信号LINT#相连,这样,一旦FIFO发出半满信号就发出一个中断请求,进行DMA设置,启动DMA传输。开始DMA传输后,FIFO的半满状态信号HF#消失,LINT#失效,中断请求消失,DMA传输结束,信息包的传输就完成了。

3.2.3 DMA驱动程序设计

要实现对PLX9054的DMA操作,设置DMA控制寄存器,设备驱动程序需要建立DMA操作环境。建立DMA操作环境的工作包括:PCI设备检测和初始化、DMA缓冲区分配和中断处理^[7]。

1) PCI设备的初始化

Linux提供一系列数据结构和函数接口来初始化和管理工作PCI设备。所有的PCI设备的相关信息包括配置信息都存储在pci_dev结构体中,并链接到pci_devices链表中。在EEPROM对PCI9054进行初始化设置后,系统在启动时会自动扫描这个设备并进行初始化。

PCI设备注册和初始化通过函数pci_register_driver来实现。该函数通过结构体pci_driver向系统提供设备检测(probe)和注销(remove)函数接口,并根据pci_device_id结构体中的设备ID对pci_devices链表进行搜索。一旦找到目标PCI设备,pci_register_driver函数调用设备探测函数并向该函数传递该设备的pci_dev变量,由设备探测函数完成对设备的初始化。

2) DMA缓冲区的分配

Linux内核把内存分为3个区段:可用于DMA的内存、常规内存以及高端内存^[8]。Linux系统分配内核内存空间的函数有3个:kmalloc,_get_free_pages,vmalloc。设计采用_get_free_pages函数来分配若干连续的物理页面,并返回指向该区域的第一个字节的指针。在实际分配时,标志使用_GFP_DMA,分配可以进行DMA的内存区段,实际分配的空间大小为1 MB。

3) 中断处理

Linux系统通过request_irq函数实现中断处理程序的注册^[8]。当系统接收到来自PCI设备的终端请求时,调用与相应中断号联系的中断处理函数。本设计中需要处理2个中断:一是FIFO半满触发的发起DMA传输的中断;二是DMA传输结束发起的中断。上述2个中断可以通过访问PCI9054的中断控制寄存器(INTCSR)来解决。通过代码IntReg=inl(base_addr0_1+INTCSR)获得这个寄存器的值后,通过判断相应的比特位就可以知道是否为该设备产生的中断和产生何种类型的中断。

PCI9054的中断信号一旦产生就一直有效,需要通过控制寄存器DMACSR0来清除中断位。

3.3 软件模块的设计

网络远程操控软件是基于 Linux 平台 Socket 编程开发的。Socket 接口是 TCP/IP 网络的 API, 它定义了许多函数或例程, 可用它们来开发 TCP/IP 网络上的应用程序。Socket 可以看作是与某一位置相连接的通信端点, 它既适用于同一主机间的进程通信, 又适用于不同主机间的进程通信。网络的 Socket 数据传输是一种特殊的 I/O, 也是一种文件描述符, 具有一个类似于打开文件的函数调用(Socket())功能, 该函数返回一个整型的 Socket 描述符, 随后的连接建立、数据传输等操作都是通过该 Socket 实现^[9]。

4 结论

本文在信息化雷达终端的基础上给出了一种基于网络传输实现远程显控的设计方案。它改变了传统的雷达远程显控方式, 将雷达信号的远程传输和控制转变为雷达系统信息的远程传输和控制, 结构简单, 通用性强, 已在实际的工程项目中得以应用(见图4), 功能稳定, 具有广阔应用前景。



Fig.4 Information collection and transmission module
图4 信息采集传输模块

参考文献:

- [1] 王德生,赵利民,孙立国,等. 信息化、软件化、通用雷达终端的构建与实现[J]. 现代雷达, 2007,29(12):22-26. (WANG Desheng,ZHAO Limin,SUN Ligu,et al. Study and Implement of Software Radar Terminal System Based on Information Packages[J]. Modern Radar, 2007,29(12):22-26.)
- [2] Liautaud,James P. Remote Radar Detector Control Unit. US,4633521[P/OL]. [1986-12-30]. <http://www.wikipatents.com/US-Patent-4633521/remote-radar-detector-control-unit>.
- [3] 钱波,龚璞,王德生. 基于Linux的软件化、网络化雷达终端系统的实现[J]. 电子技术应用, 2005,31(7):61-64. (QIAN Bo,GONG Pu,WANG Desheng. Linux-based software and network Radar Terminal System[J]. Application of Electronic Technique, 2005,31(7):61-64.)
- [4] P1386.1/Draft 2.1. Draft Standard Physical and Environmental Layers for PCI Mezzanine Cards:PMC[S]. 1999.
- [5] PCI Local Bus specification V2.2[Z]. 1998.
- [6] 颜建峰,吴宁. 基于PCI总线的DMA高速数据传输系统[J]. 电子科技大学学报, 2007,36(5):858-861. (YAN Jianfeng, WU Ning. High Speed DMA Data Transfer System Based on PCI Bus[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007,36(5):858-861.)
- [7] PLX Technology Inc. PLX Technology:PCI9054 Data Book[Z]. 2000.
- [8] Alessandro Rubini,Jonathan Corbet. Linux Device Drivers[M]. 2nd edition. USA:O'Reilly, 2002.
- [9] 范永开,杨爱林. Linux应用开发技术详解[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006. (FAN Yongkai,YANG Ailin. Linux application development technology[M]. Beijing:Posts & Telecom Press. 2006.)

作者简介:



王 凯(1978-),男,河南省安阳市人,在读硕士研究生,主要研究方向为信号处理、雷达远程操控技术.email:kai_wang78@126.com.

孙立国(1982-),男,山东省潍坊市人,博士,主要研究方向为数据融合、雷达终端技术。

李世丹(1983-),男,辽宁省大连市人,博士,主要研究方向为数据融合、雷达终端技术。

张 辉(1987-),男,山西省怀仁县人,在读硕士研究生,主要研究方向为信号处理、雷达终端技术。