

doi:10.13756/j.gtxyj.2018.03.001

光通信系统与网络技术

基于SDN的虚拟光网络优化路由算法

李廷清, 刘逢清

(南京邮电大学 光电工程学院, 南京 210023)

摘要:针对传统光网络传输数据过程中带宽利用率低和网络出现拥塞等不足,基于软件定义网络构建出分组网络与光网络互连的虚拟光网络拓扑结构,并提出一种多路径优化路由分配算法,在链路固定带宽的限制下,仿真计算出各个链路的最大负载以及优化路由分配比例,并借助于ONOS和Mininet仿真工具进行了仿真分析。仿真结果表明,与平均分配算法相比,所提算法可以有效降低数据的传输时延,避免网络拥塞。

关键词:软件定义网络;分组网络;虚拟光网络;优化路由分配算法

中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8788(2018)03-0001-04

Optimizing Routing Algorithm of Virtual Optical Networks based on SDN

LI Ting-qing, LIU Feng-qing

(School of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: Considering the shortage of low bandwidth utilization and congestion of data transmission in traditional optical networks, we construct a Software Defined Network (SDN)-based virtual optical network that comprises of a packet network and an optical network, and propose a multi-path routing algorithm that optimizes the bandwidth allocation. Under the capacity constraints of the transmission link, we calculate the maximum load of each link and optimize the bandwidth allocation in multi-path routing. With the help of ONOS and Mininet simulation tools, we verify that our algorithm can effectively reduce the delay of data transmission and avoid network congestion.

Key words: SDN; packet network; virtual optical network; optimized routing algorithm

0 引言

光网络传输技术从早期的单波长开关键控(On-Off Keying, OOK)低阶调制格式的同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)光网络发展到多波长多样化高阶调制格式的波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)光网络,后来又发展到正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)多载波调制格式的Flex-grid弹性频谱光网络,其带宽灵活性得到极大提升,传输速率也大幅提升,从原来的1 Gbit/s、10 Gbit/s提高到了广泛商用的40 Gbit/s,并且当下100 Gbit/s也已经在各种新型业务的带动下蓬勃发展^[1-2]。

随着云计算与超高清视频等应用的飞速发展,新型业务层出不穷,网络中数据业务占比持续增加,现有的光网络传输技术正面临巨大的挑战。国内外很多科研机构已经展开了针对基于400 Gbit/s、1 Tbit/s传输技术的项目研究^[3-4]。然而仍然存在带宽利用率较低、传输时延较高、传输效率较低和传

输过程中容易产生网络拥塞等问题。

依托软件定义网络(Software Defined Network, SDN)技术,可以让上层网络开放和统一地操作控制下层网络资源,通过网络控制器把各种物理设备抽象出来,形成虚拟的网络资源,以支持全网资源的统筹和策略的调度^[5-6]。Eduard Escalona等人在2011年提出了一种端到端的网络结构,支持对网络资源的动态规划和操作,通过逻辑设备整合层将物理设备抽象、拆分和交叉连接组成虚拟设备,网络加上信息科技(Information Technology, IT)控制平台层实现对虚拟设备的控制、优化和互连^[7]。

针对上述问题,本文在此结构基础上,借助ONOS和Mininet仿真工具构建了一种网络拓扑结构来实现分组网络与虚拟光网络的互连,并提出一种路由优化算法,且验证了该算法通过优化路由负载分配对于数据传输性能的提升。

1 算法思想

设定网络结构中的业务模型为软管模型(Hose model)。该模型规格简单,只需要指定每个软管终

收稿日期:2017-08-28

基金项目:江苏省科技计划资助项目(BY2016010-01)

作者简介:李廷清(1992-),男,江苏南京人。硕士,主要研究方向为光纤通信技术。

通信作者:刘逢清,副教授。E-mail:1198882997@qq.com

端的流进和流出速率;从一个软管终端收发数据可以随意地分配到与软管容量大小相符合的其他终端上;根据统计的复用增益,软管速率可以小于用户管道的聚合速率;软管可以很容易地聚合每一个单独的源/目的地的流量的统计变量。

使用软管模型能让网络适应各种流量模型,同时限定网络入口与出口的速率,保证了终端的带宽。本文所模拟的情况为每个节点的入口和出口带宽相等的对称情况。

我们定义最大负载与剩余容量之比为链路的利用率,任何链路的最大利用率为最大链路利用率 $\mu(R)$ 。对于多路径路由,两个服务器之间的流量可以在多个路径之间任意分配,每个路径由一组交换机中继。将路由变量 f_{ij}^e 定义为从服务器 h_i 到服务器 h_j 过程中分支链路的流量百分比,其遍历线路为 e ,对于任意服务器 $h \in H$ 以及 $e \in E$ (E 为所有路径的集合), f_{ij}^e 变化范围为 $0 \sim 1$ 。

线性规划的优化功能是最小化最大链路利用率 $\mu(R)$, 即 $\min \mu(R)$, 约束条件如下:

(a) 根据软管模型,在物理网络与光网络互连的网络中,从服务器 h_i 发送到服务器 h_j 的入站和出站流量 t_{ij} 受到约束:

$$\sum_{h_i \in H} t_{ij} \leq b(h_i) \quad , \quad \sum_{h_j \in H} t_{ij} \leq b(h_j) \quad ,$$

式中, $b(h_i)$ 、 $b(h_i)$ 为经过对应服务器的流量总量,

$$b(h) = \min\left(\sum_{i=1}^N \pi(i, h) B_i, \sum_{i=1}^N (1 - \pi(i, h)) B_i\right),$$

$h \in H; B_i$ 为对应服务器的带宽。

(b) 链路容量约束: 每条链路 e 的利用率受到整体网络拓扑结构的最大链路利用率 $\mu(R)$ 限制:

$$(\sum_{h., h. \in H} t_{ij} f_{ij}^e) / c_e \leq \mu(R), \quad e \in E,$$

式中, t_{ij} 为任何可能的输入流量, 不是优化变量; c_e 为输入链路对应的带宽容量。

(c) 流量守恒约束:从发送端 h_i 到接收端 h_j 的流量的分链路比例之和应等于 1,即

$$\sum_{e \in E^-(h_i)} f_{ij}^e = \sum_{e \in E^+(h_j)} f_{ij}^e = 1, h_i, h_j \in H;$$

从接收端 h_j 到发送端 h_i 的流量的分链路比例之和应等于 0, 即

$$\sum_{e \in E^+(h_i)} f_{ij}^e = \sum_{e \in E^-(h_j)} f_{ij}^e = 0, h_i, h_j \in H;$$

流量在中间节点保存,即

$$\sum_{e \in E^-(h_k)} f_{ij}^e = \sum_{e \in E^+(h_k)} f_{ij}^e, h_i, h_j, h_k \in H,$$

$$h_k \neq h_i, h_k \neq h_j.$$

(d) 路由变量 f_{ij}^e 范围的限制:

$$0 \leq f_{ij}^e \leq 1, e \in E, h_i, h_j \in H.$$

(e) 凸函数约束: 用双重线性规划表示路径 e 上的约束:

$$x_i^e + y_j^e \geq f_{ij}^e, h_i, h_j \in H, e \in E,$$

$$x_i^e \geq 0, y_i^e \geq 0, h_i, h_j \in H, e \in E.$$

在上述线性规划中,优化变量为 $\mu(R)$ 和 f_{ij}^e 。借助于使用 OPL 语言的 CPLEX 软件对上述约束条件进行编程、仿真和计算,在构建好拓扑结构,完成发送端与接收端的带宽和各条链路的带宽的初始化后,通过该算法可以线性计算出每一条路径上流量的优化百分比 f_{ij}^e 以及通过各条链路的最大可承受负载量和带宽利用率 $\mu(R)$ 。

2 算法验证及分析

基于前人提出的光网络虚拟化结构,针对上述算法思想,我们构建了如图 1 所示的拓扑结构。

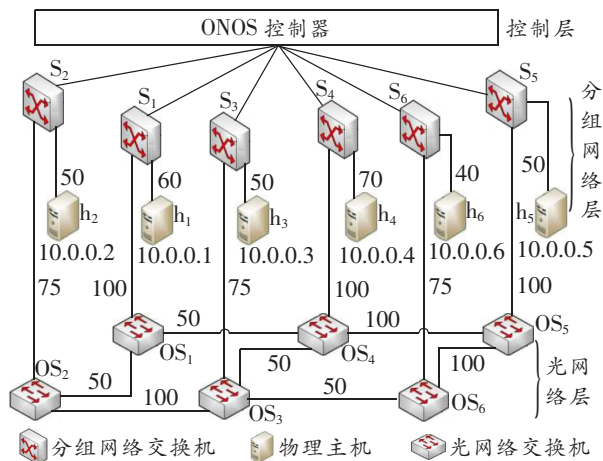


图 1 初始拓扑结构

该结构实现了将物理网络中的 6 个节点分别抽象映射到图 1 中的中间部分——分组网络层, 分组网络层与光网络层通过 LINC-OE(LINC 交换机软件控制台)接口实现交叉连接, 光网络交换机之间采用 WDM 方式互连, 实现了物理设备在光网络中的虚拟化。

借助于 ONOS 和 Mininet 仿真工具构建了实验环境。图 1 中:第 1 部分为控制平面,即 ONOS 控制器,可以通过南向接口进行转发操作和管控设备;中间部分为数据平面,由分组网络层和光网络层构成,数据平面的每个交换机均与控制器相连。分组网络层中的每个交换机分别与一个主机相连,视作数据中心,由连接到分组网络的主机发起通信,只有通过物理层建立通路时,分组网络才通过逻辑链

路互联;最下层为虚拟光网络层,光网络交换机与分组网络交换机通过 Linux 开发接口相连。

本文构建的拓扑结构中光网络交换机采用可重构光分插复用器(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM)。图 2 所示为光网络交换机的工作原理图。在构建光网络拓扑结构时,利用 ONOS 系统接口通过 LINC 命令形成对应的光路。LINC Switch 是基于 Erlang 语言开发的一款支持 Openflow 的交换机软件,具有如下特性:支持 Openflow 协议的 1.2、1.3 及 1.4 版本,支持 OF-config 的 1.1.1 版本,非常容易扩展的模块化架构,支持在一个 Erlang node 上运行多个逻辑交换机^[8]。

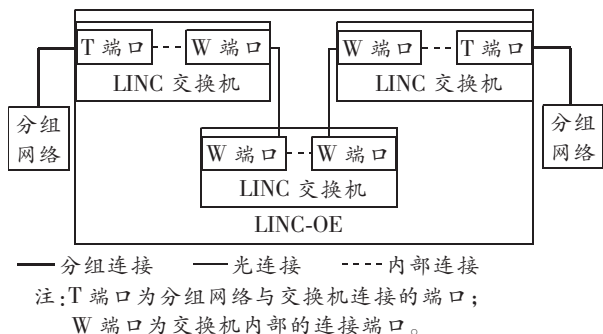


图 2 光网络交换机工作原理

根据软管抽象模型,将 6 个服务器之间的通信带宽分别初始化为 60、50、50、70、50 和 40 Gbit/s,通过 $S_1 \sim S_6$ 、 $OS_1 \sim OS_6$ 进行通信。设定光网络中有 16 个波长的数据,每个波长为 10 Gbit/s,考虑到其他业务传输需要占用一定的带宽,因此设定图 1 中各链路带宽为剩余链路带宽。

使用 CPLEX 软件仿真计算得出相邻交换机之间链路的最大可承受负载(单位:Gbit/s)和路由变量比例,仿真结果如图 3 所示。由图 3(a)、(b)可看出,光网络结构中各个交换机之间的最大可承受负载均比对应的剩余链路带宽小,可计算出算法中提出的链路最大利用率 $\mu(R)$ 为 70%。由此可以得知,该算法充分考虑了带宽对数据传输的影响,在充分考虑到链路负载的情况下,得到了较为科学的路由比例。

应用上述算法,在光网络两两节点之间建立了多条光传输通道,根据图 3(a)中各链路的最大可承受负载,可计算出两两节点间建立的光通道数目:
 $OS_1 \sim OS_2$: 2 条; $OS_2 \sim OS_3$: 2 条; $OS_3 \sim OS_4$: 2 条;
 $OS_1 \sim OS_4$: 4 条; $OS_4 \sim OS_5$: 2 条; $OS_5 \sim OS_6$: 4 条;
 $OS_3 \sim OS_6$: 4 条。这样建立的光通道传输效率更高,有效避免了网络拥塞。

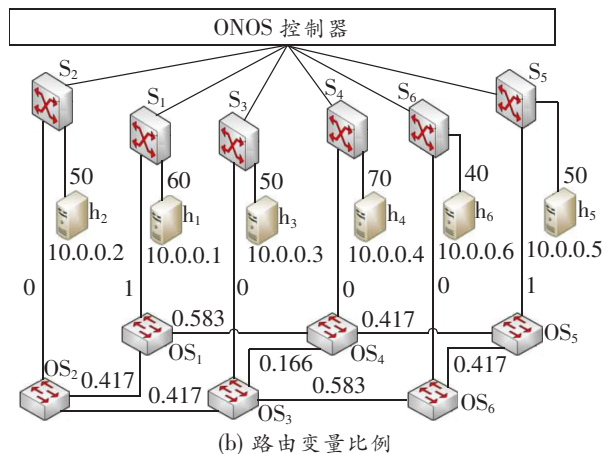
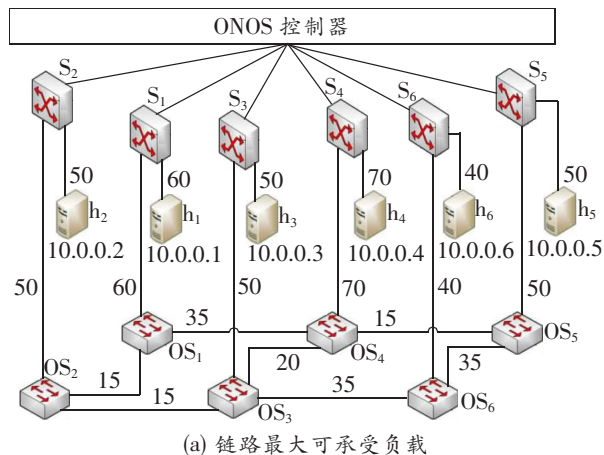


图 3 优化路由分配算法仿真结果

由于 ONOS 仿真工具内部默认的路由算法为多路径平均分配算法,即任何一条链路都是按照 $0.5 : 0.5$ 的比例。为了体现本文提出的优化路由算法的优越性,我们将系统默认算法的仿真结果与优化路由算法的结果相比较。借助 ONOS 和 Mininet 仿真工具,我们通过控制器下发流量,以 h_1 为发送端, h_5 和 h_6 为接收端,利用 iperf 性能测试工具,平均每个输入测试流为 10 Mbit/s,总流量为链路带宽,首先对 h_5 和 h_6 进行用户数据报协议 (User Datagram Protocol, UDP) 测试。

图 4 和图 5 分别显示了 h_5 和 h_6 在两种算法下的传输时延。经过仿真数据的计算,在系统默认路由算法的情况下, h_5 的传输平均时延为 0.404ms ,

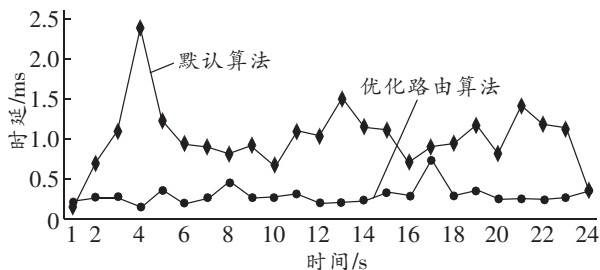


图 4 两种算法下 h_5 的传输时延

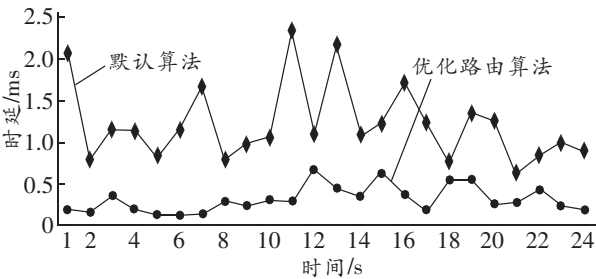
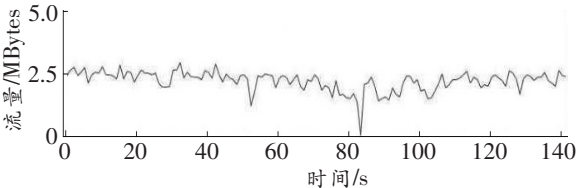


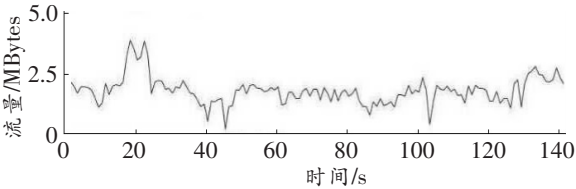
图 5 两种算法下 h_6 的传输时延

h_6 的传输平均时延为 0.773 ms;使用优化路由算法后, h_5 的传输平均时延为 0.207 ms, h_6 的传输平均时延为 0.355 ms。由此可见,使用优化路由算法后,整个拓扑结构的传输时延明显下降,传输效率明显提高,光网络拓扑无拥塞情况发生。

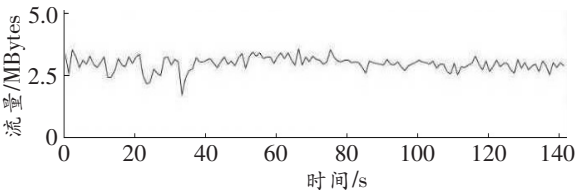
对 h_5 和 h_6 进行流量传输测试,用 Wireshark 抓包工具进行抓包分析,平均每个输入测试流为 10 MBytes,测试结果如图 6 所示。



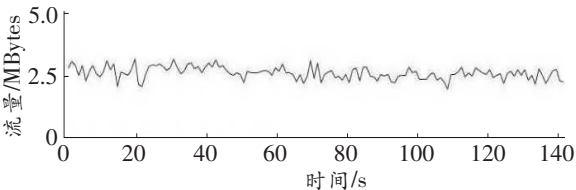
(a) 默认路由算法下 h_5 接收流量



(b) 默认路由算法下 h_6 接收流量



(c) 使用优化路由算法后 h_5 接收流量



(d) 使用优化路由算法后 h_6 接收流量

图 6 接收流量曲线

由图 6 中的曲线可以计算得到:同一时间段内,在系统默认路由算法下, h_5 和 h_6 的接收流量平均值分别为 2.2 和 1.8 MBytes;使用优化路由算法后, h_5 和 h_6 的接收流量平均值分别为 2.8 和 2.6 MBytes。相比于系统默认路由算法,使用本文提出的优化路

由算法后,传输曲线抖动幅度较小,曲线较为平整稳定,指定服务器端接收流量的总体平均值有明显提高。这是因为优化路由算法充分考虑了链路带宽的最大利用率,避免了网络传输拥塞,从而使得传输流量过程中的稳定性和接收效率有明显提高。

3 结束语

本文研究了基于 SDN 的虚拟光网络的拓扑结构,提出了一种多路径优化路由分配算法,在充分考虑各链路带宽对传输流量的影响之后,通过仿真计算出不超过链路最大带宽的链路最大可承受负载和链路最大利用率,并进行合理的路由分配,避免了网络传输拥塞,降低了网络传输时延。将本文所提算法与系统默认的平均分配算法进行比较,结果表明,基于 SDN 的虚拟光网络应用此优化路由分配算法后,有效降低了数据传输的时延,避免了网络拓扑的拥塞情况,提高了网络传输的稳定性、可靠性及传输效率,对未来虚拟光网络结构及其算法的研究具有一定的借鉴作用。

参考文献:

[1] 郝爽. 基于 SDN 的光网络虚拟化技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.

[2] Kachris C, Tomkos I. A Survey on Optical Interconnects for Data Centers [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(4):1021–1036.

[3] 张杰. 软件定义光网络研究进展与创新应用探讨 [J]. 中兴通讯技术, 2015, 21(6):39–44.

[4] 张朝昆, 崔勇, 唐嵩伟, 等. 软件定义网络(SDN)研究进展 [J]. 软件学报, 2015, 26(1):62–81.

[5] Gou B, Simeonidou D, Channegowda M, et al. Toward a Completely Softwareized Optical Network [Invited] [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications & Networking, 2015, 7(12):B222–B231.

[6] Feamster N, Rexford J, Zegura E. The Road to SDN: An Intellectual History of Programmable Networks [J]. Acm Sigcomm Computer Communication Review, 2014, 44(2):87–98.

[7] Zou J, Yan F, Lee T T, et al. A Perturbation Algorithm for Embedding Virtual Data Centers in Multipath Networks [C]// Global Communications Conference. Austin, USA: IEEE, 2014:2240–2245.

[8] Karakus M, Durresi A. A survey: Control Plane Scalability Issues and Approaches in Software-Defined Networking (SDN) [J]. Computer Networks, 2017, 112(1):279–293.