

## 》探索与观察

## 无源光网络光纤测距与时间同步方案改进

厦门大学电子工程系 陈重波 郭东辉  
广东省深圳华为技术有限公司 万民 钟文彪

【摘要】在目前的无源光网络时间同步及光纤测距方案中,存在着兼容性问题,即不同厂家的OLT与ONU对接,需要重新测量与修正。问题产生的根源在于计算传输延时,将电路的延迟特性当成光路延时的一部分,本文在分析GPON系统测距原理以及数据传输过程之后,提出一种解决时间同步兼容性的办法,并提供一种光纤长度精确测量的方案,基于同样的道理,EPON、10GEPON、XG-PON1的系统,这些结论都能适用。

【关键词】无源光网络; 光纤测距; 时间同步

## 1. 引言

吉比特无源光网络(Gigabit-Capable Passive Optical Networks, GPON)通常采用点到多点的网络结构<sup>[1]</sup>,下行采用广播方式,经过光分配网络(Optical Distribution Network, ODN)数据可以到达光网络单元(Optical Network Unit, ONU),ONU根据ONU-ID识别分发给自己的数据。在上行方向,由于共用一根光纤,ONU的上行数据采用TDMA方式,在同一时刻只能有一个ONU发送数据到达光线路终端(Optical Line Terminal, OLT),否则会导致上行数据冲突。为了避免上行数据冲突,GPON的协议中规定通过时延补偿的方式将所有ONU的逻辑距离补偿到同一水平。由于每个ONU到达OLT的距离不同,信号在光纤中传输的时间也不同,因此,必须测出每个ONU与OLT之间的逻辑距离,以便计算出每个ONU的补偿时延(又称均衡时延, EqD),在注册阶段将相应的时延下发给

ONU。ONU以下行数据为基准,根据所分配的补偿时延对上行数据进行延时,保证每个ONU的上行数据不冲突。

在GPON和XG-PON1标准中,测量EqD的计算方式时没有考虑到EqD的测量是由局端的MAC完成的,将MAC到Serdes(Serdes是英文SERIALIZER串行器/DESERIALIZER解串器的简称)到光模块光电转换这段时间计算在EqD之内,而这段时间是数据在电路中的传输时间,和光在光纤中的传输时间有所区别,所以在进行光纤测距及时间同步时产生了误差,本文试图解释这种误差的来源并提供解决问题的办法。

## 2. GPON测距原理

GPON的测距是在ONU注册阶段完成的,在ONU收到OLT发送的SN请求消息时,ONU等待一定的应答时间之后,返回一个SN应答消息。OLT在收到此应答消息并验证合法之后,给该ONU分配一个ONU-ID,ONU收到分配的ONU-ID之后进入测距状态。

GPON采用带内开窗测距法进行测距,当一个ONU需要测距时,OLT向该ONU发送测距请求,同时命令其它ONU停止发送上行业务,在上行时隙中打开一个测距窗口供这个ONU使用。ONU发送一个回应测距请求的上行帧,OLT通过内部计数器测出从发出命令到接收到ONU响应的延时,得到该ONU的环路时延值(Round trip delay, Rtd),进而算出均衡时延值,通过下行帧分配给ONU,ONU收到此消息之后进入正常的操作状态。下图为GPON的测距时序<sup>[2]</sup>。

如图1所示,OLT下发测距请求经传输时延之后到达ONU,Response Time为ONU处理注册报文的时间。 $S_{start}$ 为OLT指定ONU开始上传响应的时刻,GPON测距中一般设为0。Pre-Assigned EqD为预置补偿时延,是OLT根据最近ONU设定的值,目的是保证最近的ONU能以正确的相位到达OLT,提高带宽利用率,测距完成之后ONU进入上线状态时会清除该值。ONU处理完报文之后,等待Pre\_EqD及 $S_{start}$ 之后,发送响应帧,经上行传输时延到达OLT,OLT通过计算得出该ONU的Rtd。假设数据上下行传输时延分别为 $T_{pd_u}$ 、 $T_{pd_d}$ ,则 $Rtd=T_{pd_d}+Response\ Time+Pre-Assigned\ EqD+S_{start}+T_{pd_u}$

由于不同的ONU与OLT之间的距离不等,因此每个ONU的Rtd不同,为了保证上行数据相位相同,OLT会为每个ONU计算一个EqD,使所有的ONU的Rtd与EqD之和为一个固定值,这个值又称为补偿往返循环时延(The Equalized Round Trip Delay, Teqd)。上图中的Zero Distance' EqD即为Teqd,是OLT根据最远光纤长度设定的一个值,其大于等于逻辑距离最远的ONU,是同一PON口下所有ONU在时延补偿之后的往返时延,同一PON口下的ONU满足: $Teqd=Rtd(n)+EqD(n)$ , $EqD(n)=Teqd-Rtd(n)$ 。ONU在处理完OLT的请求时须先等待EqD时间,这样能保证同一PON口下的所有ONU的相位相同。

在图2测距时序中,通过Assigned EqD=Teqd-(Rtd-Pre-Assigned EqD- $S_{start}$ )可以计算出OLT为ONU分配的补偿时延,这就是ONU正常工作时的EqD。

## 3. 现行的光纤长度计算方案

在ONU上线之后,正常的通信时序如下图所示<sup>[2]</sup>,OLT下发下行帧,经过下行时延 $T_{td_d}$ 之后到达ONU,ONU处理完报文之后,等待补偿时延EqD之后发送回应帧,经过上行传输时延 $T_{td_u}$ 之后到达OLT。

现有的光纤长度计算公式如下:

$$T_{td_d}+T_{td_u}+T_{response}+EqD=Teqd \quad (1)$$

$$T_{td_d}:T_{td_u}=n_{1490}:n_{1310} \quad (2)$$

$$L=T_{td_d} * V_{odn_d}=T_{td_u} * V_{odn_u} \quad (3)$$

其中Teqd、EqD是局端通过PLOAM消息下发到ONU的, $T_{response}$ 为ONU处理测距请求报文的时间,一般设定为35us, $T_{td_d}$ 、 $T_{td_u}$ 为OLT与ONU之间的上下行数据传输时延,若只考虑光纤中的传输时延时,两者之间与上下行波长相关, $V_{odn_u}$ 、 $V_{odn_d}$ 为光在上下行光纤中的传播速度,由公式1、2、3可计算出光纤的长度L。

利用此公式进行计算时,会有一些的误差,这是因为将电路的延迟特性也当作光纤的传播时延进行计算。数据在无源光网络中通信时,传输时延既包括数据在光纤中的传播时延,也包括数据在电路上的时延,电路时延主要包括光电转换、串并转换以及协议处理与解析的时间等。其中光纤的传播时延是跟折射率有关的,可以

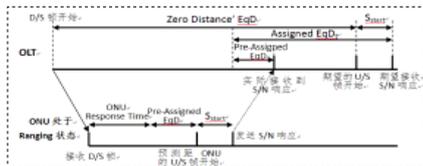


图1 GPON测距原理

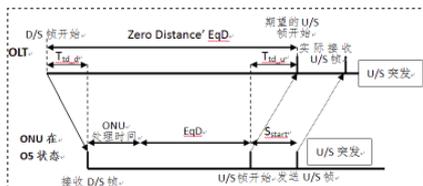


图2 GPON ONU 上线之后的工作时序

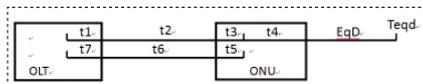


图3 GPON计算传输时延的示意图

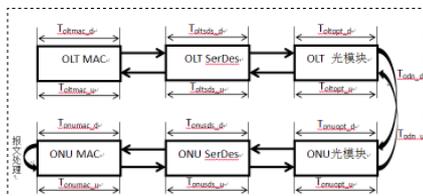


图4 无源光网络数据传输时延示意图

用来计算光纤的长度。而电路时延部分是跟光路折射率无关的,在进行光纤长度计算时,将这部分作为光纤往返时延的一部分会引起误差。因此在应用上述公式计算时,必须对公式进行校正,通常是把电路时延值转化到ONU处理报文时间上,通常应用上述公式对标准长度的光纤进行测量,根据测量的偏差对 $T_{\text{response}}$ 的值进行修正,得出与特定OLT、ONU匹配的值,这样才能比较精确地进行光纤长度的测量。

这种测量方法的缺点是对不同的OLT、ONU都需要测量,OLT必须知道ONU是什么类型,ONU必须知道OLT的产品类型。ONU每使用一款新的GMAC芯片,必须使用标准长度光纤重新测量ONU处理时间,并通过OMCI报给ONU。同理,OLT每使用一款新的GMAC芯片,必须使用标准长度的光纤进行测试,并根据测试的差异,对计算公式进行校正。

#### 4. GPON时间同步原理

无源光网络中时间同步的目的是将OLT的时间基准准确地传递到各ONU,目前GPON的时间同步过程如下<sup>[3]</sup>:

(1) OLT首先与上一级设备完成时间同步;

(2) OLT计算出第X个Super Frame到达ONU<sub>i</sub>时对应的时间 $T_{x,i}$ ;

(3) OLT通过OMCI消息告知ONU<sub>i</sub>,当第X个Super Frame到达ONU<sub>i</sub>时对应的 $T_{x,i}$ ;

(4) ONU<sub>i</sub>收到该OMCI消息后,对 $T_{x,i}$ 进行相应的补偿,得到精确的第X帧到达时间 $\text{Real\_}T_{x,i}$ ;

(5) ONU<sub>i</sub>在第X帧到达时,将其本地时间设置为 $\text{Real\_}T_{x,i}$ 即完成时间同步。

时间同步的基础是OLT与ONU两端的super count是同步计数的,当OLT与ONU同时锁定某个super count时将锁定的时间记录下来,同时ONU对该时间进行补偿达到两端同步。为此,ONU需要获取OLT到本端的传输时延,根据该传输时延对OLT分配的时间进行补偿以达到时间同步的目的。为此,需要分析OLT到ONU的传输时延。

图3是GPON计算传输时延的示意图,其中: $t_1$ 为OLT的发送电路处理和电/光转化时间, $t_2$ 为OLT到ONU的光纤传输时间, $t_3$ 为ONU的接收电路处理和光/电转化时间, $t_4$ 为ONU处理报文的时间, $t_5$ 为ONU发送电路处理和电/光转化时间, $t_6$ 为ONU到OLT的光纤传输时间, $t_7$ 为OLT接收电路和光/电转化时间, $t_1$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ 及 $t_7$ 之和称为设备响应时间,其值不超过50us<sup>[2]</sup>。

目前时间同步方案中,ONU的调整时间计算方式为: $t = t_1 + t_2 + t_3 = (\text{TeqD} - \text{EqD} - t_4) / 2$  (假设 $t_1 + t_2 + t_3 = t_5 + t_6 + t_7$ )。其中 $\text{TeqD}$ 和 $\text{EqD}$ 是局端通过PLOAM消息下发到ONU的, $t_4$ 是ONU处理报文的时延,一般取35us。

在实际测试过程中,由于 $t_4$ 不是精确

值,可引入 $\pm 1\mu\text{s}$ 的误差<sup>[3]</sup>, $t_1 + t_2 + t_3$ 与 $t_5 + t_6 + t_7$ 严格意义上是不相等的,导致ONU按照上述算法进行调整之后的时间与OLT的时间会有一些的偏差。由于这个时间差是个固定值,引入该误差的主要因素是ONU的处理时延,因此目前的时间同步方案是使用示波器测量OLT与ONU之间的PPS秒脉冲信号,根据实际测试测量误差,修正 $t_4$ 的取值。ONU的时间调整量计算获得之后,将该参数写入到相关硬件中,把时间调整量作为产品的一个参数发布到版本中。

同现有的光纤测距方案一样,目前时间同步方案中的 $t_4$ 也是个跟OLT、ONU的电路层时延相关的参数,每次更换OLU与ONU的MAC芯片,就需要对 $t_4$ 的值进行调整才能实现精确时间同步的目的,因此,此方案的兼容性不好。

#### 5. 光纤测距与时间同步方案的改进

由以上分析可知,要解决精确测量光纤长度以及时间同步问题,必须准确获得数据在各个过程中的传输时延,为此需要分析数据在OLT、ONU之间的传输过程。

下行数据在OLT的MAC层要进行协议封装、成帧处理,之后送入Serdes进行并/串转化,串行数据经过光模块进行电/光转化形成光信号,光信号经下行光纤传输到ONU。ONU的光模块对光信号进行光/电转化以及数据、时钟恢复,恢复之后的信号通过Serdes进行串/并转化,最后到达MAC进行协议的解析。ONU在处理完报文之后发送上行回应报文,上行数据的处理过程与下行一致。在各个数据处理环节中都会有延时,如图4所示。

其中, $T_{\text{oltmac}_d}$ 、 $T_{\text{oltsds}_d}$ 、 $T_{\text{oltopt}_d}$ 表示下行数据在OLT侧MAC层、Serdes及光模块上的处理时间, $T_{\text{onuopt}_d}$ 、 $T_{\text{onusds}_d}$ 、 $T_{\text{onumac}_d}$ 对应下行数据在ONU侧的处理时间, $T_{\text{odn}_d}$ 、 $T_{\text{odn}_u}$ 表示数据在上下行光纤中的传输时间。 $T_{\text{onumac}_u}$ 、 $T_{\text{onusds}_u}$ 、 $T_{\text{onuopt}_u}$ 、 $T_{\text{oltopt}_u}$ 、 $T_{\text{oltsds}_u}$ 、 $T_{\text{olmac}_u}$ 为上行数据处理时间。

要精确测量光纤长度,需要精确计算出数据在光纤中的传输时延 $T_{\text{odn}_d}$ 、 $T_{\text{odn}_u}$ ,要精确实现时间同步,必须精确地得到下行数据在光纤中的传输时延 $t = T_{\text{olmac}_d} + T_{\text{oltsds}_d} + T_{\text{oltopt}_d} + T_{\text{odn}_d} + T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d}$ 。

由GPON的测距原理可得出:

$$Rtd = T_{\text{olmac}_d} + T_{\text{oltsds}_d} + T_{\text{oltopt}_d} + T_{\text{odn}_d} + T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d} + T_{\text{response}} + T_{\text{onumac}_u} + T_{\text{onusds}_u} + T_{\text{onuopt}_u} + T_{\text{odn}_u} + T_{\text{oltopt}_u} + T_{\text{oltsds}_u} + T_{\text{olmac}_u} \quad (4)$$

$$Rtd + \text{EqD} = \text{TeqD} \quad (5)$$

$$T_{\text{odn}_d} \cdot T_{\text{odn}_u} = n_{1490} : n_{1310} \quad (6)$$

为了求出数据在光纤中的传输时间 $T_{\text{odn}_d}$ 、 $T_{\text{odn}_u}$ ,OLT需要知道:

$$1) T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d} + T_{\text{onumac}_u} + T_{\text{onusds}_u} + T_{\text{onuopt}_u}$$

$$2) T_{\text{response}} \\ 3) T_{\text{olmac}_d} + T_{\text{oltsds}_d} + T_{\text{oltopt}_d} + T_{\text{oltopt}_u} + T_{\text{oltsds}_u} + T_{\text{olmac}_u}$$

其中,Serdes的处理时间、光模块的处理时间以及ONU处理报文的时间可通过查阅相关手册得到,数据在MAC层的处理时间可通过软件仿真得到。ONU可通过业务层将上述参数上报到OLT。

由公式4、5、6可以得出 $T_{\text{odn}_d}$ 、 $T_{\text{odn}_u}$ ,据此,可以计算出光纤长度:

$$L = (\text{TeqD} - \text{EqD} - T_{\text{total}}) * c / (n_{1490} + n_{1310})$$

其中 $T_{\text{total}}$ 为数据在电路、光路上的总耗时以及ONU处理测距请求报文的时间 $T_{\text{total}} = T_{\text{olmac}_d} + T_{\text{oltsds}_d} + T_{\text{oltopt}_d} + T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d} + T_{\text{onumac}_u} + T_{\text{onusds}_u} + T_{\text{onuopt}_u} + T_{\text{oltopt}_u} + T_{\text{oltsds}_u} + T_{\text{olmac}_u} + T_{\text{response}}$ 。

因此,在GPON及XGPON-1光纤测距中,ONU需要向OLT提供的参数包括ONU的上下行电路时延以及ONU处理测距请求报文的时间,即 $T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d}$ 、 $T_{\text{onumac}_u} + T_{\text{onusds}_u} + T_{\text{onuopt}_u}$ 、 $T_{\text{response}}$ 。在时间同步时,OLT需要向ONU提供下行传输时延的精确值,即本方案中的 $t$ 。

在GPON协议中,是通过OMCI消息实现OLT对ONU的管理控制<sup>[4]</sup>,ONU在向OLT注册时建立OMCI通道。目前的GPON协议允许OLT对ONU进行配置管理,包括从ONU收集数据和向ONU提供数据。因此,我们可以构造交互上述数据所需的OMCI报文,OLT与ONU在接收到相关报文之后即可进行光纤长度的计算以及时间同步的校正。

由于EPON与GPON在测距以及时间同步技术上的相似性,上述方案也可应用于EPON领域。

在EPON测距方案中,OLT测量得到的往返时延只跟上下行电路时延以及光路时延有关,与ONU处理报文的时间无关。为了精确测量光纤长度,ONU需要向OLT上报ONU上下行的电路时延,即 $T_{\text{onuopt}_d} + T_{\text{onusds}_d} + T_{\text{onumac}_d} + T_{\text{onumac}_u} + T_{\text{onusds}_u} + T_{\text{onuopt}_u}$ 。OLT需要根据自身的电路时延、测量得到的往返时延以及ONU上报的电路时延计算出数据在光路中的传输时间,进而得出光纤的精确长度。在时间同步时,OLT需要将精确的时间调整量(即本方案中的 $t$ )下发给特定的ONU。

在EPON协议中,OLT通过OAM报文实现对ONU的远程操作、维护、管理<sup>[5]</sup>,扩展的OAM报文应该支持ONU的基本信息和能力通告。因此,可以构造扩展OAM报文实现上述数据的通告与交互,通信双方在接收到相关的报文之后即可进行光纤长度的精确计算以及时间同步的精确调整。

#### 6. 结束语

本文在分析GPON的测距原理的基础上,对现行的无源光网络光纤测距及时间同步方案进行阐述,指出现行方案兼容性

# 智能控制机电一体化系统中的应用探讨

随州职业技术学院 官 腾

**【摘要】** 智能控制，这一概念对于我们早已不在陌生，其必将成为21世纪机电一体化系统发展的主要方向。本文探讨了智能控制与机电一体化发展的关系，并重点阐述了智能控制在机电一体化系统中的应用。

**【关键词】** 智能控制；机电一体化；应用

集成电路技术的飞速发展使机电一体化技术的发展奠定了坚实的基础，机电一体化技术日益成熟的同时，得到了极为广泛的应用，各种工业生产中越来越多地涉及到了机电一体化技术，其极大地改变了我们的生活方式。随着生产要求的进一步提高，对机电一体化技术的控制效果的要求也逐步提高。许多工业对象或生产过程常常具有非线性、时变性、变结构、多层次、多因素以及各种不确定性等，难于建立精确的数学模型，即使对一些复杂对象能够导出数学模型，但过于复杂，既不利于设计，也难于实现有效控制。而智能控制的出现和不断发展，为解决这些问题提供了有效的方法。越来越多的智能控制方法在机电一体化系统中得到应用，智能控制在机电一体化系统中的研究也日益受到重视，从智能机器人到数控机床的智能化，无不体现了智能控制的重要性。

## 1. 关于智能控制

智能控制这个词对我们来说，早已不在陌生，几乎充斥于生活生产的方方面面，究竟什么是智能控制呢？所谓智能控制，就是指在无人干预的情况下能自主地驱动智能机器实现控制目标的自动控制技术，是用计算机模拟人类智能的一个重要领域。传统的控制只是智能控制中的一个组成部分，是智能控制最底层的阶段。智能控制是由多个学科相互交叉所形成的学科，它的理论基础包括信息论、自动控制论、运筹学及人工智能等内容。智能控制具有以下特征：一是智能控制的核心在高层控制；二是智能控制器具有非线性特性；三是智能控制具有变结构特点；四是智能控制器具有总体自寻优特性；五是智能控制系统应能满足多样性目标的高性能要求；六是智能控制是一门边缘交叉学科；七是智能控制是一个新兴的研究领

域。智能控制的类型包括：一是分级递阶控制系统；二是专家控制系统；三是集成混合控制；四是人工神经网络控制系统；五是模糊控制系统；六是学习控制系统；七是进化计算与遗传算法；八是组合智能控制方法等。总之，智能控制系统具有极强的学习功能、组织功能及适应性功能，其在机电一体化方面的广泛应用是当前智能控制的一大发展趋势。模糊系统、遗传算法、专家系统及神经网络是应用在机电一体化系统中的最常见的四种技术，它们之间存在着相互依存、相辅相成的关系。

## 2. 智能控制与机电一体化的关系论述

事实上，智能控制是21世纪机电一体化发展的必然趋势。机电一体化技术在国外的起步时间相对较早，发展相对成熟，早在20世纪90年代，发达和较发达国家的机电一体化技术就开始逐渐步入智能控制的阶段。一方面，通信技术、光学等加入到机电一体化行列中，微细加工技术也逐步在机电一体化中得以有效应用，出现了微机电一体化及光电一体化等新的分支结构；另一方面，有关机电一体化系统建模的分析、设计以及集成方法，机电一体化学科体系及发展趋势等都开展了深刻的研究。同时，因为神经网络技术、人工智能控制和光纤技术等多领域都有了较大进步，这为机电一体化的技术发展提供了广阔空间，也为产业化奠定了基础。智能控制已成为21世纪机电一体化发展的必然趋势，它在控制理论的基础上，加以运筹学、模糊数学、计算机科学、生理学、心理学、混沌动力学及人工智能等众多新方法、新思想，通过对人类智能的模拟，使其具有思维逻辑、判断推理能力以及决策能力，以获得更准确的控制目标。智能控制已经在机电一体化系统研究中日益受到重视，建筑智能化及机器人的智能化就是其典型应用。

## 3. 智能控制机电一体化系统中的应用

### 3.1 数控领域

机械制造业是最早应用数控技术的行业，它担负着为国民经济各行业提供先进装备的重任。应该重点研制开发与生产现代化军事装备用的高性能三轴和五轴高速立式加工中心，五坐标加工中心，大型五坐标龙门铣等；汽车行业发动机、变速箱、曲轴柔性加工生产线上用的数控机床和高速加工中心，以及焊接、装配、喷漆机器人、板件激光焊接机和激光切割机等；航空、船舶、发电行业加工螺旋桨、发动机、发电机和水轮机叶片零件用的高速五坐标加工中心、重型车铣复合加工中心等。在数控领域，不仅需要智能控制有很高的性能，而且还要具有一定的延伸、模拟和扩展的知识处理功能。比如加工运动推理、决策、规划能力以及网络通信制造的能力、感知加工环境的能力、智能般控、智能数据库、智能编程等，能够自组织、自适应、自寻优、自学习、自规划、自识别、自整定、自繁殖、自修复等。在进行控制时使用经典控制理论，如果遇到有很多信息模糊，或者是有许多的环节没有办法建模，那么在这样的时候运用智能控制的思路，就可以实现经典控制根本无法实现的最佳效果。形成智能控制理论的其中一个方法模糊控制就是为了实现优化加工过程的控制。对于那些在专门的领域中结构不是很明确、没有办法确定它的算法的知识推理的问题，用专家系统就能够很好地解决。它可以把对很多个数控机床的专家经验综合到一起，然后利用一定的推理规则，根据具体的故障信息，推理出指导性的意见。

### 3.2 模糊控制

随着计算机及其相关技术的发展，模糊控制也由最初的经典模糊控制发展到自

较差的原因。在对无源光网络数据传输过程进行分析的基础上，提出了解决兼容性问题解决办法，在利用本方法进行时间同步及光纤长度的测量时，数据在各部分传输的时延值都可准确获得，不再需要利用经验值进行补偿，不同的OLT与ONU之间可以兼容。同时，由于无源光网络的相似性，此方法也可应用在EPON上。

## 参考文献

- [1] ITU G.984.1, Gigabit-capable Passive Optical Networks(GPON): General characteristics[S]. 2003.
- [2] ITU G.984.3, Gigabit-capable Passive Optical Networks(GPON): Transmission convergence layer specifications[S]. 2003.
- [3] 隋猛, 罗远秋, 基于PON的时间同步技术[J]. 电信技术, 2010(08).

- [4] ITU G.984.4, Gigabit-capable Passive Optical Networks(GPON): ONT management and control interface specification[S]. 2004.
- [5] IEEE 802.3EFM, IEEE Std 802.3ah-2005.

作者简介：陈重波（1986—），男，福建安溪人，硕士研究生，现就读于厦门大学电子工程系。