

8-3-2020

Collaborative Simulation Between Remote Laboratories Based on Fiber-Optic Reflective Memory

Chijun Tian

1. *Tianjin Delegate Station of Navy Armaments Department, Beijing 100073, China;*

Shengbing Shen

2. *Beijing Electromechanical Engineering Institute. Beijing 100074, China;*

Yanlei Li

2. *Beijing Electromechanical Engineering Institute. Beijing 100074, China;*

Xianzong Wang

2. *Beijing Electromechanical Engineering Institute. Beijing 100074, China;*

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Collaborative Simulation Between Remote Laboratories Based on Fiber-Optic Reflective Memory

Abstract

Abstract: Taking advantage of independently developed HY-FB2125G Fiber-Optic Reflective Memory network interface and HY-FHX8 fiber-optic hub, the fiber-Optic Reflective Memory network was built and high speed data contribution was realized. *With the elaborate design of hub-centered network architecture, simulation laboratories have the ability to process collaborative experiment and reuse test resources, which provides powerful support to accomplish collaborative simulation experiments.*

Keywords

independently developed, real time, fiber-optic reflective memory, collaborative simulation

Authors

Chijun Tian, Shengbing Shen, Yanlei Li, Xianzong Wang, and Zhuofeng Guo

Recommended Citation

Tian Chijun, Shen Shengbing, Li Yanlei, Wang Xianzong, Guo Zhuofeng. Collaborative Simulation Between Remote Laboratories Based on Fiber-Optic Reflective Memory[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1766-1773.

基于光纤反射内存网实现远程协同仿真方法

田赤军¹, 沈胜兵², 李艳雷², 王宪宗², 郭卓锋²

(1 海军装备部天津军事代表局, 北京 100073; 2 北京机电工程研究所, 北京 100074)

摘要: 利用自主研发的 HY-FB2125 G 型实时光纤反射内存接口板及 HY-FHX8 型光纤 HUB, 构建了光纤反射内存网, 实现了数据的远程高速实时共享。通过采用以光纤 HUB 为核心的网络构架, 使仿真试验室具备了多试验室间的协同、试验室资源复用、多试验室资源交叉并行使用的能力。

关键词: 自主可控; 实时; 反射内存网; 协同仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 08-1766-08

Collaborative Simulation Between Remote Laboratories Based on Fiber-Optic Reflective Memory

Tian Chijun¹, Shen Shengbing², Li Yanlei², Wang Xianzong², Guo Zhuofeng²

(1. Tianjin Delegate Station of Navy Armaments Department, Beijing 100073, China;

2. Beijing Electromechanical Engineering Institute, Beijing 100074, China)

Abstract: Taking advantage of independently developed HY-FB2125G Fiber-Optic Reflective Memory network interface and HY-FHX8 fiber-optic hub, the fiber-Optic Reflective Memory network was built and high speed data contribution was realized. With the elaborate design of hub-centered network architecture, simulation laboratories have the ability to process collaborative experiment and reuse test resources, which provides powerful support to accomplish collaborative simulation experiments.

Keywords: independently developed; real time; fiber-optic reflective memory; collaborative simulation

引言

在飞行器的研制过程中, 半实物仿真试验是验证各分系统及整体功能性能必不可少的重要手段^[1]。随着飞行器系统的发展, 系统性能和复杂度都在不断的提高, 对仿真系统通讯网络也提出一些新的要求, 例如:

(1) 飞行器系统的控制周期越来越短, 系统响应速度越来越高, 要求仿真系统通讯网络的有更高的实时性;

(2) 随着飞行器系统的复杂程度不断加深, 进行系统闭环试验时简单的试验设备已经无法满足

需要, 不仅需要多个模拟器、转台, 还需要多个不同功能的试验室协同配合进行试验, 要求仿真系统具备远程异地协同仿真的能力。

(3) 攻防对抗这类问题的出现, 对分布式仿真构架及多系统协同仿真的能力也提出了更高的要求。

上述这些需求的实现, 都需要仿真系统有一个高性能的底层实时通讯网络作为支撑。要求系统各节点之间的数据传输具有很高的实时性, 而传统的网络技术, 如以太网、FDDI 等在实时应用中存在着: (1) 数据传输速率不高; (2) 实时性差, 传输延迟较大且具有不可预测性; (3) 协议复杂, 效率较低等问题^[2-3]。

在新一代的仿真系统中, 实时光纤反射内存网络作为一种被广泛采用的通讯方式, 肩负着整个仿真系统的命令交互及实时数据同步共享任务。

实时光纤网产品国内目前无研发厂家, 国外也

收稿日期: 2015-05-15

修回日期: 2015-06-15;

作者简介: 田赤军(1961-), 男, 天津, 硕士, 高工, 研究方向为导弹总体; 沈胜兵(1989-), 男, 云南, 硕士, 工程师, 研究方向为半实物仿真、硬件开发; 李艳雷(1975-), 男, 河北, 硕士, 研究员, 研究方向为半实物仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 1766 •

只有 VMIC、GE 等少数几个国外厂家能够生产, 且价格昂贵。随着 VMIC 公司设计生产 VMIC5565、VMIPCI5587 等光纤反射内存板卡对国内技术封锁, 自主研发光纤反射内存网络产品显得十分必要。

本文立足于半实物仿真的实际需求, 同时着眼未来仿真系统的发展, 基于自主研发的 HY-RFM 系列实时光纤反射内存网络产品, 解决了光纤网络多拓扑结构灵活组网的问题, 实现网络中各个节点的智能控制, 同时利用多个 HUB 互连解决远程多试验室协同仿真问题。HY-FB2125G 光纤反射内存网络接口板及 HY-FHX-8 光纤 HUB 经过实际应用验证, 产品工作稳定可靠。

1 实时光纤反射内存网原理及其在仿真系统中的应用

实时光纤反射内存网(Real Time Fiber-Optic Reflective memory network, 以下简称实时光纤网)是一种基于高速光纤网络共享存储技术的实时网络。与传统的联网技术相比, 它除了具有严格的传输确定性和可预测性外, 还具有数据传输速度快、通信协议简单、宿主机负载轻、软硬件平台适应性强等特点, 如图 2 所示。

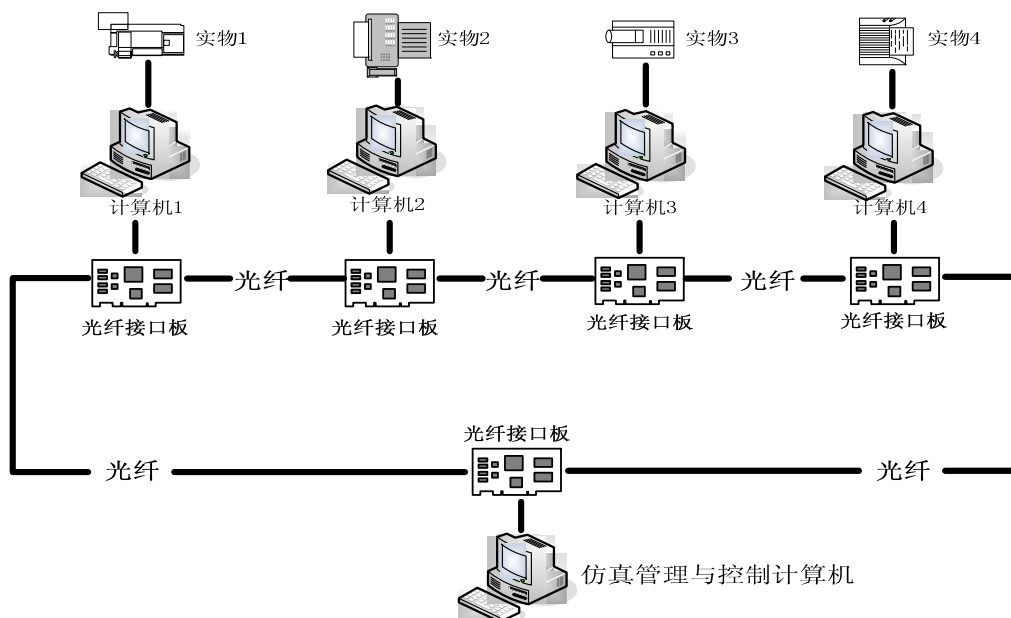


图 1 实时光纤反射内存网连接示意图

实时光纤网利用 HY-FB2125G 光纤反射内存接口板(以下简称光纤接口板)及光纤线构成光纤环网(如图所示)。光纤板插在计算机内, 通过光纤线与光纤 HUB 相连。光纤 HUB 将所有设备连接成一个环网, 在逻辑上全网的所有节点共享同一块存储器, 数据一点写入, 多点同时更新, 实时仿真系统可通过这种方式实现数据的高速传输与共享。

在飞行器半实物仿真系统中, 将转台、负载模拟器、仿真测仪器, 发控遥测设备、监控设备等设备通过实时光纤反射内存网连成环网, 环网内的设

备共享光纤板 SDROM 内存。若某设备某段地址有数据更新, 则整个环网的光纤板 SDROM 上这段地址数据都会随之更新。由于光纤传输速度极快(光速)^[2], 能保证仿真系统的实时性。

2 自主可控实时光纤反射内存网

2.1 实时光纤网络接口板卡

2.1.1 光纤接口板概述

光纤接口板是实时光纤网的核心硬件。光纤接口板采用 PCI、CPCI、PXI 等总线构架, 负责连接

计算机与光纤网络, 整个光纤网络通过光纤线和光纤接口板连接在一起, 计算机通过对光纤接口板的操作实现对共享存储器(反射内存)的写入和读取。

光纤接口板能够提供高速、高带宽、低延迟的数据实时传输功能; 光纤接口通讯速率为 2.125 GHz, 板载 256 M 高速内存; 采用多模光纤时可传输 300m^[4], 采用单模光纤时可传输 20 km^[5]; 支持 Windows2000/XP/ vista、Linux 等操作系统。

2.1.2 光纤板硬件总体构架

光纤接口板采用 FPGA 芯片作为控制核心, 硬件总体构架如图 3 所示。

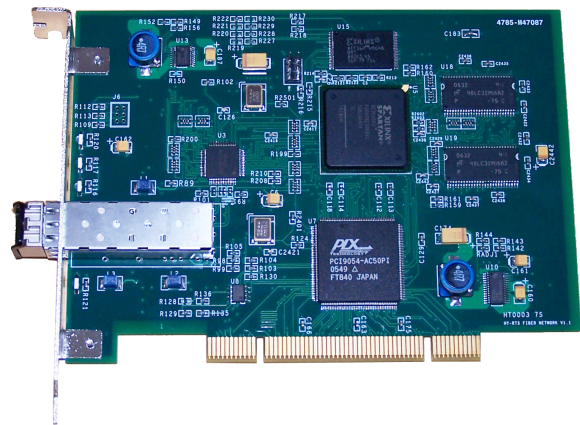


图 2 光纤接口板

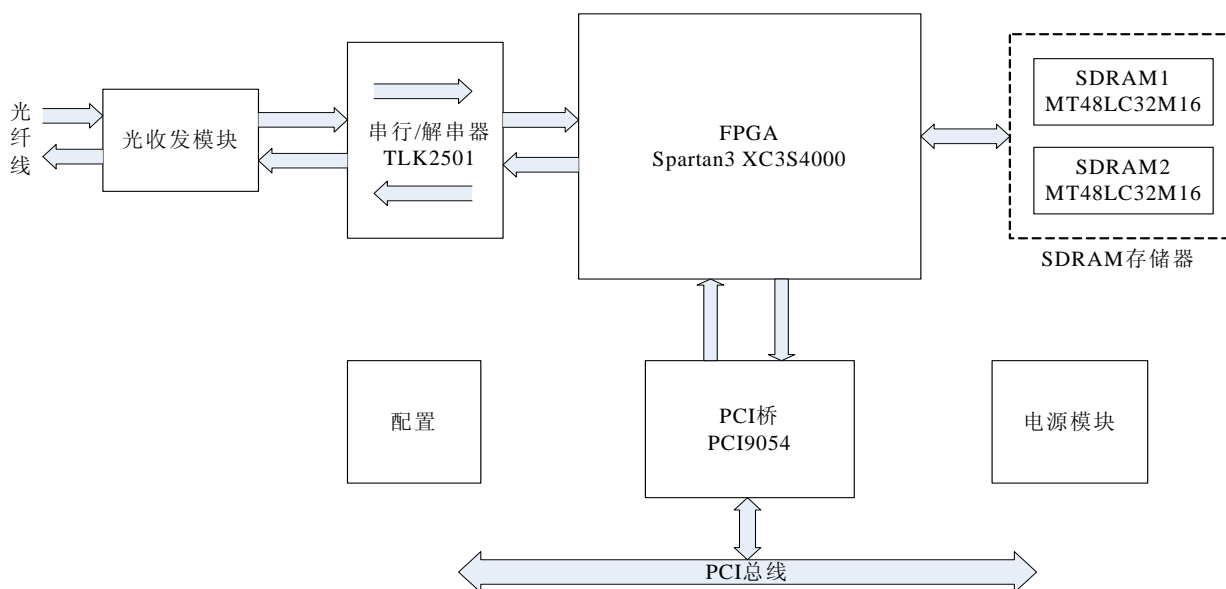


图 3 光纤接口板硬件总体构架

FPGA 芯片控制 PCI 桥芯片与计算机 PCI 接口进行数据交互, 光纤网络上的串行光信号通过光收发模块转换为串行电信号, 再通过串行解串器把 2.125GHz 的串行数据转换为并行数据, FPGA 芯片将并行数据进行解析, 检测数据帧, 根据数据帧信息, 把数据写入 SDRAM, 并可按照计算机指令把数据从 SDRAM 中读出。

2.1.3 光纤板 FPGA 软件设计

光纤接口板 FPGA 软件负责数据处理与解析转发, 总体构架如图 4 所示。主要由以下几个模块组成: TLK2501 信号接收模块、数据校验模块、

TLK 信号发送模块、数据帧解析模块、SDRAM 读写控制模块、中断帧解析模块、中断控制模块、PCI 总线控制模块等。

网络节点间可通过数据帧或命令帧进行信息交互。数据帧用于网络节点之间数据传输; 命令帧主要用于网络节点之间传输控制命令、中断、地址分配命令以及其它配置命令等。网络中光纤反射内存接口板根据数据同步帧头确定数据帧的起始位置, 根据网络 ID 来确定数据来源, 根据地址和数据段长度来控制反射内存的数据存储位置, 最后通过 CRC 码来校验数据的正确性。

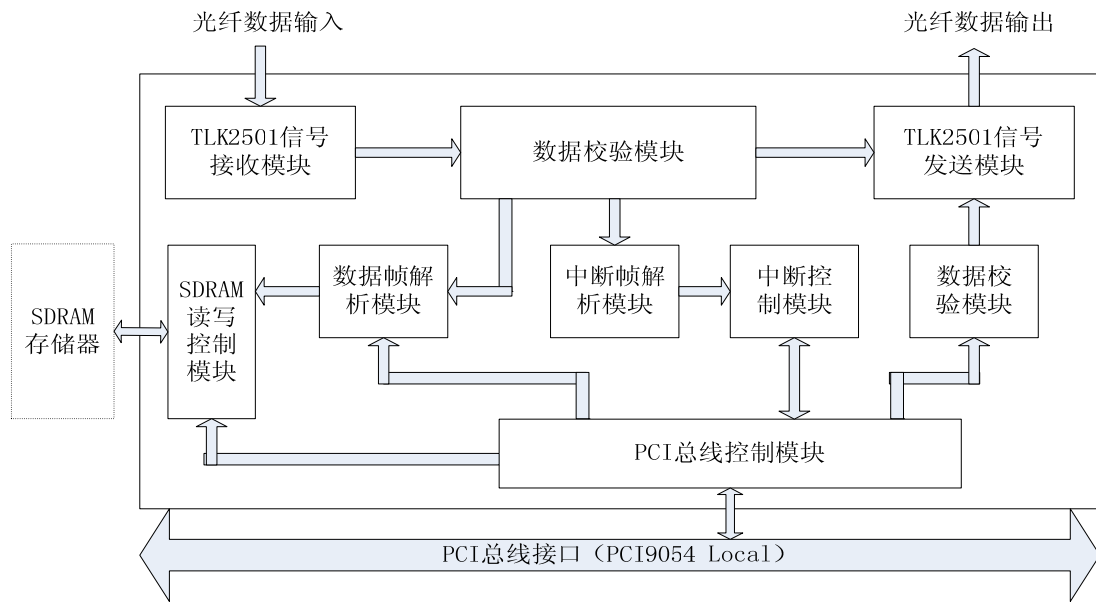


图 4 光纤接口板 FPGA 软件构架

2.2 实时光纤反射内存网络 HUB 设计

2.2.1 光纤 HUB 概述

实时光纤反射内存网络一般由各个节点通过光纤互连成一个环型网络。但环型结构存在着网络连接布线复杂、增加或减少网络节点需要进行布线调整、使用维护不便、一个节点损坏会影响到整个

网络信息传输等诸多问题^[4]。

实时光纤反射内存网络 HUB(以下简称光纤 HUB)和使用极大地提高了实时光纤网的易用性,网络布线结构由原来的环型布线变成如图 5 所示中以 HUB 为中心的星型拓扑结构,各个光纤节点只需与 HUB 相连接即可接入实时光纤网络。

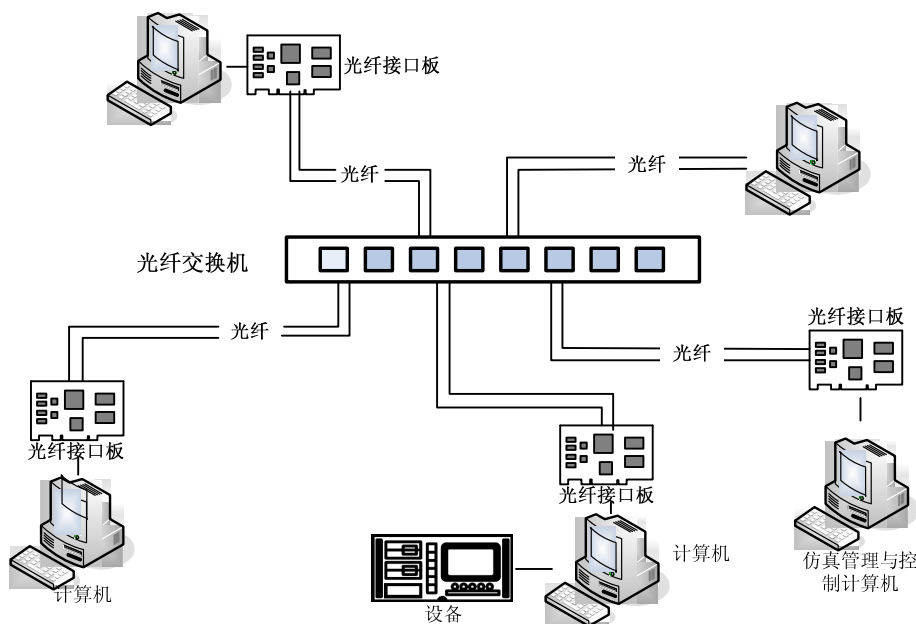


图 5 光纤 HUB 星形拓扑结构

<http://www.china-simulation.com>

光纤 HUB 可实现节点的智能识别及故障节点的自动旁路,同时可通过上位机监测光纤网络各个节点的运行状态,并能通过上位机指令将指定节点连入或剔出光纤网络。同时光纤 HUB 支持级联,极大的方便了多节点光纤网络的布线。选用单模光纤模块进行级联,可使 HUB 之间的布线距离达到 20 KM 以上,为实现多试验室之间的远距离互联打下了坚实的基础。

2.2.2 光纤 HUB 软硬件设计及工作原理

光纤 HUB 硬件总体构架如图 6 所示,光纤 HUB 采用 FPGA 芯片作为控制核心。FPGA 控制光纤 HUB 上的光收发模块,光纤信号转换为串行的电信号,串行电信号通过矩阵交叉开关实现各个节点间的信号交互。USB 和 CPCI 接口可以接受上位机发出的指令,实现节点控制和节点工作状态监视。

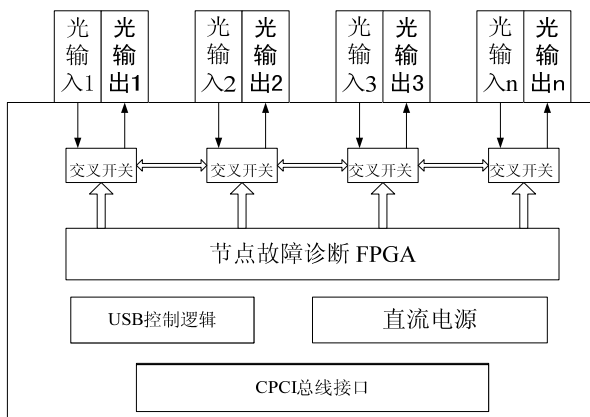


图 6 光纤 HUB 硬件总体架构

光纤 HUB 中光纤模块采用热插拔器件,可以融合不同结构的光纤环网。例如,实际仿真试验过程中,往往在一个试验室内部将多台设备就近连接为小型环网,其传输距离短,均采用多模光纤线和光纤模块;当仿真试验设备位于不同房间甚至是不同楼宇中时,要求传输距离远,可能超过一公里,此时可选用单模光纤和单模光纤模块,方便地将多模小环与单模大环进行融合,解决了远距离互通问题,而且不会在环路中增加延迟^[6]。

2.3 基于光纤网络的智能计算节点

基于光纤网络的智能计算节点,是在原有实时光纤反射内存网络接口板的基础上进行改进和功能扩展,引入 SOM 模块化电脑和高性能 FPGA 硬件算法加速模块。如图所示,通过将原有光纤网络接口升级 FPGA 芯片,同时将其作为 SOM 模块化电脑的载板,安装 COM Express 构架或 ARM 处理器构架的 SOM 嵌入式计算机模块,来扩展整个系统的功能。COM Express 构架的 SOM 嵌入式计算机模块板载 CPU、内存、南北桥、PCI-E、SATA 接口等计算机的核心部件,为 X86 构架,支持主流 Windows、Linux、VxWorks 操作系统。

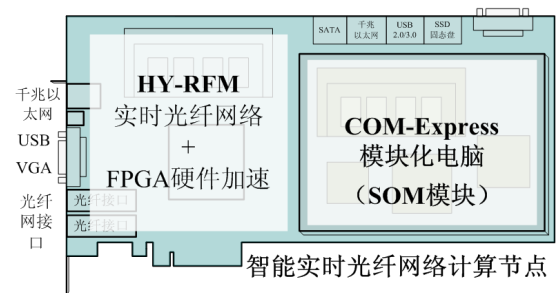


图 7 智能计算节点组成

光纤反射内存网络接口板上原有的 FPGA 升级为高性能 Virtex-6 系列 FPGA,可以用来进行硬件算法加速,Virtex-6 系列 FPGA 片上有丰富的硬件 DSP 资源,同时可嵌入多个处理器软 IP 核,能完成高密度数据计算,同时可与板载的 SOM 计算模块通过 PCI-Express 接口高速通信,通过 SOM 计算模块进行预处理及流程控制,通过 FPGA 完成高密度的数据计算,计算数据直接通过光纤网络与各个仿真节点实时共享。

同时可以在载板板上增加 LVDS 接口,直接实现各种图像算法及图像数据的输出,用于支持小型化图像仿真系统。

2.4 光纤网络通用 IO 接口扩展

实时仿真系统中,常有一些通用 IO 信号,例如 1553B, LVDS, CAN, 模拟量, RS422, 开关

量等,若能将这些信号转换成光纤网数据帧进行传输控制,系统的实时性必会有所提升,同时系统的复杂程度将会大大降低。

如图 8 所示,该节点具有与光纤网络连接的能力,能接收光纤网络数据,并通过对应的 IO 接口板实现用 IO 的实时智能控制。



图 8 光纤网络通用 IO 节点构架图

通过设计,光纤网络能支持主流的常用接口(1553B, LVDS, CAN, 模拟量, RS422, 开关量, 脉冲等),可按需定制。同时智能 IO 节点具备数据

存储记录功能,能够实时存储各种 IO 操作记录。

3 基于光纤反射内存网实现远程异地协同仿真应用实例

随着飞行器系统复杂度的提高,半实物仿真实验面临严峻的挑战。由于试验场地面积有限,各大型仿真非标设备常分布于不同楼宇的试验室内,完成仿真试验需要多楼宇、多试验室跨域联合进行。这对多试验室远程互连及并行试验提出了迫切的需求,而远程协同仿真技术中的数据实时交互技术是解决上述问题的关键。可采用光纤 HUB 进行实时光纤反射内存网络硬件平台搭建,实现多试验室协同试验仿真。

在多试验任务并举的情况下,综合考虑不同试验室联合仿真的需要,兼顾数据通讯的安全性和线缆连接的方便性。

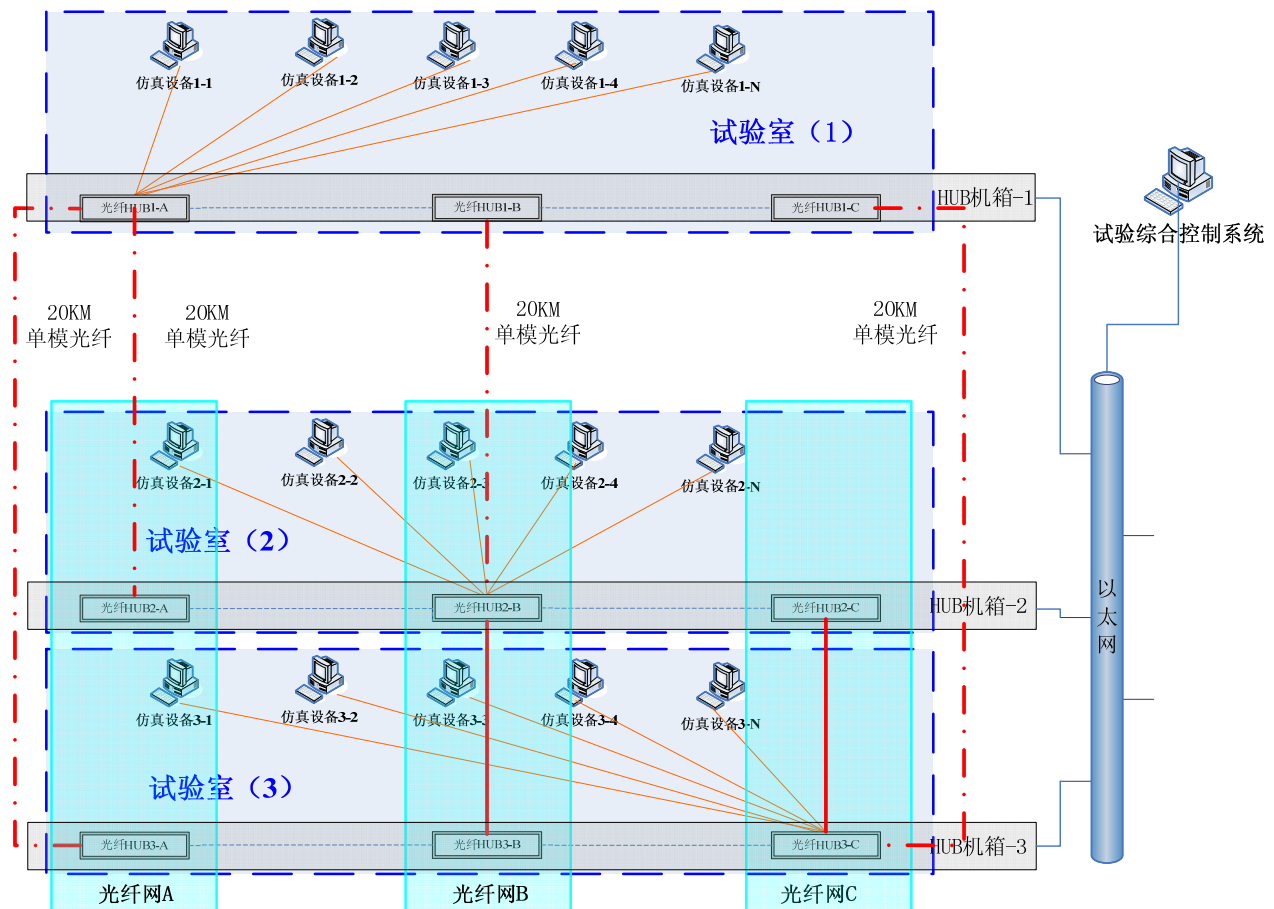


图 9 仿真实验室光纤网络设计

<http://www.china-simulation.com>

以某半实物仿真实验系统为例,实验任务需要 3 个实验室协同仿真。如图 9 所示,试验室 2 和试验室 3 在同一楼内,试验室 1 距离与试验室 2、3 相距约 20 km。

通过光纤 HUB 的级联连接,在 3 个试验室分别布置 3 套在物理上完全隔离,互不影响的光纤网络。

光纤 HUB 之间通过光纤线连接,同一机箱上插入的 HUB 可以属于不同的光纤网络。HUB 机箱上插入的 CPCI 单板计算机可对光纤 HUB 进行控制,单板计算机通过以太网与仿真试验综合控制系统相连,还可实现综合控制系统对整个网络及光纤 HUB 运行状态的监控。

为节省成本,距离较近的(300 m 以内)设备采用多模光纤连接到本地光纤 HUB,如试验室 2 与试验室 3 的设备。相距较远的(300 m~20 Km)设备采用单模光纤连接,如试验室 1 距离试验室 2、试验室 3 较远,采用单模光纤连接,可实现远程多试验室协同仿真。

通过对图 9 方案进行半实物仿真试验验证,基于自主可控光纤反射内存网实现远程异地协同仿真具有如下优点:

(1) 在多试验任务并举的情况下,不同试验光纤网络通讯物理隔离,提高试验的安全性。

(2) 当仿真试验任务发生变化时,用户只需更换 HUB 端的光纤线接入光纤 HUB 即可,不需要重新布线工作,方便了用户操作。

(3) 同一个试验室可同时独立开展多项试验,可按试验需求选择连接参试设备,不影响其他设备参与其他试验。

(4) 当单个试验室在试验中所需光纤连接设备超过 HUB 最大端口数时,可以利用备份光纤 HUB 在同试验室 HUB 间进行互联,从而通过光纤 HUB 级联实现设备的扩充。

(5) 通过光纤 HUB 的监视和控制功能,试验室综合控制系统能实现试验室光纤网络节点工作状态的远程监控,并能远程控制各个节点/HUB 接入或剔除网络。

(6) 基于实时光纤网络可实现实时远程异地协同仿真,通过验证的三个试验室互联传输延时约为 3.3 us/Km。

4 基于自主可控光纤网的远程协同仿真发展展望

依托仿真实时网络的建设,自主可控实时光纤网络在完善光纤板与光纤 HUB 之余,可以有很多相关衍生产品,能形成一条产品线,如光纤网智能计算节点、光纤网通用 IO 接口等。有这些衍生产品的支撑,远程协同仿真将会有进一步的发展。

(1) 光纤 HUB/交换机:利用光纤 HUB 可以摆脱环网布线的限制,各个节点可以直接连接在光纤 HUB 上,大大方便了设备的布线。同时可以通过 HUB 把多个实验室的设备连接到同一个大的光纤环网中,还可以把一个大的光纤网切分成多个小的光纤网,互不干扰。

(2) 智能计算节点:通过对光纤接口板上原有的 FPGA 升级为高性能 Virtex-6 系列 FPGA,利用嵌入的多个处理器软 IP 核,能完成高密度数据计算。同时可与板载的 SOM 计算模块通过 PCI-Express 接口高速通信,通过 SOM 计算模块进行预处理及流程控制,通过 FPGA 完成高密度的数据计算,计算数据直接通过光纤网络与各个仿真节点实时共享。

(3) 通用接口:通用节点类似于光纤接口板+数据采集(接口)模块的作用,节点上自带数据(接口)交互模块(AD、DA、开关量输入输出、智能 RS232/422/485 串口等),不需额外设备就能连入环网,直接通过反射内存来进行各种接口操作。

依托仿真实时网络的衍生产品,仿真系统可以将更多信号接入光纤网,进行实时控制或记录。这使得远程协同仿真具有更高的实时性,同时仿真系统将会更具平台化、智能化、模块化。

5 结论

自主研发实时光纤反射内存网络,实现的

2.15Gbps 的高速数据共享, 采用收转同步的并行模式实现了超低延迟数据转发, 在光纤 HUB 中采用交叉开关阵列和 FPGA 高速收发器将低延迟环形组网和网络数据帧实时检测能力统一在一起。基于此自主可控光纤反射内存网进行远程异地协同仿真, 很好解决了实验室设备互联及高速实时数据共享的问题, 大大的提高了半实物仿真实验室光纤组网及布线的灵活性, 实现了 20 km 级的跨区域的低延迟实时数据共享, 使实验室具备了多实验室远程协同并行开展多项试验的能力, 同时具备单一实验室同时服务于多个试验的能力。

依托仿真实时网络的衍生产品, 远程协同仿真具有更高的实时性, 同时仿真系统将会更具平台化、智能化、模块化。

(上接第 1765 页)

表 2 可判断出受到的干扰程度为轻微, 对导航系统的影响不是很大。

4 结论

以上在介绍导航设备电波特性和电子干扰效能的基础上, 设计了针对导航的电子干扰仿真系统, 构建了干扰计算模型和评估模型架构, 通过完好性检测和统计, 将干扰程度分为五个级别, 反映出干扰条件对导航设备的性能影响。提高了飞行模拟器中导航系统仿真的逼真度, 对飞行模拟训练起到积极作用。

参考文献:

- [1] 张毅. 雷达干扰建模与仿真[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009: 201-202.
- [2] 温玉. 雷达无源干扰建模及杂波抑制方法研究[D].

参考文献:

- [1] 韩超, 郝建国, 黄健, 等. 分布仿真公共支撑平台体系结构研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(S1): 63-67.
- [2] 陆兆辉, 刘文利, 刘勇. 实时仿真系统用光纤反射内存卡的设计[J]. 现代传输, 2013, 3(3): 74-76.
- [3] 张卫华, 李兴玮, 黄柯棣. 通用计算机半实物仿真系统设计与实现[J]. 微计算机信息, 2006, 12(12): 226-228.
- [4] 肖志刚, 李斌成. 多模与单模光纤级联系统对激光束的传输[J]. 中国激光, 2008, 1(6): 855-860.
- [5] 杨金龙, 谢军. 光纤通道交换机接口的设计与实现[J]. 光通讯技术, 2010, 11(34): 212-216.
- [6] 谢军, 涂晓东, 孟中楼. 多用途光纤通道交换机的设计与实现[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(S1): 335-339.
- [7] 成都: 电子科技大学, 2005: 43-45.
- [8] 李玉旗, 马俊超. 电子对抗仿真系统建模及其作战效能评估方法[J]. 舰船电子对抗, 2008, 31(1): 61-66.
- [9] 丁一, 李小宁, 杨志祥, 等. 电子对抗中噪声干扰效果评估[J]. 舰船电子对抗, 2008, 31(1): 40-42.
- [10] 刘广建, 王伯昶, 薛磊. 通信对抗系统干扰效能度量[J]. 电子对抗技术, 2005(3): 35-37.
- [11] 程健庆, 余云志. 信息化战场条件下复杂电磁环境仿真建模技术[J]. 舰船电子工程, 2008(8): 152-156.
- [12] 闵涛, 杨建华, 李盾, 等. 虚拟战场电磁环境仿真系统研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007(2): 83-87.
- [13] 胡晓伟. 电子干扰效果评估方法[J]. 电子科技, 2011(8): 105-106.
- [14] 康凤举, 杨惠珍. 现代仿真技术与应用(2 版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 45-48.
- [15] 蓝启城, 贾玉红. 机载电子战交通评估模型研究[J]. 航天电子对抗, 2010(4): 57-61.
- [16] 张忠兴, 李晓明, 张景伟. 无线电导航理论与系统[M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1999: 87-88.