

基于软件定义网络的流量工程^{*}

周桐庆, 蔡志平, 夏竟, 徐明

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

通讯作者: 周桐庆, E-mail: zhoutongqing@nudt.edu.cn



摘要: 作为一种新型网络架构,软件定义网络(Software Defined Network, 简称 SDN)将网络的数据层和控制层分离,通过集中化控制和提供开放控制接口,简化网络管理,支持网络服务的动态应用程序控制.流量工程通过对网络流量的分析、预测和管理,实现网络性能的优化.在 SDN 中开展流量工程,可以为网络测量和管理提供实时集中的网络视图,灵活、抽象的控制方式以及高效、可扩展的维护策略,具有突出的研究意义.对基于 SDN 的流量工程相关工作进行综述.分别从测量的方法、应用和部署角度出发,对 SDN 中流量测量的基本框架、基于测量的正确性检测以及测量资源的管理进行概述.分析传统网络流量调度方案的问题,介绍 SDN 中数据流量和控制流量调度的主要方法.从数据层和控制层两个方面概述 SDN 中故障恢复方法.最后,总结并展望未来工作.

关键词: 软件定义网络;流量工程;流量测量;流量调度;网络故障恢复

中图法分类号: TP393

中文引用格式: 周桐庆,蔡志平,夏竟,徐明.基于软件定义网络的流量工程.软件学报,2016,27(2):394-417. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4935.htm>

英文引用格式: Zhou TQ, Cai ZP, Xia J, Xu M. Traffic engineering for software defined networks. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2016, 27(2): 394-417 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4935.htm>

Traffic Engineering for Software Defined Networks

ZHOU Tong-Qing, CAI Zhi-Ping, XIA Jing, XU Ming

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Software defined network (SDN) is an emerging network paradigm that proposes to decouple the control and data forwarding plane. Leveraging the centralized control ability and open programming interfaces SDN provides, network management can be dramatically simplified, and network services can be dynamically controlled by applications. Traffic engineering (TE) is a category of mechanisms that promises to optimize network performance through analyzing, predicting and regulating data flow in network. The unique features of SDN provide TE with unified and real-time global network view, flexible control manner and better policy for scalable traffic management, exhibiting profound research significance. This paper surveys the state-of-art works on TE for SDN. In terms of the methods, application and deployment of measurement, works on traffic measurement architecture, network invariant detection and measurement resource management with SDN are reviewed. The problems in traditional network traffic management are analyzed, and SDN-based data traffic management methods for efficient load balance and control traffic management methods for centralized bottleneck relief are presented. Moreover, network failure resilience technologies in SDN are described. Finally, the technological approaches are summarized and future research issues are discussed.

Key words: software defined network; traffic engineering; traffic measurement; traffic management; network failure recovery

近年来,随着互联网规模的不断扩大,接入网络的设备数目和种类不断增多,传统网络在管理难度、可扩展

* 基金项目: 国家自然科学基金(61379144, 61379145, 61402513)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61379144, 61379145, 61402513)

收稿时间: 2015-05-16; 修改时间: 2015-08-11, 2015-10-09; 采用时间: 2015-10-27; jos 在线出版时间: 2015-11-06

CNKI 网络优先出版: 2015-11-06 13:28:53, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2560.TP.20151106.1328.001.html>

性以及实验研究等方面的局限逐渐凸显出来^[1],具体体现在:研究者很难在大规模网络环境中进行实验研究的验证;网管人员无法有效地根据自身的应用需求进行网络的配置和优化;设备厂商不能快速地进行研发和部署,以满足客户需求^[2].

作为一种新型的网络架构,SDN(software defined network)基于网络抽象的思想,将网络中的控制层和数据层分离开来,提供对分布式网络的集中管理和动态维护能力,从而有效解决传统 IP 网络在维护、扩展和实验创新上的弊端.如图 1 所示,SDN 网络主要包含应用、控制和数据这 3 个层面:控制层将网络各节点的控制功能从逻辑上集中;应用层利用控制层提供的可编程接口实现各种网络应用;数据层负责进行数据流的转发.OpenFlow^[3]是控制层和转发层之间通信的标准接口,状态、数据以及控制信息通过这一接口实时地传递.

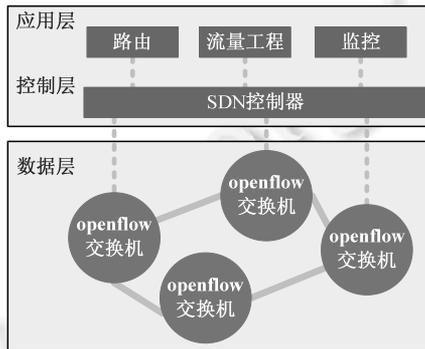


Fig.1 SDN architecture

图 1 SDN 结构

如图 1 所示,流量工程是 SDN 网络中的一类典型应用.流量工程是网络管理者优化网络性能和流量传输的一系列重要方法,主要内容包括对网络中的数据流进行动态的分析、预测和管理,其相应技术广泛地应用在公共电话交换网、局域网、广域网和互联网中.在网络快速发展和网络应用不断出现的新形势下,基于传统网络技术的流量工程具有局限性,具体可从服务的使用者和提供者两个角度加以概括:

- 1) 服务质量与可扩展性方面:网络应尽可能地满足不同应用的传输需求,而且能够针对各个应用对延迟等性能指标的不同要求提供不同优先级的服务.例如,不断增多的多媒体应用对于端到端延迟、抖动以及丢包率等服务质量参数都提出更高的要求^[4].
- 2) 网络资源利用率和容错方面:云计算的发展使得大规模数据中心的需求愈发明显,网络管理过程中应更有效地利用网络资源,以降低成本并提高系统的总体性能^[4].与此同时,网络设备的不断增多使得网络中出现故障的概率不断变大,需要流量工程为网络提供足够的容错和快速恢复能力.

SDN 为集中和高效的网络管理提供新的思路和途径,为流量工程的开展提供全局的网络视野、实时的状态信息和清晰的网络流模式,易于实现及时、准确的测量和动态灵活的调度.另一方面,传统网络的流量工程技术能否与 SDN 有效地兼容尚不明确^[5],因此,开展基于 SDN 的流量工程研究是极有理论意义和应用价值的.

本文针对现阶段 SDN 中流量工程相关工作进行介绍和分析.第 1 节首先介绍基于 SDN 的流量工程的概念和内容,并分析存在的挑战.在此基础上,分别利用第 2 节~第 4 节对流量工程中的流量测量、流量管理和故障恢复这 3 个方面的工作进行详细阐述.最后,第 5 节对全文进行总结,并对未来工作提出展望.

1 SDN 中流量工程概述

1.1 流量工程定义

流量工程,或称流量管理,指的是针对网络性能进行优化的一系列方法,即针对网络中数据流的行为进行动态的分析预测和有目的的管理.图 2 给出一个使用流量工程进行路由优化的例子,两个用户流由节点 A 流向节

点 C,在图 2(a)中,使用最短路径路由(OSPF),导致链路 AC 拥塞;在图 2(b)中,利用链路 AB 和 BC 分摊 AC 间的流量,减轻或消除链路 AC 的拥塞状况.可见,流量工程可以有效地改善网络性能.

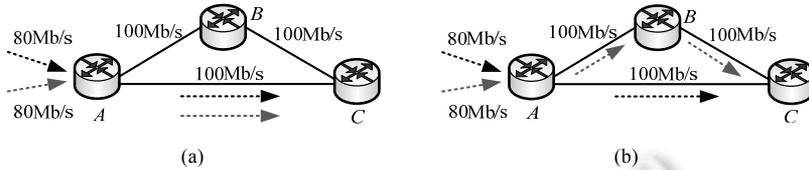


Fig.2 A example of using traffic engineering for routing optimization

图 2 使用流量工程进行路由优化的一个例子

针对不同的网络类型,流量工程技术不断发展以满足不同的需求.在 20 世纪 80 年代的 ATM 网络中,流量工程技术主要用来解决拥塞控制问题^[6];90 年代末,IP 网络迅猛发展,流量工程被用来在 IP 网络中进行路由优化以均衡路径上的流量,并为应用提供服务保证^[7];针对 IP 网络中优化路由的限制,研究者进一步提出通过标签而非 IP 头部进行转发决策的多协议标签交换技术(MPLS)^[8],实现更有效的流量管理.但是,MPLS 控制层的实现和管理过于复杂,SDN 的提出则恰好有效地解决了这一问题.

SDN 的出现引起了学术界和产业界的广泛重视.例如,Google 期望通过使用 SDN 将网络资源的利用率提升 20~30%,同时降低网络的延迟和丢包^[2].相对于传统方式,SDN 为流量工程的开展提供了更好的基础:首先,提供集中的全局视图,控制器能够实时得到全局的网络状态、拓扑信息和应用需求信息;其次,提供可编程的数据层接口,操作者可以根据当前状态对网络资源进行动态重分配;此外,多个设备厂商的交换机使用统一的编程接口,可以提供充分的开放性^[9,10].总结起来,基于 SDN 开展流量工程的优势可概括如下:

- 1) 在流量的测量方面,可以灵活地部署可扩展的全局测量任务,实时地收集网络状态信息,对流量进行准确的集中式监控和统计分析.
- 2) 在流量的管理方面,可以综合考虑网络状态和网络应用需求,以流为单位进行动态、灵活、细粒度的流量调度,实现网络中流量的负载均衡.
- 3) 在网络的资源利用和维护方面,支持对包括带宽、存储等资源的动态分配,实现有效而合理的资源利用.基于集中的网络状态反馈,可以透明地进行故障的应对和处理.

1.2 基于SDN的流量工程研究内容

流量工程相关工作可以从不同的角度进行划分^[4].在研究基于 SDN 的流量工程时,本文按照功能将其分为流量测量、流量管理和故障恢复 3 个部分,如图 3 所示.



Fig.3 Main research contents of traffic engineering in SDN

图 3 SDN 网络中流量工程的主要内容

1) 流量测量

流量测量是对一个特定网络中流量的规模、特征进行测量的过程,是有效实现网络管理的基础.一般说来,

