

基于 FC—AE—ASM 协议仿真测试系统设计与实现

吴传贵^{1,2}

(1. 中国人民解放军第 5720 工厂, 安徽 芜湖 241007;
2. 安徽省航空设备测控与逆向工程实验室, 安徽 芜湖 241007)

摘要: 针对新型航空电子系统修理中对光纤通道 (FC) 网络的修理需求, 设计了一种基于 FC—AE—ASM 协议的仿真测试系统; 首先, 简述了 FC 网络技术特点、上层协议、网络故障机理; 其次, 分析了系统应用需求; 最后, 给出基于 FC—AE—ASM 协议的 FC 网络修理仿真测试系统的硬件和软件设计, 实现了 FC—AE—ASM 节点和网络通信及协议分析功能; 通过测试验证, 达到了测试数据采集分析的实时性和可视化要求, 为 FC 网络修理做好技术储备。

关键词: 航空电子系统; FC—AE—ASM; 仿真; 测试

Design and Realization of Simulate and Testing System Based on FC—AE—ASM

Wu Chuanggui^{1,2}

(1. No. 5720 Factory, The People's Liberation Army of China, Wuhu 241007, China;

2. Anhui Province Aviation Equipment Testing and Control and Reverse Engineering Laboratory, Wuhu 241007, China)

Abstract: The new avionics system adopted fiber-channel (FC) network, Put forward a kind of design that simulate and testing system based on FC—AE—ASM. First, Described FC network technique characteristics, upper level agreement, fault mechanism and need of repair; Second, Analyzed need of the system applies; Finally, Given the design of hardware and software of simulate and test system based on FC—AE—ASM, Carried out function of FC—AE—ASM node and network correspondence and agreement analytical. Pass a test verification, Arrive at the request of Real-time and visualized of data to collect an analytical. Fix to work well a technique storage for the Repair of FC network.

Keywords: avionics; FC—AE—ASM; simulate; testing

0 引言

机载数据总线是航空电子系统的“骨架”和“神经”, 高性能的统一网络是机载数据总线发展趋势。根据 JSF 开放式系统结构综合产品小组 (OSAIHYF) 对 9 种可供选择的 UAN 高速总线的分析和评审, 认为航空电子环境光纤通道 (FC—AE) 最优^[1]。FC 光纤通道是新一代网络和总线技术, 具有带宽高、延迟低、位错率低和拓扑结构灵活等特性。

空军航空维修系统正在开展 FC—AE 光纤通道机载通信网络、FC—AE—ASM (简称 ASM) 协议仿真测试技术研究, 形成 ASM 节点和网络通信及协议分析能力, 目前, 缺少基于 ASM 协议通信的仿真测试系统技术平台, 需要研制一套仿真测试系统, 用于 FC 网络测试研究、ASM 协议分析, 及机载航空电子 FC 网络节点设备总线工作性能测试, 从而更好地保证机载总线网络的修理质量^[2]。

1 光纤通道简述

1.1 标准及协议

光纤通道 (FC) 是一种专门用于网络系统设计的完全开放的标准, 它以 COTS 技术为基础, 具有很高的可靠性与实时性, 适用于高带宽、多媒介、长距离传输系统。美国国家标准学会 (ANSI) 制定了一系列的标准, 如有光纤通道物理接口 (FC—PI—4)、帧和信号 (FC—FS) 和音频视频 (FC—AV) 等。国内也制定了一系列标准, 如 GJB 6411—2008《光纤通道 航空电子环境 (FC—AE)》等。FC 协议是由一系列功能层组成, FC—0 层、FC—1 层和 FC—2 组成了 FC 物理和信号接口层; FC—3 层提供了一组对 FC 节点上的多个 N 端口都通用的服务; FC—4 层是上层协议映射到光纤通道结构中的最高层。

1.2 物理模型及拓扑结构

在物理结构上, FC 至少由两个节点组成, 每个节点至少包含一个带有两条光纤的 N 端口, 分别作为输出和输入, 通过单向光纤反向传输, 分别与发送机和接收机相连接, 构成一个链路。相互连接的 N 端口利用链路完成数据通信, 处理器、控制器和终端等可以通过这些链路连接到其他物理设备上。

拓扑结构有点到点、交换网和仲裁环等三种, 主要是根据 N 端口间有无交换网及拓扑性能来定。点到点结构 N 端口之间的通信不用交换网; 交换网结构是把目的地址标识符 (D_

收稿日期: 2017-10-09; 修回日期: 2017-11-03。

基金项目: 安徽省自然科学基金项目 (1408085MKL88)。

作者简介: 吴传贵 (1979—), 男, 安徽怀宁人, 硕士, 高级工程师, 主要从事航空数据总线修理技术研究、仿真测试方向的研究。

ID) 放入帧头, 并根据 D_ID 把帧发送到目的 N 端口; 仲裁环结构允许三个或更多的 L 端口不用交换网进行通信, 它同时最多支持一个点到点回路, 支持两个 L 端口间的全双工数据通信^[3]。

1.3 上层协议

FC 协议具备快速通道和网络技术的双重优势, 根据应用不同可以在 FC-4 层映射多种上层应用协议。它可支持如: 1553B、ASM、IP、ATM 等上层协议和 HIPPI、IPI、SCSI 等指令集。

FC-AE 标准是针对航空电子环境系统特点而定义的一系列上层协议 (Up Level Protocol) 的集合, 选取 FC 基础协议族的一部分底层应用, 专门用于航空电子系统的命令、控制、仪表、仿真、信号处理和传感器、视频数据分配等, 具体有 FC-AE-1553、FC-AE-ASM、FC-AE-RDMA、FC-AE-FCLP 及 FC-AE-VI 共五种协议。其中, FC-AE-ASM 和 FC-AE-1553 研究较多^[4-7]。

2 FC 网络故障分析

2.1 FC 网络典型类型

对于航空维修工程, 对于 FC 网络故障分析至关重要。由文献 [8] 可知, FC 网络实时通信时, 由于内部出错或外部干扰可能造成暂时性或恒定性故障。暂时性故障主要受电磁辐射、温度变化、供电条件不良、屏蔽及接触不良等引起。恒定性故障有硬件损伤和软件失效。网络实时通信可能产生的典型通信故障有通信中断、通信不正确和通信控制失败等。

2.2 典型故障检测与恢复

通过大量冗余信息、专门的故障检测恢复规定、上层协议的故障检测恢复规定、以及硬件的冗余结构等故障检测和恢复功能设计与实现, 保证了 FC 网络各种故障因素的诊断, 提高了网络数据传输的可靠性。但是, 协议冗余信息的故障检测、链路完整性和序列完整性的故障检测、上层协议的故障检测和硬件冗余机制的故障检测, 仍然是修理仿真测试系统的故障检测研究的内容^[8]。

3 需求分析

3.1 FC 应用概念模型

新型航空电子系统 FC 网络, 其拓扑结构最有可能将采用混合式结构, 如图 1 所示, 系统将按功能、数据流分配等需要被设计划分为多个分系统, 根据各分系统特点采用不同的拓扑, 在便于网络通信的同时, 能够展现出系统内各分系统之间的互连关系^[9]。

3.2 研究的协议类型

ASM 协议是 2002 年正式对外发布的, 它是 FC 协议框架里简化的标准, 为适应航空电子系统中的处理器、传感器和显示器之间的大容量、高速通信新要求而提出的。由于 ASM 协议是直接基于 FC-FS (物理信号层协议), 只定义了在实际 FC 网络中支持上层协议必要的特征, 具有通信更确定、安全、低延时和应用设计更灵活等特点, 它已经成为飞机航空电子系统 FC 网络应用协议。虽然针对 ASM 协议的相关算法、监控研究^[10-12]较多, 但是均未涉及仿真测试系统研究。

为此, 修理仿真测试系统研究 ASM 协议相关内容十分必要, 结合应用概念模型和协议分析, 提出了一种基于 ASM 协议、采用交换网拓扑结构的仿真测试系统设计与实现。

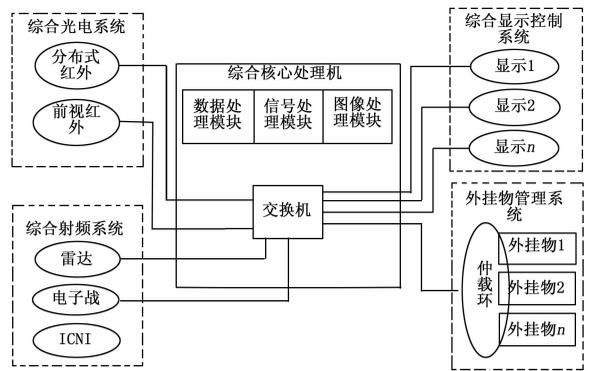


图 1 FC 航电系统应用概念模型

4 硬件系统

4.1 硬件设计思路

仿真测试系统以 GJB 6411-2008 《光纤通道 航空电子环境 (FC-AE)》标准为基础, 以 ASM 协议为关键; 参照典型航空电子系统光纤网络系统拓扑结构; 从自身修理研究需求实际出发, 确定系统硬件资源。针对 FC 通信 ASM 协议分析研究, 要求系统具备: 一是通信网络的节点间及交换机实现通信的数据发送、接收和交换功能; 二是检查被测对象的 FC 接口通信功能时, 将被测对象通过交换机接入通信网络, 与网络节点实现数据通信功能; 三是提供数据仿真及协议分析、网络通信及交换等功能; 四是协议分析仪独立于通信网络, 并且有良好的实时性和可视化功能, 同时, 要求 FC 网络节点不少 4 个、网络交换机的端口数不少于 8 路等。

4.2 硬件组成

仿真测试系统硬件组成如图 2 所示。系统主要包括工控机、ASM 协议分析仪、ASM 协议通信网络及外围设备。工控机和 ASM 协议分析仪分别连接 ASM 协议通信网络, ASM 协议通信网络还设有与被测对象 (UUT) 的光纤通信接口。

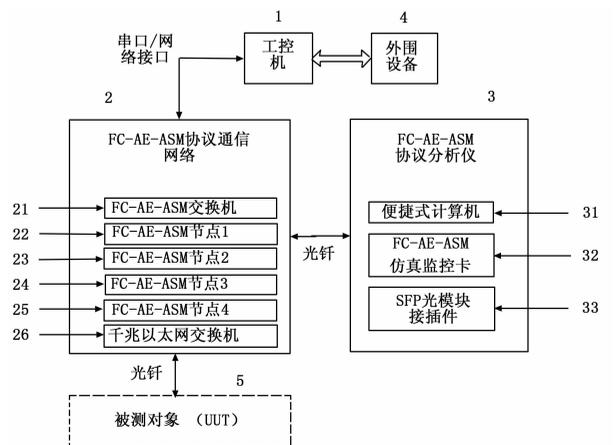


图 2 仿真测试系统硬件框图

工控机作为配置管理计算机, 通过串口与 ASM 协议通信网络的 ASM 交换机进行通信, 通过网络接口与千兆以太网交换机进行通信。

ASM 协议分析仪是独立的台式仪器, 由便携式计算机、ASM 仿真监控卡和 SFP 光模块接插件组成, 主要用于 FC 总

线的数据采集、分析和显示，提供监控分析技术手段，可支持用户进行二次开发。

ASM 协议通信网络是一套网络系统，主要包括有 ASM 交换机、千兆以太网交换机、多个 ASM 节点，主要用于 ASM 协议网络的修理仿真测试应用研究平台，可以实现对单个 ASM 节点收发、多 ASM 节点互联和多 ASM 节点交换互联的仿真测试验证。

ASM 交换机作为 ASM 通信网络接入网关，具有 FC 网络数据交换和通信功能，通过标准光缆与 ASM 节点连接，共同构建高速 FC 通信网络，完成各 FC 节点之间 ASM 协议数据的高速实时转发。

如图 3 所示，ASM 节点由 ASM 通信板卡、工作站、外围设备、SFP 光模块接插件和机柜组成，作为 ASM 协议通信网络的终端节点，与通过标准光缆与 ASM 交换机连接，共同构建高速 FC 通信网络，实现 ASM 协议数据的高速发送和接收。



图 3 FC-AE-ASM 节点组成框图

其中，ASM 通信板卡是 ASM 节点的功能组件，完全遵从 ASM 应用协议、基于标准 XMC 接口通信模块的软硬件组件集合，通过 PCIe 接口与工作站连接，通过 SFP 光模块接插件与 ASM 交换机连接，实现 ASM 节点与交换通信网络测试；工作站提供保障 ASM 通信板卡正常工作及软件使用环境，通过 PCIe 接口与 ASM 通信板卡连接，运行 Windows 操作系统，安装 Windows 版本的应用层 API 软件与网络层驱动软件。

千兆以太网交换机作为千兆以太网通信网络接入网关，通过标准以太网光缆与工控机、ASM 节点的工作站连接，构建以太网通信网络，完成各计算机之间的数据交换和文件传输。

4.3 解决的关键技术难点

在硬件设计过程中，针对不同的类型服务通信模型，提供了一种基于 ASM 协议通信的仿真测试系统，实现网络节点及网络间的通信，在实现仿真测试的研究的同时实现对特定型号航空电子系统网络及节点的修理研究；采用便携式协议分析仪，实现测试数据实时性采集的同时，设计有良好的可视化功能和使用的便携性；采用机架式交换机设计，研制的交换机兼容型号交换功能的基础上，提高了系统的操作性，减少了机载底板和功能模块组合式的连接互联难度；采用国内外通信板卡，适应不同仿真测试策略，提高了系统的灵活性和便利性，在 ASM 通信板卡和交换机的选定上，进行了充分的论证分析对比，基于 ASM 协议的技术特点及型号工程应用设计，及通用性要求，最终，ASM 通信板卡选用了与型号相关的 2 块专用通信板卡；其余通信板卡分别选用了国内外成熟通用标准型的通信板卡各 1 块。

5 软件系统

5.1 软件设计思路

仿真测试系统软件主要是为操作者提供必要的人机接口界

面，完成各功能的实现和分析数据的显示，主要功能模块有：一是实现通信网络的数据发送和接收的 ASM 通信卡应用软件；二是实现数据监控和协议分析的 FC 总线监控分析软件；三是实现交换机的管理配置的 FC-AE 交换机配置管理软件。各功能模块从结构上均有基础软件层、接口层和业务层等组成。

5.2 软件设计

仿真测试系统软件框图如图 4 所示，主要包括基础软件层、驱动层和应用层。

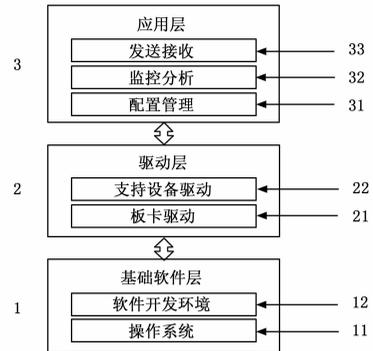


图 4 仿真测试系统软件框图

基础软件层运行在硬件支撑平台之上，是上层软件运行的基础，包括操作系统和软件开发环境等，操作系统优先选择 Windows XP 或 Windows 7。

驱动层运行在基础软件层之上，为上层业务软件提供支撑服务，是对应用软件的共性部分进行了提取和抽象，简化了上层应用软件的设计，降低了软件之间的设计耦合，提供板卡驱动、支持设备驱动等接口，主要有 ASM 接口卡（仿真监控卡、仿真通信卡）、交换机和工控机/工作站等驱动层 API。

应用层运行在驱动层之上，实现仿真测试系统的数据仿真、数据过滤、数据存储与管理、数据显示和其它等业务功能，主要包括 FC 总线监控分析软件、ASM 通信卡应用软件和 FC-AE 交换机配置管理软件。

FC 总线监控分析软件：是一款专门针对 FC 总线协议分析仪开发的功能强大的配套界面软件，提供可简易操作的交互界面，实现 FC 总线数据监控、分析、采集功能。

ASM 通信卡应用软件：是 FC 接口卡配套的使用操作软件，运行在工作站 Windows 操作系统环境下，具有接收和发送数据帧、解析接收数据帧、实时统计接收发送数据、且将信息显示在用户界面功能。

FC-AE 交换机配置管理软件：是对交换机工作进行配置操作软件，运行于工控机上，通过串口实现与交换机互联。

5.3 解决的关键技术难点

在软件设计过程中，一是针对通信节点，进行了初始化流程、网络初始化流程及接收/应答机制等网络运行控制设计；二是进行了交换机进行了登录和服务参数的设计；三是 ASM 协议分析仪及通信板卡发送和接收的数据，进行了帧头、数据字段、CRC 及可选帧头等帧格式进行设计定义。

5.4 ASM 协议数据通信用例

根据 ASM 协议数据要求，参照系统通信节点的应用软件设置方法，对帧格式做了具体定义：一是网络通信节点的源地地址标识符 (S_ID) 和目的地地址标识符 (D_ID)，明确了发送

端和接收端；二是不同消息标识符 (Msg_ID) 代表不同的消息，明确了消息头具体内容；三是根据基本信号类型和信号参数类型，设计了数据域的接口控制文件。

6 试验结果及分析

仿真测试系统设计完成后，根据设计的测试用例，以节点 1 的 Port0 为接收端、Port1 作为发送端，以节点 2 的 PortA 作为发送端、PortB 作为接收端，用光纤电缆将节点 1 的 Port0 与节点 2 的 PortA，节点 1 的 Port1 与节点 2 的 PortB 互连接。按照连接接口关系，参照用例 ASM 协议数据的定义，分别对节点应用程序进行模块端口、数据发送、接收、查看等设置。完成设置后的具体数据流程是：以节点 2 的 PortA 作为数据源发送端，首发 FC-AE-ASM 协议帧数据，经节点 1 的 Port0 接收数据后，利用节点 1 的串联模式，在其内部实现转发，再由节点 1 的 Port1 发送，最后，数据由节点 2 的 PortB 接收。测试完成后，如图 5 中所示，节点 1 接收的数据与节点 2 发送的数据一致。如图 6 所示，节点 2 的 PortB 接收到数据与 PortA 发送数据一致。同时，系统实现了对 ASM 协议的解析，各接收端均能显示出数据帧中对应的 S_ID、D_ID、Msg_ID、信息类型和帧长度等内容。

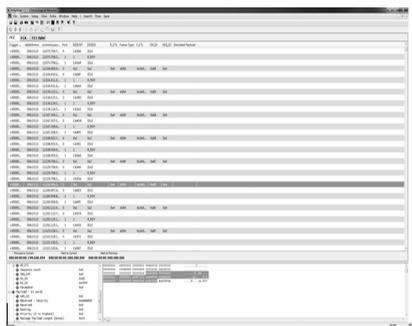


图 5 节点 1 的数据监控界面

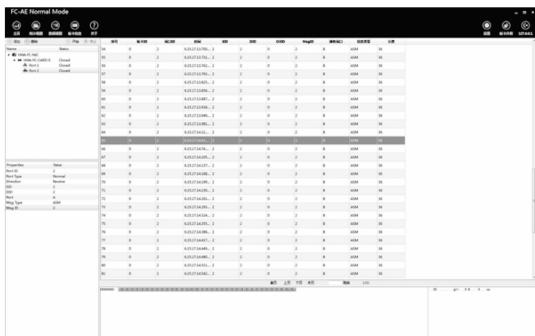


图 6 节点 2 的数据监控界面

满足了测试数据采集分析的实时性和可视化要求，为形成 ASM 节点和网络通信及协议分析能力提供了技术基础，解决了缺少 ASM 协议光纤总线仿真测试系统技术平台的难题。

参考文献：

- [1] 孙 琦, 吴 勇, 郑 昕, 等. 光纤通道技术在统一航空电子网络中的应用 [J]. 通信技术, 2009, 80-82.
- [2] 丁 凡, 熊华钢, 宋丽茹. FC-AE-1553 网络的建模仿真研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (31): 20-24.
- [3] 黄永葵. 光纤通道标准及其在航空电子中的应用 [J]. 航空电子技术, 2003, 34 (4): 1-12.
- [4] 刘 鑫, 陆文娟. 光纤通道在航空电子环境的应用及关键技术研究 [J]. 光通信技术, 2006, (4): 55-58.
- [5] 李 浩, 周 东. 光纤通道上映射 MIL-STD-1553 协议 [J]. 光纤数据通信, 2005, (8): 53-55.
- [6] 刘 飞. 光纤通道在基于 MIL-STD-1553 的航空电子系统网络中的应用 [J]. 飞机设计, 2007, 27 (3): 75-80.
- [7] 胡 辛, 李红军, 曹闹昌, 等. 航空电子数据总线技术研究 [J]. 现代电子技术, 2010, 325 (14): 96-98.
- [8] 徐亚军, 张晓林, 熊华钢. 光纤通道网络故障处理方法研究 [J]. 电光与控制, 2007, 14 (2): 119-122.
- [9] 周天然, 宋丽茹, 熊华钢, 等. 航空电子环境下 FC 网络的建模与仿真 [J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34 (10): 1117-1120.
- [10] 丁 凡, 宋丽茹, 熊华钢. FC-AE-ASM 网络数据发送控制算法研究 [J]. 电子与信息学报, 2009, 31 (6): 1509-1512.
- [11] 杨媛媛, 武 健, 武 华. 一种面向 FC-AE-ASM 网络的数据监控存储方案设计 [J]. 电子技术, 2015, (6): 79-82.
- [12] 付中培, 吴 勇, 张建东, 等. FC-AE-ASM 网络调度算法研究 [J]. 现代电子技术, 2011, 34 (6): 108-111.

7 结论

通过对光纤通道及网络的故障分析、结构及协议应用需求分析，提出了一种基于 ASM 协议、交换机拓扑结构的总体设计任务，通过系统集成及软硬件研制设计开发，研制了一套基于 FC-AE-ASM 协议通信的仿真测试系统。利用节点之间的数据通讯，对软硬件进行了试验验证。测试验证结果表明，系统实现了 ASM 协议数据仿真、发送、接收、分析等功能，

(上接第 34 页)

还有报表统计、打印功能，日志功能实现了数据的操作管理，如增加、删除、修改等操作，在操作过程中将操作前数据、操作后数据、什么人操作、什么时间操作均保存在数据表里，然后通过页面展示，用户管理功能实现了权限设置，不同的人权限不一样。

实验结果表明：系统功能达到预期目标，可投入使用。

3 结论

广播电视信号的自动监测系统已经实现，能同时测量电视信号场强和广播信号场强，改变了传统的人工外出收测方式，运行正常，数据精确，方便快捷，稳定可靠，省时省力，具有

很高的推广价值。

参考文献：

- [1] 段永良, 程 闯, 冯鼎坤, 等. 广播电视场强远程监测系统设计与制作 [J]. 传媒与教育, 2015 (02): 110-113.
- [2] 李 航, 刘宏志. 基于 ESPI 的 GSM-R 场强数据采集系统的设计与实现 [J]. 北京工商大学学报, 2009 (03): 51-55.
- [3] 吴洪秀. 中短波广播信号场强测量方法在实际中的应用 [J]. 中国无线电, 2011 (08): 32-33.
- [4] 崔秀华. 基于随机共振的微弱信号检测研究 [J]. 现代电子技术, 2014 (17): 45-50.
- [5] 陈仁太. 基于数据分类思维的网络危险信号检测系统设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2016 (10): 142-148.