

基于FPGA的分布式测控装置设计与应用

王爽 胡冬旭

北京泛华恒兴科技有限公司

摘要: 基于FPGA的分布式测控装置基于嵌入式硬件平台设计,由FPGA和外围电路组成。由多个分布式测控装置构成一个测控系统,除了提供确定所需信号通道外,还相应提供一定数量的备用通道,便于维护与扩展。装置采用模块化设计,具有功能强大、可靠性高等特点。

多个装置以星形连接形式安装于试验场的不同位置,可将试验过程中各设备的输出信号快速实时的采集下来,考虑到很多试验现场电磁环境复杂,以及突发数据量巨大,整系统使用光纤将数据传输至30 m外的远程计算机内存中,并由接口控制软件将数据进行分析处理后由反射内存将数据送至其他分系统中。

作为一种通用的分布式测控解决方案,本装置适用于核电、大型船只、列车、航空航天设备等需要同步或非同步分布式采集与控制场合。

关键词: FPGA技术;光纤传输;装备保障;自动测试;结构小型化

1 引言

分布式测控系统通常由多个互连接的装置组成,它们在整系统的控制下协同执行同一个任务,最少依赖于集中的程序、数据或硬件。这些资源可以是地理上相邻或分散的。其共同特征是:场地分布、数据分布、硬件平台多样化、操作系统多样化、应用平台多样化。

由于越来越多的试验应用向大型化、复杂化发展,配套测控系统作为试验重要组成部分,为获得相关试验数据、研究试验特性、及后续的工程设计及安全评审提供必要条件,集中式测控系统越来越难以满足当前及未来的试验需要。相比

于集中式测控系统,分布式测控系统具有更高的处理速度、可靠性、扩展性、被测点数(可多达数百点甚至上千点),更复杂的测量控制类型等优势。

2 概述

尽管分布式测控系统拥有众多优势,但如何克服技术难点并优化装置的设计,对整个系统的性能与运行至关重要。本装置在设计时充分考虑分布式测控系统应用软件的易用性、通信的快速与可靠性,及现场使用中装置的结构与尺寸要求。装置采用了FPGA+自定义传输总线的设计方式,并封装在装置中。FPGA用来对传输数据进行实时快速打包,同时为后续扩展留有接口

(DIO通道最多能达到1.2万路);自行设计的传输总线具有极高的数据传输速度,经测试可达到2 000路数字信号/30 μ s;装置外观尺寸(小于180 mm \times 180 mm \times 70 mm)可以满足狭小空间安装与使用要求。



图1 基于FPGA的分布式测控装置

装置通过功能模块化的方式提高灵活性与适用性,每个装置均由一个主控板,若干AIO板、DIO板及通信板组成,可根据需要来选择搭载。

3 系统设计

3.1 硬件架构设计

装置内的各功能模块均采用泛华的PanRIO系列货架产品构建，具有良好的 consistency。PanRIO系列产品的FPGA开发板本质，可以满足实时性要求。整体硬件构成如图2所示。其

中本地总线担当各模块之间的通信任务；PanRIO-Mini为核心模块，其上的FPGA、DRAM及其他辅助器件共同完成数据采集、时序控制等工作；接口电路完成模数转换、IO扩展功能；数据打包完成本地数据流至传输数据流之间的转换。

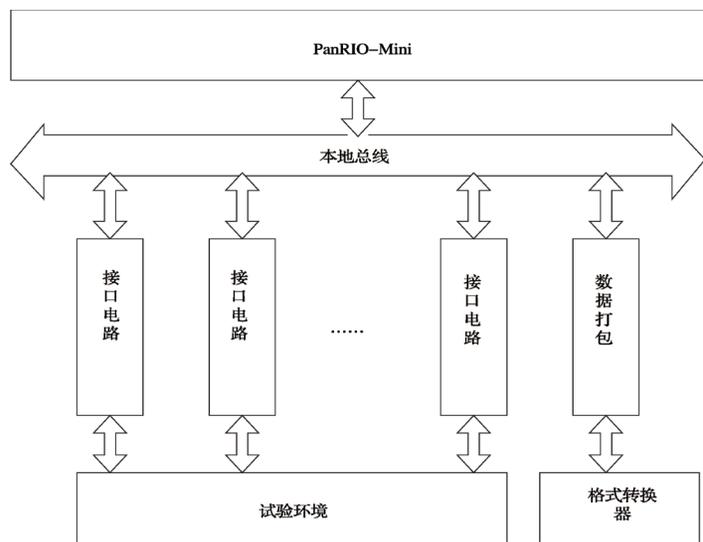


图2 系统硬件构成图

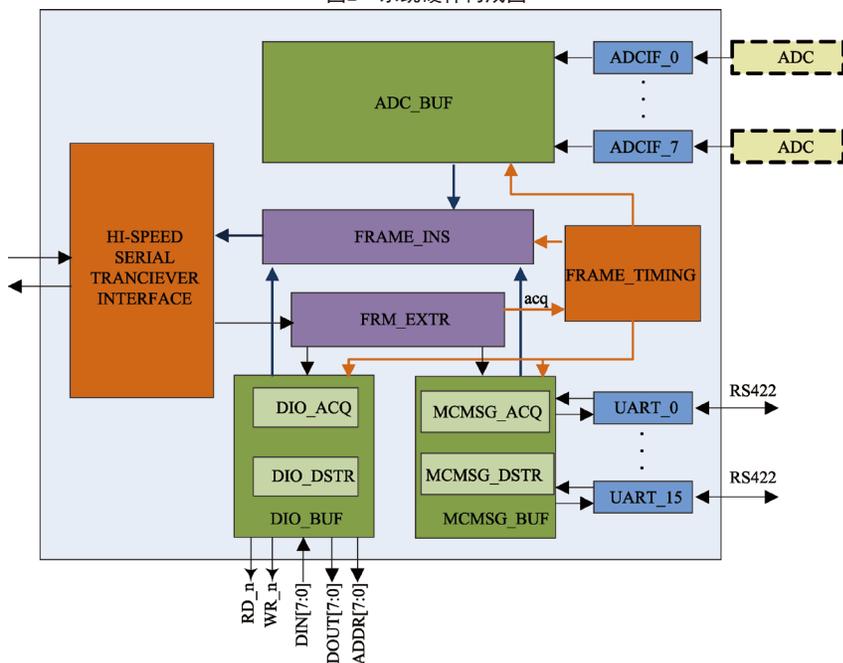


图3 软件功能

3.2 软件功能

软件功能如图3所示，根据模块功能划分为接口驱动模块、接口数据缓冲模块、成帧与字段提取模块、时间同步模块以及系统功能模块。

1) 接口驱动模块包括AD转换器驱动模块ADCIF和串口驱动模块UART；

2) 接口数据缓冲模块包括AD转换器数据缓冲模块ADC_BUF，串口报文缓冲模块MCMMSG_BUF和异步数据缓冲模块DIO_BUF；

3) 时间同步模块FRAME_TIMING；

4) 系统功能模块包括时钟模块CLO_PRO、硬件测试与自检模块（未在图中显示）。

装置软件的作用是在外部触发信号控制下采集多个接口上的数据，按自定义协议组帧发送给上位计算机，同时接收上位计算机发送来的数据帧，提取数据到相应接口输出，包括：

1) 采集10片ADC上复用的80路模拟信号；

2) 最大255个地址，每地址8 bit数字信号量的采集；

3) 最大255个地址，每地址8 bit数字信号量的下发；

4) 16路RS422串行数据的接收、成帧并转发；

5) 16路RS422串行数据的解帧提取、发送。

本装置使用VHDL语言及现成的IP核进行程序编制，通过以上软件功

能设计,实现数据组帧在上位计算机与PanRIO(FPGA开发板)各接口间的控制与传输。

3.3 应用实例

某航空电子试验中需要在模拟舱的不同位置安装采集单元,并将所采集数据传输至30 m外的远程计算机内存中,由于现场电磁环境复杂,以及突发数据量巨大,需要使用光纤传输。

4 结构设计

为满足试验要求,系统基于上文描述的分布式测试装置设计,采用星形分布式结构模式,多个分布式测控装置共同使用一个格式转换器,装置采集试验时的各种信号,然后通过远距离传输给用户采集计算机。系统示意如图4所示。

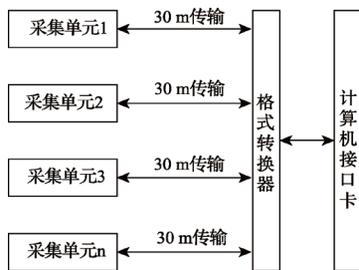


图4 系统示意

其中格式转换器外观如图5所示。

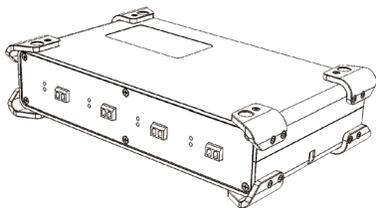


图5 格式转换器造型

5 软件实现

自动测试是测试行业发展的必然趋势,对于分布式测控系统而言也不例外。在实施本系统自动测试的过程中,软件上有2个难点问题:

1)涉及多平台与多种功能硬件,测试流程控制困难,同时还有可能需要控制一些网络设备;2)测试结果验证复杂。基于以上考虑整体软件架构

设计如图6所示。对于整系统的自动测试来说,通过测试脚本来收集各种测试结果数据以验证测试结果的正确性,同时将数据采集部分模块化,通过各子模块来检测各项数据是否正确,并设计一个数据管理与分析模块,主要负责从服务器应用程序的数据中收集相应数据进行分析验证。

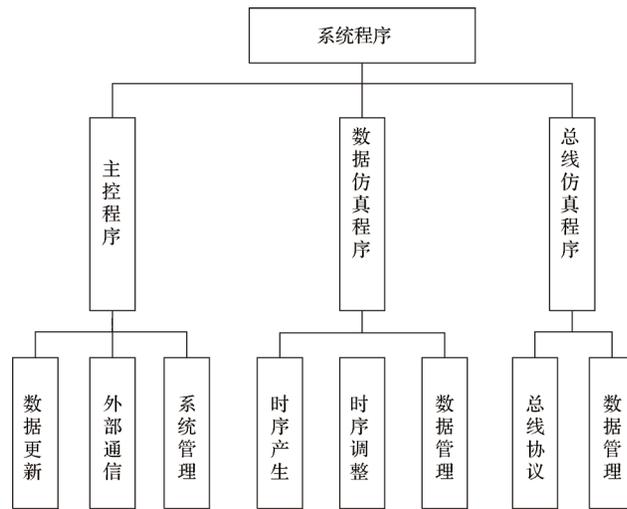


图6 软件层级结构

6 技术亮点

本系统实现有3个突出难点:

- 1)系统所需通道多:近2 000路的AI、DI、DO和RS422传输通道;
- 2)系统所需传输时间短:从采集信号经计算机解算到发出姿态等控制信号时间间隔要求小于1 ms;
- 3)模拟舱内空间有限,对前端数据采集器体积要求要足够小。

基于FPGA的分布式测控装置在设计过程中充分考虑了多通道及扩展

性的需求,完全可以满足近2 000路的测试需求,并且支持后续通道扩展;经分析计算,装置最大采集时间为10 μs,远程传输时间为230.8 μs,写内存时间为230.8 μs,在考虑1 μs传输线路延时的前提下,总传输时间为:10+230.8+230.8+1=462.7 μs,远小于1 ms的要求上限;装置尺寸小于180 mm×180 mm×70 mm,经现场验证满足安装要求。

(下转第15页)

参考解决方案，更多的帮助测试测量用户

是德科技继承了75年专业的测试测量经验，从安捷伦分离出来以后，将逐步转向软件和解决方案的整体提供商。其全新的方向就是定位在以硬件、软件和以人为基础的服务的全新导向的一家科技公司，致力于为遍布全球的用户提供最专业的测试测量解决方案，帮助用户解决在测试测量中所遇到的难题。

杜睿理(Mario Narduzzi)先生谈到，通过参考解决方案与用户进行深

度的结合、沟通，以解决用户在测试测量中遇到的关键的问题。参考解决方案，将单一的模块和单一的软件紧密结合在一起，集成开发成一种解决方案，帮助用户应对测试测量挑战。这种参考解决方案具备非常高的可实施性，可以更大程度的减少测试测量风险，降低测试测量成本，节省测试测量系统搭建时间。是德科技目前已有PA功率放大器测试、5G测试、汽车电子测试等7个参考解决方案，帮助行业用户进行专业测试测量。

小结

相对于传统的台式仪器，模块化产品在灵活性、可扩展性等方面具有无法比拟的优势，并可以将最新的技术通过添加模块引入到测试系统中。是德科技现在钻研的测试测量技术将可同时应用到台式仪器和模块化产品中，使这些产品可以对日后的测试测量挑战应对自如。通过75年的测试测量经验将单一的硬件、软件集成为解决方案，可以更好的帮助测试测量用户，更好的成就用户的成功。

(上接第13页)

7 参考指标

项目	描述	技术指标
AI	320 (80通道一组隔离)	量化精度: 16 bits 精度要求: 2 mV 测量范围: 0~10 V 采样率: 1 K
DIO	1440DI, 1440DO (96个通道一组隔离, 最大12 288个通道)	电平形式: 地/开
422通信	16发16收 (最大64发64收)	通信方向: 双向 波特率: 10 M以内任意可设 隔离要求: 16个收发
同步精度	多个装置之间同步	同步精度优于1 ns
传输方式	光纤	分布范围公里级

8 结论

本装置在设计中充分采用先进的、

模块化、标准化测试技术和产品。由于有了优良的配置组合，具有非常好的性

能，同时具有可靠性高，性能价格比优良，实用性强、操作简单、维护方便等特点。并且在开发、设计、生产过程中必须最大限度地贯彻我国各级现行标准，按国家标准、行业标准和企业标准的次序选用。目前基于本装置构建的分布式测控解决方案已在航空、核电、船舶及轨道交通等领域得到广泛应用。

随着网络技术的发展，大型分布式测控系统的应用也越来越多、越来越复杂、越来越重要。如何有效地保证大型分布式测控系统7×24 h全天候持续稳定地运行也成为了下一个重要研究课题。