

基于 SDN 的配电网通信动态带宽分配算法

鲍兴川 彭林

(全球能源互联网研究院有限公司信息通信研究所 江苏 南京 210003)

摘要 针对配电网通信中存在的业务传输灵活性差、资源利用率低等问题,提出一种基于软件定义网络的自适应动态带宽分配算法。该算法对节点状态信息的收集与分析;通过软件定义网络控制器进行模块化控制并计算出最优带宽;根据资源分配情况进行休眠节能。该算法采用不同授权调整策略进行开发。实验结果表明,相比于传统混合 TDM/WDM-EPON 动态算法,该算法降低中低负载下的分组延迟以及平均队列深度,小负载节能百分比可达 93.2%,可以有效提高带宽资源利用率,达到节能效果。

关键词 软件定义网络 动态带宽分配 配电网

中图分类号 TP3 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2018.08.040

DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION ALGORITHM FOR DISTRIBUTION NETWORK COMMUNICATION BASED ON SDN

Bao Xingchuan Peng Lin

(Institute of Information and Communication, Global Energy Interconnection Research Institute, Nanjing 210003, Jiangsu, China)

Abstract Aiming at the problem of poor transmission flexibility and low resource utilization in distribution network communication, an adaptive dynamic bandwidth allocation algorithm based on software defined network was proposed. The algorithm collected and analyzed the state information of nodes, then modularized control and calculated the optimal bandwidth by SDN controller, and it saved energy based on the distribution of resources. The algorithm adopted different authorization adjustment strategy for development. The experimental results show that compared to the traditional hybrid TDM/WDM-EPON dynamic algorithm, the algorithm reduces the packet delay and average queue depth under medium and low load, and the energy saving percentage of small load can reach 93.2%. It can effectively improve the utilization rate of bandwidth resources and achieve the energy saving effect.

Keywords Software defined network (SDN) Dynamic bandwidth allocation Distribution network

0 引言

SDN 作为当前热门的新型创新技术架构,具备用户可编程的优势,同时在功能上实现网络设备数据面及控制面的分离,保证网络流量的灵活控制以提高网络带宽利用率。

传统的配电通信网由于其通信结构复杂、节点庞杂、分布地域分散等原因,难以提高网络资源利用率以较好地进行集中控制和统一部署,满足配电网多业务、多监测点、大数据量的通信需求^[1]。目前配电网通信

技术主要有如下几种:无线公网专线通信、配电线载波主从专网通信技术、光纤专网通信。无线公网专线通信技术的传输时延大、传输速率低、传输可靠性低,不适合进行高速可靠传输。配电线载波主从专网通信技术传输速率难以提高,抗干扰能力差,不适合对其加以改进优化。光纤专网通信技术中,传统无源光纤网络系统 PON(Passive Optical Network)技术主要有基于异步传输模式 ATM(Asynchronous Transmission Mode)传输协议的无源光网络 APON(ATM Passive Optical Network)、以太网无源光网络 EPON(Ethernet Passive Optical Network)、千兆比特无源光网络 GPON(Gigabit-Ca-

pable Passive Optical Network) 三种,其中:APON 技术系统复杂成本高,伴随着 ATM 技术的退化被淘汰;GPON 技术虽然具备着超高带宽下的高速传输,又能满足各种业务的服务质量,但其成本过高,实现技术复杂,目前普及率较低^[2];EPON 技术本着综合成本低、施工快捷、设备安全等优点,在配电通信网中已得到广泛应用^[3]。随着智能用电等业务的逐步推广,数据流量迅猛增长,传统的 EPON 技术已经无法满足传输速度的大幅提升和服务质量、安全性的提高。混合型 TDM/WDM-EPON 系统不仅能够提高速度,同时成本低且能保证更好的服务质量和安全性^[4]。

动态带宽分配算法最初由 Kramer 等^[2]在 2001 年提出。Mukherjee 等^[6]提出二级调度恒定比特率 CBR (Constant-Bit-Rate) 算法。该算法在原先自适应周期交叉轮询 IPACT (Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time) 算法的基础上增加了内部优先级调度,根据优先级数据将数据分配到不同的队列中进行缓存。然后在光网络单元 ONU (Optical Network Unit) 之间根据 IPACT 算法来进行调度。该算法虽然可以为较高优先级的数据业务提供带宽保证,但因其公平性算法的不足,因此不能保证延时业务和对带宽不敏感的业务公平地进行带宽分配。随后,由 MCGARRY 等提出 On-line 算法,该算法采用下一个可支持信道 NASC (Next Available Supported Channel) 策略并通过光线路终端 OLT (Optical Line Terminal) 进行波长调度,可以根据需求为 ONU 优先分配空余波长。但仅仅只考虑波长分配,而没有在时间分配上进行深入研究。虽然在某种程度上可以提高传输速度,但是由于上行带宽空闲较多,因此利用率较低^[7]。

文献[8 - 11]对动态带宽分配算法有深入研究,但在当前的配电通信网环境下,算法执行技术架构很少应用到 SDN 技术架构^[12]。而现今的配电网,越来越多的节点的共享接入,感知信息的快速灵活可靠传输,配电网更多业务的通信需求难以被保证。因此,考虑将算法技术架构与 SDN 技术架构相结合,以提高网络资源利用率,实现网络资源与能量资源的负载均衡。

本文的目标是在 SDN 架构下,研究配电网环境中基于 SDN 的自适应混合动态带宽分配算法;研究一种通过自适应感知睡眠机制来实现节能,以提升网络带宽和吞吐量、提高网络资源利用率与节能率、实现在配电网环境下使得更多的节点可以共享单个高容量的光纤接入,支撑多监测点、大数据量的配电网感知信息的高带宽无线传输。

1 系统结构

鉴于传统的混合型 TDM/WDM-EPON 动态带宽分配算法所表现出的不足,本文提出的算法系统结构如图 1 所示。

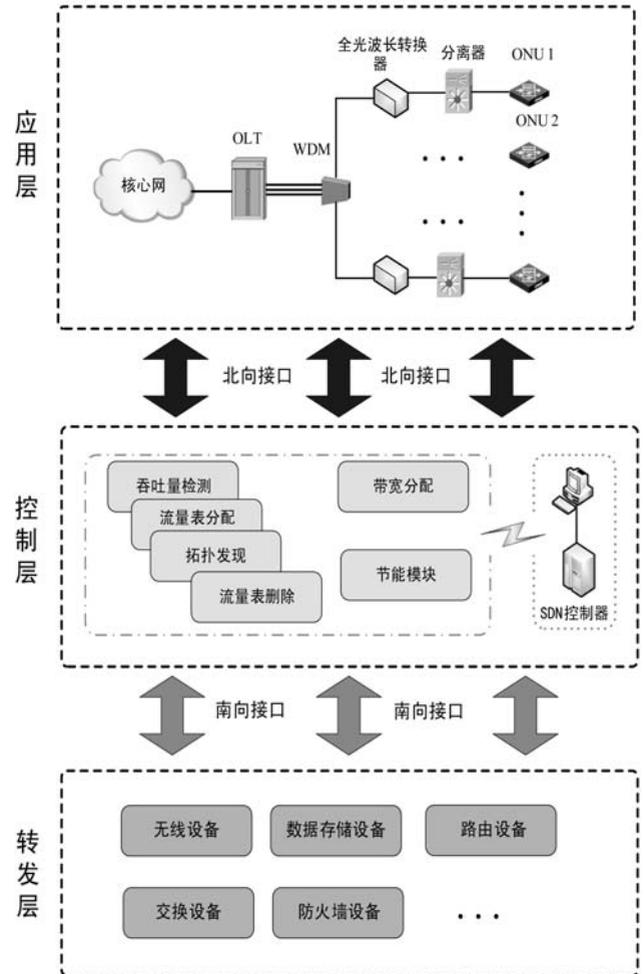


图 1 算法系统架构图

1.1 应用层

在应用层中,OLT 其位于 EPON 系统架构的局端,被放置在变电站的中央计算机机房中,而 ONU 则放置在远离馈线终端装置 FTU (Feeder Terminal Unit) 或配电变压器监测终端 TTU (Distribution Transformer Supervisory Terminal Unit) 的某些终端上,通过广播下发的方式实现点对多点的数据传输。数据从 OLT 传输至向下挂载的 ONU,而 ONU 采用时分复用的方式将数据上传至 OLT,从而实现数据双工双向的通信。每个 ONU 配有可调激光器,OLT 是可以连接至 ONU 并能接收数据的固定收发器,其可以根据 Report 消息首先分配可用波长,然后分配给各种 ONU。因此,该架构可以实现 OLT 利用动态波长和动态时隙进行分配。

1.2 控制层

控制层是整个系统架构的核心,主要通过模块完成以下任务:(1)由 SDN 控制器控制各模块独立运行,并将各模块形成的数据收集计算并下发至数据存储设备进行存储;(2)从吞吐量模块、拓扑模块中获取吞吐量大小、拓扑等信息形成全局流信息,并提供给 SDN 控制器模块计算;(3)根据 SDN 控制器模块计算得出的全局最佳带宽分配策略上传至应用层模型中,同时生成流量表下发至各个交换节点和路由节点;(4)SDN 控制器模块根据资源利用情况计算并通过调节节能模块实现对应用层资源分配的优化。其中节能模块被设计成两种模式,分为单轮询模式和多轮询模式。本文将 ONU 分解为四个模块进行实际测量,四个模块的能耗比例分别为以太网模块占 8.7%,交换模块占 15.4%,CPU 占 36.3%,光模块占 39.6%。当 ONU 在单轮询模式的时候,交换设备和光设备模块被部分关闭,但是以太网模块和 CPU 模块可以继续接收客户端数据。在多轮询模式中,SDN 控制器模块可以根据 ONU 的业务决定 ONU 休眠轮询周期,通常情况下 ONU 的睡眠时间设为轮询周期时间的整数倍数。同时在多轮询模式下,SDN 控制器模块只打开以太网模块,CPU 模块选择部分设备缓存用户数据,在睡眠周期结束之前,ONU 只打开光模块和交换模块。因此,该架构可以实现节能,提高网络资源的利用率与节能率。

1.3 转发层

在转发层中,各设备之间相互独立,通过无线设备、路由设备接收信息,由防火墙设备过滤有害信息。最终,转发层设备具体运行如下:首先由 SDN 控制器将控制层收录的信息写入数据存储设备;然后通过路由设备从数据存储中读出进行评估;最后交给 SDN 控制器模块制定全局最佳带宽分配策略。

2 算法设计

2.1 基于 SDN 的动态带宽分配算法

本文在 SDN 环境中实现算法,通过 SDN 控制器获取网络中所有 ONU 节点和 OLT 节点以及链路的状态信息。当所有 Report 信息被接收,根据资源分配选择进行休眠模式或工作模式,对于高负载和低负载 ONU 时,算法采取不同的调整策略。具体算法流程图如图 2 所示。

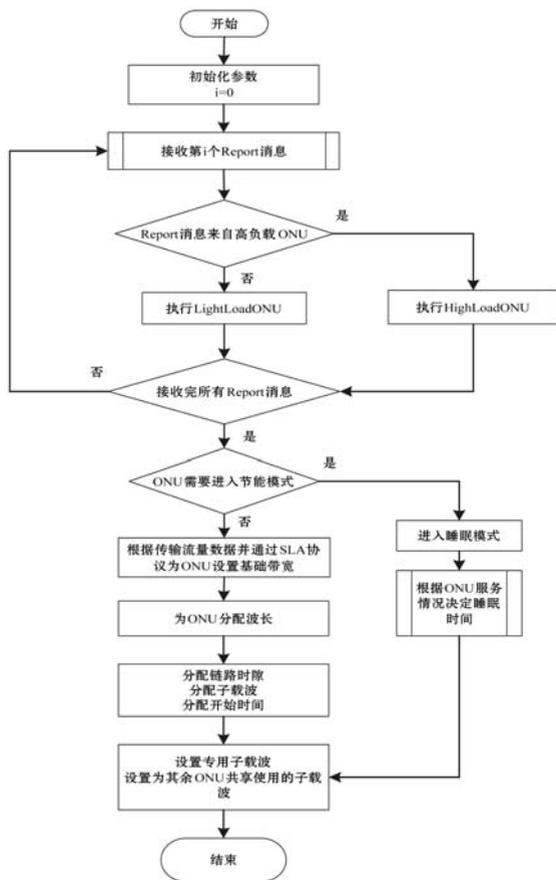


图 2 总体算法流程图

其中,HighLoadONU 算法伪代码如下:

```

Initial the Report Table;
Reset the total Bandwidth;
Set  $i = 0$ ;
if
    the  $i$ th Report from HighLoadONU
if
    all Bandwidth has been allocated
    in the current cycle
then
    Update Report Table;
    Reset excess bandwidth;
else
    end if;
else if
    the  $i$ th Report is the last one
then
    Allocate the bandwidth according to the proportion of
    bandwidth to all HighLoadONUs which have not provided services;
else
    end if;
return Report Table;

```

其中,LightLoadONU 算法伪代码如下:

```

Initial the Report Table;
Reset the total Bandwidth;
Set  $i = 0$ ;

```

```

if
  the ith Report from LightLoadONU
if
  all Bandwidth has been allocated in the current cycle
  Update Report Table;
  Reset excess bandwidth;
else
  Search for the minimum requests from HighLoadONU;
if
  find one bandwidth request
if
  bandwidth request can be allocated by excess bandwidth
in current cycle
  Allocated the bandwidth;
else if
  the ith Report is the last one
  Allocate the bandwidth according to the proportion of
bandwidth to all HighLoadONUs which have not provided services;
else
  end if;
  end if;
  return Report Table;

```

2.2 基于 SDN 的动态带宽分配算法计算

改进算法的目标是提升网络带宽和吞吐量,提高网络资源利用率与节能率。改进算法部分计算步骤如下:首先,每个 ONU 的最小保证带宽的大小取决于基于各自服务级别协议 SLA(Service Level Agreement)分配的权重,即满足:

$$\sum_{n=1}^N \rho_n = 1 \quad (1)$$

因此 OLT 可以为 ONU 分配的最小保证带宽可以计算为:

$$W_{\min}^i = \frac{(T_{cy} - N \times T_{gu}) \times v \times K \times \rho_i}{8} \quad (2)$$

式中: K 为波长的总数目。

假设每个 ONU 没有进行 SLA 分类,且满足对于任意的 ONU 都有:

$$\begin{cases} \rho_i = \rho = \frac{1}{N} \\ \sum_{n=1}^N \rho_n = 1 \end{cases} \quad (3)$$

那么最小保证带宽则为:

$$W_{\min}^i = \frac{(T_{cy} - N \times T_{gu}) \times v \times K}{8 \times N} \quad (4)$$

式中:对于轻载的 ONU 可以立即在特定的信道上进行调度,而不用等待其余的 ONU 发送 Report 消息。提前分配可以有效地提高延迟性能。但是,由于 OLT 将不得不跟踪从每个 ONU 接收到的每条 Report 消息,所以

这种方案可能会增加动态波长和带宽分配 DWBA(Dynamic Wavelength and Bandwidth Allocation)的设计和实现的复杂性。因此,OLT 必须存储每个 ONU 不同状态下的冗余信息以保证分配适当的传输窗口。小负载下,第 i 个 ONU 带宽分配的大小由最小保证带宽和剩余带宽组成,即:

$$W_{as}^{i,k} = W_{\min}^{i,k} + W_{ex}^{i,k} \quad (5)$$

式中:剩余带宽为:

$$W_{ex}^{i,k} = \frac{W_{re}^{i,k}}{W_{re}} \times W_{ex} \quad (6)$$

式中: W_{re} 为所有 ONU 的带宽请求, W_{ex} 为总剩余带宽。

本文提出的算法中,当需要的带宽大于最小保证带宽的时候,分配带宽 W_{as}^i 为:

$$W_{as}^{i,k} = \frac{W_{ne}^{i,k} \times (1 - \Lambda) \times W_{\min}^{i,k}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K W_{ne}^{i,k} \times (1 - \Lambda)} \quad (7)$$

式中: $W_{ne}^{i,k}$ 为第 i 个 k 路下的 ONU 所需要的带宽, Λ 为睡眠模式的权值(睡眠时为 1,非睡眠为 0)。

当需要的带宽小于等于最小保证带宽的时候,分配带宽 W_{as}^i 为:

$$W_{as}^{i,k} = W_{ne}^{i,k} \quad (8)$$

此时,在分配好带宽后,剩余带宽 $W_{ex}^{i,k}$ 为:

$$W_{ex}^{i,k} = W_{to}^{i,k} - W_{ne}^{i,k} \quad (9)$$

而其中 $W_{to}^{i,k}$ 为第 i 个 k 路的 ONU 分配的总带宽,式中的 W_{ne}^k 为:

$$W_{ne}^{i,k} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K W_{re}^{i,k} \times (1 - \Lambda) \quad (10)$$

当需要的带宽大于所剩余的带宽时,即当 $W_{ne}^{i,k} > W_{ex}^{i,k}$ 时,分配带宽 $W_{as}^{i,k}$ 为:

$$W_{as}^{i,k} = \frac{W_{ne}^{i,k} \times (1 - \Lambda) \times W_{ex} \times W_{re}^{i,k}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K W_{to} \times (1 - \Lambda)} \quad (11)$$

而当 $W_{ne}^{i,k} \leq W_{ex}^{i,k}$ 时,分配带宽 $W_{as}^{i,k}$ 为:

$$W_{as}^{i,k} = W_{ne}^{i,k} + \frac{W_{ex}^{i,k} \times (1 - \Lambda) \times W_{re}^{i,k}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K W_{ex}^{i,k} \times (1 - \Lambda)} \quad (12)$$

式中: $W_{exc}^{i,k}$ 为:

$$W_{exc}^{i,k} = W_{ex}^{i,k} - W_{re}^{i,k} \times (1 - \Lambda) \quad (13)$$

3 实验和算法评估

3.1 实验环境

本文使用 OPNET 14.5 实验平台模拟运行环境,硬件环境为联想 System x3850 (6241H4C),CPU 为

8x3.1 GHz,内存 4 × 32 GB DDR3 1 600 MHz,硬盘为 6 × 1.2 TB 硬盘 + 2 × 400 GB 固态硬盘,系统为 Windows 10。本文实验仿真利用 OPNET Modeler 软件进行建模,OPNET Modeler 采用三层建模机制,分别在应用层、控制层、转发层由下而上地进行建模。其中,应用层作为最高层次,由网络节点和连接网络节点的通信链路组成,由该层模型直接可以建立起仿真网络结构;控制层由协议模块和这些模块之间的各种连接组成,包括吞吐量检测、流量表分配、节能模块等,在该层可以建立起仿真网络中的网络模块模型,其中每个协议模块对应一个或多个进程模型;转发层作为底层,由各种网络设备和这些网络设备的连接组成,而这些设备可以采用外接的方式接入仿真环境。

基于 SDN 的自适应混合型 TDM/WDM-EPON 系统的系统节点模型主要分为 ONU 节点和 OLT 节点。实验模拟 64 个 ONU,模拟每条线路速率为 1 Gbit/s,每个周期为 2 ms,保护时间为 1 μs,光纤中的传播延迟大小设置为 5 μs/km。在实验中,流量服从帕累托分布,以 50:30:20 的比例分为三种不同的服务等级(高优先级业务队列 EF、中优先级业务队列 AF 和低优先级业务队列 BE)来生成流量。为保证最终的生成数据源更接近实际终端用户数据量需求,本文设置数据包大小均匀分布在 32 字节到 2 048 字节之间,其中 EF 业务采用泊松分布模型且数据包固定大小为 64 字节,上行传输速率不变,AF 业务和 BE 业务相似,具备长相关性,相关系数为 0.8。

3.2 对比实验

在本节中,为验证所提出的基于 SDN 的动态带宽分配的算法性能,从网络服务的端到端时延、业务的平均队列深度以及平均节能百分比方面与传统的动态带宽分配算法进行仿真分析。以下实验结果所涉及的参量值都是在经过多次仿真所得的结果。在 ONU 距离 OLT 最远的分组中,不同 ONU 网络负载下的时延如图 3 所示。

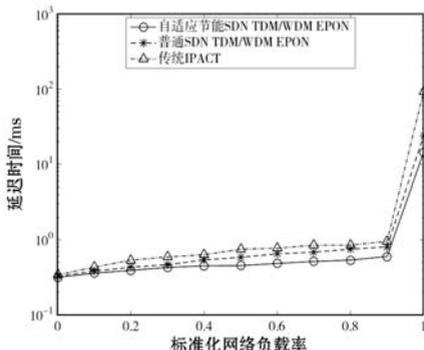


图 3 传统 EPON、TDM/WDM-EPON 及改进节能 SDN TDM/WDM-EPON 延迟比较

图 3 显示传统 EPON、混合型 TDM/WDM-EPON 与本文提出的基于 SDN TDM/WDM-EPON 三种 EPON 在较低的网络负载下具有的相似性能。根据实验仿真显示,随着网络负荷的增加,延迟分别比 IPACT 减少了 32% 和 53%。实验仿真可以根据网络负载情况调整不同业务队列的初始值,从而调整每个 ONU 传输时隙的大小。

图 4 显示了三种服务等级与单一模式下的延迟比较,可以看出,由于优先级分配和请求带宽的影响,高优先级 EF 的流量具有最小的延迟。

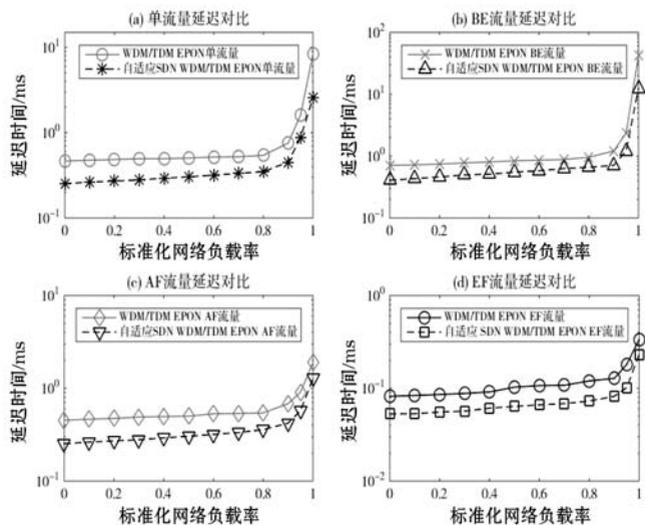


图 4 三种服务等级以及单一模式延迟比较

图 5 显示了两种算法在一个周期内 ONU 的平均队列深度的对比。从图中可以看出,自适应 SDN TDM/WDM-EPON 在低到中等负载的周期内将 ONU 的平均队列深度降低了数千字节。

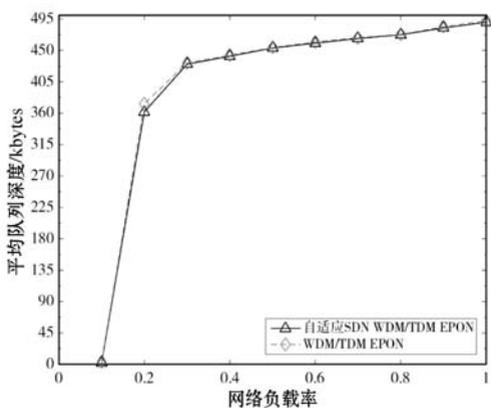


图 5 TDM/WDM-EPON 与改进后平均队列深度比较

图 6 显示了自适应 SDN TDM/WDM-EPON 与传统 TDM/WDM-EPON 在平均数据包延迟方面的性能对比。基于自适应 SDN TDM/WDM-EPON 节能算法在中低负载时减少了延迟,在低负载(0.10 ~ 0.40)下,算法性能明显优于传统 TDM/WDM-EPON 下的算法,其可以在数百微秒内消除平均数据包延迟。

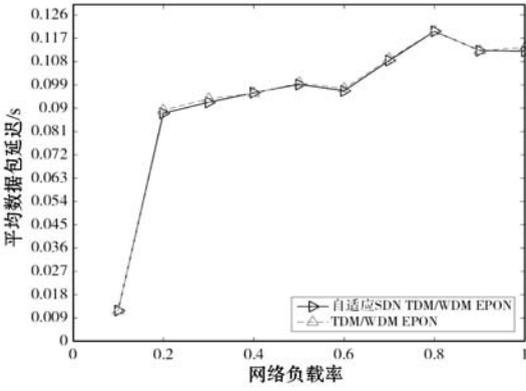


图6 TDM/WDM-EPON 与改进后平均数据包延迟比较

图7显示了基于自适应SDN TDM/WDM-EPON 节能算法和基于传统 TDM/WDM-EPON 算法中轻负载 ONU 的平均队列深度。与传统 TDM/WDM-EPON 相比,自适应SDN TDM/WDM-EPON 中每个 ONU 在一个周期内将平均队列深度减少 3 400 ~ 6 400 字节。

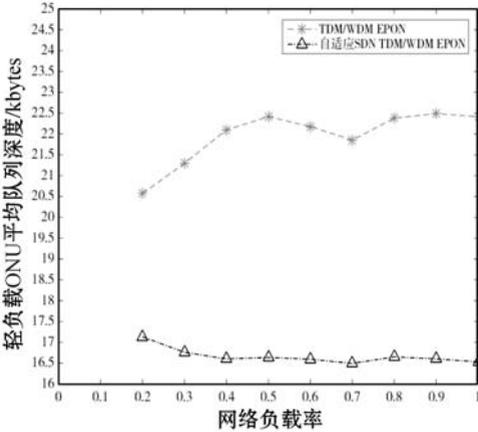


图7 TDM/WDM-EPON 与改进后轻负载 ONU 平均队列深度比较

图8显示与传统 TDM/WDM-EPON 相比,自适应SDN TDM/WDM-EPON 减少了高负载 ONU 的平均队列深度。本文所提出的算法的平均队列深度与传统的 TDM/WDM-EPON 相比起来,平均队列深度最小减少 6 400 字节,而最大减少 34 000 字节。

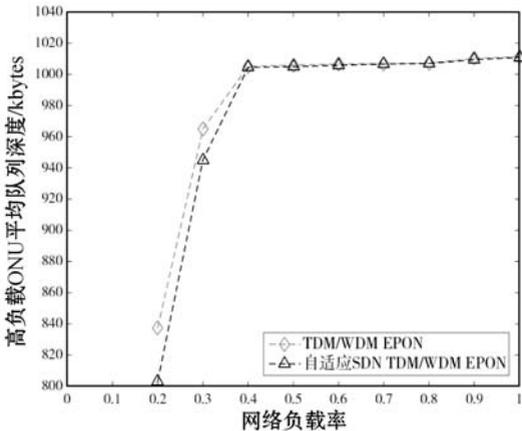


图8 TDM/WDM-EPON 与改进后高负载 ONU 平均队列深度比较

在图9中的小负载情况下,不同的 ONU 节能约为 93.2%。随着网络负载的增加,节能衰减地很快。当负载大于等于 0.9 时,不再节能。

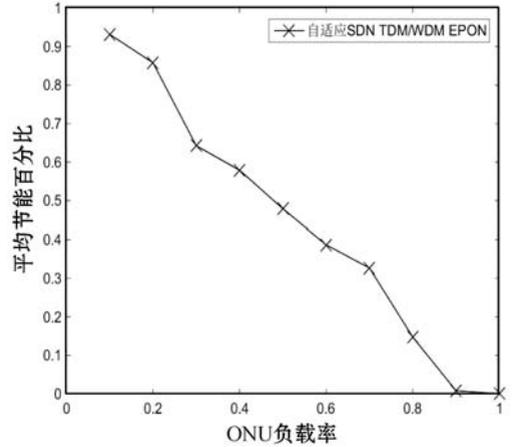


图9 不同 ONU 负载率的平均节能百分比

图10显示了在单位周期中,不同负载下的 ONU 所消耗的带宽的比较。相比于传统的 TDM/WDM-EPON,本文所提出的自适应SDN TDM/WDM-EPON 减少了带宽的消耗,提高了带宽利用率。本文提出的算法中均采用严格的优先级调度作为本文的 ONU 内调度机制。同时,本文还对 ONU 带宽的浪费进行评估。在负载率为 0.5 时运行了模拟,并通过高负载的 ONU 测量每个周期中浪费的平均带宽,如图11所示。

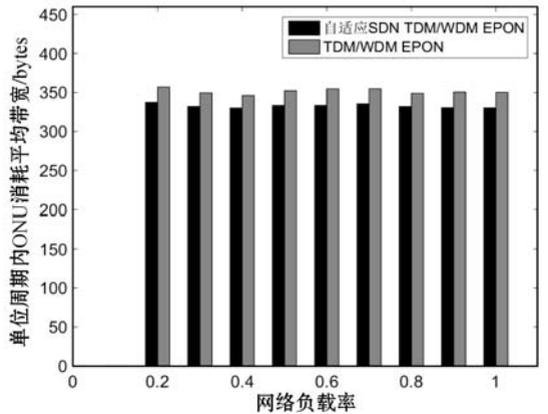


图10 单位周期内不同负载 ONU 消耗平均带宽比较

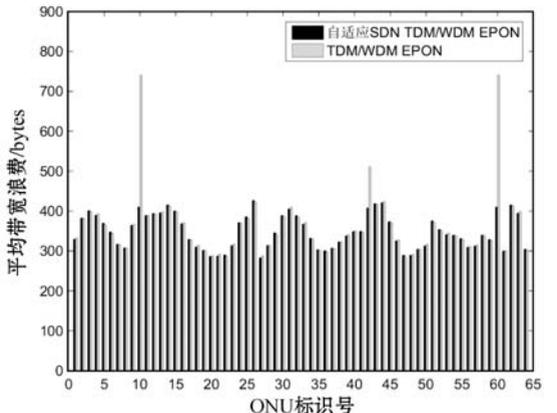


图11 负载为 0.5 的 ONU 平均带宽浪费比较

3.3 实验结论

从实验结果可以看出,可以在网络负载较低的情况下降低平均分组延迟。在 ONU 为轻负载时,每个 ONU 平均队列深度在一个周期内可以最多减少 6 400 字节;在 ONU 为高负载时,每个 ONU 平均队列深度在一个周期内最多可以减少 34 000 字节。在负载率为 0.5 的情况下,改进的算法在对带宽利用率有着显而易见提升,在高负载 ONU 下浪费的带宽较传统算法可以减少 416 字节,在网络负载率很低时,节能百分比最终可达到 93.2%,实现提升网络带宽和吞吐量,提高网络资源利用率与节能率。

4 结 语

配电网通信网一直是电力系统中一个比较具有挑战性的课题,而研究配电无线通信系统对于解决此类问题有着重要的作用。因此,采用新的自适应 SDN 混合 TDM/WDM-EPON 动态带宽分配节能改进算法提高了灵活性,降低了资源浪费。随着研究的不断深入,还有许多工作值得后续关注和跟进。

(1) 模型评估标准与算法复杂度 本文算法通过 SDN 控制器来根据实际带宽分配情况寻找最佳带宽分配策略,但是并没有考虑到交换机设备节点的转发速率以及传输时延。因此,在评估标准不断增加的情况下,算法复杂度也应当考虑到 SDN 控制器模块带来的复杂度,同时算法的准确度分析也需要进一步跟进。

(2) 数据复杂分析 SDN 控制器的数据虽然可以预测,但本文对模型分析也仅局限于应用层下的基础模型,没有考虑加入 SDN 模型后的实际数据变化。因此,在转发层中的设备不断优化改进的同时,对设备的数据分析也必须考虑其中。

参 考 文 献

- [1] 宋璇坤, 韩柳, 鞠黄培, 等. 中国智能电网技术发展实践综述[J]. 电力建设, 2016, 37(7): 1-11.
- [2] Romero M A. Passive optical networks: Present status and future outlook [C]//IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). IEEE, 2017: 1-5.
- [3] 言语佳, 刘晟, 颜辰凡. 基于 EPON 的配网自动化接入网分析与应用[J]. 通信技术, 2017, 50(8): 1860-1864.
- [4] Zhao C, Ma W, Liu Q. Hybrid WDM-TDM PON enabled by TWC based switch [C]//IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet. IEEE, 2016: 203-

-206.

- [5] Inaty E, Raad R, Fortier P. CDMA based dynamic bandwidth allocation (CDBA) scheme for EPON [C]//IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2012: 3133-3138.
- [6] Rahman M M, Hossen M. Modified hybrid slot-size/rate DBA algorithm for improving quality of services of high priority data packets of PON system [C]//International Conference on Informatics, Electronics and Vision. IEEE, 2016: 391-395.
- [7] Reyes R R, Bauschert T. Adaptive and state-dependent online resource allocation in dynamic optical networks [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications & Networking, 2017, 9(3): B64-B77.
- [8] He R, Xie H, Fang X. A long-term proportional fair dynamic bandwidth allocation scheme for EPON [C]//Wireless and Optical Communication Conference. IEEE, 2016: 1-5.
- [9] Rahman M M, Hossen M, Bushra R. Control message scheduling algorithm for improving throughput and jitter performance of the MHSSR DBA scheme of PON [C]//International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering. IEEE, 2017: 134-139.
- [10] Hussain S B, Hu W, Xin H, et al. Low-latency dynamic wavelength and bandwidth allocation algorithm for NG-EPON [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications & Networking, 2017, 9(12): 1108-1115.
- [11] Yuan H, Wei X, Yang F, et al. Cooperative Bargaining Game Based Multiuser Bandwidth Allocation for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2018, 20(1): 183-197.
- [12] Chitimalla D, Thota S, Savas S S, et al. Application-aware software-defined EPON upstream resource allocation [C]//Optical Fiber Communications Conference and Exhibition. IEEE, 2015: 1-3.

(上接第 142 页)

- [12] 卢新元, 龙德志, 陈勇. 基于忠诚度的众包模式下用户参与意愿影响因素分析[J]. 管理学报, 2016, 13(7): 1038-1044.
- [13] 芮兰兰, 张攀, 黄豪球, 等. 一种面向众包的基于信誉值的激励机制[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(7): 1808-1815.
- [14] 朱建明, 李慧. 众包创新任务参与意愿的关键影响因素研究[J]. 创新与创业, 2016(1): 58-60.
- [15] 邹岳琳, 吐尔根·依布拉音, 麦热哈巴·艾力, 等. 基于词干提取的维吾尔语事件类时间短语识别[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2): 625-630.