

文章编号: 2095-2163(2022)11-0236-04

中图分类号: TP391.3

文献标志码: A

# 基于软件定义网络的节能路由系统研究

张霖<sup>1,2</sup>, 赵金阳<sup>1</sup>, 刘星<sup>1</sup>

(1 四川文理学院 智能制造学院, 四川 达州 635002; 2 达州智能制造产业技术研究院, 四川 达州 635002)

**摘要:** 近年来,通信技术的快速发展使得计算资源的需求不断增长,并使得数据中心网络的数量也在全球范围内不断增加。然而,由路由器与交换机组成的传统数据中心网络在支持庞大的传输需求的同时,其能耗也在显著增长。因此,为了达到节能的目的,本文提出基于新兴的软件定义网络架构下集中控制式冗余消除节能研究,并建立流量高峰及低谷时期不同的路由策略。实验的仿真结果表明,所提出的节能模型在降低网络能耗方面优于传统的策略。

**关键词:** 路由; 节能; 软件定义网络

## Research on energy-saving routing system based on software defined network

ZHANG Lin<sup>1,2</sup>, ZHAO Jinyang<sup>1</sup>, LIU Xing<sup>1</sup>

(1 The Institute of Intelligent Manufacturing, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou Sichuan 635002, China;

2 Dazhou Intelligent Manufacturing Industry Technology Research Institute, Dazhou Sichuan 635002, China)

**[Abstract]** In recent years, the rapid development of communication technology has made the demand for computing resources continue to increase, which in turn has resulted in an increasing number of data center networks around the world. However, while the traditional data center network composed of routers and switches supports the huge transmission demand, its energy consumption is also increasing significantly. Therefore, in order to achieve the purpose of energy saving, this paper proposes a energy-saving research on centralized control redundancy elimination based on the emerging software-defined network architecture, and establishes different routing strategies for traffic peaks and valleys. The simulation results show that the proposed energy-saving model outperforms traditional strategies in reducing network energy consumption.

**[Key words]** routing; energy-saving consumption; software-defined networking

## 1 数据中心网络能耗的研究现状

近年来,各种“互联网+”技术层出不穷,如“互联网+医疗”、“互联网+交通”、“互联网+教育”等。这些智能化的运作大多基于大数据平台、AI算法等组成的云数据中心,而云计算、人工智能等相关技术的快速发展,使得数据中心的流量密度大幅增长,其能耗问题已经不容忽视<sup>[1]</sup>。

数据中心的能耗主要来源于照明系统、配电系统、空调系统以及IT设备等<sup>[2-3]</sup>。对此拟做阐释分述如下。

(1)照明系统与配电系统二者能耗之和约占数据中心总能耗的13%。

(2)空调系统产生的能耗约占40%,虽然占比较大,但由于这方面的节能大多集中在地理环境和新能源的研究上,因此本文不做讨论。

(3)IT设备由服务器、存储单元和通信设备构

成,其能耗约占47%。

因此,从IT设备的角度出发,研究绿色能耗模型成为节能主流思想。一方面,根据路由器和服务器的负载需求来动态设置休眠唤醒机制,从而降低设备能耗<sup>[4]</sup>。另一方面,利用相关感知流量的合并技术来提高路由效率,避免潜在的链路拥塞同时减少设备状态的频繁转换,达到节能目的<sup>[5]</sup>。

然而,设备休眠及链路优化都需要网络的全局视图与控制,传统网络架构缺乏灵活性,网络策略一旦设置好,后期无法根据硬件或流量变化来动态地分配资源。为了克服这些问题,一种新的网络架构—软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)应运而生。SDN将控制平面与数据平面分离,由控制平面集中式管理并控制整个网络。而基于软件就意味着该架构能够以编程方式来满足不同的网络要求,使部署复杂的数据中心网络变得更加简单、灵活和易操作。研究者们通过SDN来集中式地控

**基金项目:** 四川文理学院科研启动基金资助(软件定义DCNs的节能路由机制研究); 达州智能制造产业技术研究院(ZNZZ2216); 三维激光点云与影像数据自动匹配方法研究(2019KZ004Z)。

**作者简介:** 张霖(1993-),女,硕士,助教,主要研究方向:人工智能、软件定义网络。

**通讯作者:** 张霖 Email:2647689139@qq.com

**收稿日期:** 2022-07-17

制全网设备,让更多路由器/链路进入休眠<sup>[6]</sup>,从而能够更好地实现高效节能。

综合以上研究,本文提出一种基于 SDN 的数据中心网络下节能模型,全面考虑了流量冗余消除和流量低谷/高峰时间内的节能路由策略。

## 2 基于 SDN 的节能示例

在一个 Fat-Tree 网络拓扑中,某一时刻有 2 个流量需求,即:流  $f_1$  从  $H_2$  到  $H_6$ ; 流  $f_2$  从  $H_3$  到  $H_7$ , 且  $f_1 \geq f_2$ 。  $f_2$  的传输路径选择策略如图 1 所示, 设 SDN 控制器为  $f_1$  选择绿色的传输路径, 为  $f_2$  选择如

下 3 种策略。对此可给出探述分述如下。

(1) 路径 1: 选择红色路径, 并在  $t = 0$  时刻同时发送  $f_1$  和  $f_2$ 。

(2) 路径 2: 选择蓝色路径, 并在  $t = 0$  时刻同时发送  $f_1$  和  $f_2$ 。

(3) 路径 3: 选择路径 2, 但是由于  $f_1$  和  $f_2$  有重叠路径, 所以在  $t = 0$  时刻先发送较小的  $f_2$ , 待其传输结束再发送  $f_1$ 。与此同时, 启用重复路径的头尾路由器的冗余消除 (Redundancy elimination, RE) 功能。

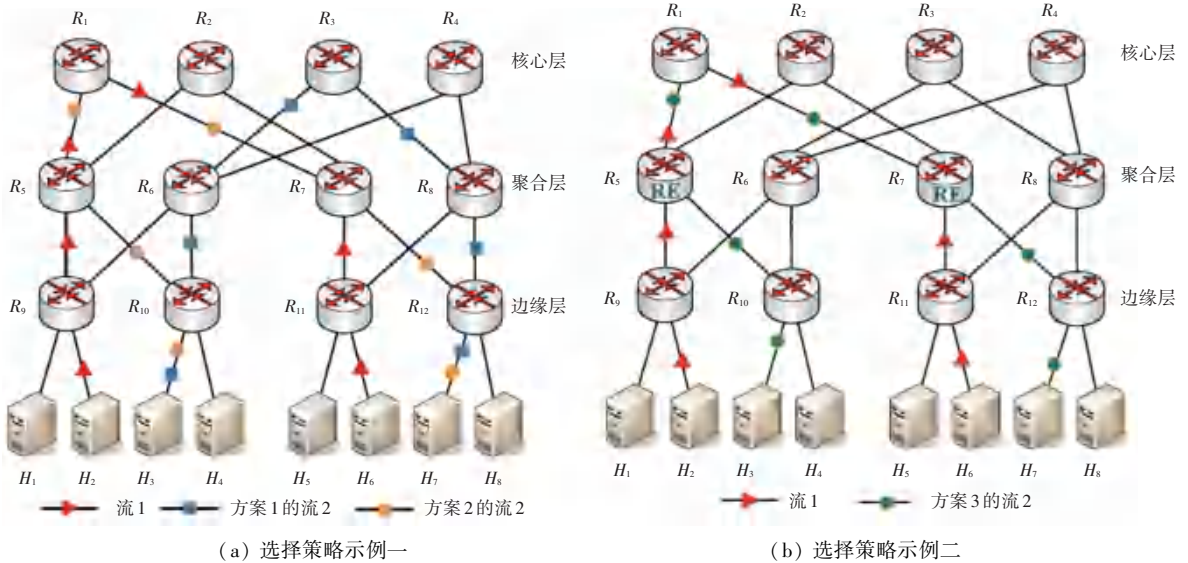


图 1  $f_2$  的传输路径选择策略

Fig. 1 Transmission path selection strategy of  $f_2$

单位时间内,如果单个路由器的能耗为  $P_R$ , 执行冗余消除的能耗为  $P_{RE}$ ; 每条链路的传输速率均为  $C$ , 传输数据的能耗为  $P_L$ 。 每种策略的总能耗分析如下:

(1) 路径 1:  $f_1$  和  $f_2$  没有重叠链路。在  $t = 0$  时刻同时发送  $f_1$  和  $f_2$ , 完成时间分别为  $f_1/C$  和  $f_2/C$ 。  $f_1$  的传输路径上共有 5 个路由器, 而  $f_2$  也同样有 5 个, 故而此时传输这 2 个流的总能耗为  $P_R * (5f_1 + 5f_2)/C + P_L * (6f_1 + 6f_2)/C$ 。

(2) 路径 2:  $f_1$  和  $f_2$  有重叠链路, 所以在  $f_2$  传输完成之前这 2 个流的传输速率均为  $C/2$ , 因此  $f_2$  的完成时间为  $2f_2/C$ ; 而当  $f_2$  完成传输后  $f_1$  的传输速率变为  $C$ , 因此  $f_1$  的完成时间为  $(f_1 + f_2)/C$ 。 分析后可知, 总能耗为  $P_R * (5f_1 + 9f_2)/C + P_L * (6f_1 + 14f_2)/C$ 。

(3) 路径 3: 与路径 2 相同,  $f_1$  和  $f_2$  有重叠链路。但 SDN 控制器设置优先调度较小流  $f_2$ , 在  $f_2$  传输完

后再调度  $f_1$ 。假设流量的冗余率为 50%,  $f_2$  的完成时间约为  $0.5 f_2/C$ ,  $f_1$  的完成时间约为  $0.5(f_1 + f_2)/C$ 。 考虑到启用 RE 的路由器, 传输这 2 个流的总能耗约为  $P_R * (3.5 f_1 + 3.5 f_2)/C + P_L * (5 f_1 + 5 f_2)/C + P_{RE} * (f_1 + f_2)/C$ 。

对比 3 种策略发现, 基于优先级的依次调度策略, 即路径 3, 可以更早地完成传输任务, 进而节省网络设备的能耗。

## 3 模型设计

通过前文研究论述展开分析后, 本文提出一个基于 SDN 的数据中心节能模型。如图 2 所示, 该模型中 SDN 控制器的主要功能可表述为:

(1) 根据流量需求的大小来确定流的优先级别。

(2) 获取全局视图, 为目标流规划可传输的路径。

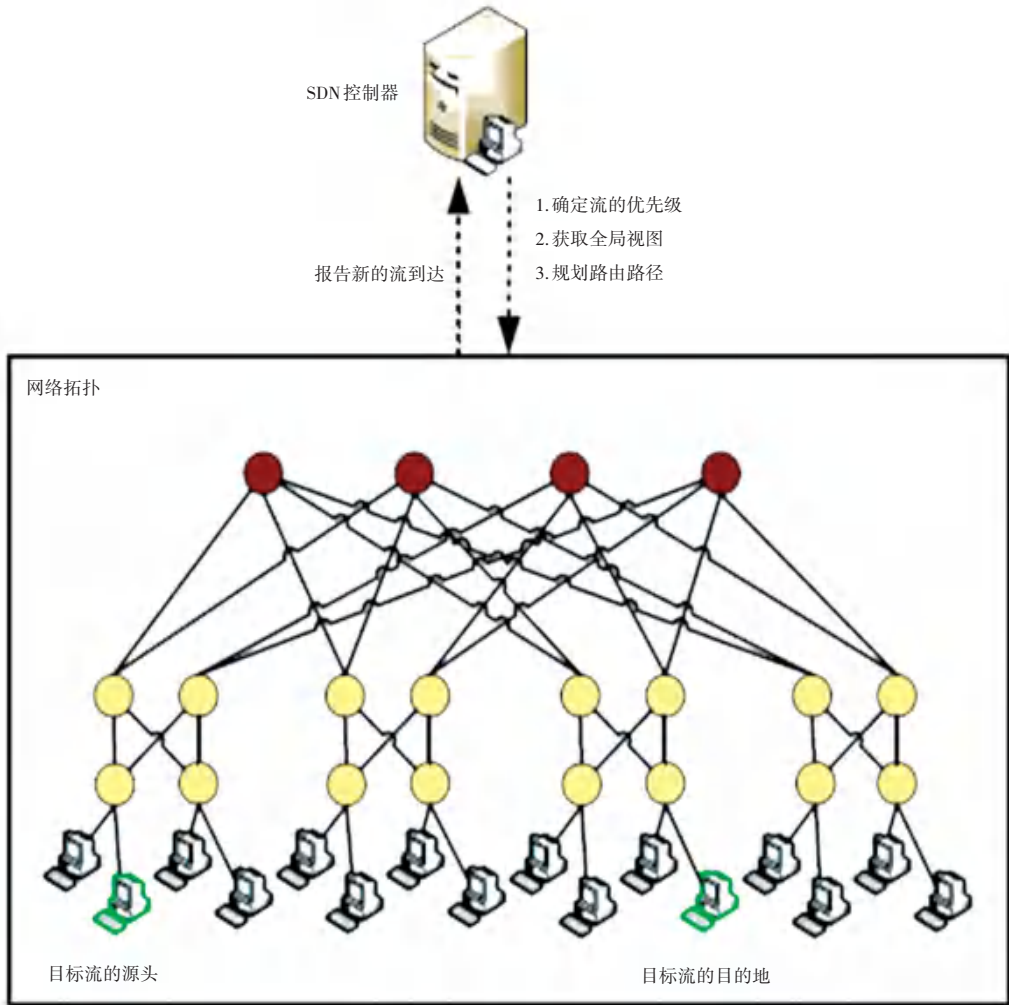


图2 基于SDN的节能模型设计

Fig. 2 Design of energy-saving model based on SDN

在流量高峰期间,SDN 控制器优先通过全局视图判断目标流的传输路径中是否存在完全空闲的路径,如果有,则把目标流挂到活动流队列的队尾,并选择一条空闲路由器/链路最少的空闲路径进行传输。否则,就继续判断是否存在可抢占路径,即目标流的优先级最高的非空闲路径。如果有,则把优先级较高的流挂到阻塞队列的队尾,并选择重叠路径最长的路径进行传输,但是注意此时需要启用重叠路径的头/尾路由器的 RE 功能。如果没有找到可行路径,那么目标流将被挂到阻塞队列的队尾。

在流量低谷期间,SDN 控制器优先为目标流选择可抢占路径,如果没有,再为其选择完全空闲路径,以上 2 种路径都没有,则目标流被阻塞。

综上所述,提出的模型在流量高峰期间通过更短的传输时间来更早关闭活动的路由器/链路,且在

流量低谷期间减少路由器/链路的状态切换次数。不论哪种情况都是减少传输过程中活动路由器/链路的数量来节省能耗。

#### 4 实验设计与结果分析

本文利用 Mininet 仿真平台<sup>[7]</sup>来搭建基于 SDN 的 4 阶 Fat-Tree 网络拓扑。控制器选用广泛流行的 POX 控制器,所有链路均被设置为带宽 10 Mbps 的全双工链路。假设流量的冗余率为 50%。

图 3 显示了在该仿真网络下提出模型、ILP-EAR<sup>[8]</sup>和 H<sub>ILP</sub>-GreenRE<sup>[9]</sup>三种模型的节能效果随流量负载的变化。当流量负载增加时,3 种模型节省的网络能耗呈下降趋势,但所提出的模型要比其他 2 个表现更好,尤其是在流量负载增加至 75% 以后,节省的能耗比其他 2 个平均高出 3%~5% 左右。

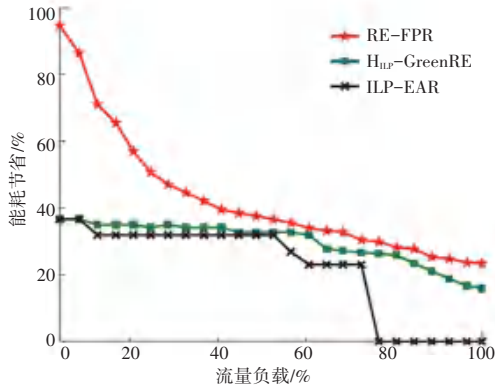


图 3 不同流量负载下 3 种模型的节能效果

Fig. 3 Energy-saving effect of three models under different traffic loads

由于流量的突发性,数据中心网络可以分为流量高峰时期和流量低谷时期。ILP-EAR 和 H<sub>ILP</sub>-GreenRE 通过设置空闲设备进入休眠的方式在流量低谷期间获得明显的节能效果。然而,如果在流量高峰期间也使用这些路由策略,那么更多的网络流将共享阻塞链路的带宽,造成路由器和链路不得不工作更长的时间来支持繁重的流量需求,从而导致网络能耗进一步增加。本文提出的模型有效解决了以上问题:在流量低谷期间,执行冗余消除,并将流量需求聚集到链路子集,休眠空闲的链路/路由器以节省能耗;在流量高峰期间,按照流量的优先级传输能够更快地完成传输任务,从而使路由器/链路更早进入休眠,进一步降低能耗。

## 5 结束语

近年来,由于 SDN 对于网络架构的重新定义,使得采用 SDN 来控制并管理数据中心网络成为一个新的研究热点,其中最广泛且高效的应用是基于 SDN 的能量感知技术。本文首先对当前数据中心能耗现状以及基于 SDN 的数据中心网络发展进行了简要介绍。其次,本文通过一个示例重点讨论了当前节能技术的思想,并提出了一种具有冗余消除

的集中式数据中心网络的节能模型。该模型根据流量的高峰/低谷时期,对流量需求采用不同方式进行传输,在提高路由器/链路利用率的同时也降低了网络能耗。最后,仿真实验从流量负载方面对所提出的模型进行了分析,并与现有的节能模型加以对比,验证了该模型的节能性。

此外,本文为了简化模型建立,简单地按照流量大小来设置流量的优先级。然而在现实场景下,流量的优先级可能随着运营商的不同需求而改变,可能被设置为流量的截止时间、流量的工作时间等。因此,提出的模型在降低流量平均完成时间的同时,也可能会造成某些延迟敏感的流量错过其截止时间的问題。未来,可以继续深入探讨分布式的节能策略,以期提高路由计算的实时性和可扩展性。

## 参考文献

- [1] 郭丰. 我国数据中心能耗及能效水平研究[J]. 产业科技创新, 2020(13):48-49.
- [2] 蔺昊欣,彭妍妍,夏玉娟,等. 我国数据中心能耗评价方法标准综述[J]. 中国能源, 2020, 42(08):36-39.
- [3] 李勇. 能耗指标与数据中心的关系研究[J]. 南方能源建设, 2020, 7(03):23-27.
- [4] CHANG X, YANG S, JIANG Y, et al. Research on key energy-saving technologies in green data centers [C]// 2020 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud). IEEE, 2020.
- [5] ZHAO Yong, WANG Xingwei, HE Qiang, et al. Power-efficient software defined data center network [J]. Future Generation Computer Systems, 2021, 114:69-81.
- [6] 张举,王浩,罗舒婷,等. 基于遗传算法的混合软件定义网络路由节能算法[J]. 计算机科学, 2020, 47(06):236-241.
- [7] Mininet. Mininet an instant virtual network on your laptop[EB/OL]. [2020-07-01]. <http://mininet.org/> Online.
- [8] CHAUDHARY R, KUMAR N. EnFlow: An energy-efficient fast flow forwarding scheme for software-defined Networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 22(8): 5293 - 5309.
- [9] GIROIRE F, MOULIERAC J, PHAN T K, et al. Minimization of network power consumption with redundancy elimination [J]. Computer Communications, 2015, 59(15):98-105.