

基于FPGA的光纤通道网络监控卡设计与实现

霍卫涛,田 泽,李 攀,杨海波,王玉欢

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710119)

摘要: 光纤通道(Fibre Channel,FC)监控设备在光纤通道网络中承担着数据监控、过滤和解析等任务,对FC网络的构建、运行、故障诊断和调试起着关键性的作用。文中在对FC协议进行深入研究的基础上,提出一种在线实时过滤的光纤通道监控卡解决方案,可实现FC链路数据的实时监控。该仿真卡采用软硬件协同工作的方式,由硬件电路实现监控卡中光纤通道链路数据过滤,软件负责过滤条件配置及筛选后数据分析,克服了软件过滤数据速度慢的缺点,保证了数据过滤的实时性;同时,由于采用软件配置,使得监控卡的应用更加广泛和灵活。光纤通道网络监控卡的研制,对加速FC网络的研制有积极的推动作用。

关键词: 光纤通道;监控卡;FPGA;FC-AE-ASM

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)05-0199-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.049

Design and Implementation of Fibre Channel Network Monitoring Card Based on FPGA

HUO Wei-tao, TIAN Ze, LI Pan, YANG Hai-bo, WANG Yu-huan

(China Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: Fibre channel monitoring device bears the tasks in fibre channel networks such as data monitoring, filtering, and analyzing, and plays a very important role in fibre channel network building, operation, fault diagnosis and debugging. Based on FC protocol for in-depth study, put forward an online real-time monitoring card solution, realizing real-time monitoring FC link data. With the method of hardware and software together, this hardware circuit implements link data filtering, and software is responsible for the configuration and monitoring data analysis. The use of this is to overcome the shortage of software filtering speeding, ensuring the real-time data filtering. And more, it makes the application of monitoring cards more extensive and more flexible. The design of fibre channel monitoring card has a positive role of accelerating the development of fibre channel network.

Key words: fibre channel; monitoring card; FPGA; FC-AE-ASM

0 引言

随着航空电子系统对网络数据传输的速度、延迟、抗干扰能力(电磁兼容性)以及信道容量提出了更高的要求,光纤通道(Fibre Channel,FC)以其低延时、高带宽、高可靠性等特点^[1],作为下一代航空电子统一网络的一种主要联网标准^[2],已经应用于美国航空电子系统的升级换代中。

机载光纤通道网络主要由光纤通道交换机、光纤通道节点机,光纤通道网络监控设备以及光纤通道链路组成^[3-4]。其中,光纤通道网络监控设备的作用主

要体现在3个方面:

(1)在飞行时,光纤通道网络监控设备主要承担网络状态显示、网络流量监控及网络数据记录等工作;

(2)在地面测试维护时,光纤通道网络监控设备主要用来进行网络故障诊断、故障定位,以及网络数据分析;

(3)在光纤通道网络核心产品研发时,光纤通道网络监控卡又可作为网络/节点模块调试、网络产品流量、延迟、吞吐率^[5]等性能指标测试的专用设备。

目前,国外可用的商用光纤通道监控设备价格昂贵、功能复杂且冗余,无法适应机载严酷环境,同时也

收稿日期:2013-06-09

修回日期:2013-09-16

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:“十二五”微电子预研(51308010601);中国航空工业集团创新基金(2010BD63111)

作者简介:霍卫涛(1986-),男,陕西宝鸡人,硕士,研究方向为SoC设计、嵌入式系统设计;田 泽,博士,研究员,研究方向为SoC设计、嵌入式系统设计、VLSI设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1619.057.html>

无法满足我国光纤通道网络专用测试与应用的要求。

文中在这样的背景下,基于对光纤通道协议、光纤通道网络的深入理解,设计了一款专用光纤通道网络监控卡,将交换机监控端口接收到的 FC 数据帧,按照指定条件进行筛选,筛选后的数据帧经过高速主机接口提交给主机进行处理,可完成机上光纤通道网络监测、记录,地面光纤通道网络测试、故障诊断与分析等功能,满足机载光纤通道网络研制对 FC 链路数据监控的需求。

1 光纤通道监控卡系统设计

光纤通道监控卡主要功能是作为光纤通道网络上的监控节点,用于接收和过滤光纤通道交换机监控端口,或者节点机输出的光纤通道数据帧,通过主机接口,将监控到的数据帧提交给主机进行处理。同时,为了便于调试和管理,监控卡也支持 FC 网络扩展链路服务帧(ELS 帧)的发送,能够将 ELS 帧通过监控卡的 FC 端口发送到 FC 链路。按照以上监控卡实现的功能描述,光纤通道网络监控卡的结构框图如图 1 所示。

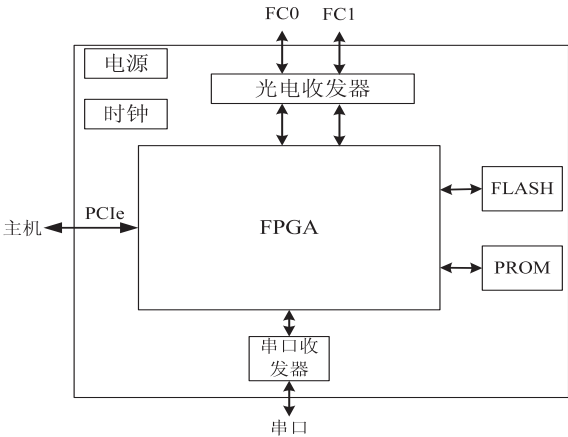


图 1 光纤通道网络监控卡的结构框图

图中,监控卡的核心功能采用高性能的 FPGA 实现,该 FPGA 芯片内嵌 PowerPC 处理器硬核,能够提供强大的数据处理及控制能力,监控功能设计时,可将整个数据监控系统设计成为以处理器为核心的嵌入式处理器系统,整个监控卡的设计只需要在 FPGA 外围添加少量的接口电路,即可构成独立工作的光纤通道监控系统,能减少 PCB 的板面积和降低 PCB 设计难度。

FC 数据监控的功能需要软件协同工作来实现,因此,监控卡的设计必须采用软硬件协同设计方法^[6]。在系统设计时首先需要对数据监控功能实现进行软硬件划分。

在过滤方式选择上,软件实现过滤相对比较容易,但速率较慢,不适合于高速 FC 链路数据的监控。为了满足高速数据实时监控的要求,改为由硬件实现全部的数据帧的过滤,软件只负责过滤条件的设置,对符合过滤条件的数据帧进行处理及存储。采用以上实现方式,虽然增加了一些硬件设计的复杂度和 FPGA 硬件资源的占用率,但整体上提高了数据监控的效率和性能,同时很大程度上减轻了软件处理的压力,降低了软件设计的复杂度,提高了软件的可靠性。而且采用软件配置过滤条件的设计,也给监控卡的使用和扩展增加了灵活性。监控卡不仅需要监控 FC 数据帧,而且需要监控 ELS 帧,但是由于其通信数据量较少,仅依靠片内处理器的处理能力就可以完成 ELS 帧的解析和处理。

综合以上对监控功能的分析,监控卡设计实现时 FPGA 内部结构如图 2 所示。整个监控卡的核心处理电路设计主要由光纤通道网络监控模块、嵌入式处理器处理模块与 PCIe 主机接口模块三部分组成。

光纤通道网络监控模块主要完成 FC 数据帧解析以及按照筛选条件将接收的数据帧进行过滤,将过滤

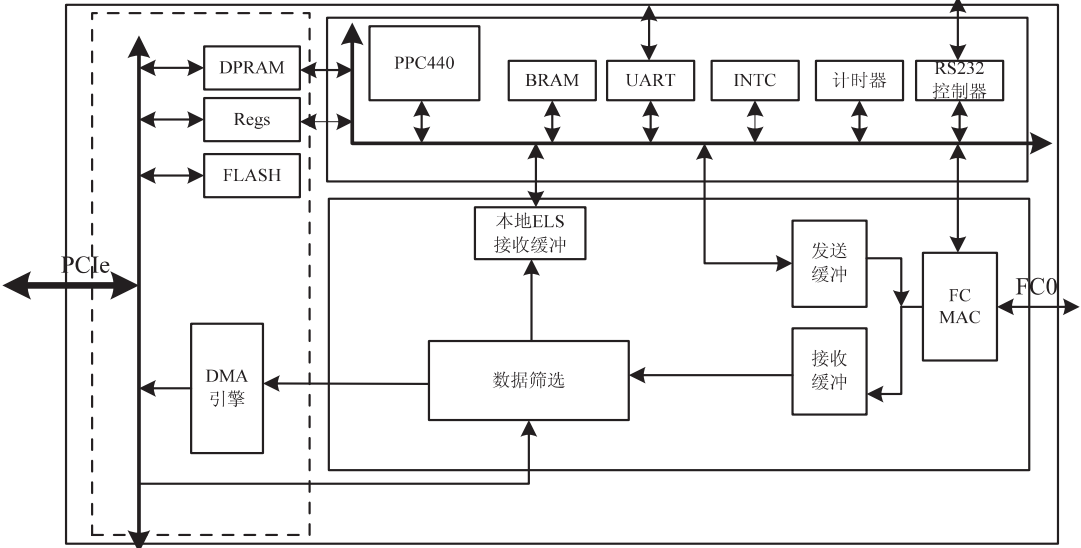


图 2 FPGA 内部结构框图

后的数据帧通过 PCIe 主机模块传送到主机,将过滤后的本地 ELS 帧交由嵌入式处理器模块处理;其中,FC 链路的高速串行接口设计采用 FPGA 中内嵌的高速收发器(GTX)接口^[7],可实现 1.062 5 Gbps 或 2.125 Gbps 两种速率的高速串行接口,它可以实现对 FC 链路上的差分数据信号进行接收和发送。GTX 中集成的 PMA 模块完成 10 B 的并行数据和串行数据之间的相互转换,GTX 中的 PCS 模块完成 8 B/10 B 数据的编码和解码工作。

嵌入式处理器模块以 PowerPC 处理器为核心,通过工作在较高时钟频率的 PLB 总线和外围设备通信,主要完成 FC 速率配置、ELS 帧的接收、发送及 FC MAC 的初始化配置。

PCIe 主机接口模块主要负责光纤通道监控模块过滤条件的配置,并将筛选后的数据通过 DMA 的方式传递给主机处理。PCIe 主机接口支持 4 线模式,提供标准的 PCIe INTA 中断方式,支持中断和查询两种工作模式,主要功能是将筛选后的数据通过 DMA 的方式传输到主机处,供上位机进行处理和储存筛选数据。

除以上三个主要的功能模块之外,FPGA 外围还包括 FLASH,它主要是用来固化嵌入式处理器的软件,作为嵌入式处理器的启动 FLASH。PROM 电路用于 FPGA 编程文件的加载。同时,监控卡还对外提供一路 RS232 接口,便于监控卡的调试和维护操作。

光纤通道网络监控卡的详细设计主要由硬件设计与软件设计两部分组成,接下来两节将从这两方面对光纤通道监控卡的设计进行详细的描述。

2 光纤通道监控卡硬件设计

2.1 数据监控模块设计

光纤通道监控模块是光纤通道网络监控卡的核

心,主要完成链路数据接收,对接收缓冲区数据按照设定好的过滤条件进行过滤,符合过滤条件的 ELS 消息将会交由片内处理器处理,符合过滤要求的 FC 数据帧将通过 PCIe 主机接口交由主机处理。

FC IP 核负责 FC 数据的接收,监控卡支持缓冲到缓冲的流量控制,MAC 层缓冲区数目不小于 8 个。

监控模块设计的难点是筛选电路的设计。由 FC 链路上接收到的数据帧由 3 类帧组成,分别是 FC 数据帧(其中包括短消息与长消息)、ELS 帧以及本地 ELS 帧,本地 ELS 帧提交到处理器进行处理,FC 数据帧及 ELS 帧将提交给主机进行处理。FC 数据帧设置了 3 个过滤条件进行过滤,对 ELS 帧同样设置了 3 个过滤条件进行过滤。

按照以上的设计要求,筛选电路从逻辑设计上分为两级,第一级对数据帧的类型进行过滤,区分出本地 ELS 帧、FC 数据帧及 ELS 帧,之后再行二次过滤,按照过滤条件对 FC 数据帧及 ELS 帧进行过滤。

一条长消息由很多数据帧组成,除过第 1 帧内含有主题 ID、分区包头等筛选信息,后续的数据帧中只含有数据没有其他信息,这样导致后续的数据帧中有效数据的值恰好与主题 ID 或分区包头一致,则将导致多余的数据被提交,且被提交的数据并不具备一个完整的意义。而如果将多余的数据提交上去让软件去过滤,那么对于 CPU 的处理能力和处理效率提出了非常高的要求,在这种情况下,决定再增加一组专用的长消息过滤条件,同时增加一个 CAM 表,用于记录满足条件的长消息 ID 号,如果长消息第一帧满足条件后,则由逻辑将对应的消息 ID 写入到 CAM 中,即由逻辑构建出长消息主题 ID 和分区包头与消息 ID 的对应关系。

光纤通道监控模块设计框图如图 3 所示。
光纤通道网络监控模块监控数据流处理为:

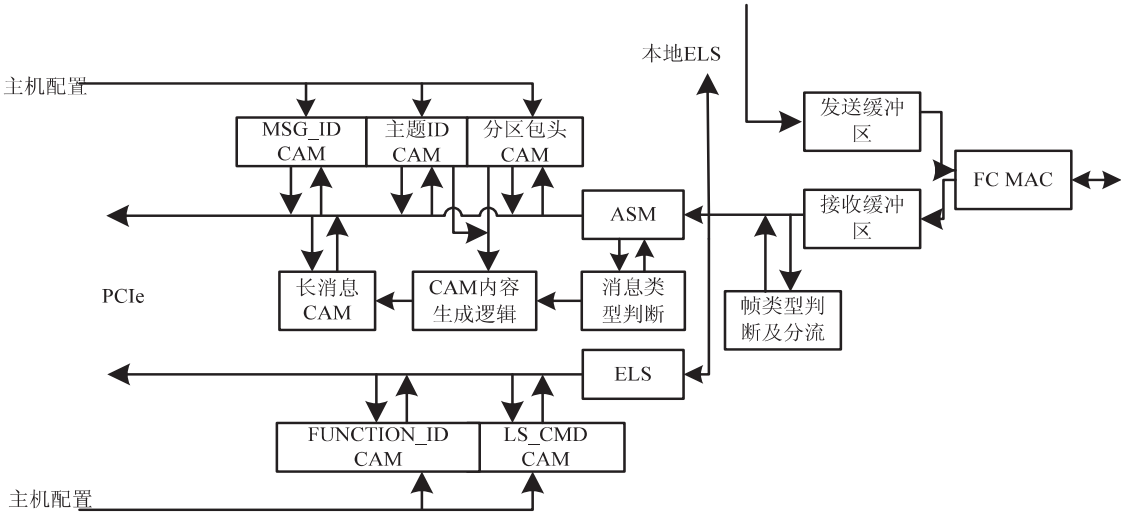


图 3 光纤通道网络监控模块设计框图

FC MAC 接收到数据后,先进行类型判断并进行分流,区分出被监控 ELS、本地 ELS 以及 ASM 消息三类数据。

(1)如果是本地 ELS 数据,则提交到本地 ELS 接收缓冲,交由 PPC440 软件进行处理;

(2)如果是被监控 ELS 数据,则通过 LS_CMD 以及 FUNCITON_ID 两个 CAM 表进行查找,任意一个条件满足,提交数据到 DMA 引擎,并写入主机存储器,否则丢弃;

(3)如果是 ASM 消息,则通过查找 MSG_ID、主题 ID 以及分区包头域值等三个 CAM,任意一个条件满足,则提交数据到 DMA 引擎,并写入主机存储器,否则丢弃。

该设计中,所有的过滤条件都通过写主机寄存器进行配置,数据帧的过滤通过查 CAM 表的方式实现,并且在本模块中增加过滤使能寄存器,能够独立配置每一个过滤条件。

2.2 嵌入式处理器模块设计

光纤通道监控卡中内嵌入式处理器最主要的目的是进行 FC 配置以及 ELS 帧的管理,并与硬件相配合达到软硬件系统设计的目的,以降低整个系统设计的难度,优化整个监控系统的设计^[8]。

整个嵌入式处理器模块主要包括 PowerPC460,以及 PLB 总线上的设备包括 UART、内部中断控制器、计时器、BRAM 等逻辑。

嵌入式处理器模块支持 ELS 帧的发送与接收。通过处理器写 ELS 收发控制寄存器用于完成 ELS 发送控制、接收中断控制、缓冲管理等功能。其中 ELS 发送接收缓冲各提供 8 个 4 kB 缓冲,构成环形队列。

2.3 PCIe 主机接口模块设计

PCIe 主机接口模块的主要功能,一是主机通过它访问 FC 监控卡的寄存器资源配置过滤条件 CAM 表^[9],二是能够将 FC 数据帧高速传输到主机中,供主机处理。

为适应光纤通道网络 2 Gbps 的传输速率,这就要求系统主机与 FC 网络之间的通信带宽达到 Gbit 级别^[10]。PCIe 主机接口模块的设计主要基于 Xilinx PCIe 核进行电路设计开发,设计了高效的 DMA 数据读通道电路。

在进行 PCIe DMA 电路设计时,由于光纤通道数据帧的长度为 2 096 字节,PCIe 核包传输最大为 256 字节,必须将光纤通道数据帧先进行分包才能够进行传输,采用的方法是对光纤通道数据帧按照 PCIe 最大包长度 256 字节进行分割,第一个 PCIe 数据包传分割后剩余的数据帧的数据,其余 PCIe 包都按照 256 字节进行传输。

3 光纤通道监控卡软件设计

光纤通道网络监控卡的软件由运行于监控卡的驱动软件^[11]、传输软件和运行于上位机的应用软件组成。

应用软件能够提供友好、易用的人机界面,主要包括性能监控软件、协议解析软件、轨迹查看软件等。当复位完成后通过配置过滤使能寄存器可以使能过滤;对于已使能的过滤类型,可以通过寄存器配置过滤条件,并且可用于对光纤通道网络上数据的记录与分析。

驻留在光纤通道监控卡中的驱动软件,主要包括通信接口软件、设备管理软件、PCIe 总线驱动软件等^[12]。通过寄存器接口对 FC IP 核进行初始化配置;能够接收来自交换机的本地 ELS 帧,并且能够通过 FC MAC 发出网络 ELS 帧。

传输软件主要包括 FC 通信底层软件与 FC 设备管理底层软件等。

4 光纤通道监控卡测试

光纤通道监控卡作为 FC 网络上的监控设备,必须保证它能够完全满足光纤通道协议,否则会影响 FC 网络数据的分析和故障的定位。所以需要对 FC 监控卡进行充分的验证测试^[13]。

对基于 FPGA 的光纤通道监控卡的测试,主要针对功能、性能以及可靠性这三个方面进行测试。

在设计测试中,构造 3 种测试场景对光纤通道监控卡进行测试^[14],光纤通道监控卡测试环境如图 4 所示。

(1)监控卡与节点机相连接,用来测试监控卡是否能够正确地检测节点机发来的数据;

(2)监控卡与交换机相连接,用来检测监控卡通过交换机的监控端口对交换机的测试功能;

(3)监控卡与标准光纤通道标准分析设备相连接,通过标准分析设备进行错误帧注入来测试监控卡的可靠性。

经过实际测试,光纤通道监控卡功能符合要求,通信效率能够达到线速的要求,并且对错误帧也能够进行正确的处理,由此看出光纤通道监控卡的设计完全满足设计要求。

5 结束语

为了解决机载光纤通道网络对监控功能的需求,文中基于对光纤通道协议的理解,设计并实现了一款基于 FPGA 的光纤通道网络监控卡,该监控卡能够按照配置条件在线实时监控光纤通道网络上的数据帧,并且速率能够达到线速率的要求。

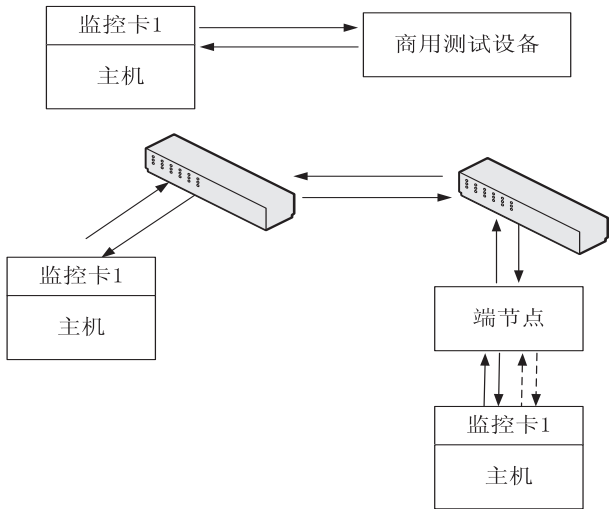


图4 光纤通道监控卡测试环境

光纤通道网络监控卡的研制为光纤通道网络性能的评估、故障的侦错提供便利,加速了光纤通道网络产品的研制。

参考文献:

[1] 李攀,田泽,蔡叶芳,等.基于FPGA的双通道FC数据采集卡设计[J].计算机技术与发展,2013,23(7):179-182.

[2] Sullivan W. Fibre channel: replacement for MIL-STD-1553 & next generation military data bus[EB/OL]. 1998-09. <http://www.dy4.com>.

[3] ANSI. Fibre channel framing and signaling-2 (FC-FS-2), rev0.01[S]. USA: ANSI, 2003.

[4] ANSI. Fibre channel physical and signaling interface (FC-PH), X3[S]. USA: ANSI, 1994.

[5] 徐亚军,张晓林,郭蔡健,等. FC网络性能测试与研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(15): 137-139.

[6] 淮伟华. 基于FC-2协议的SoC软硬件协同设计与验证[D]. 西安: 陕西科技大学, 2009.

[7] Aristegui C, Lowe M J S, Cawley P. Guided waves in fluid-filled pipes surrounded by different fluids [J]. Ultrasonics, 2001, 39(5): 367-375.

[8] 田泽,韩炜,蔡叶芳,等. 基于FC接口的SoC软硬件协同设计验证平台构建与实现[C]//第十三届计算机工程与工艺会议论文集. 西安: 西北工业大学出版社, 2009.

[9] Xilinx. Content-addressable memory v6.1[EB/OL]. 2008. <http://www.xilinx.com/support>.

[10] 廖寅龙,田泽. FC网络通信中PCIe的接口的设计与实现[J]. 航空计算技术, 2010, 40(4): 127-130.

[11] 王红春,王世奎. 基于VxWorks的FC-IP驱动程序的实现[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 109-112.

[12] 杨海波,田泽,蔡叶芳,等. 基于FPGA的多功能FC协议分析仪设计[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(7): 214-216.

[13] 李建,郭芸. 一种基于PC机环境下FC监控卡的设计[J]. 硅谷, 2012(13): 46-46.

[14] 王治,田泽. 一种高性能AFDX监控卡的实现技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(8): 217-220.

(上接第198页)

东农工商职业技术学院学报, 2010, 26(3): 9-13.

[5] 吴志华,刘婷. 教师教学能力评价指标体系的建立——基于高师微格课程效能评价的研究[J]. 辽宁师范大学学报(社会科学版), 2011, 34(4): 58-61.

[6] 李伟,苏俊宏. 西部地区地方高校科研评价指标研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2012, 40(2): 97-102.

[7] 王怒涛,罗兴旺,张艳梅,等. 注水开发效果评价中单因素评价向量的确定新方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(1): 61-62.

[8] 张金哲,韩晓明. 基于改进AHP法的飞机超视距作战能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(10): 159-160.

[9] 温惠英,周玮明. 基于S型函数预处理的RBF神经网络交

通流量预测[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(4): 22-25.

[10] Leibowitz N, Baum B, Enden G. The exponential learning equation as a function of successful trials results in sigmoid performance [J]. Journal of mathematical psychology, 2010, 54(3): 338-340.

[11] 吴祈宗. 系统工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.

[12] Baskaran V, Nachiappan S, Rahman S. Indian textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach[J]. International journal of production economics, 2012, 135(2): 647-658.

[13] Zhou J G, Wang Y X, Li B. Study on optimization of denitration technology based on gray-fuzzy combined comprehensive evaluation model [J]. Systems engineering procedia, 2012, 4(1): 210-218.

基于FPGA的光纤通道网络监控卡设计与实现

作者:

[霍卫涛](#), [田泽](#), [李攀](#), [杨海波](#), [王玉欢](#), [HUO Wei-tao](#), [TIAN Ze](#), [LI Pan](#), [YANG Hai-bo](#), [WANG Yu-huan](#)

作者单位:

[中国航空计算技术研究所, 陕西 西安, 710119](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#) 

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

[2014\(5\)](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjفز201405049.aspx