

通用实物设备接入技术研究与实现

蔡斐华, 褚厚斌, 张丽晔, 郑小鹏, 朱亚亚

(中国运载火箭技术研究院研究发展中心, 北京 100076)

摘要: 综合试验验证技术正朝着“虚实融合”的方向发展, 将实物试验设备接入虚拟试验的支撑平台进行统一试验, 成为综合试验验证的一大关键技术; 文章提出一种通用的实物设备接入技术, 一方面通过用户界面配置, 自动生成与实物设备传输协议相匹配的接入网关, 解决传输协议异构性问题; 另一方面, 通过采用嵌入式的硬件协议转换器, 实现高效率的实时设备接入; 实验证明, 该技术具有良好的实时性, 协议转换耗时不到 1 ms, 同时提高了开发效率, 节省了应用开发的人力和时间成本, 降低了应用人员的技术门槛, 为高效可靠地实现“虚实融合”的综合试验验证奠定了基础。

关键词: 虚拟试验; 实物设备接入; 网关; 协议转换器

Research and Implementation of General Physical Equipment Access Technology

Cai Feihua, Chu Houbin, Zhang Liye, Zheng Xiaopeng, Zhu Yaya

(China Academy of Launch Vehicle Technology R&D Center, Beijing 100076, China)

Abstract: The technology of integrated test and evaluation is developing to the “Virtual—real Fusion” direction. Test by accessing physical equipments to virtual test platform became a key technology for integrated test and evaluation. A general physical equipment access technology is proposed in this paper. It can automatically generate gateway which matches equipments’ transport protocols to solve the problem of transport protocol heterogeneity. In addition, it can implement high—efficiency real—time equipment access by using embedded hardware protocol transition. The experimental result shows that this technology has good real—time performance and protocol transition is less than 1 millisecond. It improved development efficiency, save much time and cost of development and reduced technology barrier for users. The technology provides a strong support for implementing “Virtual—real Fusion” integrated test and evaluation effectively.

Keywords: virtual test; equipment access; gateway; protocol transition

0 引言

目前, 综合试验验证正朝着“虚实融合”的方向发展, 即将虚拟试验的支撑性和实物试验的验证性有机统一起来, 在一个虚实融合的试验环境中考核复杂产品整体功能和性能是否满足设计要求, 在此基础上, 验证多个系统之间互操作的协调性和匹配性, 评价军工产品技术成熟度、产品使用效能以及标准化程度等^[1-4]。而如何将实物试验的设备接入虚拟试验的支撑环境进行统一试验, 成为“虚实融合”的一大关键技术, 主要有以下两大难点: 首先, 实物设备的总线接口多样, 常采用的总线接口包括 1553B、UART (RS232/485/422)、CAN 等类型, 与以以太网为主的虚拟试验支撑平台相异, 并且不同的实物设备传输协议各异, 与虚拟试验验证系统不兼容, 属于异构系统; 其次, 实物设备对实时性要求较高, 若实时性无法满足要求, 则虚拟系统获取的试验数据将无法反映实物设备的真实性能。

本文提出了一种通用实物设备接入技术, 通过协议的灵活配置, 实现实物设备虚拟试验验证平台的快速无缝集成, 在解决了多种传输协议异构性问题的同时, 实现了用户“零代码”编写, 缩短了虚拟试验验证应用的开发周期; 同时, 由硬件协

议转换器实时的完成协议匹配及转换, 满足虚拟试验常用实物设备接入的实时性要求。其中, 硬件协议转换板卡采用“基于 DSP 的通用协议转换母板卡”+“硬件接口驱动子板卡”的硬件设计方案, 同时支持多种硬件接口, 并保留硬件扩展性, 节省了专用驱动板卡的重复投资。

1 实物设备接入总体架构设计

通用实物设备接入总体架构设计如图 1 所示, 包括硬件接口协议转换器、虚拟试验代理节点和可配置实物设备接入网关自动生成器。

其中, 硬件接口协议转换器为一套嵌入式硬件板卡, 硬件接口协议转换器一端通过 PCI 接口插在工控机上, 与运行在工控机上的中间件代理节点进行数据交互, 一端通过总线接口与实物设备连接, 主要实现通信协议转换及总线接口驱动。

虚拟试验代理节点为虚拟试验支撑平台上的运行节点, 运行在工控机上, 一端通过以太网口与虚拟试验中间件相连, 一端通过 PCI 接口与硬件协议转换器相连, 主要实现实物设备下行数据接口调用和上行数据接口读取等功能。

可配置实物设备接入网关自动生成器通过对实物设备的通信协议和虚拟试验调用接口进行配置, 自动生成与实物设备对应的协议转换集二进制文件和调用接口动态链接库。其中协议转换集二进制文件烧录至硬件协议转换器的协议存储单元中, 用于进行通信协议的匹配和编解码; 调用接口动态链接库由虚拟试验代理模型调用, 实现与虚拟试验支撑平台上其他模型的

收稿日期:2015-01-28; 修回日期:2015-03-17。

作者简介:蔡斐华(1985-),女,湖南长沙人,工程师,硕士研究生,主要从事虚拟试验方向的研究。

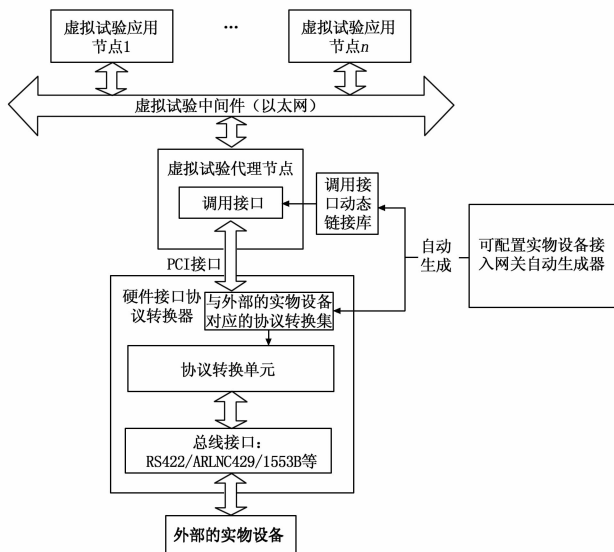


图 1 实物设备接入方案总体构架

数据联通和互操作。

2 可配置实物设备接入网关自动生成技术

可配置实物设备接入网关自动生成技术采用交互式的界面设计, 通过用户在软件界面上对实物设备的协议和虚拟试验代理节点的调用接口进行配置及映射, 自动生成与实物设备对应的协议转换集二进制文件和调用接口动态链接库, 并自动将协议转换集二进制文件烧录至硬件协议转换器的协议转换单元。

可配置实物设备接入网关自动生成技术架构包含实物设备协议配置模块、虚拟试验代理模型调用接口配置模块、协议映射关系配置模块、代码生成模块。

2.1 实物设备协议配置模块

实物设备协议配置模块实现用户在软件界面对外部接入的实物设备协议进行配置, 包括协议的帧头、帧尾、校验段、数据段等, 并将用户配置信息保存为 xml 文件。

2.2 虚拟试验代理模型调用接口配置模块

虚拟试验代理模型调用接口配置模块实现用户在软件界面对虚拟试验调用接口进行配置, 如接口名称、接口参数个数、接口参数名称、接口参数类型等, 并将用户配置信息保存为 xml 文件。

2.3 协议映射关系配置模块

协议映射关系配置模块实现用户在软件界面对虚拟试验调用接口到实物设备协议的映射关系进行配置, 如接口名到协议名的映射、接口参数到协议数据段的映射等, 并将用户配置信息保存为 xml 文件。

2.4 代码生成模块

代码生成模块解析上述四个配置模块的 xml 文件, 自动生成器自动生成与外部接入的实物设备对应的协议转换集二进制文件和调用接口动态链接库, 并可将二进制文件烧录至硬件协议转换器的协议存储单元中。

3 硬件协议转换器

3.1 硬件协议转换器功能设计

如图 2 所示, 硬件协议转换器包含协议解码模块、协议编

码模块、协议匹配单元阵列模块、协议存储模块和硬件接口驱动模块等五个功能模块。

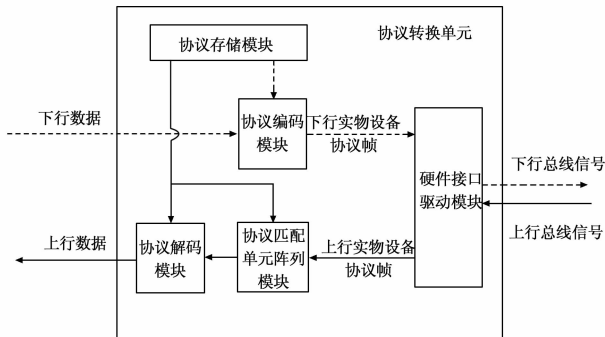


图 2 硬件协议转换器设计

1) 协议存储模块:

协议存储模块长期存储与外部接入的实物设备对应的协议转换集二进制文件。协议存储单元一般为非易失性存储器, 可实现协议转换集的长期存储、烧录、擦除等功能。硬件协议转换器上电后, 数据编解码单元从协议存储模块加载协议转换集, 从而实现协议的编码和解码。

2) 数据编码模块:

数据编码模块从协议存储模块中读取与协议转换集二进制文件, 并根据该二进制文件中下行数据与下行实物设备协议帧的映射关系, 将下行数据转换为下行协议帧中的数据元素, 然后再根据该二进制文件中的下行实物设备协议帧格式添加帧头、数据长度、帧尾、校验数据等, 形成下行实物设备协议帧。

3) 协议匹配单元阵列模块:

协议匹配单元阵列模块读取协议转换集二进制文件, 并将上行实物设备协议帧中的帧头、帧尾信息与该二进制文件中的上行协议帧进行比对, 以确定该上行实物设备协议帧属于该二进制文件中的哪个上行实物设备协议帧。

4) 协议解码模块:

协议解码模块从协议存储模块中读取与协议转换集二进制文件, 将协议匹配单元阵列模块确定的上行实物设备协议帧, 按照该二进制文件中的上行实物设备协议帧格式, 先后提取出帧头、数据长度、各个数据元素、帧尾、校验数据, 再按照该二进制文件中的上行数据与上行实物设备协议帧的映射关系, 将提取出来的各个数据元素解码成上行数据。

5) 硬件接口驱动模块:

硬件接口驱动模块将下行实物设备协议帧转换为下行总线信号, 以及将上行总线信号转换为上行实物设备协议帧。

硬件协议转换器的工作流程如图 2 所示, 当传输下行数据时, 根据协议转换文件, 协议编码模块对下行数据进行编码, 形成下行实物设备协议帧。再由硬件接口驱动模块将下行实物设备协议帧转换成下行总线信号, 通过总线接口发送给外部接入的实物设备。

当传输上行数据时, 硬件接口驱动模块将实物设备产生的, 并通过总线接口接收的上行总线信号转换成上行实物设备协议帧, 协议匹配单元阵列模块识别上行实物设备协议帧, 协

议解码模块调用协议转换文件，将上行实物设备协议帧转换成上行数据储存在协议转换单元。

3.2 硬件接口协议转换器硬件设计

硬件接口协议转换器采用“基于 DSP 的通用协议转换母板卡”+“硬件接口驱动子板卡”的硬件设计方案，基于 DSP 的通用协议转换母板卡由 DSP 作为主控制器，实现协议匹配、协议编码、协议解码、协议储存；硬件接口驱动子板实现实物设备协议转换帧与总线信号的互相转换。

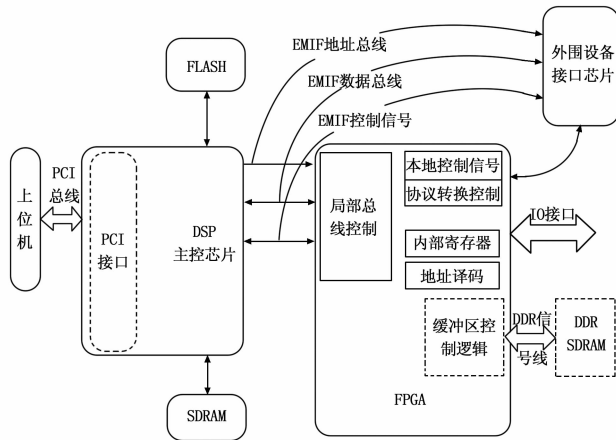


图 3 PCI 接口实现方案示意图

硬件系统的主要模块实现方案如图 3 所示。DSP 芯片是板卡的主控芯片，负责该板卡上主要功能的实现。一方面与 PCI 接口通讯，完成与上位机的数据和信号的交换。另一方面根据上位机的控制要求和外围接口芯片的信号读取流程完成相关的处理任务。协议转换及处理工作主要在 DSP 芯片中编程实现。

FPGA 实现 PCI 与 DSP 接口的控制逻辑、局部总线的解析和地址译码，并针对各个功能模块分别实现各总线接口的控制逻辑以及外部存储模块的控制器等功能。其中，局部总线控制器负责接收从 PCI 接口芯片传过来的局部地址、数据和控制信号。缓冲区控制逻辑主要利用 FPGA 上专用的 DDR SDRAM 接口实现板载大存储器容量的扩展。

4 虚拟试验支撑平台代理节点

虚拟试验代理节点通过虚拟试验中间件与外部的多个虚拟试验应用节点相连。当其他应用节点提出向实物设备发送下行数据的需求，虚拟试验代理节点通过虚拟试验中间件获取该需求，调用相应的接口函数，通过 PCI 接口驱动将该下行数据传给协议转换单元；当其他应用节点提出获取上行数据的需求，虚拟试验代理节点通过虚拟试验中间件获该需求，调用相应的接口函数，根据 PCI 接口驱动从协议转换单元储存的上行数据中提取需要的上行数据。

5 通用实物设备接入技术实现

在研究通用实物设备接入技术的基础上，实现了可配置实物设备接入网关自动生成器和硬件协议转换板卡。

以一维转台为例，用户利用可配置实物设备接入网关自动生成器，对一维转台的协议和代理模型调用接口进行配置。一

维转台协议集主要由 4 条协议构成，分别是转台重启协议、转台转动速度发送协议、转台转动速度反馈协议和转台停止协议。其中转台重启协议和转台停止协议是两个不带数据段的下行协议，转台转动协议是带一个数据段的下行协议，转台姿态数据反馈协议是带一个数据段的上行协议。用户根据实物设备的协议格式配置每一条协议中的帧头、帧尾、校验段和数据段。与转台协议集配套的虚拟试验代理模型调用接口有四个，分别是 INS_Reset (void)、INS_SetVelocity (double velocity)、INS_GetVelocity (double& velocity)、INS_Stop (void)，分别与转台重启协议、转台转动速度发送协议、转台转动速度反馈协议和转台停止协议对应。其中，INS_SetVelocity (double velocity) 接口中的参数 velocity 与转台转动速度发送协议中的数据段对应，INS_GetVelocity (double& velocity) 接口中的参数 velocity 与转台转动反馈协议中的数据段对应。

用户在软件界面完成调用接口与协议的映射关系配置，可配置实物设备接入网关自动生成器自动生成与外部接入的实物设备对应的协议转换集二进制文件和调用接口动态链接库。其中，该二进制文件包含一维转台的 4 条协议帧的帧格式、每一条协议帧与调用接口的映射关系、每一条协议帧数据段与调用接口参数的映射关系等；调用接口动态链接库即为一维转台上述四个调用接口的动态链接库，包含协议转换单元硬件板卡 PCI 接口驱动。

实验证明，在虚拟试验验证平台调用转台的四个接口，一轴转台将根据指令做出响应或反馈相应的数据。对于 INS_SetVelocity 接口函数，给定不同的参数，转台将依照给定的参数调整速度。采用回环测试的方法对其实时性进行测试，测试结果为整个回环平均耗时 1.7 ms，其中包括了协议下行通路和协议上行通路，因此单次调用耗时为 850 μ s，能够很好的满足系统对实时性的要求。

6 总结

为了实现实物试验设备与虚拟试验验证平台的快速集成，研究了通用实物设备接入技术，并开发实现了通用实物设备接入网关自动生成器，一方面通过用户界面配置，自动生成与实物设备传输协议相匹配的接入网关，解决传输协议异构性问题；另一方面，通过采用嵌入式的硬件协议转换器，实现高效率的实时设备接入。实验证明，协议转换耗时为百微秒级，为实现“虚实融合”的综合试验验证奠定了基础。

参考文献：

- [1] 赵雯, 彭健. 复杂军工产品虚拟试验验证技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1257-1259.
- [2] Skelley M L, Integrated Test and Evaluation for the 21st Century [EB/OL], <http://www.aiaa.org>, 2008.
- [3] DoD Live Virtual Constructive (LVC) Integrating Architecture Study [EB/OL], <http://www.jfcom.mil>.
- [4] Test and evaluation management guide [Z]. Nov. 2001 Fourth edition. Published by the Defense Acquisition University Press, 2001.