

# 基于 GPON 的光纤光栅传感信号接入节点研究\*

王玉宝<sup>1,2</sup>, 刘春苗<sup>1,2</sup>

(1. 燕山大学 信息科学工程学院, 河北 秦皇岛 066004;

2. 燕山大学 河北省特种光纤与光纤传感重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 借助现有 GPON 通信网将光纤光栅传感信号传输到远程监控中心, 可避免大规模铺设专用传感网, 组网灵活, 降低成本开销。实现光纤传感网与 GPON 接入网的融合, 传感子网与 GPON 之间的接入节点设计是关键问题之一。接入节点采用固定时分多址技术接入各传感子网信号并将其组装成传感复用帧, 此帧结构的设计减少了 GEM 帧负载部分的控制开销比特数, 为远程监控中心提取有用的传感信息节省了时间, 使光纤光栅传感信号在高速的通信网中有效传输。

**关键词:** GPON; 光纤光栅传感; 接入节点; 传感复用帧

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2013)02-0024-03

## Study of access node of optical fiber grating sensing signal based on GPON\*

WANG Yu-bao<sup>1,2</sup>, LIU Chun-miao<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Key Laboratory for Special Fiber and Fiber Sensor of Hebei Province, Yanshan University,

Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** Transmitting fiber grating sensing signal to remote monitoring center by existing GPON communication network can avoid laying large-scale special sensing nets, reduce cost, and form network flexibly. In order to merge multiple optical fiber grating sensing nets with GPON, design of access node between sensing subnets and GPON is one of the key problems. Access node accesses sensing subnets signal by adopting TDMA technology, and data of subnets are assembled into multiplexed sensing frame. Design of the frame structure reduces the bit number of control overhead of the load of the GEM frame, saves time for remote monitoring center to extract useful sensing information and makes optical fiber grating sensor signals transmit effectively in high-speed communications network.

**Key words:** GPON; optical fiber grating sensing; access node; sensing multiplexed frame

### 0 引言

光纤光栅传感网络具有抗电磁干扰、复用能力强、无源器件等优点, 它已成功应用于医疗、煤矿, 以及建筑工程等领域。近年来, 人们对大规模复用光纤光栅传感器的要求也越来越迫切。由基本单一复用技术现已逐步趋于采用波/时分复用<sup>[1]</sup>、码/波分复用, 以及空分/波分/时分混合复用技术。本文利用 GPON 接入网传输光纤传感信号, GPON 在光宽带接入应用中有着灵活的 GEM 封装格式, 不需要协议转换便可接入各种类型的信号<sup>[2]</sup>。光纤光栅传感子网信号在本地经过数字化处理后, 形成数据帧, 为减少 GEM 帧负载部分的控制开销比特数, 接入节点采用固定时

分多址接入技术对多路子网信号进行复接, 然后, 将其封装成定长时分复用帧, 经 ONU 统一按照 GEM 格式封装, 最后, 通过接入网和传输网到达远程传感监控中心, 监控中心对数据帧信息进行分析, 如有异常立即向传感现场发出预警<sup>[3]</sup>。此设计方案实现了光纤传感网和通信网的融合, 避免了单独铺设传感网络的巨额代价。本文设计了传感复用帧结构, 并分析了保护间隔和保护时间取不同值时, 帧开销比随着负载变化的变化过程, 对实现未来光纤光栅传感信息数字化远程传输有一定的指导意义。

### 1 传感信号接入节点结构与传感复用帧的设计

如图 1 所示, 接入节点主要完成传感子网信号的码速

率调整、固定时分多址接入、传感复用帧的组装及发送等工作。码速调整和时分多址接入由同一外部时钟提供定时基准信号,传感复用帧的组装和发送是在系统内部调度控制中心的控制下有序进行的。

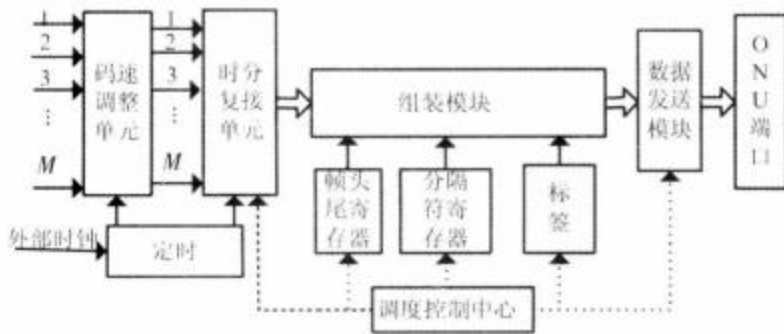


图1 接入节点结构框图

Fig 1 Structure block diagram of access node

### 1.1 传感信号接入节点的基本结构与功能

传感子网数据在系统分配的时隙到来时开始发送数据,子网数据帧发送时都插入了帧同步码,以便使接收端能准确区分帧的首尾,但插入帧同步码会导致时分复接时产生码重叠或定位错误现象。为防止接收端解码错误,各路传感信号必须经码速调整后才能进行时分复接。定时单元为设备提供统一的时间基准信号,可以由内部时钟或外部时钟推动,本文采用的是外部时钟。码速率调整单元对各输入支路数字信号进行必要的频率或相位调整,形成与定时信号完全同步的数字信号。时分复接单元主要完成时分复接功能,对已同步的各子网信号进行时分复接形成串行数字序列,排队等待调度控制中心调度成帧。调度控制中心以协议帧结构为参考,按照固定时隙成帧算法,事先设定好固定时隙长度,每隔一段时间依次调度各模块数据,完成组装过程,传感复用帧暂存放于数据发送模块,等待 ONU 分配的时隙到来时将数据上行输出到 ONU 端口。在时分复接时,系统采用轮询的方法读入各传感子网数据,每隔一个轮询周期  $T$  读入一次子网的数据帧,每个传感子网占用一个固定的时隙长度  $T_s$ ,  $T_s$  的大小要综合考虑各个子网接入的传感器个数和接入子网总数,本文为了分析简便,假设各个子网的规模大小相同。

### 1.2 传感复用帧的设计

传感复用帧长度固定不变,其长度主要由复用的传感子网数和传感器总数决定。而 GEM 帧长度可变,PLI(payload length indicator)字段用 12bit 二进制数表示 GEM 帧负载的长度,允许填充的最大负载长度为  $2^{12} = 4095$  bytes,当传感复用帧的长度大于 4095 bytes,GPON 网络会对其进行分片处理<sup>[4]</sup>,传感复用帧无需进行协议转换,便可直接填充到 GEM 帧的负载部分。本文设计的传感复用帧结构,可包含  $M$  个子网的  $N$  个数据帧,如图 2 所示。

帧同步码(Sync)用来实现收发双方同步,以便接收端判

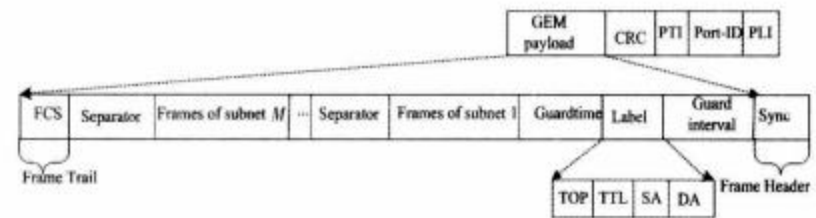


图2 传感复用帧结构

Fig 2 Structure of sensing multiplexed frame

断数据帧的开始和结束。本文采用帧标识位 F(01111110)。保护间隔(Guard interval)是为系统处理帧头信息预留时间。标签(Label)字段一般包括目的地址(DA)、源地址(SA)、净荷生存时间(TTL)和净荷业务类型(TOP)这些字段。源地址和目的地址各占 4byte。目的地址为远程监控中心的地址,源地址为传感接入节点的地址。净荷生存时间占 8 bit。目的是防止数据帧无限制地在网络中兜圈子,保证数据按时交付到传感监控中心。若传感业务类型不同,实时性要求不同,TTL 值也不尽相同。净荷业务类型,占 1 byte。由于光纤光栅传感业务具有严格时延要求,故在 ONU 端口封装时要优先处理。在接入网中为了保证不同业务 QoS 的需求<sup>[5]</sup>,把 ONU 端接收到的业务分为 3 个等级:1)加速转发型,比如:某些增值业务(本文的光纤光栅传感业务);2)确定转发型;3)尽力而为型,理论上该字段占 2 bit,本文用 8 bit 表示,多余的预留给 ONU 端新增业务类型备用。故标签字段最多占 10 byte。保护时间(Guard time)为接收端提取分析标签内容预留时间。分隔符(Separator)的使用便于区分各子网传感数据帧,这里采用将 10111111 经过 8B/10B 冗余编码后的 10 bit 字符。帧尾的 FCS 字段占 2 byte,使用 CRC 的帧校验序列。便于传感监控中心判断接收帧是否有效,无效丢弃;有效,则继续对其解封装。子网传感数据帧来源于各光纤光栅传感子网发送模块,是接入节点数据帧的净荷部分。

## 2 帧开销比分析与仿真

为了确定分隔符的个数,仿真时假设每个子网最多可复用 100 只光纤光栅传感器,每个光纤光栅数据包编码大约占 4 byte,其中,数据净荷占 2 byte,传感信息类型占 1 byte,传感器源地址占 1 byte。由此可推出:每个子网的数据帧长度大约占 400 bytes。同时假设传感接入节点可复用 2~30 个子网。所以,传感复用帧的净荷长度在 800~12000 bytes 范围内变化。净荷和各控制字段的速率都统一设为 100 Mbps。这里以时间为单位计算开销比

$$\eta_{\text{overhead}} = [t_{\text{assemble}} + (t_{\text{pocket}} - t_{\text{payload}})] / t_{\text{payload}}, \quad (1)$$

式中  $t_{\text{pocket}}$  为传感复用帧的时延,由净荷时延、标签时延、帧头帧尾时延、保护间隔和保护时间及分隔符的时延; $t_{\text{assemble}}$  为传感数据在输入接口缓存中的排队等待时延、发送时延及传播时延,传播时延为传感接入系统内部的延时,可忽略。故  $t_{\text{assemble}} = t_{\text{queue}} + t_{\text{send}} \circ t_{\text{assemble}}$  主要由传感接入节点

的物理结构的性能决定,性能越优良该值越小,在不更换设备的前提下,一般该值是固定的。此处设  $a = t_{assemble}/t_{packet}$ , 分别取 0.03, 0.04

$$t_{packet} = t_{separator} + t_{guardinterval} + t_{head} + t_{tail} + t_{label} + t_{guardtime} + t_{payload} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得

$$\eta_{overhead} = [(1+a) \cdot (t_{separator} + t_{guardinterval} + t_{head} + t_{tail} + t_{label} + t_{guardtime} + t_{payload})] / t_{payload} - 1 \quad (3)$$

如前所述,分隔符的长度为 10 bit, 帧头帧尾共占 3 bytes, 标签长度为 10 bytes,  $t_{guardtime}$  和  $t_{guardinterval}$  是人为设定的,二者之和为  $T_g$ , 合适的保护时间对帧传输的网络性能的影响不容忽视,仿真时分别取  $T_g$  为 1, 50, 100 ns

$$t_{partsym} = (L_{payload}/L_1) \cdot L_{separator}/v \quad (4)$$

其中,  $L_1 = 400$  B 是一个传感子帧度。

将式(4)代入式(3)整理得

$$\eta_{overhead} = [(1+a) \cdot [L_{payload}/L_1] \cdot L_{separator}/v + (L_{head} + L_{tail})/v + L_{label}/v + L_{payload}/v + T_g] / (L_{payload}/v) - 1 \quad (5)$$

根据式(5)分析可知,影响开销比的主要因素是负载长度、保护时间与保护间隔、 $t_{assemble}/t_{packet}$  的选取,这三项因素直接影响了数据帧开销比的大小。仿真图如图 3。

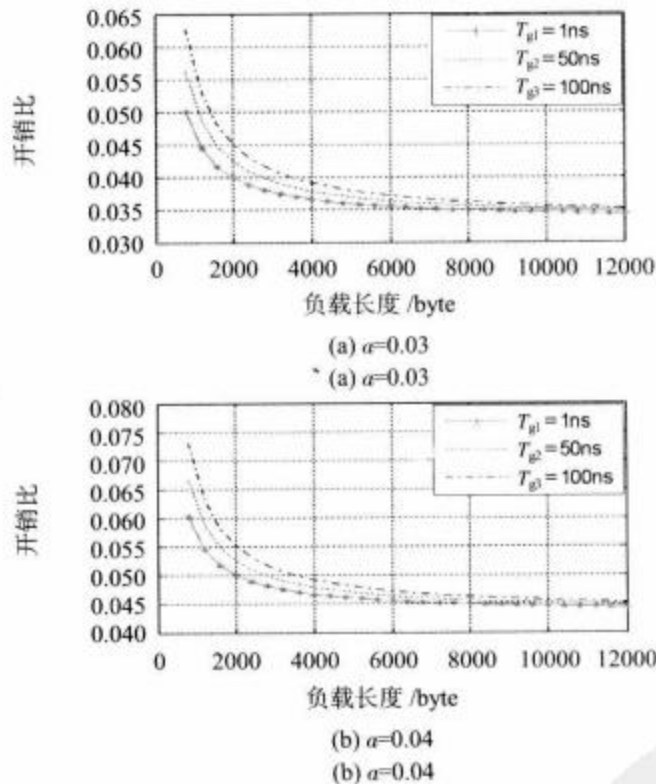


图3 开销比率在不同 a 下的变化

Fig 3 Variation of overhead rate under different a

从图 3(a) 和图 3(b) 两图可以看出:当负载长度一定时,设定的保护间隔和保护时间的值越大,开销比也变得越

大。因此,在设计传感复帧结构时,一定要综合考虑各种因素,尽量选择较小的保护时间。当  $T_g$  取某一定值时,随着负载在传感复用帧中所占比例增大。开销比率会随着净荷的增大而减小。因为本文在仿真时已设定每个传感子网帧的长度为 400 byte, 负载增大即接入的子网数增多。通过对比以上两图不难发现,二者有着相似之处,当负载长度在 8000 ~ 12000 byte 范围内变化时,开销比会逐渐趋于某个固定的值而保持不变,而这个固定的值与  $t_{assemble}/t_{packet}$  非常相近,图 3(a) 中趋近于 0.035, 图 2(b) 中趋近于 0.045。结合公式(1),这个结果不难得出,随着  $L_{payload}$  的增大,  $t_{payload}$  在  $t_{packet}$  中所占的比例变大,  $\eta_{overhead} \approx at_{packet}/t_{payload}$ , 由于其他管理控制开销的存在,开销比会比  $a$  稍大一些。这就需要不断地提高传感接入节点设备的汇聚速率,缩短汇聚时间在封装帧时所占的比例,从而降低开销比率。

### 3 结论

为实现光纤光栅传感信号通过 GPON 远程传输,本文设计了接入节点和传感复用帧结构,传感子网数据帧在接入节点经时分复用组装成帧。在传感子网数据帧进入 GPON 前,这些预处理作用非常重要,减少了控制开销比特数,为监控中心提取有用传感信息节省了时间。本文通过 Matlab 仿真分析了影响帧开销比的因素,发现增加接入子网数,尽量减小保护时间间隔,提高接入节点汇聚速率都能有效减小帧开销比率。

### 参考文献:

- [1] 王玉宝, 兰海军. 基于光纤布拉格光栅波/时分复用传感网络研究[J]. 光学学报, 2010, 30(8): 2196-2201.
- [2] Wang Zhaoqing. Research on the application of GPON technologies[C]//International Conference on Multimedia and Signal Processing, 2011: 61-63.
- [3] Wang Zhenxing, Konstantin K, Chang J, et al. Sensor data transmission overlay on gigabit passive optical networks[J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2011, 3(7): 553-558.
- [4] ITU-T Rec. G. 984. 3-2008. Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification[S]. 2009.
- [5] Liu Yang, Zhang Guoping, Li Qing. Dynamic bandwidth allocation algorithm for GPON[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2010, 21: 153-157.

### 作者简介:

王玉宝(1968-),男,河北秦皇岛人,博士,硕士生导师、副教授,主要研究方向为光纤通信。

### 作者简介:

苏毅(1983-),男,甘肃天水人,博士研究生,主要研究方向为机电控制、传感器技术。

(上接第 23 页)

- [10] Rios J A, White E. Fusion filter algorithm enhancements for a MEMS GPS/IMU[C] // Proceedings of 2002 National Technical Meeting, San Diego, California, 2002: 126-137.