

基于可分割流的虚拟网络映射节能算法

刘认伦, 孙冬冬

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 据统计, 工业国家中, 信息与通信技术的能量消耗占有所有产业能耗的 10% 左右。为了解决通信中网络设备的能耗问题, 节能技术应运而生。虚拟网络映射是网络虚拟化的关键技术之一, 越来越多的场合下都能够见到虚拟网络映射的应用。虚拟网络映射过程中, 可能由于物理资源利用不充分, 从而导致资源和能量利用得不合理。尽管对有关虚拟网络映射节能的算法与方案已进行了较为充分的研究, 但虚拟网络映射的节能算法仍有研究的价值。为节省物理网络资源, 提出了一种基于可分割流的虚拟网络映射节能算法, 并给出了算法所用的网络模型和公式以及基于可分割流的能量感知虚拟网络映射混合整数规划公式。仿真结果表明, 提出算法在网络节能上具有较显著的效果。

关键词: 虚拟网络映射; 可分割流; 能量感知; 节能

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2017)05-0051-03

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2017.05.011

Energy Aware Virtual Network Embedding Based on Flow Splitting

LIU Ren-lun, SUN Dong-dong

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: It is estimated that energy consumption in Information and Communication Technology account for 10% of the total energy consumed in industrial countries. In order to solve the problem of energy consumption in network infrastructure, the technology of energy saving is invented. Virtual Network Embedding (VNE) is one of the critical technology for network virtualization and it is applied for more and more network environment. Insufficient utilization of substrate resource may exist in VNE, resulting in unreasonable usage of resource and energy. Although the research of energy aware VNE has been studied sufficiently, it is valuable to do research on it. An energy-aware virtual network embedding algorithm based on flow splitting is proposed, aiming at energy saving. The network model and the mixed integer program of energy aware virtual network embedding based on flow splitting are proposed. The simulation results demonstrate that the proposed algorithm has better performance in terms of energy saving.

Key words: virtual network embedding; flow splitting; energy aware; energy saving

0 引言

网络虚拟化技术能够使多个异构网络共存于同一个物理实体中, 这种技术可以克服互联网技术发展中的某些关键性难题。虚拟网络映射 (Virtual Network Embedding) 是一种将虚拟网络映射到物理网络的技术, 近年来有关虚拟网络映射的研究已经相当充分, 国内的相关研究也得到了发展^[1-2]。能量感知的虚拟网络映射 (见图 1) 是近年来在虚拟网络映射课题研究中出现的新方向, 这个方向将重点从传统的注重网络收益转移到注重网络能耗上来。据统计, 大型骨干

网中的链路平均利用率约为 30% ~ 40%^[3], 这一现状使得虚拟网络映射在节能方面的研究有了充分可能。

网络虚拟化的关键性问题是资源分配, 节能的虚拟网络映射算法的基本思想是将尽可能多的虚拟网络请求映射到相同的物理资源上, 同时关闭未被映射到的资源。当物理网络中越多的节点与链路处于开启状态, 网络能耗越高, 节能的算法使网络中的能量消耗集中在很少的物理实体上。

假设虚拟网络请求的虚拟链路是可分割的, 提出了一种基于可分割流的虚拟网络映射节能算法, 并在

收稿日期: 2016-05-23

修回日期: 2016-09-13

网络出版时间: 2017-03-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61372124); 国家“973”重点基础研究发展计划项目 (2013CB329104)

作者简介: 刘认伦 (1991-), 男, 硕士, 研究方向为移动通信与无线技术; 导师: 杨龙祥, 教授, 博士生导师, 研究方向为移动无线通信系统和物联网。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170313.1545.014.html>

文献[4]提出算法的基础上进行了改进,同时参考了文献[5-9]中的方法,提出了基于可分割流的混合整数规划(Mixed Integer Program based on Flow Splitting)解决该问题。仿真结果表明,该算法能够节省较多的链路能耗,提高了网络接收率。

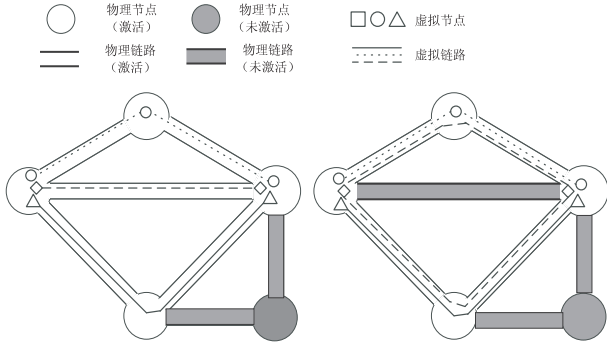


图1 能量感知虚拟网络映射(左)与基于可分割流的能量感知虚拟网络映射(右)

1 网络模型

首先介绍算法中使用的网络模型,给出算法的基本输入和变量,然后给出基于可分割流的能量感知虚拟网络映射混合整数规划。为简单起见,网络资源的能量消耗将被视为同一种类型的。

1.1 输入及变量

(1) 输入。

物理网络和虚拟网络的模型均使用有向图拓扑,分别用 $G(V, A)$ 和 $G^k(V^k, A^k)$ 表示,其中 V, V^k 分别表示物理节点和虚拟节点集合, A, A^k 分别表示物理链路和虚拟链路集合; $ND_{pp}(i^k)$ 表示虚拟节点 i^k 的带宽及过程能量请求; $LD_{BW}(i^k, j^k)$ 表示虚拟链路 (i^k, j^k) 的带宽请求; $NR_{pp}(i)$ 表示物理节点的带宽及过程能量资源; $LR_{BW}(i, j)$ 表示物理链路的带宽资源; $MaxDegree$ 表示物理网络中的最大节点度。物理节点和链路分别有两种状态,唤醒和休眠(或者开启和关闭),为了区别这两种状态,网络模型中使用二进制数表示不同的状态。 $NO_i, LO_{(i,j)}$ 均是二进制参数变量,取“1”时表示物理节点或物理链路在映射前处于激活状态,“0”反之; $match(i^k)$ 表示可用于映射虚拟节点 i^k 的候选物理节点集合; $match(i^k, j^k)$ 表示可用于映射虚拟链路 (i, j) 的第 n 条分割链路 $(i^k, j^k)_n$ 的候选物理链路集合。

(2) 变量。

$f_{i,j}^{(i,j)}$ 表示经过物理链路 (i, j) , 从物理节点 i 映射到物理节点 j 的虚拟链路带宽。假设虚拟链路是可分割的,那么当物理链路带宽不满足当前虚拟链路带宽请求时,物理链路将分成 n 条子链路分别映射,直到满足映射条件,物理链路 $LD_{BW}(i^k, j^k)_n$ 表示虚拟链路 (i^k, j^k)

在映射时按照链路分割的方法分成的第 n 条分割路径的带宽请求,并且 $LD_{BW}(i^k, j^k) = \sum_{n \in N} LD_{BW}(i^k, j^k)_n$; x_i^i 是二进制变量,表示虚拟节点 i^k 是否分配到物理节点 i 上; $LD_{BW}^{i,j}$ 表示节点 i 到节点 j 上分配给虚拟链路 (i, j) 的带宽总量,并且 $LD_{BW}^{i,j} = \sum_{(i^k, j^k) \in A^k} LD_{BW}(i^k, j^k) x_i^i x_j^j, \forall i, j \in V$; $\rho_{(i,j)}$ 是二进制变量,表示物理链路在映射后的状态,“1”表示激活状态,“0”反之; α_i 是二进制变量,表示物理节点在映射后的状态,“1”表示激活状态,“0”反之。

1.2 基于可分割流的能量感知虚拟网络映射混合整数规划

目标函数:

$$\min \sum_{i \in V; NO_i = 0} \alpha_i + \sum_{(i,j) \in A; LO_{(i,j)} = 0} \rho_{(i,j)}$$

约束条件:

传输约束:

$$LD_{BW}^{i,j} = \sum_{(i^k, j^k) \in A^k} LD_{BW}(i^k, j^k) x_i^i x_j^j, \forall i, j \in V$$

$$LD_{BW}(i^k, j^k) = \sum_{n \in N} LD_{BW}(i^k, j^k)_n$$

流约束:

$$\sum_{(i,h) \in A} f_{i,j}^{(h,i)} - \sum_{(h,i) \in A} f_{i,j}^{(h,i)} = LD_{BW}^{i,j}, \forall i, j \in V$$

$$\sum_{(h,j) \in A} f_{i,j}^{(h,j)} - \sum_{(j,h) \in A} f_{i,j}^{(h,j)} = LD_{BW}^{i,j}, \forall i, j \in V$$

$$\sum_{(i,l) \in A} f_{i,j}^{(i,l)} = \sum_{(l,j) \in A} f_{i,j}^{(l,j)}, \forall i, j \in V, l \in V \setminus \{i, j\}$$

容量约束:

$$\sum_{i,j \in V} f_{i,j}^{(i,j)} \leq LR_{BW}^{i,j} \rho_{(i,j)}, \forall (i,j) \in A$$

$$\sum_{i^k \in V^k} x_i^i ND_{pp}(i^k) \leq NR_{pp}(l), \forall l \in v$$

二进制约束:

$$\sum_{i \in V} x_i^i x_j^j = x_j^j, \forall (i^k, j^k) \in A^k, \forall j \in V$$

$$\sum_{j \in V} x_i^i x_j^j = x_i^i, \forall (i^k, j^k) \in A^k, \forall i \in V$$

$$x_j^j + x_i^i - x_i^i x_j^j \leq 1, \forall (i^k, j^k) \in A^k, \forall i, j \in V$$

一个虚拟节点仅对应一个物理节点约束:

$$\sum_{i \in V} x_i^i = 1, \forall i^k \in V^k$$

$$x_i^i = 0, \forall i \notin match(i^k)$$

激活的物理节点约束:

$$\sum_{(i,j) \in A} \rho_{(i,j)} + \sum_{(j,i) \in A} \rho_{(j,i)} \geq \alpha_i$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \rho_{(i,j)} + \sum_{(j,i) \in A} \rho_{(j,i)} \leq \alpha_i \cdot MaxDegree$$

2 性能评估

ALEVIN 仿真软件能够对算法进行仿真实现与性能分析。ALEVIN 是由 A. Fisher 等开发的一种专门针对虚拟网络映射算法进行开发、比较、分析的仿真平

台,文献[5]中有其功能及使用的详细描述。VNE-EA-FS算法的性能将与文献[4]中的VNE-EA算法进行比较。

考虑到MIP的复杂度将随着网络规模的增大呈指数增长,使用ALEVIN中已经实现的Waxman算法随机生成小规模物理网络拓扑,每个物理网络中物理节点个数为15,每个虚拟网络请求中的虚拟节点个数为5,物理节点和虚拟节点间连接率为0.25。物理网络中的节点资源在0~50之间均匀分布,链路资源在0~100之间均匀分布, $NR_{pp}^{max}=100$, $LR_{BW}^{max}=100$;虚拟网络请求中的节点资源请求在0~20之间分布,链路资源请求在0~50之间分布。在每个物理网络上分别映射20个虚拟网络。

仿真结果如图2所示。

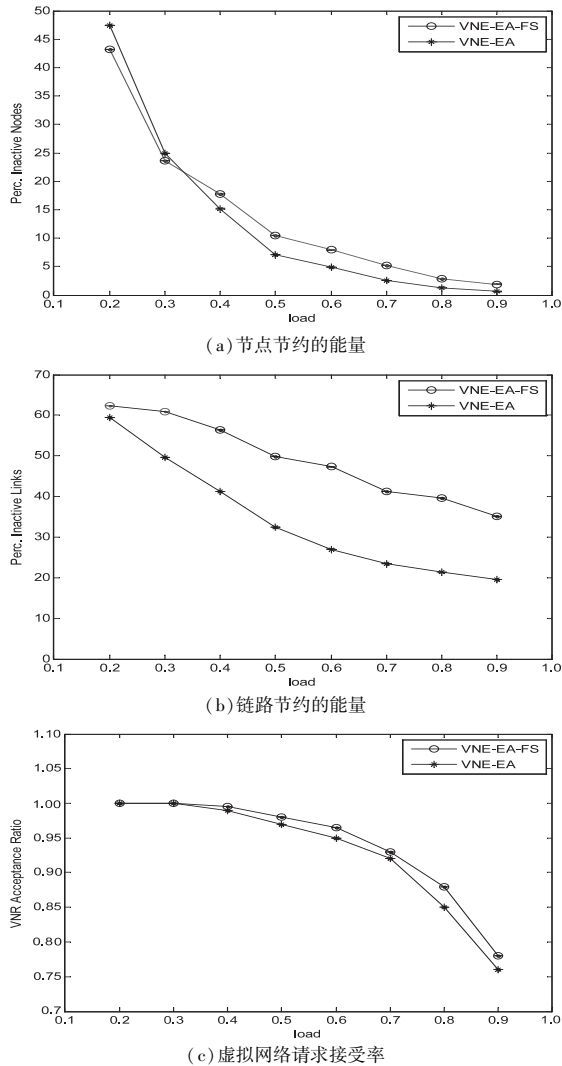


图2 仿真结果

采用三个不同的映射标准将两种算法进行对比,分别是未激活的节点比率、未激活的链路比率和虚拟网络请求接受率。从结果中可得结论:

在网络负载非常低的时候(20%~30%),就未激活的节点比率而言,VNE-EA-FS算法表现略低于

VNE-EA,但在负载比较低与负载高的情况下,VNE-EA-FS得到的结果略高于VNE-EA。造成这一结果的原因是在负载非常的环境下,流分割可能造成映射的物理路径中包含了隐藏跳(hidden hops)^[7,10-12],从而增加了网络中的物理节点数量。现如今,启发式和元启发式的算法也相继提出^[13-17],未来有望解决这个问题。

未激活的链路比率相比于VNE-EA有较高的提升。因为流分割使链路利用率得到了提升,所以网络激活的链路数量较少,未激活的链路数量较多。

虚拟网络请求接受率在负载低时,两种算法的接受率大致相同;在负载高的情况下,提出算法接受率有较小的提升。在负载较高的情况下,资源利用率变高,从而使虚拟网络请求接受率变高。

3 结束语

为提高网络的节能性能,提出了一种基于可分割流的虚拟网络映射精简式节能算法。假设虚拟网络请求中的虚拟链路是可分割的。在精简式的节能算法基础上,在典型的节点节能算法中结合了链路分割,映射过程中,在映射节点之后,依据链路约束条件对链路进行映射,在不满足约束时,将链路分割成多条链路映射。这样在映射时,物理链路的带宽资源可以得到充分利用,从而提高了整体的映射性能。

仿真结果表明,在小规模网络中,与VNE-EA算法相比,流分割能够提高物理网络中的链路利用率,从而节省较多的物理链路。在网络负载很低的情况下,物理节点利用率略低于VNE-EA,这是因为流分割方法引入了隐藏跳问题,使物理链路在映射时经过了未激活的节点;然而,在网络负载较高的情况下,物理节点的利用率也有较小提高,物理网络中激活的物理节点数变少,并且提升了虚拟网络接受率。

参考文献:

[1] 陈晓华,李春芝,陈良育,等. 主动休眠节点链路的高效节能虚拟网络映射[J]. 软件学报,2014,25(7):1416-1431.

[2] 王博,陈庶樵,王志明,等. 基于中心度寻核的能效优化虚拟网映射算法[J]. 计算机应用研究,2015,32(7):2087-2091.

[3] Fisher W, Suchara M, Rexford J. Greening backbone networks;reducing energy consumption by shutting off cables in bundled links[C]//ACM SIGCOMM workshop on green networking 2010. New Delhi,India:ACM,2010:29-34.

[4] Botero J F,Hesselbach X,Duelli M,et al. Energy efficient virtual network embedding[J]. IEEE Communications Letters, 2012,16(5):756-759.

识别码进行分组,再根据唯一的映射关系确定存在的查询前缀,消除了多叉树的空闲时隙,减少了碰撞时隙,提高了系统的识别效率。同时,标签在响应阅读器时,只需要发送匹配前缀后的剩余部分,降低了系统能耗,尤其是在标签识别码位数长,标签数量多时,算法性能达到最优。但是,在阅读器工作范围内,标签分布密度较小时,算法的识别效率出现不稳定。在后续工作中,可以结合碰撞跟踪技术^[12-14],进一步提高算法的识别效率和总体性能。

参考文献:

- [1] 宁焕生,徐群玉. 全球物联网发展及中国物联网建设若干思考[J]. 电子学报,2010,38(11):2590-2599.
- [2] Ali K, Hassanein H, Taha A E M. RFID anti-collision protocol for dense passive tag environments[C]//32nd IEEE conference on local computer networks. [s. l.]: IEEE,2007:819-824.
- [3] 朱 军,张 元,卢小冬,等. 基于分段搜索的多 RFID 标签抗冲突方法[J]. 计算机应用研究,2011,28(3):1031-1033.
- [4] 程文青,赵梦欣,徐 晶. 改进的 RFID 动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2007,35(6):14-16.
- [5] 王 雪,钱志鸿,胡正超,等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 通信学报,2010,31(6):49-57.
- [6] Jia X, Feng Q, Ma C. An efficient anti-collision protocol for RFID tag identification[J]. IEEE Communications Letters, 2010,14(11):1014-1016.
- [7] 苏 健,文光俊,韩佳利. 一种基于 ISO18000-6B 标准的 RFID 防碰撞算法[J]. 电子学报,2014,42(12):2515-2519.
- [8] 刘 森. 基于 RFID 的物联网感知层查询树防碰撞算法研究[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [9] Law C, Lee K, Siu K Y. Efficient memoryless protocol for tag identification[C]//Proceedings of the 4th international workshop on discrete algorithms and methods for mobile computing and communications. [s. l.]: ACM,2000:75-84.
- [10] 张学军,王绪海,蔡文琦. 基于分组码的改进型防碰撞算法研究[J]. 计算机应用研究,2012,29(11):4265-4268.
- [11] 丁治国,郭 立,朱学永,等. 基于二叉树分解的自适应防碰撞算法[J]. 电子与信息学报,2009,31(6):1395-1399.
- [12] Lai Y C, Hsiao L Y, Chen H J, et al. A novel query tree protocol with bit tracking in RFID tag identification[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(10):2063-2075.
- [13] Wang G, Peng Y, Zhu Z. Anti-collision algorithm for RFID tag identification using fast query tree[C]//International symposium on IT in medicine and education. [s. l.]: IEEE,2011:396-399.
- [14] Chen W C, Horng S J, Fan P. An enhanced anti-collision algorithm in RFID based on counter and stack[C]//2007 second international conference on systems and networks communications. [s. l.]: IEEE,2007:21.
- [5] Fischer A, Beck M T, de Meer H. An approach to energy-efficient virtual network embeddings[C]//IFIP/IEEE international symposium on integrated network management. [s. l.]: IEEE,2013:1142-1147.
- [6] Su S, Zhang Z, Cheng X, et al. Energy-aware virtual network embedding through consolidation[C]//IEEE conference on computer communications workshops. [s. l.]: IEEE, 2012:127-132.
- [7] Botero J F, Hesselbach X, Fischer A, et al. Optimal mapping of virtual networks with hidden hops[J]. Telecommunication Systems,2012,51(4):273-282.
- [8] Ghazisaeedi E, Huang C. Off-Peak energy optimization for links in virtualized network environment[J]. IEEE Transactions on Cloud Computing,2015,99:1.
- [9] Ghazisaeedi E, Huang C, Yan J. Off-peak energy-wise link reconfiguration for virtualized network environment[C]//IFIP/IEEE international symposium on integrated network management. [s. l.]: IEEE,2015:814-817.
- [10] Bianzino A P, Chaudet C, Rossi D, et al. A survey of green networking research[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2012,14(1):3-20.
- [11] Nonde L, El-Gorashi T E H, Elmighani J M H. Energy efficient virtual network embedding for cloud networks[J]. Journal of Lightwave Technology,2015,33(9):1828-1849.
- [12] Botero J F, Hesselbach X. Greener networking in a network virtualization environment[J]. Computer Networks, 2013, 57(9):2021-2039.
- [13] Triki N, Kara N, Barachi M E, et al. A green energy-aware hybrid virtual network embedding approach[J]. Computer Networks,2015,91(C):712-737.
- [14] Lira V, Tavares E. Energy-aware mapping for dependable virtual networks[C]//International workshop on power and timing modeling, optimization and simulation. [s. l.]: IEEE, 2015.
- [15] Guan X, Choi B Y, Song S. Energy efficient virtual network embedding for green data centers using data center topology and future migration[J]. Computer Communications, 2015, 69:50-59.
- [16] Guan X, Choi B Y, Song S. Topology and migration-aware energy efficient virtual network embedding for green data centers[C]//International conference on computer communication and networks. [s. l.]: IEEE,2014:1-8.
- [17] Melo M, Sargento S, Killat U, et al. Optimal virtual network embedding:energy aware formulation[J]. IEEE Transactions on Network & Service Management,2013,10(4):1-13.

(上接第 53 页)