

基于 VPX 开放式架构的无线电监测平台设计

鲁 超,米文龙,胡丁锐

(中国西南电子技术研究所,四川 成都 610036)

摘要: 无线电监测系统对信号搜索、截获、识别等能力提出了更高的要求,传统无线电监测系统软硬件标准化、模块化不成熟,定制性较强,通用性较差,难以满足未来对装备的需求。结合软件无线电的思路,设计了一种基于 VPX 开放式的无线电监测平台,重点研究了平台的硬件架构设计和软件架构设计,最后搭建验证平台,测试了平台的传输功能和系统性能,验证了平台的可行性。

关键词: 软件无线电; VPX 架构; 软件服务

中图分类号: TN98

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.212339

中文引用格式: 鲁超,米文龙,胡丁锐. 基于 VPX 开放式架构的无线电监测平台设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 50-53.

英文引用格式: Lu Chao, Mi Wenlong, Hu Dingrui. Design of radio monitoring platform based on VPX open architecture[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 50-53.

Design of radio monitoring platform based on VPX open architecture

Lu Chao, Mi Wenlong, Hu Dingrui

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: The radio monitoring system puts forward higher requirements for signal search, interception and identification capabilities. The traditional radio monitoring system software and hardware have immature standardization and modularization, strong customization, and poor versatility, and it is difficult to meet future equipment needs. An open radio monitoring system based on VPX combined with the idea of software radio is designed, and the software and hardware architecture of the platform is intensively studied. Finally, a verification platform is built for testing the transmission and system performance, which verifies the feasibility of this platform.

Key words: software defined radio; VPX architecture; software service

0 引言

软件无线电技术是以硬件平台为基础,以自定义软件为核心,实现无线通信系统功能的一种技术,具有开放性、模块化、标准化等特点,对于军事领域的软件定义无线电监测具有很强的现实指导意义^[1]。软件无线电技术提出后得到了美国军方的高度重视,美国国防部高级研究计划局(DARPA)之后提出了著名的 Speakeasy 计划,成功研制了能够兼容多种通行波形的通用电台。之后,美国国防部在 1997 年利用软件无线电技术制定了联合战术无线电系统(JTRS)计划^[2-3],开展以软件为核心的标准化新型体系结构研究,设计一种以软件无线电和模块化为主要思想的战术无线电系统,并提出了软件通信架构(SCA),大大降低了系统的研制成本,缩短了系统的研制周期^[4]。

VPX 是 2007 年在 VME 总线基础上提出的新一代高速串行总线标准,具有模块化、通用化、扩展化、开放性、高可靠等特点,采用高速差分信号传输技术,并且在

机械结构和导冷抗震方面具有优势。VPX 的核心在于连接器,相对于传统的针式连接器,这种高速差分连接器的硅晶片式结构具有连接紧密、插入损耗小和误码率低等优点^[5]。VPX 以交换互联的方式进行高速串行通信,极大提升了系统传输带宽以及设计上的灵活自由性,VPX 使用的串行互联技术如 SRIO 的带宽可以达到 3.125 Gb/s,PCIE3.0 的带宽可以达到 8 Gb/s^[6]。

无线电监测系统需要适应复杂的电磁环境,对无线电信号搜索、截获、识别等能力提出了更高的要求。目前,我国对于无线电监测装备的研究和设计处于初级阶段,软硬件的标准化、模块化不成熟,定制性较强,通用性较差,难以满足未来对无线电监测装备的需求。为解决上述问题,本文结合软件无线电技术特点,提出一种基于 VPX 开放式架构的无线电监测平台,构建一种具有硬件可扩展、模块化,软件服务化的软硬件平台,以满足复杂电磁环境下对无线电监测任务的迫切需求。

1 软件无线电技术的发展趋势

软件无线电技术由五部分组成:射频前端、模数/数模转换、数字上下变频、基带处理、应用程序。射频前端完成混频、滤波、增益控制、放大、信号收发等功能;模数/数模转换完成数字信号和模拟信号的转换;数字上下变频完成中频信号和基带信号的转换;基带处理完成信号检测、识别、调制解调、信道译码等信号处理功能;应用程序实现软件无线电平台与用户的接口^[7]。

软件无线电技术在于构建一个模块化、标准化、可拓展的通用信号处理平台,使其各种通信应用(如频谱搬移、调制解调、信道编译码、通信协议处理等)用软件实现,用户仅仅更换软件配置即可实现新的功能^[8]。软件无线电技术不仅在军用领域得到了大力使用,而且在民用领域也广泛使用,经多年的发展,目前已发展出3种体系结构。

单线式软件无线电平台以FPGA、DSP和GPP为核心计算处理单元,具有小型化、低成本等特点,主要针对无线通信的低端应用,但此平台存在着模块之间紧耦合、可扩展性差、处理能力弱等缺点。计算机式的软件无线电平台包括前端处理板卡和计算机,前端处理板卡负责与射频的接口,完成数模转换、数字上下变频、速率转换等;计算机用于信号处理。计算机式软件无线电利用通用的CPU和GPU资源进行信号处理计算,成本低,便于开发,此平台更适合实验室环境,具有性能局限性。总线式软件无线电平台的射频模块、信号采集模块、信号处理模块、时钟分配模块等各个功能模块被设计成独立的板卡,通过标准的总线连接进行数据交互,具有高可扩展性、高通用性、高性能等优点,但结构比较复杂,架构较贵,总线性能是系统的瓶颈。总线式架构是软件无线电平台的主流架构,基于VPX总线的高速串行交换架构以其高拓展性、高性能、高传输速率等优点越来越成为平台的首选^[7]。

2 基于VPX架构的无线电监视平台

2.1 硬件架构设计

随着电子技术的发展,无线电监测平台在高性能、易升级、可重构、高可靠等方面需求愈发强烈。而现有的平台架构开放性较差,软硬件及功能耦合性强,升级和维护困难,研发周期长、费用高,无法实现软件无线电的思想。

硬件架构设计的主要目的是使硬件形态通用化,可扩展,为软件提供稳定的运行平台,满足日益增长的处理能力和传输带宽要求。本文提出的硬件架构设计充分考虑无线电监测平台功能性能需求,合理划分功能单元,通过标准的总线将可扩展的功能单元互联在一起,达到通用、标准、可重构的开放式设计目的。硬件架构采用VPX标准,该标准由VITA组织推出,并经过了持续优化迭代,对模块的物理特性、信号定义等都做了详细定义。其采用高速串行传输方式进行单元互联,可支持以太网、PCIE、SRIO等协议,在满足高速数据传输的同时,又使功能单元能够接口标准。

无线电监测平台主要完成信号接收、频谱监视、信号检测、调制识别、编码识别、体制识别、信号解调、译码、协议解析等功能。根据上述功能,将平台硬件划分为电源单元、接收信道单元、采集处理单元、数据处理单元、协处理单元、数据存储单元。硬件架构如图1所示。各单元之间通过以太网、Aurora、PCIE以及CAN总线进行互联,高速总线实现数据交互,低速总线完成平台BIT等健康管理。各个单元模块可根据应用场景及需求进行灵活搭配和扩展。

2.1.1 电源单元

采用交流220V市电输入设计,为平台内各个单元提供二次电源。

2.1.2 接收信道单元

采用超外差式设计,对输入射频信号进行滤波、变频、放大,得到一定带宽的中频信号。

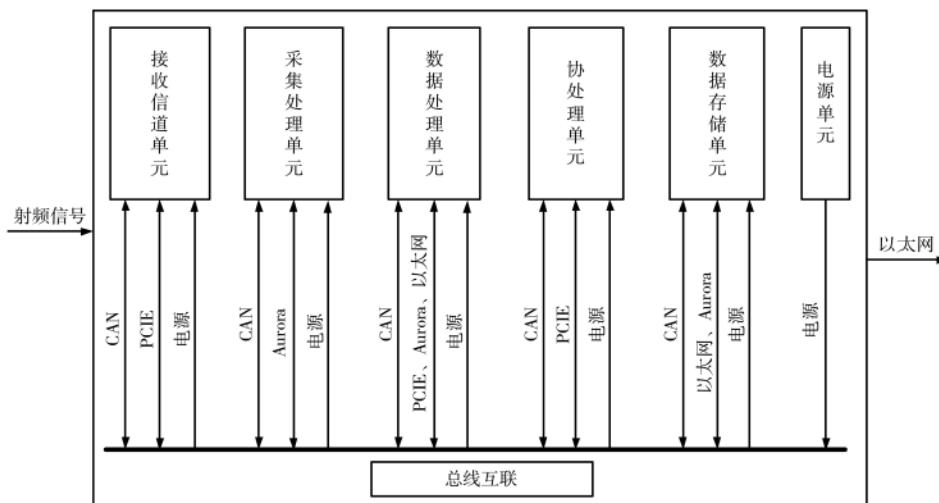


图1 基于VPX开放式的硬件架构

2.1.3 采集处理单元

采用高低速采样率 AD 搭配,对不同带宽的信号进行 AD 变换,并提供 FPGA 进行信号预处理,如多通道数字下变频、频谱计算、解调等。FPGA 采用 Xilinx 公司 7 系列 FPGA,提供 693 120 个逻辑单元、3 600 个 DSP 资源。

2.1.4 数据处理单元

采用通用 CPU 为核心处理器,X86 架构的 4 核 CPU,内存为 32 GB,可进行基带信号参数测量、调制识别、编码识别、协议解析等工作。

2.1.5 协处理单元

采用 GPU 作为协处理器,典型型号为 P5000,处理能力达 6.4 TFLOPS,可协助处理单元完成信道译码等工作。

2.1.6 数据存储单元

采用大容量 SSD 阵列,典型存储容量为 16 TB,可完成信号采集以及处理结果的高速存储。

2.2 软件架构设计

无线电监测平台软件采用软件无线电设计思路,参考 SCA 设计规范,实现无线电监测功能的快速部署,软件架构按分层模型,从下到上可分为资源层、中间件层、服务支撑层、应用层。无线电监测平台软件架构设计如图 2 所示。

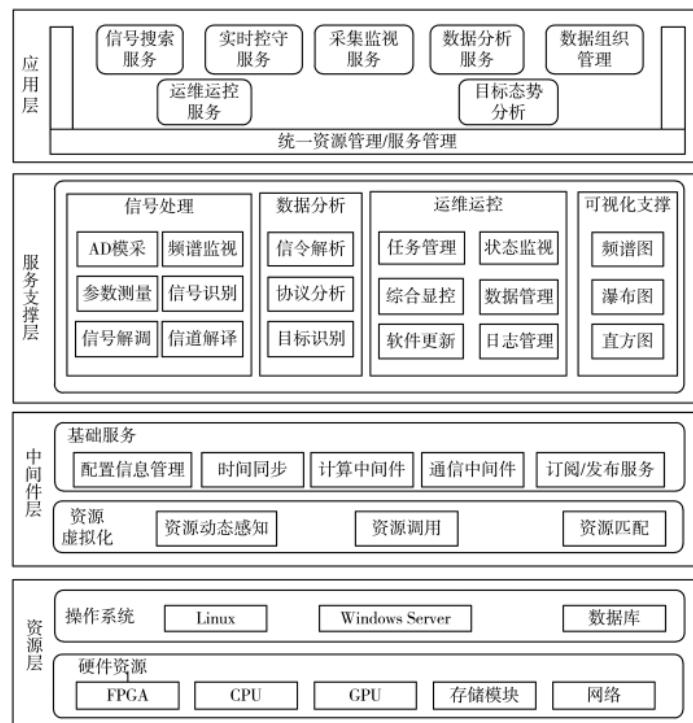


图 2 无线电监测平台软件架构设计

2.2.1 资源层

资源层由硬件资源和操作系统构成。硬件资源包括 FPGA 计算资源、通用 CPU 处理资源、GPU 并行计算资源、存储资源以及网络资源等。通用 CPU 处理资源和 GPU

并行计算资源采用商用货架产品,采用 VPX 总线进行互联,提高了通用性和可扩展性,针对不同的信号处理功能、数据处理等场景进行加载和重构,实现功能的重组。操作系统方面兼容 Linux 操作系统和 Windows 操作系统,实现应用的跨平台;数据库包含任务库、信号底数据库、日志库等。

2.2.2 中间件层

中间件层由资源虚拟化和基础服务构成。资源虚拟化对总线操作、FPGA 访问、数据同步、共享内存、Socket 通信等进行封装,完成资源动态感知、资源调用、资源匹配功能,实现对设备底层的虚拟化。基础服务包括配置信息管理、时间同步、计算中间件、通信中间件、订阅/发布等。计算中间件可选用 Intel IPPS 库,实现有关信号处理算法的快速实现;通信中间件采用 ZeroMQ 的机制,实现大数量的服务间传输。

2.2.3 服务支撑层

该层为核心层,采用服务的思想设计,各服务之间独立,降低耦合性,主要由信号处理、数据分析、运维运控和可视化支撑等部分组成。其中,信号处理提供 AD 模采、频谱监视、参数测量、信号识别、信号解调、信道解译等信号处理服务;数据分析实现信令解析、协议分析等;运维运控提供任务管理、状态监视、综合显控、数据管理、软件更新、日志管理等服务;可视化支撑是提供目标一体化综合展示需要的基础图形控件,包括频谱图、瀑布图、直方图等。

2.2.4 应用层

应用层位于最上层,由服务支撑层提供功能服务,为用户实现既定的功能。应用层和服务支撑层均采用面向服务的软件框架,实现模块化、通用化的应用服务,用户可通过服务管理来新增功能服务、调度服务组合和搭建新的业务流程。典型的应用服务包括信号搜索服务、实时控守服务、采集监视服务、数据分析服务、数据组织管理、运维运控等。

3 平台验证与分析

按照基于 VPX 开放式架构的设计思路完成了无线电监测验证平台样机的搭建,如图 3 所示。验证平台主要由接收信道模块、采集处理模块、CPU 处理模块、GPU 处理模块、存储模块等组成。接收信道模块实现射频信

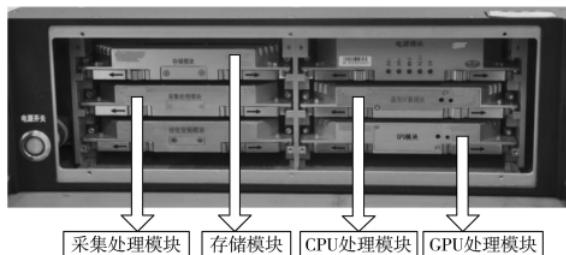


图 3 基于 VPX 开放式架构的无线电监测平台样机

号到中频信号的变换；采集处理模块实现对中频信号的模数转换、信号预处理等；CPU 处理模块实现信号参数测量、调制识别、编码识别等各种信号处理和信息处理；GPU 处理模块主要实现对信号处理算法的加速；存储模块用于采集存储中频数据、IQ 数据等。验证平台的主要参数如表 1 所示。

表 1 验证平台的主要参数

主要板卡类型	参数说明
采集处理模块	AD+Xilinx FPGA
CPU 处理模块	4 核 2.2 GHz CPU
GPU 处理模块	NVidia Quadro P5000
存储模块	16 TB SSD 阵列

3.1 数据传输测试

射频信号通过接收信道模块变成中频信号，经接收处理模块进行 AD 模采，通过 GTX 总线送入存储模块进行落盘存储。采集结束后，由显控发起转储命令，将存储模块中的 AD 数据通过万兆网传送到 CPU 处理模块，再由 CPU 处理模块通过网络转送到显控计算机进行误码统计。测试 20 次，无丢包，无误码，此测试场景较好地测试了链路的数据传输，涉及 GTX 总线、网络数据，测试结果如表 2 所示。

表 2 数据传输测试结果

测试通路	总线	速度
AD 数据→存储模块	GTX	4.8 GB/s
存储模块→CPU 处理模块	万兆网	200 MB/s
CPU 处理模块→显控计算机	千兆网	10 MB/s

数据传输测试结果表明，使用 GTX 总线 AD 数据到存储模块的速度可到达 4.8 GB/s，满足高速采样数据到存储模块的传输要求。存储模块到 CPU 处理模块使用万兆网传输，CPU 处理模块到显控计算机使用千兆网传输，满足落盘存储数据转储的性能要求。

3.2 系统性能测试

为验证平台的整体处理性能，对典型的信道译码能力进行了验证。以 QPSK、16QAM 调制信号，VTB、TPC、LDPC 等典型的译码方式进行信道译码，射频信号通过接收信道模块变成中频信号，经接收处理模块进行 AD 模采、解调处理，解调之后的星座图数据经过 PCIE 总线送入 GPU 处理模块进行译码，同时作为对比将数据在 CPU 处理模块上进行译码运算，系统性能测试结果如表 3 所示。

对比性能测试结果，使用 GPU 处理模块对典型译码类型进行计算，处理速度是使用 CPU 处理模块的 12 倍

表 3 性能测试结果

译码方式	处理速度(GPU)/(MB/s)	处理速度(CPU)/(MB/s)	说明
VTB	402	5.5	QPSK, r=3/4
TPC	426	6.4	16QAM, r=3/4
LDPC	354	28.1	QPSK, r=1/2

以上，很好地满足了无线电监测平台对实时性处理指标的要求。

4 结论

本文结合软件无线电的设计思想，提出了一种基于 VPX 开放式架构的无线电监测平台设计，介绍了平台的硬件架构和软件架构，构建了一种硬件可扩展、模块化，软件服务化的软硬件平台。通过搭建测试平台，对提出的软硬件平台进行了测试，验证了平台传输性能和基本处理性能，达到了预期的设计目的。

参考文献

- [1] 楼才义,徐建良,杨小牛.软件无线电原理与应用[M].北京:电子工业出版社,2014.
- [2] 王静,钟瑶,卢瑶,等.美军通信网络与信息系统发展研究综述[J].中国电子科学研究院学报,2021(11):1098.
- [3] 于永学,王玉钰,解嘉宇,等.美军联合战术无线电系统的发展现状及应用[C]//北京:中国指挥与控制学,2020:251-252.
- [4] 朱娇,祝颂东,阮轶杰.外军软件通信体系结构规范[J].软件开发与应用,2020(7):18-19.
- [5] 胡倩,陈善志,刘建妥,等.基于 VPX 架构的遥测采集平台设计[J].宇航计测技术,2017,37(4):43-48.
- [6] 邵云泽.基于 VPX 嵌入式系统的实时流数据处理技术研究[D].杭州:浙江大学,2021:6.
- [7] 覃超.基于软件无线电的射频高效功放基带信号处理平台硬件设计与实现[D].成都:电子科技大学,2012:12-36.
- [8] REIS G, LUIZ A, BARROS A F, et al. Introduction to the software-defined radio approach [J]. IEEE Latin American Transactions, 2012, 10(1): 1156-1161.

(收稿日期:2021-11-16)

作者简介:

鲁超(1986-),男,硕士,工程师,主要研究方向:信号处理平台、通信信号处理、人工智能算法等。

米文龙(1982-),男,硕士,工程师,主要研究方向:信号处理平台、软硬件处理架构。

胡丁锐(1986-),男,硕士,工程师,主要研究方向:信号处理平台、通信信号处理等。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所