

An EPON Traffic Analysis Method for Distribution Networks with Time Delay Optimization

Yihui Zhang¹, Xiangyu Chen², Huifeng Zhao¹, Wenjian Hu¹

¹State Grid Shijiazhuang Electric Power Supply Company Information and Communication Branch Company, Shijiazhuang Hebei

²State Grid Shijiazhuang Electric Power Supply Company, Shijiazhuang Hebei
Email: sjz_zhangyh3@qq.com, cxiangyulf@sina.com.cn, zhf6163@126.com

Received: Jun. 2nd, 2017; accepted: Jun. 25th, 2017; published: Jun. 28th, 2017

Abstract

EPON is a common communication and networking technology used in distribution network. In order to allocate the bandwidth of the EPON network effectively, the transmission slot is allocated by the interleaving method with adaptive period. For solving the waiting and delay caused by the fixed polling cycle, it is necessary to analyze and forecast the traffic of the ONU. In order to reduce the delay, an algorithm for predicting the arrival time and period duration of a single EPON cycle data frame by using the least mean square polynomial and the least mean square adaptive filtering method is proposed. Using the analysis of the frame arrival time and the next cycle duration, calculate the amount of data accumulated in the next cycle, and then allocate the corresponding bandwidth and transmission cycle. Simulation results show that the algorithm can adapt to different load and traffic burst networks, which can effectively reduce the network delay.

Keywords

Distribution Network, EPON, Delay, Traffic Analysis, Monitor

一种面向时延优化的配用电通信网EPON流量分析方法

张益辉¹, 陈香宇², 赵会峰¹, 胡文建¹

¹国网石家庄供电公司信通分公司, 河北 石家庄

²国网石家庄供电公司, 河北 石家庄

Email: sjz_zhangyh3@qq.com, cxiangyulf@sina.com.cn, zhf6163@126.com

收稿日期：2017年6月2日；录用日期：2017年6月25日；发布日期：2017年6月28日

摘要

EPON是配用电通信网中一种常用的通信和组网技术。在传输过程中，需要有效分配EPON网络的带宽，通常利用具有自适应周期的交错轮询方法分配传输时隙。为了解决固定轮询周期造成的等待和延迟，需要对ONU的流量进行分析和预测。本文以减小延迟为目的，提出了一种利用最小均方多项式和最小均方自适应滤波法预测单个EPON周期数据帧到达时间和周期持续时间的算法。利用分析得到的帧到达时间和下个周期持续时间，计算下个周期累积的数据量，进而分配对应的带宽和传输周期。仿真表明，该算法可以适应不同承载负荷与流量突发性网络，可以有效降低网络延迟。

关键词

配电通信网, EPON, 时延, 流量分析, 监控

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，智能电网在国内飞速发展。智能电网作为现代化电力系统网络设施，利用自动化控制和现代通信技术，全面提高了电力和数据传输的效率、可靠性与设备安全性。智能电网的研究方向包括智能电网规划理论与方法、智能电网标准、智能调度体系、智能电力设备和智能电网通信技术等。配用电通信网是智能电网重要的组成部分，承担着电能分配、用电信息采集、电网质量监测等重要任务。配用电通信网大多采用光纤网络、电力线载波、无线公网等通信方式，其中，PON技术在安全性、实时性和传输带宽方面的性能更加优越，是配用电通信网组网中应用的重要技术。EPON是配用电通信网中常用的通信技术，因其具有高带宽、高可靠性、传输距离长、易于扩展、时延低、节省网络设备的优点，在配用电通信网骨干网建设中有着广泛的应用。EPON是基于PON技术和以太网协议的一种新的光纤接入技术，在物理层使用PON技术，在链路层则使用以太网协议。EPON通信系统一般由光线路终端(OLT)和光网络单元(ONU)和光分配网组成[1]。OLT提供PON光纤接口，ONU提供用户侧的业务接入服务[2]。多个ONU和OLT进行通信时，需要无源分光器进行信道分配和流量控制。为了控制多个ONU的接入和数据传输，提升网络性能，需要设计一种有效的带宽分配方法。目前的EPON网络建设中，常用的信道控制方法是具有自适应周期的交错轮询方法。该方法令OLT周期性地接收所有与之连接的ONU上的带宽请求，并根据此相应分配传输时隙。由于以ONU循环的方式进行时隙分配，没有考虑实时数据量的变化，会出现数据量较低的ONU在传输完成后仍然占用传输周期的情况，进而引发系统延迟。为了改进这种缺点，需要根据网络数据量情况，对EPON带宽或传输时隙进行合理分配，减少系统时延。

文献[3]利用进化算法遗传表达式设计了一种EPON流量分析方法，根据网络时间周期、数据包等待时间、当前带宽请求和历史带宽请求为每个传输周期进行动态带宽分配，以减少分组的传输延迟。该方法的优点是可以减少队列长度，增强网络QoS，缺点是并未考虑算法对于不同数据量的网络的适应程度和有效性。文献[4]研究了一种基于本地流量预测的动态带宽分配机制，该方法与静态带宽分配和交错轮

询算法相比,可以提高上行传输的带宽利用率和平均分组延迟,缺点是并未验证算法对下行传输的性能影响。文献[5]提出了一种基于流量自相关的动态带宽分配方法,基于设置的动态阈值,对流量进行周期性预测,根据业务优先级分配带宽。该算法的优点是可以为不同优先级的业务分配不同的贷款资源,降低上行信道空闲时间,改善丢包率,缺点是未能研究应对突发性流量的带宽分配。文献[6]根据接入网性能数据、用户数量和 QoS 需求来预估所需数据量,但未考虑实时数据量和突发数据量的影响。文献[7]提出了一种基于自适应交错轮询方法的 OLT 输入流量的监测方法,以降低完整模拟 EPON 网络流量的复杂性。但该方法只考虑了输入流量,未考虑网络输出流量特点。文献[8]介绍了 EPON 自适应链路速率控制方法,根据业务量的不同切换下行速率,以节约网络整体能耗。该方法对业务量进行实时监测,但未考虑对网络时延的影响。文献[9]介绍了一种与 hcDBA 算法相结合的 EPON 流量预测方法,该方法在时延方面略有改进,但算法复杂性较高。文献[10]提出一种基于业务分类的动态带宽分配算法,将上行链路分为不同的传输周期,根据传输时间动态调整传输带宽。该方法可以提高 EPON 带宽利用率,但对网络整体性能提升不足。文献[11]提出一种针对 ONU 业务优先级排队的动态带宽分配算法,通过引入预测保障高优先级业务的时延,但未考虑网络整体时延性能和突发性业务的保障能力。

在本文中,基于之前提出的动态带宽分配和流量分析方法,提出了一种在单个 EPON 时间周期内应用的流量控制方法。该方法利用最小均方多项式,预测下一帧到达时间和下个传输周期的持续时间,并为下一个发送周期动态分配带宽。ONU 根据两个时间量预计该阶段内缓存的数据量,并向 OLT 提出带宽分配需求。该算法应用于 ONU 内,可以兼容多点控制协议,并在较低的算法复杂度和实现成本下,实现对帧传输延迟的优化。

本文组织如下:第一章进行问题描述;第二章给出问题模型和关键参量的计算方法;第三章提出基于 ONU 的流量分析算法;第四章给出仿真结果;第五章给出结论。

2. 问题描述

本文设定一个 OLT 下连接多个 ONU,且 EPON 的上、下行速率不等。EPON 下行通信为连续方式,发送的以太网数据帧中载有 ONU 的标识逻辑链路标记,广播发送给每个 ONU 并实现数据帧的过滤[12]。当产生流量数据时,ONU 提出带宽需求,由 OLT 进行仲裁和带宽分配。OLT 和 ONU 遵从 MPCP 协议。光交换机聚合独立业务主站设备的数据帧,将输入流量馈送给 ONU。业务主站设备与 ONU 之间以以太网连接,传输速率固定。每个业务主站设备有两种状态,分别为忙碌状态和空闲状态,忙碌状态产生流量,空闲状态不产生流量,两种状态始终交替出现。各个业务主站设备之间的状态彼此独立。因此,ONU 的数据具备随机性和周期性,OLT 可以预测 ONU 下个周期产生的数据,并分配给 ONU 相应的传输时隙和带宽。业务主站设备与 ONU 之间的网络模型如图 1 所示。业务主站设备将流量传输到 OLT 中,OLT 遵循先到先得的服务原则,将这些流量按照到达时间进行排队。之后,通过分光器将输入流量馈送给 ONU。ONU 的缓冲区容量和下一周期的到达时间都会影响轮询周期中的等待时间。

3. 问题模型

对于每个业务主站设备,忙碌状态和空闲状态的分布如公式(1)所示。

$$f(x) = \frac{p \cdot q^p}{x^{p+1}} \quad (1)$$

其中,参数 p 和 q 分别与业务主站设备平均忙碌时间 T_B 和平均空闲时间 T_E 有关。本文假定业务主站设备产生的数据遵循帕累托效应。 T_B 和 T_E 的计算方法分别如公式(2)、(3)所示。

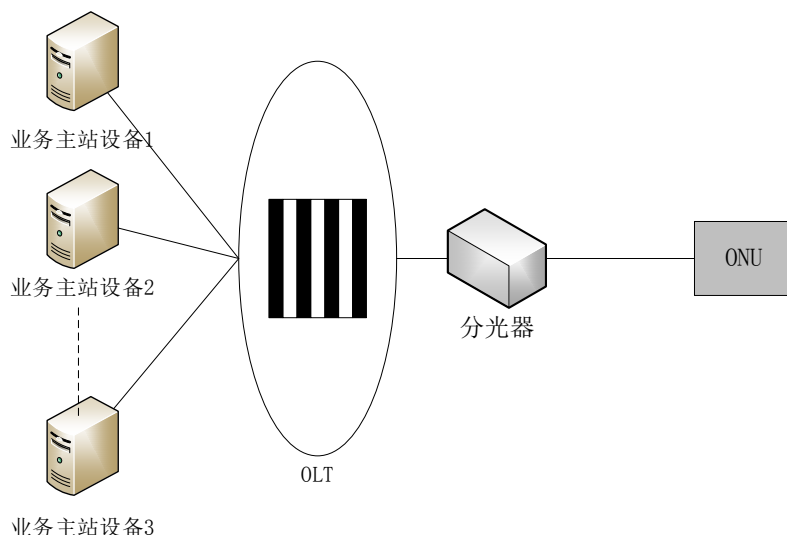


Figure 1. EPON network structure illustration
图 1. EPON 网络结构示意图

$$T_B = \frac{x_B \cdot y_B}{x_B - 1} \quad (2)$$

$$T_E = \frac{x_E \cdot y_E}{x_E - 1} \quad (3)$$

x_B, y_B, x_E, y_E 分别是帕累托参数。每个时间周期对应于单个轮询时间，通过得到每个业务主站设备上的平均忙碌时间和空闲时间，再根据 ONU 的数量 N_{ONU} 、与每个 ONU 连接的业务主站设备数 N_{host} 和单个业务主站设备的负载 k_{host} ，可以计算出网络需要提供的负载 K ，如公式(4)所示。

$$K = N_{ONU} \cdot N_{host} \cdot k_{host} = N_{ONU} \cdot N_{host} \cdot \frac{T_B}{T_B + T_E} \quad (4)$$

定义 l 为 ONU 到 OLT 之间的距离， R_s 是 EPON 的下行线路速率， R_u 是 ONU 的上行链路速率， R_h 是业务主站设备的链路速率。

OLT 和 ONU 通过自适应周期时间的交错轮询方案进行通信。在每个周期中，OLT 向 EPON 中的所有 ONU 发送携带带宽门限的授权信息。ONU 按照门限消息中规定的协议方式响应并发送其数据，因此，在上行通信可以实现无冲突传输。除了发送 ONU 自身的数据之外，ONU 还会发送通知消息，告知 OLT 它们的带宽需求，即 ONU 的缓冲区大小。在周期结束后，OLT 会接收所有 ONU 的通知消息。此时，OLT 开始执行动态带宽分配算法，计算下一个周期的带宽需求，并且进行新一轮的门限信息和通知信息的传送。

但是，动态带宽分配的过程需要考虑在轮询交错的时间点产生的数据及其带宽分配的影响。主要分为两种情况：第一种是已经在接近周期开始时产生的数据，这部分数据需要提前报告给 ONU，并作为这个周期的缓存数据；另一种是在临近结束时产生的数据，这部分数据需要延迟报告给 ONU，并作为下个周期的累积数据。这类突发性的数据可能会导致额外延迟和流量分析误差。对于这类情况，本文利用如下方法进行解决。首先，让每个 ONU 正好在生成当前周期的报告消息之前，通过估计其缓冲区的占用率进行预测，进而接收下一个周期的门限信息。然后，ONU 可以使用报告信息将预测结果传达给 OLT，而非向 OLT 报告当前的缓冲区大小。

4. 流量分析算法

本文提出一种 ONU 缓冲区的流量分析方法。定义瞬时 ONU 的缓冲区大小 $C(t)$ ，下一个周期的门限消息到达时间为 $T(n+1)$ 。ONU 设定日志，记录每次接收数据帧的大小 X_i 和到达的时间 t_i 。当数据帧到达时，对应的 ONU 缓冲器存储字节数 G_i 会增加。通过监控两次报告信息之间的发送数据帧来估算瞬时缓冲器的大小，如公式(5)所示。

$$G_i = G_{i-1} + X_i \quad (5)$$

在开始时刻，需要得到 ONU 初始队列大小 G_0 作为初始参数。之后根据到达时刻和数据帧的大小，利用 k 项多项式方程计算经过的时间 t 和缓冲区大小 $C(t)$ ，如公式(6)所示。

$$C(t) = m_0 t^0 + m_1 t + m_2 t^2 + \dots + m_k t^k \quad (6)$$

公式(6)中的系数 m_0, m_1, \dots, m_k 为最小均方参数，可参考文献[13]、[14]的归一化最小均方算法。各个 ONU 的缓冲区容量计算如公式(7)所示。

$$\begin{bmatrix} 1 & \dots & t_0^k \\ 1 & \dots & t_1^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & t_n^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_0 \\ m_1 \\ \vdots \\ m_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

通过以上计算，ONU 可以在给定的时间 t 预测将来的缓冲区容量。不过，当 ONU 创建通知信息时，下一个周期的门限信息到达时间并不确定，存在一定的随机性，因此 ONU 也需要预测门限信息的到达时间。本文通过归一化最小平方(NLMS)预测滤波器来预测 ONU 门限信息的到达时间。定义 ONU 预测的下一周期的门限信息到达时间为 $T(n)$ ， $T(n)$ 的求解如公式(8)所示。

$$\hat{T}(n) = \sum_{i=1}^p w_n(i) \cdot T(n-i) \quad (8)$$

其中， p 是归一化最小平方滤波器的阶数， $w_n(i)$ 是在每个周期的滤波器系数， $w_n(i)$ 的计算方法如公式(9)、(10)所示。

$$w_n(i) = w_{n-1}(i) + M \cdot e(n-1) \cdot \frac{T(n-i)}{\sum_{k=1}^p (T(n-k))^2}, i=1, \dots, p \quad (9)$$

$$e(n-1) = T(n-1) - \hat{T}(n-1) \quad (10)$$

其中， M 是归一化最小均方算法的计算步长。

ONU 缓冲区大小的预测算法归纳如图 2 所示。首先，不断监视日志文件中主机的传入流量，直到从 OLT 接收到门限通知消息。在接收到门限消息后，记录其到达时间 $T(n-1)$ 。利用流量记录来估计瞬时缓冲区大小，再利用先前的门限信息到达时间预测下一个门限信息的到达时间 $T(n)$ 。结合之前的缓冲区大小和 $T(n)$ ，估计接收下一个门限信息时候的预期缓冲器大小。之后进行信息发送。首先发送接收到的门限信息中分配的帧数，然后发送携带带宽请求的报告信息。最后，将流量日志设置为剩余的缓冲区大小，并从算法第一步开始继续循环。

5. 仿真

本文定义 EPON 网络架构为 1 个 OLT 连接 8 个 ONU，OLT 和 ONU 之间的距离固定为 12 公里。定义 EPON 上行速率为 1 Gb/s，下行速率为 10 Gb/s，业务主站设备的传输速率是 100 M/s。定义共有 15 个

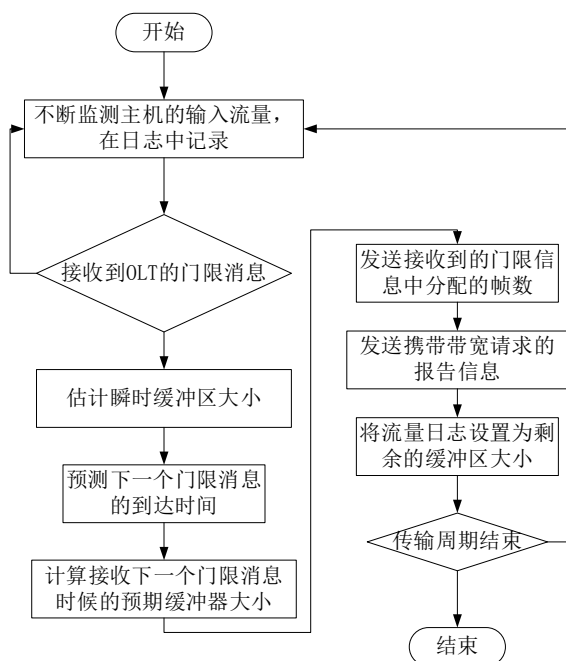


Figure 2. Flow analysis algorithm flow chart
图 2. 流量分析算法流程图

业务主站设备与光交换机相连, 输入流量再从光交换机馈送给每个 ONU。业务主站设备以 1000 字节的以太网帧形式传送数据。本文只分析多项式阶数为 2 的多项式预测算法。为了模拟不同通信流量突发情况, 在仿真中, 设计了高突发性、中等突发性和低突发性三种流量分布对应的参数, 即分别设置参数 $p=1.2, 1.5, 1.8$ 。仿真分析图分别如图 3, 图 4 所示。图 3 表示了当 $p=1.5$ 时流量分析算法降低延迟的能力, 图 4 表示了不同流量突发情况下分析算法的性能特点。

通过分析图 3, 可以得出, 当网络流量相对平稳、中等负载的环境下, 流量分析算法可以为网络节约 25% 的延迟。在低承载负荷条件下, 算法的性能优化效果较低。负载越高, 延迟降低程度越大。因此, 该算法在平稳流量及中、高等负载的网络性能表现良好。

通过分析图 4, 可以得出, 当网络的流量突发性增强时, 算法的性能略有下降。通过对比可以看出, 在三种流量突发性条件下, 承载负荷在 50% 到 70% 的范围内, 均可以降低 25% 以上的延迟, 而对于流量突发性较强、承载负荷较高的网络, 算法性能受到一定影响。产生这种现象的原因是, 因为突发性流量持续的时间不规则, 算法在计算下一个消息到达时间的过程中, 会产生一定的误差。二阶多项式与一节多项式相比, 在一定程度上可以增强预测的准确度, 特别是在中等负荷的网络中, 对延迟的降低还很明显。但在高负荷网络中, 延迟降低程度有所下降, 维持在 10% 左右。

6. 结论

EPON 是配电通信网的一种常见通信方式。本文从降低通信延迟的角度考虑, 设计了一种 EPON 流量分析算法, 该算法利用多项式拟合和归一化最小均方算法, 改进了基本的交错轮询时间周期算法, 分别估算了瞬时 ONU 负载和轮询周期的持续时间, 预测下一次传输时的 ONU 缓冲区大小, 并报告给 OLT。基于动态流量和时间估计, 减少了轮询时间中的等待时间, 进而降低时延, 提高系统性能。仿真显示, 该算法相比于将实时 ONU 缓冲区数据量报告相比, 可以有效降低将 EPON 网络延迟降低 20%, 并且可以抵抗网络突发流量的影响。

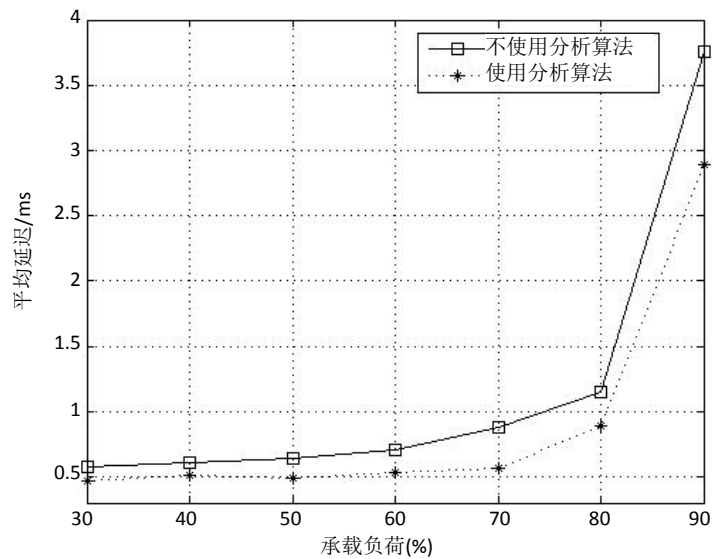


Figure 3. Delayed contrast diagram of traffic analysis algorithm under medium burst traffic distribution

图 3. 中等突发性流量分布下使用流量分析算法的延迟对比图

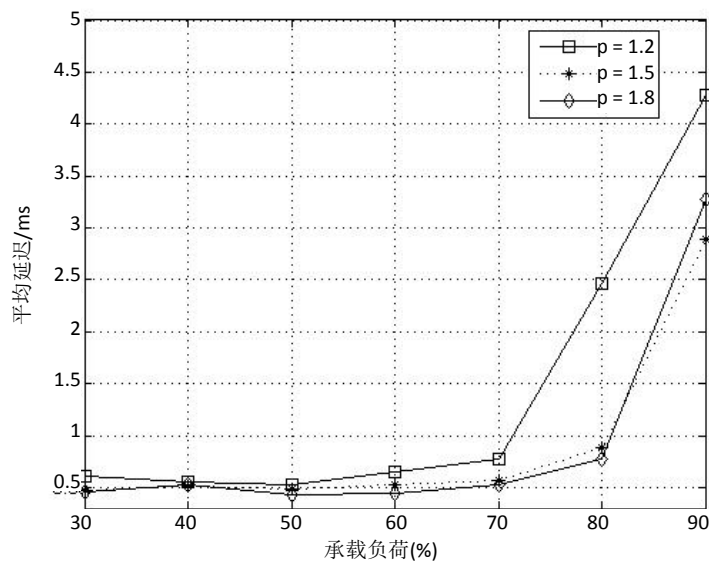


Figure 4. Flow analysis algorithm in different pulse flow under the delay comparison chart

图 4. 流量分析算法在不同脉冲的流量下的延迟对比图

基金项目

混合组网模式下的配用电通信网通道在线状态监测与质量管理平台开发及应用项目(KJ2016-002)。

参考文献 (References)

- [1] Liem, A.T., Lee, J.Y. and Hwang, I.S. (2012) QoS-Based Genetic Expression Programming Prediction Scheme in the EPONs. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, **8411**, 1589-1593.
- [2] Chan, C.A., Attygalle, M. and Nirmalathas, A. (2009) Local Traffic Prediction-Based Bandwidth Allocation Scheme in EPON with Active Forwarding Remote Repeater Node. *Optoelectronics & Communications Conference*, Hong Kong,

- 13-17 July 2009, 1-2. <https://doi.org/10.1109/oecc.2009.5215721>
- [3] 骆书剑, 颜璟仪. 配电通信网中基于流量预测的 EPON 动态带宽分配算法[J]. 电气应用, 2015(5): 48-52.
- [4] Segarra, J., Sales, V. and Prat. J. (2011) Access Services Availability and Traffic Forecast in PON Deployment. *13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Stockholm, 26-30 June 2011, 1-6. <https://doi.org/10.1109/icton.2011.5970909>
- [5] Turna, O.C., Aydin, M.A., Atmaca, T. and Zaim, A.H. (2011) Traffic Characterization Study on EPON Upstream Channel. *7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Istanbul, 4-8 July 2011, 1601-1606. <https://doi.org/10.1109/iwcmc.2011.5982670>
- [6] Kubo, R., Kani, J., Ujikawa, H., Sakamoto, T. and Fujimoto, Y. (2010) Study and Demonstration of Sleep and Adaptive Link Rate Control Mechanisms for Energy Efficient 10G-EPON. *Journal of Optical Communications and Networking*, **2**, 716-729. <https://doi.org/10.1364/JOCN.2.000716>
- [7] Turna, Ö.C., Aydin, M.A., Zaim, A.H. and Atmaca, T. (2012) Half Cycling Dynamic Bandwidth Allocation with Prediction on EPON. *IEEE Symposium on Computers & Communications*, Cappadocia, 1-4 July 2012, 898-902.
- [8] 高凡, 陈学卿, 赵素文. 一种高带宽利用率 10G EPON 动态带宽分配算法[J]. 光通信技术, 2016, 40(6): 25-27.
- [9] 张勇. 应用 Telnet 协议实现 EPON ONU 流量监测[J]. 有线电视技术, 2013, 20(9): 84-85.
- [10] 邢杨, 罗成, 林铭基. 支持多业务的 EPON 动态带宽分配算法[J]. 通讯世界, 2015(18): 5-6.
- [11] 姜吉光, 王登峰. 基于频率选择性滤波的归一化最小均方算法研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(12): 2874-2878.
- [12] 周元建, 谢胜利. 一种新 NLMS 自适应滤波算法及其在多路回波消除中的应用[J]. 通信学报, 2003, 24(7): 1-8.
- [13] 梁芝贤, 王剑, 唐万理. 智能配电网 EPON 技术应用研究及网络设计[J]. 电力系统通信, 2012, 33(2): 85-90.
- [14] 辛培哲, 李隽, 王玉东, 肖智宏, 刘丽榕, 刘颖. 智能配、用电网通信技术及组网方案[J]. 电力建设, 2011, 32(1): 22-26.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org