

航天地面光纤分组传送模块的平台化设计方案

郑鹏, 黄柏华

(中国电子科技集团公司 第三十四研究所, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了满足航天地面系统配套需求, 提出了一种光纤分组传送模块平台化设计方案。该方案采用基于分组交换的统一化承载方式, 复用 VITA Standard 46 (VPX) 规范硬件接口, 对标准通信协议进行兼容性扩充, 通过模块化软硬件设计实现模块类型识别、板间通信、配置/状态管理等功能。应用结果表明: 该方案避免了共性技术重复开发, 有效降低了系统复杂度, 提升了产品研制及迭代速度。

关键词: 航天; 光纤分组传送; 平台化设计

中图分类号: TN929.12 文献标志码: A 文章编号: 1002-5561(2024)06-0089-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2024.06.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Platform-based design scheme for aerospace ground optical fiber packet transport modules

ZHENG Peng, HUANG Baihua

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: In order to meet the requirements of aerospace ground support systems, a platform-based design scheme for optical fiber packet transport modules is proposed. This scheme adopts a unified bearer approach based on packet switching, reuses VITA Standard 46 (VPX) hardware interfaces, and extends the compatibility of standard communication protocols. Through modular software and hardware design, the scheme implements functions such as module type identification, inter-board communication, and configuration/status management. Application results show that this scheme avoids redundant development of common technologies, effectively reduces system complexity, and accelerates product development and iteration.

Key words: aerospace, optical fiber packet transport, platform-based design

0 引言

随着现代信息技术的迅猛发展, 大量通用与专用的信息系统装备已在航天地面系统中得到广泛应用。然而, 在系统集成过程中, 各种通信装备的通信体制多样化导致了系统集成难度增加、维护保障效率降低等问题。近年来, 航天地面系统遵循通用化、系列化、组合化的“三化”设计理念, 通过采用统一的新一代串行总线标准 VITA Standard 46 (VPX) 对各单机设备和模块板卡进行系列化设计, 实现了不同配套单位产品间的互连互通^[1]。尽管传统的光纤传输设备, 如同步数

字体系(SDH)、准同步数字体系(PDH)光端机以及被复线传输设备等, 已经依据 VPX 设计标准进行了改造(主要集中在结构设计上), 实现了通信设备的板卡化, 但尚未达到平台化设计的程度, 也未能有效解决因传输体制多样而需借助中间设备进行数据转接的问题^[2-3]。

鉴于现有的 SDH、PDH 体制难以满足以分组数据为主的服务传输需求, 分组传送网络(PTN)体制已被广泛应用于多个领域, 实现了端到端的可靠业务承载^[4]。因此, 针对航天地面系统的配套需求, 本文提出一种光纤分组传送模块的平台化设计方案, 该方案不仅适用于自主研发的整机, 同时也适合于模块的配套使用。

1 平台化设计方案

光纤分组传送模块的平台化设计方案包括两部分: 总体设计和软件设计。

收稿日期: 2024-10-16。

作者简介: 郑鹏(1981—), 男, 湖北当阳人, 硕士, 高级工程师, 中国电子科技集团公司集团高级专家(数字光通信专业方向), 主要从事有线光通信总体设计工作, 研究方向为软件定义分组传送网、分组增强型光传送网、基于软件定义的宽窄带融合等。



郑鹏,黄柏华: 航天地面光纤分组传送模块的平台化设计方案

1.1 总体设计

光纤分组传送模块实现虚拟局域网(VLAN)、生成树协议(STP)、链路层发现协议(LLDP)、开放最短路径优先(OSPF)路由、双向转发检测(BFD)等二三层协议,提供操作、管理和维护(OAM)、基于多协议标签交换传输应用(MPLS-TP)的业务承载、业务保护、服务质量保障等能力。光纤分组传送模块包括主控交换模块、接口模块2种类型:主控交换模块完成以太网报文的交换分发、路由控制和保护恢复,接口模块只需实现物理层光信号与以太网报文的转换。在数据接收方向,接口模块对输入光信号进行光/电转换,提取出以太网数据帧,通过高速串行接口送入主控交换模块处理。在数据发送方向,主控交换模块基于转发出口将以太网数据帧通过对应高速串行接口送入接口模块,接口模块将以太网数据帧转换为光信号发送到光接口线路。主控交换模块配备充足的业务串行接口,通过调整配套接口模块的数量即可实现对外接口数量的扩充与裁剪。除标准千兆/万兆以太网光接口外,接口模块也可通过伪线仿真功能兼容SDH、PDH^[5]。

1.1.1 整体架构

整体架构如图1所示。机箱管理控制器(ChMC)和智能平台管理控制器(IPMC)将单板模块内的现场可编程门阵列(FPGA)、中央处理器(CPU)、PTN交换芯片等组件定义为VPX规范所定义的现场可更换单元(FRU),并对这些FRU进行管理^[6]。ChMC与IPMC复用了标准的智能平台管理接口(IPMI)协议,通过扩展命令字来实现模块间的通信^[7]。ChMC为系统管理软件

提供了机箱内所有模块FRU的配置和查询接口。

除了业务相关的FPGA、CPU和PTN交换芯片外,每个单板模块只需部署VPX规范所需的最小系统,包括:单片MCU,用于实现ChMC/IPMC功能;健康传感器,用于监测模块板卡硬件的温度、电流和电压;复用VPX要求的智能平台管理总线(IPMB),通过扩展IPMI控制字来实现板间通信^[3],无需额外的管理接口;复用VPX规定的硬件地址信号,以生成IPMB通信地址、模块板卡槽位号和模块类型。

本方案兼容VPX规范要求的IPMB,模块既可以通过航天地面系统配套机箱标配的IPMB与第三方ChMC交互,也可以应用于自研整机设备中的所有模块板卡,如图1中的电源模块。

1.1.2 MCU 外设接口规划

本文通过对外设的规划设计(如图2所示),确保了各模块的MCU均能运行相同的软件配置项。本文选用国产兆易创新的GD32F407作为ChMC/IPMC的MCU^[8],在外设接口规划上不仅考虑了光纤分组传输模块自身的需要,还兼容了电源模块和机箱风扇等接口。

1.1.3 模块识别及端口注册

基于VPX规范,每个模块都配备有唯一的硬件地址。模块硬件通过将地址信号固定上拉,而背板则根据槽位布局选择性地下拉相应信号来实现这一功能。以机箱中的1~8号槽位为例,对应的地址及信号电平分配情况如表1^[6]所示。

IPMC通过读取硬件地址信息来确定槽位号,并依据预设的槽位号与模块类型编码映射表来识别自身的

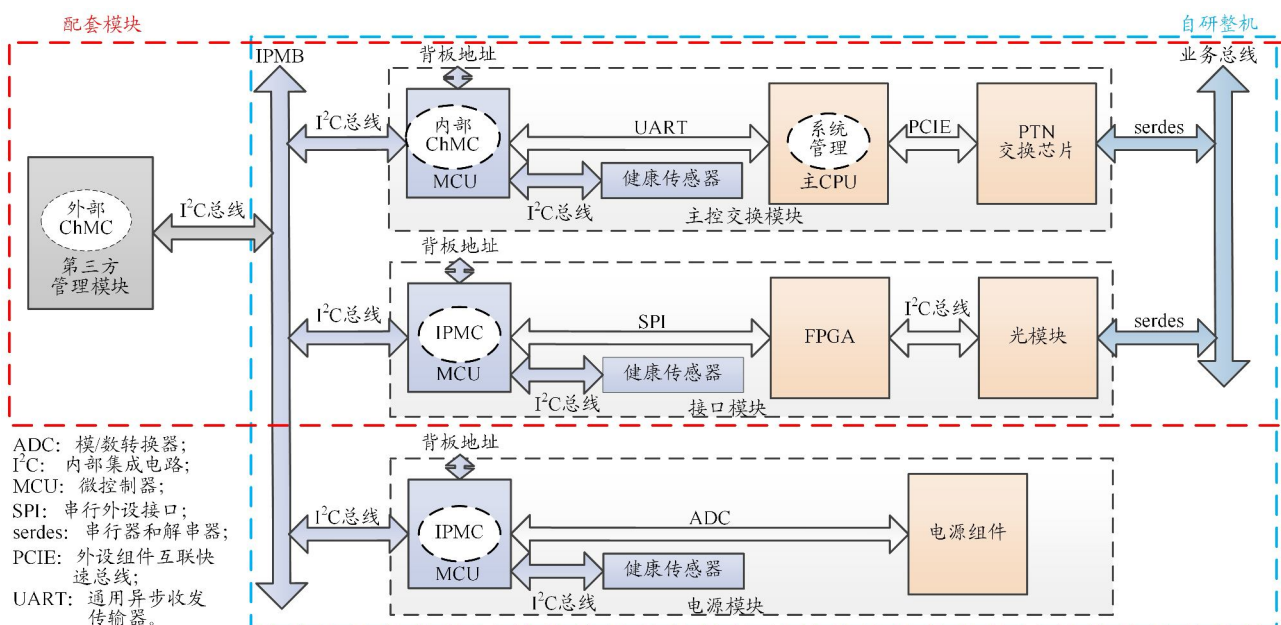
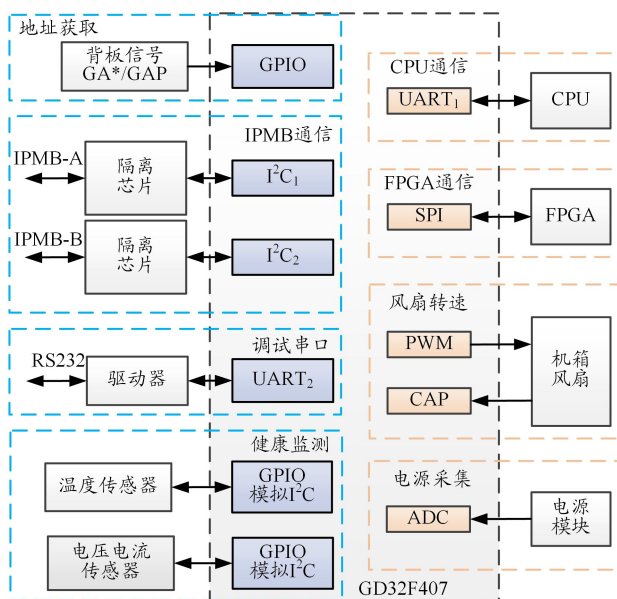


图1 整体架构框图



GA*/GAP: 物理地址/物理地址奇偶校验; CAP: 信号捕捉;
GPIO: 通用输入/输出; PWM: 脉冲宽度调制。

图2 MCU 外设接口规划

表1 槽位/地址对应表

槽位	硬件地址	IPMB 地址	GA*/GAP
1	41h	82h	0/00001
2	42h	84h	0/00010
3	43h	86h	1/00011
4	44h	88h	0/00100
5	45h	8Ah	1/00101
6	46h	8Ch	1/00110
7	47h	8Eh	0/00111
8	48h	90h	0/01000

模块类型。ChMC 收集机箱内所有接口模块的类型编码及其在位状态,并将其提供给运行在主控交换模块CPU上的系统管理软件。该软件基于模块类型及其配套关系生成接口模块与PTN交换芯片业务互联总线类型的配置文件,用于PTN交换芯片的初始化;同时,根据接口模块的在位状态执行业务端口的动态注册与注销操作。

1.2 软件设计

1.2.1 软件架构

光纤分组传送模块包括3个主要的软件配置项:主控交换模块CPU软件、MCU软件以及接口模块FPGA软件。尽管MCU软件运行在不同的模块上,但它们仍被视为同一个软件配置项。软件架构的具体布局如图3所示。

主控交换模块的CPU软件运行在Linux操作系统环境下,由多个进程构成。网络服务实现了二三层协议、PTN业务管理和各协议进程间的消息分发。运营、

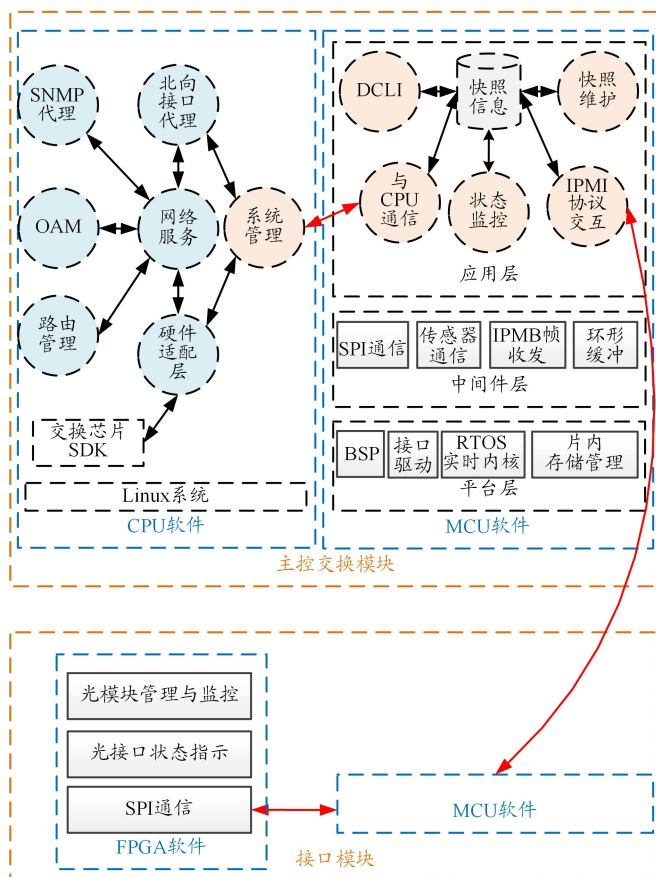


图3 软件架构

维护和管理(OAM)则涵盖了 MPLS-TP 业务的管理及连通性管理(CFM)。路由管理负责 OSPF 路由的实现。硬件适配层负责接收来自网络服务的配置消息,并通过调用 SDK 应用程序编程接口(API)来配置交换芯片。简单网络管理协议(SNMP)代理实现了 SNMP 接口的通信功能。北向接口代理负责北向接口的通信。系统管理则涵盖了设备管理、状态监控以及与 MCU 软件通信等功能。

MCU 软件采用了以下 3 层架构设计:

- 1)平台层实现了板级支持包(BSP)、接口驱动、基于实时操作系统(RTOS)的多任务运行环境,以及基于内部 FLASH 扇区的非易失性存储。
- 2)中间件层负责 SPI 通信、IPMB 数据的收发、传感器访问、环形缓冲区管理等功能。
- 3)应用层实现了快照维护、IPMI 协议、状态监控、与主 CPU 的 UART 通信协议、调试命令行接口(DCLI)等功能。

FPGA 软件负责采集光模块的温度、电压、收光状态、发送/接收光功率的状态,并控制光模块的发光使能。此外,它还通过控制面板接口指示灯显示光状态,并通过与 MCU 软件相连的 SPI 通信,提供光模块管理

郑鹏,黄柏华: 航天地面光纤分组传送模块的平台化设计方案

和监控接口。

这种软件架构有效地将 CPU 软件的核心业务与模块硬件分离,使得通过简单的系统管理进程修改就能适应不同的接口数量和类型需求。当 MCU 型号和外设接口规划确定后,平台层和中间件层的代码可以保持不变,仅需根据特定系统的需求调整应用层软件,从而实现了高度的模块化设计。

1.2.2 基于 IPMB 的模块间通信

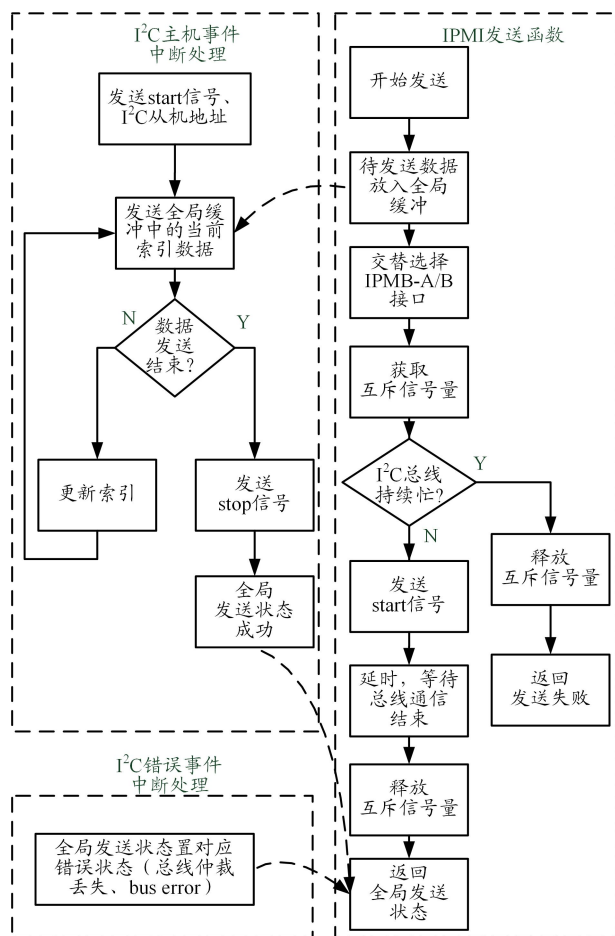
光纤分组传送模块与第三方 ChMC 之间的通信,以及光纤分组传送模块之间的通信,均采用 IPMB。IPMB 是一种支持多主通信的 I²C 总线,工作时仅使用 I²C 总线主发送和 I²C 总线从接收 2 种状态,数据传输速率达到 400 kb/s,并具备冲突检测功能。为了增强通信的可靠性,本设计采用了 2 条 IPMB 交替发送数据的方法,利用消息邮箱机制进行数据缓冲及同步。在发送数据过程中,通过互斥信号量确保对 IPMB 的独占访问,防止总线竞争现象的发生。

消息流遵循一问一答模式,具体包括以下几个步骤:ChMC 发起请求、IPMC 作出响应、IPMC 主动上报信息、ChMC 确认回应。主控交换板的 MCU 相关 I²C 接口被配置为双地址模式,包括一个实际的硬件映射地址和一个事件接收地址。硬件地址用于与第三方 ChMC 的交互,而事件接收地址则用于内部接口模块接收业务事件的上报。事件接收地址是可以配置的,这使得它可以与第三方外部 ChMC 的事件接收地址区分开来。IPMB 的发送和接收处理流程分别如图 4 所示。

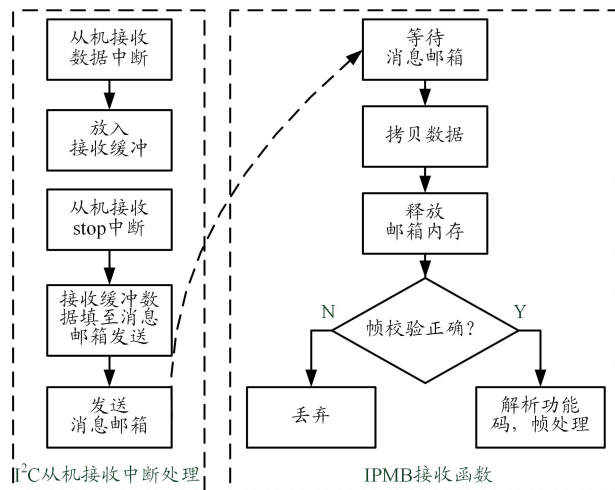
1.2.3 模块信息维护

将所有模块板卡的状态信息整合为快照信息数据结构,如图 5 所示。该快照信息不仅涵盖了 VPX 规范所要求的传感器状态,还包含了模块的 FRU 信息和业务相关的状态信息。

IPMC 会周期性地查询本模块的状态,并在状态发生变更时更新快照信息。随后,IPMC 通过 IPMI 主动上报帧,向 ChMC 通告对应状态变更。ChMC 则通过周期性查询各单板的快照信息及处理事件来维护所有模块的快照记录,并基于这些本地快照响应来自 CPU 软件系统的管理进程查询请求。



(a) 发送处理流程



(b) 接收处理流程

图 4 IPMB 的发送和接收接收处理流程

2 应用情况

本文提出的设计方案采用了基于分组交换的统一化业务承载方式、复用 VPX 规范接口,有效地满足了以分组数据为主的业务传输需求以及航天地面系统的配套要求。通过模块自动识别、端口自动注册和模块信

息快照化组织等机制,在不改变软件设计的情况下,仅通过配置不同类型和数量的接口模块硬件板卡,就能灵活地适应不同的对外接口需求。目前,该方案已在航天地面系统中得到了广泛的应用,形成了软硬件统一、支持模块级互换的系列化产品。

```

message cabin_snap { // 整机/模块组合快照汇总
    string devManu = 1; // 设备厂商
    string devType = 2; // 设备类型
    repeated plug_snap snaps = 3; // 整机/模块组合中所有模块快照汇总
}
message plug_snap { // 模块快照
    uint32 plug = 1; // 槽位号
    string type = 2; // 模块类型
    repeated vpx_sensor sensor = 3; // VPX传感器
    payload_stat payloadStat = 4; // FRU状态
}
message vpx_sensor { // VPX传感器
    uint32 type = 1; // 传感器类型: 在位/加电状态、电流、电压、温度、自检
    string value = 2; // 传感器数值
}
message payload_stat { // 模块FRU状态
    oneof statPayload {
        ctrl_stat ctrl = 1; // 主控交换模块
        xgege_stat xgege = 2; // 接口模块
    }
}
message ctrl_stat { // 主控交换模块FRU信息
    string ipAddr = 1; // IP地址
    string ipMask = 2; // IP掩码
    string macAddr = 3; // MAC地址
    uint32 cpuUsg = 6; // CPU利用率
    uint32 memUsg = 7; // 内存利用率
}
message xgege_stat { // 接口模块FRU信息
    message sfp_stat {
        string type_id = 1; // 光模块类型+ID
        string stat = 2; // 光模块在位/LOS状态
        uint32 sfpEn = 3; // 光模块发送使能, 支持读写
    }
    repeated sfp_stat sfp = 1; // 所有光模块状态
}

```

图5 模块快照数据结构定义

3 结束语

本文针对航天地面系统配套需求,提出了一种光纤分组传送模块的平台化设计方案,详细介绍了整体架构、MCU 外设接口规划、模块识别与端口注册、软件架构、基于 IPMB 的模块间通信以及模块信息维护等设计要点。通过复用标准的软硬件接口,该方案简化了设计流程,采用平台化和解耦的设计理念构建了系统与软件架构,实现了软硬件的模块化设计,提高了共性技术的复用率。该方案不仅适用于航天地面光纤分组传送模块,还适用于模块化的光传送设备整机设计,能够实现不同模块间的兼容互换,有利于设备和模块产品的系列化设计与管理。

参考文献:

- [1] 赵琳,汪东洋,汪文明. 基于 VPX 总线的航天地面电气系统智能化设计[J]. 电子元器件与信息技术,2019(2):78-81.
- [2] 张云勇,雷鹏,周朋. 基于 VPX 架构的移动通信系统模块化集成设计[J]. 中国新通信,2023,25(7):1-3.
- [3] 熊建新,王元,郑鹏. 基于 VPX 总线的 3U 光纤分组传送模块设计[J]. 信息通信,2016(6):44-46.
- [4] 骆永洪,曹洪信. 面向 IP 的分组传送网发展思路[J]. 电子世界,2021(21):59-60.
- [5] 邱帆,李博,郑乐,等. 基于分组传送网的 SDH 伪线仿真设计与实现[J]. 光通信技术,2019,43(10):53-56.
- [6] VITA 46.11 system management on VPX: draft revision 0.11[EB/OL]. [2024-10-16]. <http://www.vita.com>.
- [7] 朱红育,李郁,付学斌. IPMI 在 VPX 系统中的应用与设计[J]. 火控雷达技术,2013,42(4):65-69.
- [8] GD32F4XX User Manual: V1.2[EB/OL]. [2024-10-16]. <http://www.gigadevice.com.cn>.