

混合 SDN 网络中的能源节约与流量优化策略^①

程 尚^② 黄新力^③ 石 鹏

(华东师范大学计算机科学技术系 上海 200062)

摘 要 针对混合软件定义网络(SDN)中的能源节约与流量优化问题,设计并实现了 SDN 交换机部署位置选择与链路行为优化方案。在保证数据包正确转发、链路最大利用率有限的前提下,基于改进遗传算法与贪心算法,通过优化 SDN 交换机的部署方案,定义其对流量的分离比例,关闭部分无效链路,调整链路最大负载,最终降低了链路的能源消耗。仿真实验结果验证了算法的正确性与高效性,并证明了该方案可以使网络能源得到充分利用,符合绿色网络的设计理念。

关键词 软件定义网络(SDN), 混合 SDN, 流量工程, 遗传算法, 负载均衡

0 引 言

混合软件定义网络(software defined network, SDN)通过传统网络中引入 SDN 交换机,添加集中控制功能,从而使控制器可以通过 SDN 交换机,间接地了解网络运行状态,监控网络流量,对网络中的问题产生实时的反馈。由于采取了增量部署策略,网络中绝大多数节点依然是传统交换机,节约了大量的部署成本,降低了 SDN 架构的引入对原有业务产生的影响^[1]。针对混合网络中的相关问题,学术界主要从部署方案研究与优化算法设计的角度展开研究。

Vissicchio^[1,2]定义了 4 种典型的混合 SDN 网络模型,并进一步提出混合部署的技术关键在于将 SDN 交换机的集中控制策略与传统网络的分布式控制策略相融合。Telekinesis^[3]、Panopticon^[4]、Fibbing^[5]等工作通过操纵混合网络中的 SDN 交换机,控制网络中流经 SDN 交换机的流量,以达到对网络的部分控制。HAL^[6]、LegacyFlow^[7]、I2RS^[8]、OSHI^[9]等工作在数据平面和控制平面之间添加网络

抽象层,使控制器下发的流表在通过网络抽象层时,可以根据底层硬件的不同,转换为底层交换机支持的配置命令,以达到对整个网络的间接控制。上述方案局限于混合 SDN 网络的部署,并没有考虑到混合 SDN 网络的节点选择策略及网络行为优化。

Agarwal^[10]对混合网络进行建模,研究在一个确定的混合 SDN 网络中,通过确定 SDN 交换机对流量的切分比例,使整个网络中的最大链路利用率最小。Das^[11]等研究在一个给定的混合 SDN 网络中,引导更多在传统路由协议中不能参与转发的链路参与转发。如果数据包在转发过程中至少流经一个 SDN 交换机,则该数据包被视为网络中的可控流量。Ren^[12]等研究如何在给定的混合网络中,最大化可控流量所占比,即最大化网络的控制程度。以上方案针对 SDN 交换机的行为进行优化,未考虑到交换机部署位置,且缺乏对节约网络能源的研究。

针对上述文献所存在的局限性,本文从节点位置选择和链路负载状态调整的角度,降低网络中不必要的链路消耗,从而达到节省网络能源的目的。节约的链路总能耗为主要优化目标,关闭部分与 SDN 交换机相连的链路或将部分链路的最大负载

① 863 计划(2009AA09Z102)和上海市“科技创新行动计划”高新技术领域(18511103302)资助项目。

② 男,1993 年生,硕士生;研究方向:SDN 网络;E-mail: 51151201027@stu.ecnu.edu.cn

③ 通信作者,E-mail: xlhuang@cs.ecnu.edu.cn

(收稿日期:2018-01-06)

调至低负载水平为主要优化方式。首先通过模型构建,将网络流量优化问题转变为数学优化问题。其次,本文针对 SDN 交换机部署位置选择及部署位置决定后,混合网络中链路状态分配的问题,提出了可以自由组合的交换机部署算法与链路状态调整算法。最后,利用仿真工具,对该方案的正确性和有效性进行了多角度验证,并与其他流量工程算法进行横向对比。

1 混合 SDN 网络模型

1.1 研究前提

在混合 SDN 网络中,部分传统交换机被替换为 SDN 交换机。传统交换机依然根据最短路径优先原则选择转发链路,且流量流经传统交换机时,具有相同目的地址的流量只能由某一特定端口转发。每条链路设有权重值,用于根据传统路由协议生成转发树^[10]。而 SDN 交换机由于其转发策略由控制器决定,具有细粒度的控制特征。这种情况下,相同目的地址的流量可能会流经不同链路,达到了负载均衡的效果。

图 1 所示的网络中有 9 台交换机,序号为 1 到 9,每条链路的距离预设为 1。某一时刻,网络中节点 1 与 9 之间需要发送数据包,对于 1→9 的方向,如果所有交换机均为传统交换机,则只有 1-2-9 这条路径被选中,链路 2-9 可能产生较大负载。由于当前网络中节点 2,7 为 SDN 交换器,节点 2 可以根据控制器的指令,将数据包按照一定的分离比例分别发送给节点 3,9,5。这三个传统交换机将继续根据传统路由协议对数据包进行转发。最终生成了 1-2-9,1-2-3-9,1-2-5-9 的 3 条合法路径,对流量进行了分流,降低了部分链路的最大负载。

该网络中,并非所有链路都参与了转发,或者某些链路可能只参与了有限的转发工作,这些链路被视为潜在的可优化链路。而 SDN 交换机可由控制器直接定义运行状态,通过控制端口的方式,断开或调节某些与其直接相连的链路,这些链路被定义为混合 SDN 网络中的可控链路。图 1 中,与节点 2,7 相连的所有链路均为可控链路,其他链路为不可控

链路。本方案拟对每条可控链路设置 0,1,2,4 的可变档位。0 表示当前链路处于关闭状态,1,2,4 分别表示当前链路以该链路最大负载的 25%、50%、100% 状态运行,不同的链路负载对应不同的能源消耗,本文将试图通过对链路状态的调节,降低网络的能源总消耗。

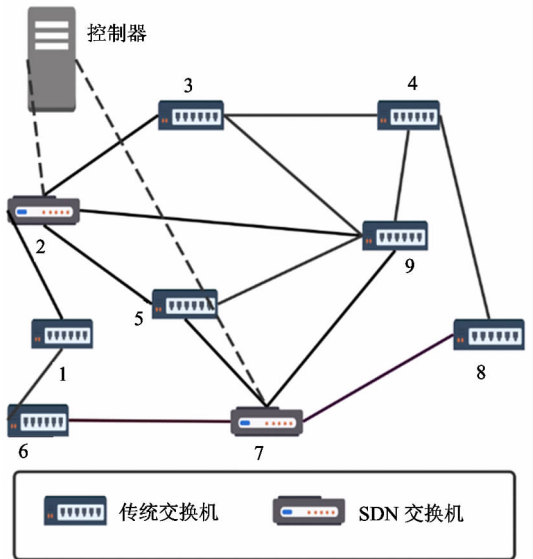


图 1 混合 SDN 网络

混合 SDN 网络中的每条链路都被设置了固定的最大允许负载,由于 SDN 交换机的分流作用,可以降低网络中的最大链路利用率,起到负载均衡的效果^[10]。然而,部分链路的关闭或调整将增加网络中某些链路的流量压力。部署方案需要保证网络的最大链路利用率不超过 1,即每条链路上流量之和小于该链路当前实际允许负载。又由于预算限制,网络中无法部署大量的 SDN 交换机,故在网络模型中 SDN 交换机的部署成本不能超过预算总和。

1.2 部署模型

根据混合 SDN 网络的特点及本文的优化目标,可以列出混合 SDN 网络模型中的相关参数(表 1),以及在优化过程中需要遵循的部分表达式。

$$\sum_{e_{i,j} \in E} Cap(e_{i,j}) \times Pri(Turn(e_{i,j})) \quad (1)$$

$$\sum_{e_{i,j} \in E_{SDN}} Cap(e_{i,j}) \times Pri(Turn(e_{i,j})) + \sum_{e_{i,j} \in E_{leg}} Cap(e_{i,j}) \times Pri(Turn(e_{i,j})) \quad (2)$$

表 1 符号和含义

符号	含义
$G = (V, E)$	整个网络(V 与 E 表示交换机与链路集合)
v_i	单个交换机 i
v_i^p	单个交换机 v_i 的端口总数
V_{SDN}	网络中的 SDN 交换机集合
V_{leg}	网络中的传统交换机集合
E_{SDN}	网络中受 SDN 交换机控制的链路集合
E_{leg}	网络中不受 SDN 交换机控制的链路集合
$e_{i,j}$	网络中的某条链路(连接交换机 $v_i v_j$)
$f(e_{i,j})$	链路 $e_{i,j}$ 上的所有流量之和
$f(e_{i,j}^{s,d})$	链路 $e_{i,j}$ 上关于流量对 $TF_{s,d}$ 的流量
$Cap(e_{i,j})$	链路 $e_{i,j}$ 上的最大允许负载
TM	网络总流量矩阵
$TF_{s,d}$	$TF_{s,d} \in TM$, 交换机 s 与 d 之间的流量
$In_j^{s,d}$	流量 $TF_{s,d}$ 进入交换机 v_j 的边的集合
$Out_j^{s,d}$	流量 $TF_{s,d}$ 离开交换机 v_j 的边的集合
$Cost(v_i)$	在 v_i 处部署 SDN 交换机的花费
$Turn(e_{i,j})$	链路 $e_{i,j}$ 的档位(运行状态)
$W(e_{i,j})$	链路 $e_{i,j}$ 的距离(权值)
$Budget$	部署混合 SDN 网络的总预算
$flow(v_i)$	传统路由协议下流经节点 v_i 的总流量大小
$pass(v_i)$	传统路由协议下流经节点 v_i 的总流量需求对数

式(1)与式(2)分别表示部署前后的网络能源消耗总和,方案的最终目的是最大化两者之差。 $Pri(Turn(e_{i,j}))$ 表示该档位下的链路能源消耗情况,该系数可以由用户指定。该优化目标需要满足以下限制:

$$\sum_{e_{i,j} \in In_j^{s,d}} f(e_{i,j}) + \sum TF_{j,d} = \sum_{e_{j,m} \in Out_j^{s,d}} f(e_{j,m}) + \sum TF_{s,j} \quad s,d,j \in V \quad (3)$$

式(3)表示对于网络中任意节点 v_j ,流入该节点的总流量加上起源于该节点的流量等于流出该节点的总流量加上截止于该节点的流量。

$$f(e_{i,j}) = \sum_{s,d \in V} f(e_{i,j}^{s,d}) \leq \frac{1}{4} Cap(e_{i,j}) \times Turn(e_{i,j}) \quad i,j \in V \quad (4)$$

式(4)表示对于任意一条链路 $e_{i,j}$,其总流量等于每一对 TF 在该链路上的流量之和,且小于该链路当前允许负载。传统交换机不能改变链路状态只能满负载运行,而与 SDN 交换机相连的链路有高、中、低、关四种状态,即式(5)所示:

$$Turn(e_{i,j}) = \begin{cases} 4 & e_{i,j} \in E_{leg} \\ 0,1,2,4 & e_{i,j} \in E_{SDN} \end{cases} \quad (5)$$

$$card(Out_j^{s,d}) = \{0,1\} \quad (j \in V_{leg}) \quad (6)$$

式(6)表示如果当前节点为传统交换机,则对任何流经该节点的流量,该节点最多只能选择一条链路转发。

$$\sum_{v_i \in V_{SDN}} Cost(v_i) \leq Budget \quad (7)$$

式(7)表示网络中 SDN 交换机的部署成本之和不能超过总预算。此外,每条边的实际流量,每个节点部署位置的成本,每条边的权重等参数均需要大于等于 0。根据问题的描述,研究者需要寻找 SDN 交换机的部署序列,并确定 E_{SDN} 集合中的链路状态。

2 算法设计

在交换机部署算法提出可能的部署位置后,将根据当前网络状态,定义 SDN 交换机对流量的分离比例,及所有可控链路的最大负载(档位)。如果网络中的所有流量均可正常转发,则此时网络中节约的能源消耗为该方案的收益,图 2 概述了方案运行流程。

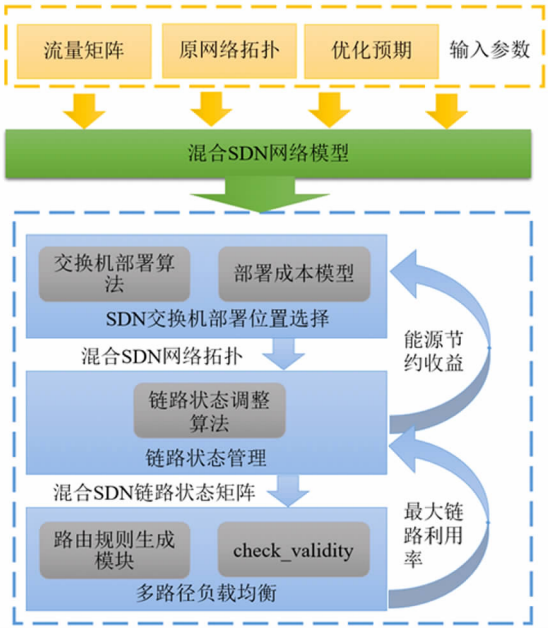


图 2 混合 SDN 部署与优化流程

用户将需要优化的网络拓扑以 JSON 格式导入,并输入网络中的流量矩阵,它们将共同生成传统网络转发模型。此外,用户还可以输入自己的优化需求以及限制条件,包括网络部署总预算,期望达到的链路能源节约百分比,允许的最大链路利用率,不同 SDN 交换机的部署成本等。输入阶段完成后,系统会将上述文件及参数进行读取,进入本文重点研究的各个优化模块。

2.1 基于遗传算法的链路状态调整算法

该方案将混合网络中的链路状态调整过程模拟为生物进化的过程,并逐步淘汰适应度较低的解,算法过程描述如下:

- (1) 输入 $G = (V, E), TM, V_{SDN}, W$ 。
- (2) 根据 V_{SDN}, TM, G 生成传统网络转发表和 E_{SDN} 集合。
- (3) 初始化一组 E_{SDN} 的链路状态 $Turn(e_{i,j})$ 作为初始群体。例如,染色体 $[4, 2, 2, 1, 0, 4]$ 表示第 1, 6 两条边为 100% 开启状态,第 2, 3 两条边为 50% 开启状态,第 4 条边为 25% 开启状态,第 5 条边关闭。
- (4) 调用 $check_validity$ 方法,判断每个链路状态集合能否满足网络流量正确转发的基本需求。如果不能,则惩罚性降低适应度。
- (5) 计算每组链路负载方案对网络能源节约的收益,作为适应度。
- (6) 进行下一轮迭代,通过选择、交叉、变异等过程生成下一代种群。
- (7) 重复步骤(4)~(7),直到达到最终规定代数,或达到预期的能源节约目标。
- (8) 输出 E_{SDN} 中每条链路的 $Turn(e_{i,j})$ 以及此时的能源节约总量。

在 $check_validity$ 方法中,将通过调节 SDN 交换机对流量的分离比例,尽可能地使流量不超过负载上限。该过程先通过传统路由算法得出当前网络默认转发路径,再将 E_{SDN} 添加到转发路径图中,并删除其中可能产生环路的链路。此时模型中唯一变量为 SDN 交换机对流量的分离比例,该问题转化为了多商品流线性规划问题,该问题已被证明可以在多项式时间内求解^[13]。该过程将得出此网络的最

小化最大链路利用率,如果计算结果小于 1,则表示此网络通过负载均衡可以维持正常运行;如果结果大于 1,则表示当前网络中存在不可避免的链路过载情况。

2.2 基于贪心算法的链路状态调整算法

遗传算法由于对遗传代数的要求,可能会导致计算时间过长,因此该方案可视为离线的链路状态调整策略。基于贪心算法的快速链路状态调整算法的过程如下:

- (1) 输入 $G = (V, E), TM, V_{SDN}, W$, 计算出当前所有链路都开启时,网络的原功耗。
- (2) 计算出此时每条链路的空余流量,并进行排序。
- (3) 选出当前空闲最大的链路,将其档位调低一档。档位调整后,某些链路可能暂时无法满足负载的需求,所以每次调整后,如果当前链路的可用负载小于调整前的实际负载,则调用 $check_validity$ 方法。
- (4) 如果经过 $check_validity$ 的负载均衡后,当前网络中所有链路的最大利用率依然大于 1,表明该链路当前无法调整,需要将该链路状态回调,继续选择下一条空闲链路;如果利用率小于 1,则更新此时网络中的能耗状况及链路利用率,回到步骤(2)进行下一次循环。
- (5) 当所有链路都无法改变档位时,算法结束,得出此时的节约能耗与链路状态。

该方案的每次循环都将选取部分链路降低功耗,可用于对速度要求较高或网络规模较大的链路状态调整过程。但该算法可能错误地调整某些有空余负载却不适合改变档位的链路,并陷入局部最优陷阱,而遗传算法可以摆脱这种局限性。

2.3 基于遗传算法的部署位置选择算法

本小节将讨论 SDN 交换机的部署位置选择算法,并论述在交换机的部署成本不同、总预算一定时,混合 SDN 网络的增量部署策略。

由于每个交换机的部署成本不同,如果采用一般的遗传算法,每次迭代过程中选出若干位置,可能会产生大量的无效解。且每次迭代后,部署的交换机的数目也不同,导致难以进行后续的交叉变异过

程。本算法的初始化过程将对每个节点设定 0 到 1 之间随机的权值,每次迭代过程中,对节点的权值进行优化。一次迭代过程结束后,按照每个节点对应的权值,由高到低地选择部署节点,直到恰好满足预算限制。该方法在每次权值迭代后都可以选出一组可能的部署节点,通过后续的链路状态调整,计算出适应度,进行选择变异操作。该方案保证了每条染色体均能表示一组合法的部署序列。

2.4 基于贪心算法的部署位置选择算法

基于贪心算法的交换机部署策略是一种基于网络实际拓扑或流量的快速部署算法。在初始化网络参数、构建生成树后,计算每个节点处的流量情况(*flow* 和 *pass*)。根据流量的大小选择业务较为繁忙或是端口数 v_i^p 较多的可选节点,这些节点为当前网络中“性价比最高”的参考部署位置。选择这样的节点,直到网络总部署成本恰好不超过总预算。在网络规模较大或网络拓扑比较简单的情况下,该方案得出的部署序列接近基于遗传算法的部署位置。

3 实验仿真

3.1 实验环境及参数设置

本小节将通过仿真实验分析算法的表现。实验主要研究:(1)相同部署情况下,不同链路状态调整算法对能源节约的对比;(2)在预算及链路状态算法相同的条件下,不同的交换机部署算法对能源节约的对比;(3)由于 SDN 交换机的存在,如果流量流经 SDN 交换机,则控制器可以获取数据包的状态,该部分将比较部署策略对流量的控制比例的影响;(4)SDN 交换机对流量的分流,可能会导致部分转发路径的延长,导致网络中的延时问题,该实验将讨论该方案对网络的负面影响。

实验过程中,每个拓扑随机生成 10 组流量矩阵,流量大小将根据传统网络转发规则对每条链路的平均链路利用率进行调整,其中 4 组流量矩阵的网络利用率低于 25%,4 组利用率在 25% ~ 50% 之间,其余 2 组高于 50%。拓扑如表 2 所示。

对比方案包括纯 SDN 网络 (Pure-SDN),传统 OSPF 网络 (OSPF),随机选择 SDN 交换机位置 (Random-selection) 的部署方案,仅根据当前网络负

表 2 实验拓扑

拓扑	节点数量	链路数量
Aarnet	19	24
Abvt	23	31
Sprint	11	18

载情况,调节链路可用负载,使其恰好高于链路实际负载 (Simple) 的链路状态调整方案,以及仅针对提高网络控制程度的 MucPF 算法^[14]。本方案中的遗传算法设置群体大小 100,进化代数 200,交叉概率 0.2,变异概率 0.05,选择方式为轮盘赌且保证前 10% 结果进入下一代,基于 scipy 库实现。check_validity 中的多商品流线性规划问题通过调用 CPLEXPython API 求解。对于系数,50% 最大负载对应 70% 能源消耗,25% 最大负载对应 50% 能源消耗。

3.2 仿真结果分析

表 3 比较了不同网络拓扑下,在确定 SDN 交换机的部署位置时,不同的链路状态调整算法对网络

表 3 链路状态调整算法对比

网络拓扑 (预算比例)	遗传算法	贪心算法	Simple
Sprint (OSPF)	100%	100%	100%
Sprint (10%)	89%	90%	93%
Sprint (20%)	78%	79%	86%
Sprint (40%)	65%	68%	79%
Sprint (60%)	60%	63%	73%
Sprint (80%)	57%	61%	69%
Sprint (100%)	55%	59%	69%
Abvt (OSPF)	100%	100%	100%
Abvt (10%)	88%	88%	92%
Abvt (20%)	80%	82%	86%
Abvt (40%)	67%	71%	82%
Abvt (60%)	65%	68%	78%
Abvt (80%)	62%	65%	75%
Abvt (100%)	61%	63%	75%
Aarnet (OSPF)	100%	100%	100%
Aarnet (10%)	90%	90%	93%
Aarnet (20%)	83%	83%	86%
Aarnet (40%)	70%	72%	77%
Aarnet (60%)	68%	69%	74%
Aarnet (80%)	64%	65%	73%
Aarnet (100%)	63%	65%	73%

能源消耗的影响,表中数据为现网络能耗占原网络能耗的百分比,随机选择 SDN 交换机部署位置。刚添加 SDN 交换机时,网络中增加了大量可以改变状态的链路,这些链路的出现快速地降低了网络能耗,尤其在链路较为集中的 Sprint 拓扑中。随着部署交换机的增加,增长的可调节链路逐渐减少,但由于新增的 SDN 交换机使网络负载更加均衡,从而减少了部分可调节链路的负载,所以在部署量达到 40% 时,网络能源消耗会平稳下降,当网络中存在超过一半的 SDN 交换机时,绝大多数链路都可以被控制,网络能源消耗会保持在相对稳定的状态。

表 4 比较了相同链路状态调整算法的前提下,不同 SDN 交换机部署算法对网络能耗的影响,这里统一采用了贪心链路状态调整算法。交换机的部署成本与端口数量正相关,总预算范围为 0 到足够部署所有 SDN 交换机,表中数据为现网络能耗占原网络能耗的百分比。实验结果显示,基于遗传算法的 SDN 交换机部署算法整体表现较好。基于贪心算法的在线部署算法可以根据流量大小与流量对数选择表现较好的节点,其表现与遗传算法相差约 5%。与随机挑选部署位置的方案相比,在交换机数量小

表 4 交换机部署算法对比

网络拓扑 (预算比例)	遗传算法	贪心算法	Random-selection
OSPF	100%	100%	100%
Sprint (10%)	84%	85%	90%
Sprint (20%)	69%	73%	79%
Sprint (30%)	65%	66%	71%
Sprint (40%)	62%	63%	68%
Sprint (100%)	59%	59%	59%
Abvt (10%)	81%	83%	88%
Abvt (20%)	73%	75%	82%
Abvt (30%)	67%	70%	75%
Abvt (40%)	65%	66%	71%
Abvt (100%)	63%	63%	63%
Aarnet (10%)	84%	87%	90%
Aarnet (20%)	75%	78%	83%
Aarnet (30%)	70%	71%	74%
Aarnet (40%)	67%	67%	72%
Aarnet (100%)	65%	65%	65%

于 30% 时,两种部署策略都可以提高 10% 左右的能耗收益。在预算接近 30% 最大部署预算时,网络中 50% 以上的链路已经演变为可控链路,此时网络的能源节约收益增长速度明显下降。

如果源节点和目的节点之间的流量经过了至少一个 SDN 交换机,则该节点对之间的流量为可控流量,反之为不可控流量。实验结果如图 3,纵坐标中的网络流量控制比例指可控流量占流量矩阵中全部流量的百分比。基于遗传算法的部署位置选择策略,本实验将部署位置的适应度改为当前网络流量控制比例。MUcPF 算法假设所有节点的部署成本相同,每次迭代选出当前覆盖不可控流量最多的传统交换机进行部署。与 MUcPF 不同,本文的基于遗传算法的部署位置选择过程屏蔽了节点之间的相关性,避免了局部最优解,且算法在设计阶段也考虑到了复杂的 SDN 交换机部署成本。在部署成本低于 20% 时,本方案中的网络流量控制比例要大于 MUcPF 约 10%,且达到完全流量控制能力的部署花费也略低于 MUcPF。Random-selection 由于没有包含任何优化策略,表现相对最差。

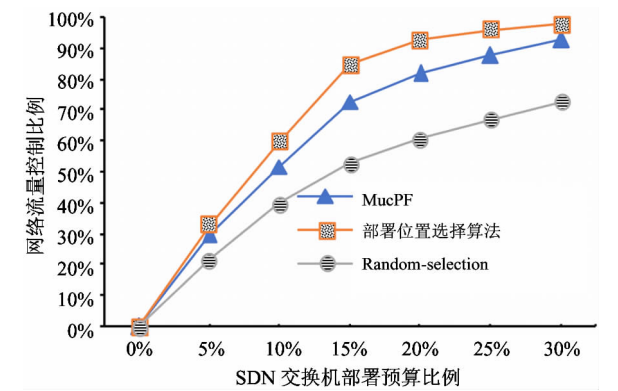


图 3 流量控制比例

SDN 交换机的加入,使得原本遵循最短路径优先的流量,在 SDN 交换机处可能会选择较远的路径进行转发。虽然在网络转发拓扑的构建过程中已经避免了环路产生,且保证了链路最大利用率小于 1,但 check_validity 中的负载均衡的策略可能增加部分链路的长度。该实验通过计算混合网络中所有流量对的平均路径长度 (Hybrid) 与原先传统网络中所有流量对的平均路径长度 (Origin) 的比值,验证

了该实验方案对网络可能产生的延时影响。这里假设数据包在交换机处的处理时间可以忽略不计,两点之间路径长度大于原最短路径长度 3 倍以上的将会被删除。表 5 混合 SDN 网络路径延伸中实验结果表明,混合网络中的路径多样性,将增加部分转发路径的长度,根据拓扑和部署的 SDN 交换机数量的差异,增加了 7% ~ 32% 的路径时延。

表 5 混合 SDN 网络路径延伸情况

网络拓扑(部署比例)	Hybrid/Origin
Abvt (20%)	1. 07
Abvt (40%)	1. 13
Abvt (60%)	1. 21
Sprint (20%)	1. 15
Sprint (20%)	1. 23
Sprint (40%)	1. 29
Abvt (Pure SDN)	1. 23
Sprint (Pure SDN)	1. 32

4 结 论

从混合 SDN 网络中的能源节约与流量优化角度出发,本文建立了混合 SDN 网络的流量优化模型,明确了部署混合 SDN 网络的限制条件与各种交换机的转发特征,并进行了细致的推导。本文基于启发式贪心算法与遗传算法,提出了一组 SDN 交换机增量部署策略及链路状态调整方案,根据网络流量与拓扑,动态地决定 SDN 交换机的部署位置与链路负载情况。仿真实验结果表明,本方案可以有效降低网络的能源消耗与部署成本,同时保障网络对负载均衡的需求。作为本方案的附带优势,还可以直接用于提高网络可控程度。本文提出的部署方案具有一定的通用性,可以结合 SDN 交换机部署完成时的流量工程算法。

目前混合 SDN 网络的研究仍处于早期阶段,工作的重心依然在解决网络的互通性与一致性上,对于混合网络中的流量工程问题缺乏真实网络环境下的验证,本文的设计方案也面临同样的问题。受各种不确定因素的影响,实际网络远比模型定义的复杂。未来工作将尝试把该模型应用在真实的混合

SDN 网络实验环境中。

参考文献

[1] Vissicchio S, Vanbever L, Bonaventure O. Opportunities and research challenges of hybrid software defined networks[J]. *Acm Sigcomm Computer Communication Review*, 2014, 44(2):70-75

[2] Vissicchio S, Vanbever L, Cittadini L, et al. Safe update of hybrid SDN networks[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2017, 25(3):1649-1662

[3] Jin C, Lumezanu C, Xu Q, et al. Telekinesis: controlling legacy switch routing with OpenFlow in hybrid networks[C]. In: Proceedings of the ACM SIGCOMM Symposium on Software Defined Networking Research, Santa Clara, USA, 2015. 1-20

[4] Dan L, Canini M, Schmid S, et al. Panopticon: reaping the benefits of incremental SDN deployment in enterprise networks[C]. In: Proceedings of the Usenix Conference on Usenix Technical Conference, Philadelphia, USA, 2014. 333-346

[5] Vissicchio S, Tilmans O, Vanbever L, et al. Central control over distributed routing[C]. In: Proceedings of the ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication, Budapest, Hungary, 2015. 43-56

[6] Parniewicz D, Corin R D, Ogradowczyk L, et al. Design and implementation of an OpenFlow hardware abstraction layer[C]. In: Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Distributed Cloud Computing, Chicago, USA, 2014. 71-76

[7] Farias F N N, Salvatti J J, Cerqueira E C, et al. A proposal management of the legacy network environment using OpenFlow control plane[C]. In: Proceedings of the Network Operations and Management Symposium, Hawaii, USA, 2012. 1143-1150

[8] Hares S, White R. Software-defined networks and the interface to the routing system (I2RS) [J]. *IEEE Internet Computing*, 2013, 17(4):84-88

[9] Salsano S, Ventre P L, Prete L, et al. OSHI - Open source hybrid IP/SDN networking (and its emulation on mininet and on distributed SDN testbeds) [C]. In: Proceedings of the 3rd European Workshop on Software Defined Networks, Budapest, Hungary, 2014. 13-18

[10] Agarwal S, Kodialam M, Lakshman T V. Traffic engi-

- neering in software defined networks [C]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications(INFOCOM), Turin, Italy, 2013. 2211-2219
- [11] Das T, Caria M, Jukan A, et al. Insights on SDN migration trajectory[C]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, London, UK, 2015. 5348-5353
- [12] Ren C, Wang S, Ren J, et al. Enhancing traffic engineering performance and flow manageability in hybrid SDN[C]. In: Proceedings of the Global Communications Conference, Singapore, 2017. 1-7
- [13] Guo Y, Wang Z, Yin X, et al. Traffic engineering in SDN/OSPF hybrid network [C]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols, Raleigh, USA, 2014. 563-568
- [14] Kar B, Wu H K, Lin Y D. The budgeted maximum coverage problem in partially deployed software defined networks[J]. *IEEE Transactions on Network & Service Management*, 2017, 13(3):394-406

Energy-saving and traffic engineering in hybrid SDN

Cheng Shang, Huang Xinli, Shi Peng

(Department of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract

Aiming at the problem of energy saving and flow optimization in the hybrid software defined network(SDN), the location selection and link behavior optimization of the SDN switch are designed and implemented. Under the premise of ensuring the correct forwarding of the packet and limiting the maximum link utilization rate, and based on the improved genetic algorithm and greedy algorithm, we optimize the deployment plan of the SDN switch, define its splitting ratio of traffic, close some invalid links, adjust the maximum load of links, and ultimately reduce the energy consumption of links. The simulation results verify the correctness and efficiency of the algorithm, and prove that the scheme can make full use of network energy and meet the concept of green network.

Key words: software defined network, hybrid SDN network, traffic engineering, genetic algorithm, load balancing