

doi:10.13756/j.gtxyj.2020.05.002

光通信系统与网络技术

一种改进的光网络动态上行带宽分配算法研究

荆 倩, 沈三民

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

摘要:针对千兆无源光网络系统无法满足一些新服务的问题,如分辨率不断增长的互联网视频协议要求,文章提出了一种改进的 GIANT 动态带宽分配(DBA)算法。通过传输容器(T-CONT)的优先级划分带宽,将 T-CONT1 的带宽分配给每个分配标识,其主要目的是降低数据、视频和语音等服务的延迟。所提算法将这些服务表示为传输容器,用于动态地改进无源光网络系统的上行带宽分配和传输状态。仿真实验验证了所提算法的有效性,与不带 DBA 的方法和使用未修改的 GIANT 算法相比,所提算法可以显著降低超文本传输协议(HTTP)服务与“三合一”服务的延迟,将 HTTP 服务和视频点播服务的延迟分别降低了 0.30 和 0.35 ms。

关键词:无源光网络;动态带宽分配;传输容器;传输状态;“三合一”服务

中图分类号:TN929.11

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2020)05-0007-05

Research of an Improved Dynamic Uplink Bandwidth Allocation Algorithm for Optical Networks

JING Qian, SHEN San-min

(Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Testing,
Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The Gigabit Passive Optical Network (GPON) systems cannot meet some new service problems, such as increasing resolution requirements of video broadcasting in Internet Protocol Television (IPTV). In order to solve these issues, an improved GIANT Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) algorithm is proposed. By prioritizing the bandwidth of T-CONT, the bandwidth of T-CONT 1 is allocated to each Alloc-ID. Its main purpose is to reduce the delay of data, video, voice and other services. The proposed algorithm represents these services as transport containers, which are used to dynamically improve the uplink bandwidth allocation and transmission state of Passive Optical Network (PON) systems. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by simulation results. Compared with the DBA-free method and the unmodified GIANT algorithm, the proposed algorithm can significantly reduce the latency of Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) service and triple-play service. The latency of HTTP and Video on Demand (VoD) services are reduced by 0.30 and 0.35 ms, respectively.

Key words: PON; DBA; transmission container; transmission state; triple-play service

0 引 言

很多互联网服务供应商(Internet Service Provider, ISP)已经开始部署千兆无源光网络(Gigabit Passive Optical Network, GPON)系统,以应对客户迅速增长的带宽需求^[1]。GPON 支持高数据速率,其中下行为 2.5 Gbit/s,上行为 1.25 Gbit/s。其最多可以将 64 个光网络单元(Optical Network Unit, ONU)连接到 1 个分路器上。但对于一些新服务,如分辨率不断增长(4k 或 8k)的视频广播互联网协议电视(Internet Protocol Television, IPTV)来说,GPON 的带宽依然无法满足要求^[2]。这就需要开发出支持更高传输速率的技术。

为此,研究人员做了很多相关研究。目前,下一代 10 Gbit/s 无源光网络(next Generation 10 Gbit/s

Passive Optical Network, XG-PON)的最终规范已经被标准化为 ITU-T G.987 系列,其规定了一些通用要求^[3],例如:XG-PON 的参考配置,光分配网络(Optical Distribution Network, ODN)架构(包含或不包含与以往标准 GPON 方案的共存),工作波长和迁移场景等^[4]。文献[5]为了支持语音、视频等多业务,保证不同的服务质量(Quality of Service, QoS)和有效克服轻载惩罚问题,提出了一种支持多业务的以太网无源光网络(Ethernet Passive Optical Network, EPON)动态带宽分配(Dynamic Bandwidth Allocation, DBA)算法;文献[6]提出了 GIANT 算法的修改版本,即 X-GIANT 算法,并尝试改进 XG-PON 网络中 QoS 参数;文献[7]针对 PON 接入技术和现有各种带宽分配算法存在的不足,基于数据服务优先级划分和 ONU 队列管理机

收稿日期:2020-04-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61335008)

作者简介:荆倩(1994—),女,山西运城人。硕士,主要研究方向为电路与分布式系统。

通信作者:沈三民,副教授。E-mail: shensanming@nuc.edu.cn

制,提出了一种DBA算法;文献[8]提出了用于XG-PON的一种DBA方案,即数据挖掘预测,该方案处理了ODN范围为40 km时不同ONU距离下的使用情况;文献[9]为了合理分配EPON上行信道带宽,提出了一种能够区分服务等级的固定周期轮询DBA算法,该算法将ONU的业务分为3个等级,根据不同的业务等级动态分配上行带宽,有效保证整个EPON的QoS以及带宽分配的公平性;文献[10]提出了带“公平性”的DBA算法,对所有ONU应用最大最小公平DBA算法。虽然DBA算法可以改变最小带宽分配,但其依然会为受保护的传输容器(T-CONT)分配所保留。总的来说,文献[11]的实验结果表明,用于EPON的DBA不能直接用于XG-PON中,因为其服务延迟非常大。

本文的主要研究目标是降低XG-PON中“三合一”服务的延迟。文中提出了用于XG-PON的改进的GIANT DBA算法,比较了当前未修改的GIANT算法与本文所提的改进GIANT算法的结果,并详细解释了本文为降低“三合一”服务延迟所作出的改进。

1 提出的DBA算法

DBA算法的主要目的是公平分配PON中的每个ONU在上行方向上的带宽,下行方向则广播所有ONU,并由指定的ONU(与帧中的参数完全相同)接收。另一方面,上行方向由光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)通过时隙控制。换言之,时分复用将带宽分为时隙,并按需求将带宽分配至ONU。

OLT使用每个传输帧的带宽映射(Band Width mapping, BWmap)部分指定分配标识(Allocation Identification, Alloc-ID)、启动时间、授权大小、动态带宽报告和其他字段。通过Alloc-ID识别ONU,启动时间是指ONU在上行方向启动数据传输的时间,授权大小表示在上行方向上特定Alloc-ID的总数据量,并报告下一个上行帧中的需求(即数据大小)。具体的Alloc-ID及其提供的负载可以表示为

$$R_L(t) = \frac{B(t) + A(t, t + D)}{D}, \quad (1)$$

式中: $B(t)$ 为时间 t 内的缓冲区占用; D 为某一固定时长; $A(t, t + D)$ 为在时间间隔 $(t, t + D)$ 过程中新进入缓冲区的流。

1.1 缓冲区报告

OLT必须保证在负载较重的情况下对ONU

公平地分配动态带宽^[12]。若存在两个ONU,且第1个ONU的负载较重,而第2个ONU没有需要传输的数据,则OLT必须确保分配至ONU₁的时隙大于ONU₂。ONU周期性地向OLT单元报告其缓冲区占用情况,可以通过两种方式实现报告:(1)状态报告;(2)流量报告。状态报告需要ONU和OLT协作,因为每个ONU都发送其自身缓冲区占用的相关信息,该信息包含在下一代传输汇聚帧的动态带宽报告字段中,OLT则根据缓冲区占用的相关信息来划分时隙。流量报告则通过ONU数据流的处理授予带宽。

1.2 轮询法

轮询法是网络模拟器(Network Simulator, NS)-3的DBA算法的简单实现,特别是在XG-PON包中使用的算法。该算法的原理为:一定量的任务,每个任务依次运行,但前提是其持有循环令牌。在XG-PON包的实现中,是指每个周期内每个T-CONT的位元组字段数量。每个ONU队列处理的最小时间可表示为

$$T = C/N, \quad (2)$$

式中: T 为每个ONU/T-CONT的处理时间(ONU能够发送数据); C 为一个周期的时长; N 为ONU的总数量。该方法的缺陷在于: T 的数值较小时会增加OLT的处理时间。

1.3 改进的GIANT算法

GIANT算法必须先定义其所使用的T-CONT。T-CONT是一组流,其仅在上行方向有意义,而Alloc-ID仅存在于每个PON的命名空间中, T-CONT的外部标识符是分等级的^[13]。通常, T-CONT可以分为以下4类:

- (1) T-CONT1: 具有最高优先级的固定带宽(如语音服务),指所有的ISP向网络中的客户确保最低带宽;
- (2) T-CONT2: 具有第2高优先级的保证带宽(如IPTV服务);
- (3) T-CONT3: 具有较高优先级的非保证带宽;
- (4) T-CONT4: 文件传送协议(File Transfer Protocol, FTP)或简单网络管理协议等,具有最低优先级的尽力服务带宽。

本文GIANT DBA算法在第一次迭代中通过T-CONT的优先级划分带宽,将T-CONT1的带宽分配给每个Alloc-ID。一般互连网络中,所有客户保证带宽的T-CONT1为64 kbit/s,保证带宽不能

超过 R_A (R_A 为保证带宽阈值), 并向其分配非保证带宽 R_{NA} , 直到 T-CONT 的可用带宽耗尽为止。GIANT 的最大和最小服务间隔表示为 SI_{max} 和 SI_{min} , 这些标识符代表着带宽要求。此外, 标识符 AB_{min} 和 AB_{sur} 分别为最小分配字节和剩余分配字节。

GIANT 算法动态地为 T-CONT1 和 T-CONT2 确定 AB 和 SI_{max} 的数值, 并询问 T-CONT4 和 T-CONT3。每当 SI 定时器过期时, 为对应的 T-CONT 重新分配 AB 。

值得一提的是, 媒体接入控制器在分配过程的每个周期内制定决策。ONU 可以添加多个 Alloc-ID, 如果添加一个新 Alloc-ID, 那么控制器将检测可用资源, 并验证总分配带宽是否超过总链路容量。保证服务速率等于 AB_{min}/SI_{max} , 其中剩余容量等于 AB_{sur}/SI_{min} 。保证容量和剩余容量之和为 T-CONT3 的允许总带宽。

剩余带宽的分配必须首先检查 T-CONT 处理的对象是 T-CONT3 还是 T-CONT4, 以及 SI_{min} 定时器是否大于 1。若定时器大于 1, 则将其按 1 递减。此外, 当确定指针启动的 T-CONT3 帧字节数等于 0 时, 则添加后续序列中 Alloc-ID 减 1 的 T-CONT3。也即: 若启动指针为 N , 新数值为 $N + i$ (i 为迭代次数), 在下次迭代中, 将检查下一个请求是否大于 0 和 SI_{min} 是否等于 0, 然后分配剩余带宽。

传统方案在每个轮询周期对 T-CONT1、T-CONT2、T-CONT3 和 T-CONT4 依次进行分配, 先对 T-CONT1 静态分配固定带宽, 然后分配 T-CONT2 和 T-CONT3 的确保带宽, 最后分配 T-CONT4 的尽力而为带宽。根据优先级顺序进行 2 次分配。与传统方案相比, 本文方法根据处理对象和定时器对带宽进行动态分配, 总体时间复杂度与传统方案相差不大, 但对象分配的带宽有差异, 从而导致服务的延迟有所不同。

2 实验与分析

2.1 实验设置

图 1 所示为本文所提 GIANT DBA 算法仿真模型的基本拓扑结构, 包括 OLT、ONU、客户端和服务。由于 NS-3 无法考虑到物理层参数, 包括光纤长度、分光比、OLT 和 ONU 之间的不同距离等, 所以服务器必须纳入其中。这些服务器包括视频点播 (Video on Demand, VoD) 服务器、超文本传输协议

(Hyper Text Transfer Protocol, HTTP) 服务器以及互联网协议电话 (Voice over Internet Protocol, VoIP) 服务器。该组服务器通过 1 Gbit/s 的线路与 OLT 互连, 延迟时间为 2 ms。ONU 包括一台个人计算机, 其表示服务消耗, 采用了相同的线路参数。VoD 服务的数据速率为 10 Mbit/s, 停止时间设为 0, 表示在整个模拟过程中该服务始终保持开启运行。将 VoIP 设为标准数据速率 64 kbit/s。由 HTTP 服务器生成 HTTP 流量, 数据速率为 1 Mbit/s。

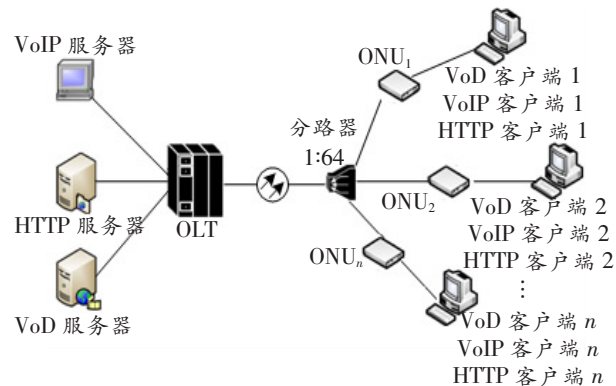


图 1 本文所提 GIANT DBA 算法仿真模型的基本拓扑结构

2.2 实验结果分析

本文准备了两个模拟场景: 第 1 个场景使用轮询 DBA, 没有给出缓冲区分配的动态报告。第 2 个场景使用了本文所提 GIANT DBA 算法。为了比较两种算法, 本文对每个场景进行了两种不同的模拟: (1) 64 个 ONU (XG-PON 单个 OLT 端口的理想化模型); (2) 过载接口, 其中 200 个 ONU 连接到该接口。

2.2.1 场景 1

在第 1 个场景中, 使用轮询 DBA 算法, 另一种方法是未修改的 GIANT DBA 算法。两个算法均应用到 T-CONT 代表的所有服务中, 模型包括 3 个服务, 以观察流量延迟。64 个 ONU 的延迟仅为 6~7 ms, 因为 OLT 单元能够为每个 ONU 授予足够的带宽, 如图 2 所示。由图可知, 丢包率为 0, 总带宽等于服务所需带宽之和。VoIP 的延迟几乎保持不变, 不会在通话期间造成任何干扰或回声; 通过 ONU 或机顶盒中的缓冲服务, 降低 VoD 的抖动; 网页浏览 HTTP 代表着具有较高优先级的 T-CONT2。

需要注意的是, NS-3 不能通过在 QoS Tag 库中标记数据包, 将数据包分配到现实的 T-CONT 中, 其使用标签对每个数据包进行标记, 但在本文仿

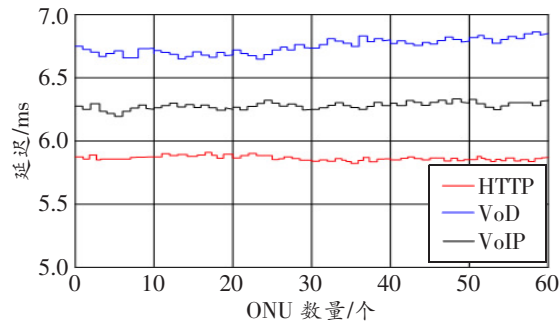


图 2 不使用 DBA 算法时的传输延迟

真中使用了通过节点的 IP 地址对数据包进行模拟标记,修改后的拓扑结构如图 3 所示。

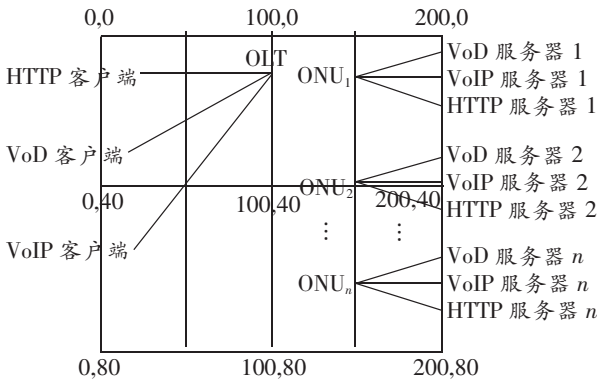


图 3 GIANT DBA 算法修改后的拓扑

使用所提 GIANT DBA 算法对 64 个 ONU 的场景再次进行模拟。图 4 所示为使用本文所提 GIANT DBA 算法时的传输延迟。仿真结果与预期相符,GIANT DBA 算法的结果较好,每个 ONU 的延迟更低。将 GIANT DBA 算法应用到 OLT 单元,VoD 服务的延迟得到了明显改善。

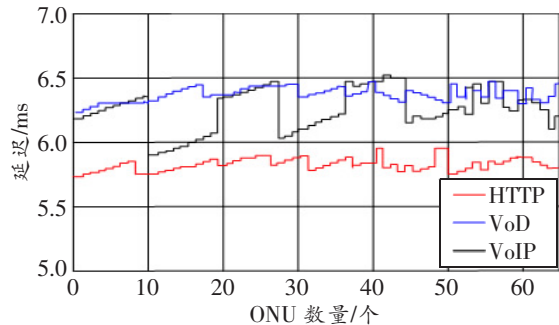


图 4 使用 GIANT DBA 算法时的传输延迟

本文在使用和不使用 DBA 算法的模拟中,对数据包丢失数量进行了比较,如图 5 所示,由图可知,两者之间存在明显差异。在不使用 DBA 轮询的模拟中,每个 ONU 的丢包数量大约为 4 000 个。但当使用未修改的 GIANT DBA 算法时,由于 VoD 的数据是单独处理的且采用随机序列,一些 ONU

的丢包数为 300 个。

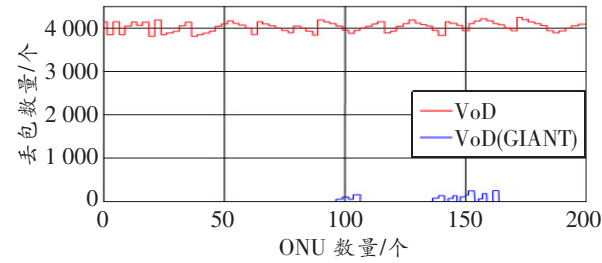


图 5 使用和不使用 DBA 算法时的丢包数量对比

NS-3 利用回调函数提供一些数据包获得的细节,如处理数据包数量或丢包数量。在配置回调函数后,其可以调用指定函数以提供结果。在该函数中,可以创建运行时间的计算或记录。例如,NS-3 模拟工具可以在数据包因为堆栈溢出而被丢弃时随时调用该函数。一方面,回调函数仅适用于点对点(Point to Point, P2P)链路,但 NS-3 的 XG-PON 包中没有包含回调的实施,因此,其无法得到更多关于数据包丢失的数据;另一方面,由于所有数据都存储在一个集合中,可以得到每个数据包的发送和接收时间。

2.2.2 场景 2

在第 2 个场景中,使用本文所提的改进 GIANT DBA 算法,并将其与未修改的 GIANT DBA 进行比较。使用的拓扑相同,包括 1 个 OLT、64 个 ONU (每个 ONU 包含 3 种服务:数据、视频和语音)。改进算法首先检查 T-CONT 的缓冲区占用,并根据 T-CONT 的类型分配适当的带宽。如果保证带宽的缓冲区占用超过 1,则存在 3 种情况:(1) 若缓冲区占用<4,则分配数值=4;(2) OLT 检查 BWmap (包含 BWmap 分配使用历史的数据库),以得到过去是否对该 ONU 进行过分配;(3) 检查分配带宽是否等于分配字节。

通常,只有在该类型的 T-CONT 的定时器过期(即等于 0)时才测试这些条件,这表明定时器未过期,也表示 T-CONT 没有紧急数据,且在下一轮减少 1。

在仿真中,所有的服务是一起测试的,为了更好地说明问题,每个服务如图 6~8 所示。由图 6 可知,与使用未修改 GIANT DBA 算法相比,本文所提方法将 HTTP 服务的延迟分别降低了 0.8 和 0.3 ms;由图 7 可知,在 VoD 服务中,未修改 GIANT DBA 算法的平均延迟为 6.4 ms,而本文所提的改进方法则将 ODN 上每个 ONU 的延迟降低了 0.35 ms;由图 8 可知,对于 VoIP 服务,本文所提的

方法降低了约 0.2 ms 的延迟,这些充分说明了本文改进方法的有效性。

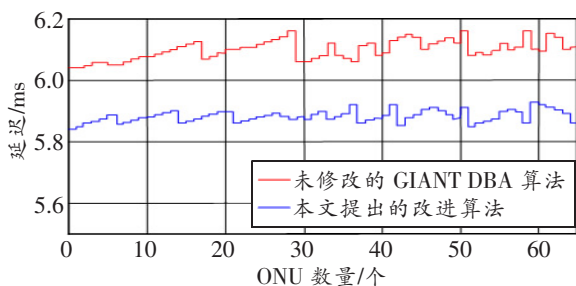


图 6 HTTP 服务的传输延迟对比

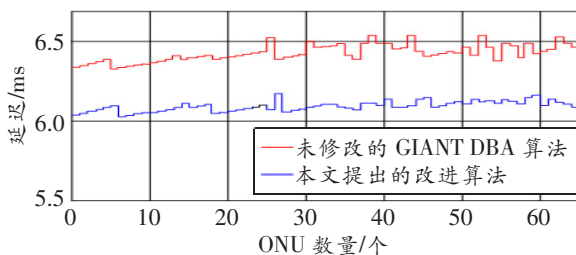


图 7 VoD 服务的传输延迟对比

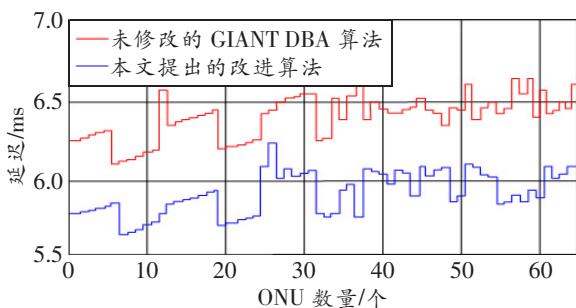


图 8 VoIP 服务的传输延迟对比

3 结束语

本文提出了 XG-PON GIANT DBA 算法,并提出了缩减服务延迟的改进方案。除使用具有最高优先级 T-CONT1 的 VoIP 服务外,每个服务的延迟均得到了降低,这是因为 T-CONT1 不使用 DBA,其在初始化阶段即被授予保证带宽,是具有最高优先级的固定带宽,属于静态分配,T-CONT1 的 VoIP 服务延迟几乎保持不变。本文所提改进 GIANT DBA 算法将 HTTP 服务和 VoD 服务的延迟分别降低了 0.30 和 0.35 ms,实现了较好的网络性能。

参考文献:

- [1] 尹玉成. GPON 中 QoS 模型的研究与实现[D]. 南京:东南大学, 2016.
- [2] 辛普森, 格林菲尔. IPTV 与网络视频:拓展广播电视的应用范围[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [3] Konstantinidis C, Sarigiannidis P, Chatzimisios P, et al. A Multilayer Comparative Study of XG-PON and 10G-EPON Standards[C]//In Proceedings of the 9th South East European Doctoral Student Conference. Thessaloniki, Greece: IEEE, 2014:286-298.
- [4] 孟星. GPON 中 ONU 的软件设计与实现[D]. 武汉:武汉邮电科学研究院, 2012.
- [5] 刘燕霞, 黄俊, 马东鸽. 支持多业务预测机制的 EPON 动态带宽分配算法[J]. 光通信技术, 2011, 35(7):35-38.
- [6] Arokkiar J A, Brown K N, Sreenan C J. Refining the GIANT Dynamic Bandwidth Allocation Mechanism for XG-PON [C]//IEEE International Conference on Communications. London, United Kingdom: IEEE, 2015:1006-1011.
- [7] 赵海军, 李敏, 崔梦天, 等. 采用分级策略和控制消息的一种动态带宽分配[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(33):121-124.
- [8] Sarigiannidis P, Pliatsios D, Zygiiridis T, et al. DAMA: A Data Mining Forecasting DBA Scheme for XG-PONs [C]//International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies. Thessaloniki, Greece: IEEE, 2016:1-4.
- [9] 张中荃, 谢国益, 党秋磊. 一种保证 QoS 的 EPON 上行动态带宽分配算法[J]. 光通信研究, 2007 (3): 16-19.
- [10] Gravalos I, Yiannopoulos K, Papadimitriou G, et al. Burst-by-burst Dynamic Bandwidth Allocation for XG-PONs[J]. Iet Networks, 2016, 5(3):47-55.
- [11] Kachhatiya V, Prince S. Downstream Performance Analysis and Optimization of the Next Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)[J]. Optics Laser Technology, 2018, 104(6):90-102.
- [12] Lee Y, Kim Y. A Design of 10 Gigabit Capable Passive Optical Network (XG-PON1) Architecture based on Software Defined Network (SDN) [C]// International Conference on Information Networking. Tokyo, Japan: IEEE, 2015:402-404.
- [13] 董芳, 胡宇翔, 李鸥. 基于 SDN 的自组织网络路由框架及构建方法[J]. 通信学报, 2019, 40(9):33-44.