

doi: 10.7690/bgzd.2013.06.012

车载实时光纤控制网络分析与中心节点设计

孙偲晟, 刘佳, 陆贇

(上海电控研究所光纤通信研究室, 上海 200092)

摘要: 针对车载环境使用特点, 设计基于以太网的无源光纤网络的车载实时光纤控制网络总体构架。分析了网络的总体结构和时分复用的交换机制, 论述了中心节点的 MAC 设计, 并通过数据收发测试和车载 CAN 总线业务验证了该设计方案稳定可靠, 具有很好的实用性。实践结果表明: 相比采用传统的定制 ASIC 芯片设计方案, 该网络具有升级灵活, 体积小, 功耗低的特点。

关键词: 无源光网络; 时分复用; 车载环境

中图分类号: TJ810.3 **文献标志码:** A

Vehicle Real-Time Optical Control Network Analysis and Center Node Design

Sun Sisheng, Liu Jia, Lu Yun

(Department of Fiber Communication Research, Shanghai Electric Control Research Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aimed at the operation features of vehicle environment, designed a vehicle real-time fiber control network macro architecture based on Ethernet PON (EPON). Analyze switching mechanism of network macro architecture and time division multiplexing (TDM). The MAC design of center node was discussed. Then, through the test of data-transmit-recv and vehicle CAN bus, the stability and reliability have been proved, which has good practicability. The test results show that, compared with traditional customized ASIC chip design, the network have the character of upgrade-agility, small form, low power consumption and so on.

Key words: passive optical networks; TDM; vehicle environment

0 引言

随着以太网的普及, 各类网络业务得到了蓬勃的发展。整个网络可划分为主干网和接入网 2 大部分。目前, 主干网已经能支持到千兆和万兆的速率了, 但用户端在很长时间内还无法跟上主干网的发展速度。当接入网的最后 1 km 问题逐渐成为发展瓶颈的时候, 各种光纤接入相继被推出, 其中就包括了易维护、高带宽和低成本无源光网络 (passive optical networks, PON)。其中, 由于基于以太网的无源光纤网络 (ethernet PON, EPON) 可兼顾以太网和无源光网络的各自优点^[1], 因而被广泛采用。

笔者从车载环境出发, 针对车辆内部各类传感器控制信号及车载 CAN 接口, 设计了具有实时交换功能的车载以太网无源光网络, 在充分考虑需求的特点和成本的基础上, 对 EPON 标准协议进行裁减修改, 力求设计一个简洁、可靠、稳定的车载光交换网络系统。

1 EPON 技术与原理分析

1.1 EPON 系统结构

EPON 采用了点到多点的 PON 拓扑结构, 网络拓扑采用星型结构, 主要包括中心节点 (OLT)、接

入节点 (ONU)、光分路器 3 部分, 拓扑结构如图 1^[2]所示。其中, 中心节点负责整个网络的节点查找, 节点的初始化和授权时隙窗口的分配, 以及数据的存储转发, 并提供对接入节点的管理和维护职责。接入节点负责用户数据的组帧和解析, 以及按照时隙窗口完成数据的上传, 并在下行方向接收中心节点转发的数据包。光功率分配环节采用了 1 分 16 的光纤分配。笔者在标准中规定, 上行的波长为 1 310 nm 在下行的波长为 1 490 nm。

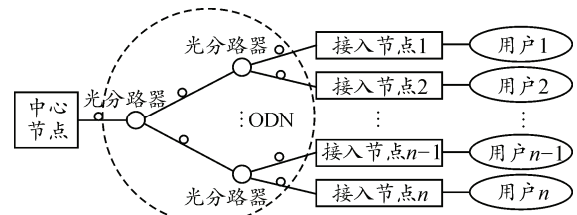


图 1 EPON 网络结构

1.2 多点接入控制协议

由于采用了光功率分配单元, 实际上分接端 16 个光纤通道是共享媒质, 实现的效果是: 在光信号上行端需要设计分时接入协议, 在下行端所有的光信号都是以广播的方式达到接入节点的; 因此, EPON 技术中最具特色的是多点控制协议 (MPCP)

收稿日期: 2012-12-22; 修回日期: 2013-01-20

作者简介: 孙偲晟 (1983—), 男, 上海人, 硕士, 工程师, 从事车载系统的光纤通信技术、车辆电子信息系统总线组网技术、车载武器系统光纤通信网络技术研究。

和时隙分配机制, 这也是 EPON 的核心思想^[3]。

MPCP 协议的存在使得中心节点 OLT 具备了对接入节点的注册、测距和上行时隙调度等功能。在数据上行过程中采用时分复用的方式, 每个 ONU 节点必须在 OLT 给予分配的时隙下进行数据的上行, 这样就可以对上行的信道进行复用, 同时也避免了各节点上传数据的冲突^[4]。上行数据分时传输原理如图 2 所示。用户 1~3 在需要传输时将数据包提交本地的 ONU1-3, 本地的 ONU 在 MPCP 协议的协调下, 接收 OLT 的时隙授权帧, 然后按照 OLT 给定的时隙上传数据。

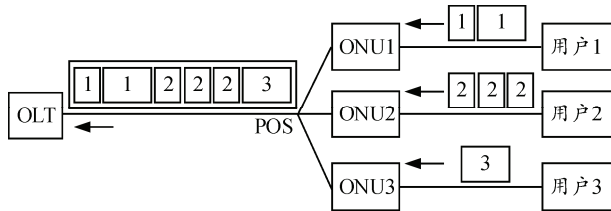


图 2 EPON 上行数据分时传输原理

EPON 在下行数据传输中采用了广播的方式, 下行数据将通过共享的光纤信道达到每个 ONU, 这些下行的数据包可能是广播包、组播包或者是单播接收包。本地的 ONU 解析数据包的目的地址, 滤出不相干的数据, 接收自己需要的数据包, 如图 3。

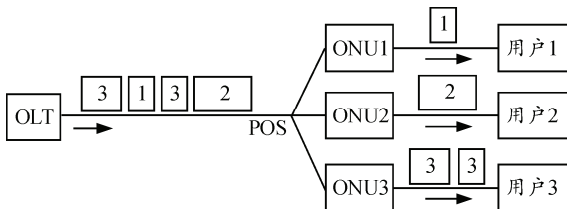


图 3 EPON 下行数据传输原理

1.3 测距与同步

由于每个 ONU 的起始时间不同, 每个 ONU 离 OLT 的距离也不同, 导致传输时延不同; 因此, 在 EPON 系统中需要进行测距和同步操作, 将所有 ONU 的时钟统一到 OLT 时钟, 以避免数据上传时的冲突问题。笔者采用了相对时间同步和动态时间调整的方法来解决这个问题。

在网络初始化阶段, 中心节点通过自己的时隙分配机制, 先给各个 ONU 分配了预计到达 OLT 的时间, 分别记录在 t_i 中。中心节点在节点查询阶段发送节点探测帧 GATE 帧给 ONU。等待相应 ONU 回复 REPORT 帧, 同时在本地记录下发送 REPORT 的时间 t_{s0} 。中心节点接收到这个 ONU 的 REPORT 帧记录下时间 t_0 。这时中心节点对时间的偏差进行计算: $\Delta t_i = t_i - t_0$ 。然后在所有节点探寻完成后通过

START 帧发送各 ONU 的 Δt_i 。ONU 接收到自己的 Δt_i 后调整发送时间, 这样就使得整个 EPON 系统达到了同步^[5], 如图 4 所示。

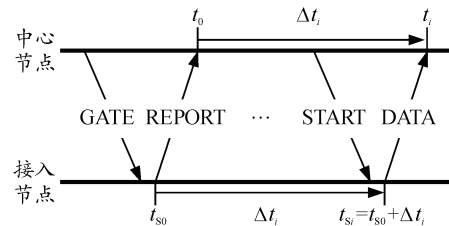


图 4 EPON 的测距与同步时序

在网络通信阶段, 由于时钟晶振的抖动和误差累计, 使得发送时刻发生一定的偏移量, 这一现象会给网络通信增加冲突几率, 因此笔者提出了动态时间调整的方法, 中心节点每次接收到上行数据帧后记录实际的到达时刻, 然后计算与时隙分配机制计算的理想达到时刻之间的偏差, 记录在下行数据帧的时间戳中, 接入节点 ONU 在接收到该时间戳信息立即修正下一轮的时隙, 完成动态时间调整。

2 中心节点 OLT 线路终端研究与实现

OLT 是整个网络的核心, 也是整个协议执行的主控节点, 分为网络通信与网络管理两大部分, 通信部分负责了时隙的管理, 节点的查询和上行数据帧的转发操作。在物理层需要完成接收时钟同步、数据的串并/并串转换以及 4B5B 光纤线路编解码的工作, 并为 MAC 层的连接提供了 GMII 接口^[6]。中心节点的 MAC 层完成了时隙管理模块、帧解析模块、数据发送和接收模块, 发送接收缓存的功能。

网络管理部分包括了节点管理、统计管理以及配置管理。节点管理在每一个轮询周期发送节点查询帧, 为新加入的节点完成注册并分配时隙窗口。统计管理通过发送统计命令帧让接入节点上传数据收发的数量, 达到流量检测的目的。配置管理利用配置命令帧去控制相应的接入节点改变用户接口的速率, 如图 5 所示。

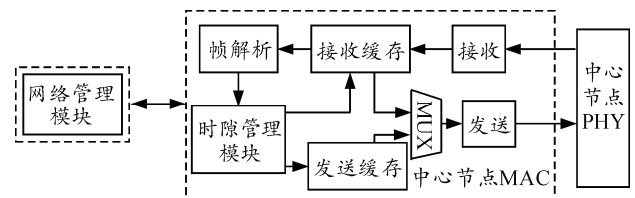


图 5 中心节点的构架

2.1 数据发送和接收模块的设计

中心节点首先要读取和写入物理层数据, 中心节点设计接收和发送模块, 提供 MII 媒质无关接口来连接 OLT 物理层。物理层的数据如图 6 所示。在

接收模块中，状态机连续接收物理层同步采集的 4b 码，在缺省情况下会接收到前导码 0x55，一旦从前导码状态搜索到起始位 0x5d，状态机进入有效数据接收状态。直到物理层的接收标志位 MRxDV 拉低，结束一帧的接收处理，然后对有效数据位进行 CRC 校验。校验正确的数据帧放入接收缓存。

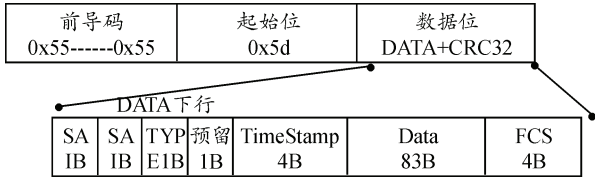


图 6 数据帧结构

在发送模块中，根据 OLT 在初始化和正常通信各阶段，定义了 GATE 帧、START 帧和 DATA 帧。在无数据发送的时候发送前导码 0x55，直到需要传输光网帧的时候，再连续发送 7 个 0x55，紧接着发送起始位 0x5d，然后封装有效数据位的，并在最后生成 CRC32 校验。如图 7 是定义的数据帧格式。

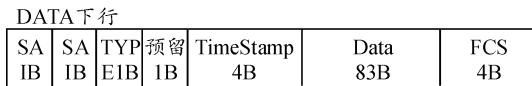


图 7 数据帧格式

2.2 帧解析模块的设计

在接收完一帧数据后，进入帧解析模块，对数据帧的类型进行解析。提取帧类型信息，帧源地址信息和统计域信息。按照帧格式定义这些信息存放在数据帧开始的 4 个字节，分别解析出 SourceID, DestinationID, FrameType。然后按照 FrameType 进入各自状态机处理流程，完成数据的解析。

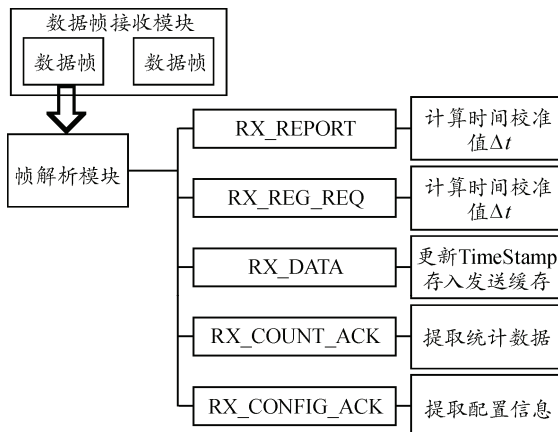


图 8 帧解析模块设计

在接收到接入节点回复的 RX_REPORT 后，计算 Δt 时间信息，放入 START 帧的相关位置。在接收到 RX_REG_REQ 后计算时间信息，生成注册确认帧。在接收到 RX_DATA 后，调整 TimeStamp 后

存入发送缓存。在接收到 RX_COUNT_ACK 和 RX_CONFIG_ACK 后，提取网络管理数据段，上传给网络管理模块，如图 8 所示。

2.3 时隙管理模块的设计

时隙管理模块通过主状态机进行节点注册、节点初始化、数据转发、时隙更新和网络管理的操作。网络的整个通信周期设定为 400 μs ，其中包括数据传输段和网络管理段，如图 9 所示。数据传输时间总共 320 μs ，分为 16 个 20 μs 的子段，每一段对应一个用户节点的发送时隙，用于传输对应节点的用户数据。网络管理段时间为 80 μs ，一个通信周期用于一个节点的管理，依次完成接入节点探测、节点参数配置和收发数据帧的统计。

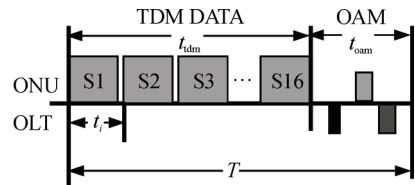


图 9 网络时隙分配

在网络初始化阶段，网络首先要去探测在线的节点。通过发送 GATE 帧给各个 ONU，在线节点通过回复 REPORT 帧完成应答和注册，同时中心节点计算与接入节点的时间差信息，存在一个 RAM 里面，等到所有的接入节点探寻完成后，生成网络启动帧，随带各个接入节点的时间调整信息下行广播发送。各接入节点根据收到的启动帧调整各自的时间，开启计数器等待发送时隙的到来，至此网络进入数据通信阶段。

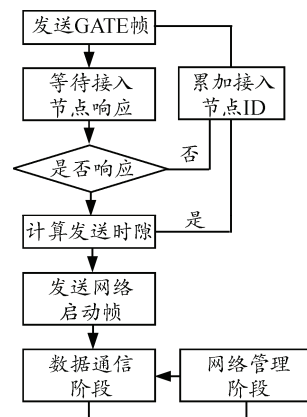


图 10 网络初始化阶段流程

在数据通信阶段有 2 大部分的时隙：TDM 时隙和 OAM 时隙。当时间处于 TDM 时隙的时候，依次接收各个接入节点的数据帧，更新 Timestamp，存入发送缓存下行转发数据。在 OAM 时隙段，OLT 判断节点是否在线，如未在线发送节点查询帧，如

节点在线 OLT 传输统计管理帧和配置管理帧, 如图 10 所示。

3 光纤网络测试

3.1 光网数据帧的发送和接收测试

笔者设计了实际的中心节点硬件系统, 连接到

实时光纤网络中依次测试中心节点的探测节点功能, 发送启动帧功能和数据转发功能。如图 11 所示, 中心节点通过物理层成功接收数据(包括从 7 字节前导码、1 字节帧起始到帧原始地址以及有效数据, CRC 校验)。如图 12 所示, 在发送端同样是根据数据帧定义的格式将数据发送给光网物理层。

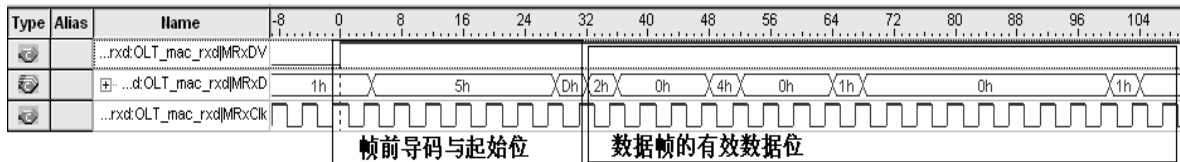


图 11 接收数据帧的情况

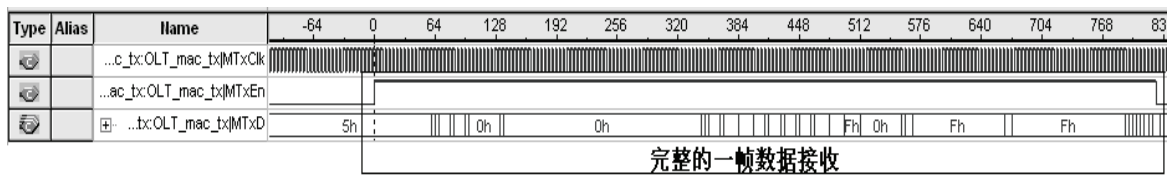


图 12 发送数据帧的情况

3.2 实际车载业务测试

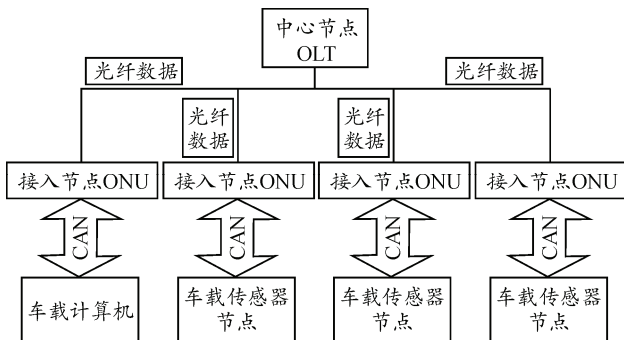


图 13 车载 CAN 总线业务测试连接

该实时光纤控制网络是针对车载系统设计的, 车载系统上控制传感网络大量采用了 CAN 总线接

口, 传感器节点可以将车辆的油压、温度和里程等信息封装成 CAN 数据帧传送给光纤网络, 通过网络交换到车载计算机中进行集成处理, 因此笔者最后把 CAN 总线业务加入实时光纤控制网络, 进行设计业务的测试。测试系统连接框图如图 13 所示。

测试计算机通过周立功公司提供的 USBCAN 测试卡发送 CAN 标准数据帧, 在接收计算机端接收完成光网交换的 CAN 数据帧, 测试执行全双工的数据通信。测试结果双向收发 1 000 000 帧 CAN 数据帧无误码丢帧。系统运行稳定可靠。整个网络的延迟 < 600 μs。车载 CAN 总线业务数据帧收发测试如图 14。



图 14 车载 CAN 总线业务数据帧收发测试