

一种基于健壮型映射树的虚拟网络映射算法

蒋燕燕, 杨龙祥, 成聿伦

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对虚拟网络映射存在的资源开销大、虚拟网络请求接收率低等问题,文中提出了一种基于健壮型映射树的虚拟网络映射算法。该算法通过划分虚拟网络、估算物理节点资源、初始化映射树和比较启发式函数,实现对虚拟网络请求的映射。该算法的主要目的在于尽可能大地提高请求接收率,优化资源利用,同时增加映射收益。文中将该算法与传统的虚拟网络映射算法进行仿真相比,结果表明,该算法在虚拟网络映射接收率和平均收益方面优于传统虚拟网络映射算法,以及在映射较多的虚拟网络请求的同时减少了物理资源的使用。

关键词:网络虚拟化;映射树;接收率;资源利用率

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)02-0069-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.02.016

A Virtual Network Embedding Algorithm Based on Robust Mapping Tree

JIANG Yan-yan, YANG Long-xiang, CHENG Yu-lun

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

Abstract: To overcome the high cost and low accepted rate faced by virtual network embedding, a virtual network embedding algorithm based on robust mapping tree is proposed. This algorithm realizes virtual network embedding through dividing the virtual network, estimation of substrate node resource, initialization of mapping tree and comparison of heuristic function. The objective of this algorithm is to maximize the accepted rate, optimize resource utilization and increase the average revenue. In this paper, the algorithm is compared with the traditional virtual network embedding algorithms. Simulation results show that the accepted rate and average revenue of virtual networks requests are increased, and the usage of substrate network resources is reduced as realizations of virtual network request are increased compared with the traditional virtual network embedding algorithms.

Key words: network virtualization; mapping tree; accepted rate; usage of resources

0 引言

近年来,网络虚拟化技术受到普遍关注,被视为构建未来网络的重要技术之一。利用网络虚拟化技术将未来网络划分为多个虚拟网络,这些虚拟网络共享同一个物理网络,从而完成虚拟网络请求。网络虚拟化主要问题是如何将虚拟网络映射到物理网络上,该过程称为VNE(Virtual Network Embedding)问题。由于应用场景、资源条件约束和动态在线请求等因素,使得虚拟网络映射问题变得难以解决,所以VNE问题是一个NP-hard问题^[1]。

针对虚拟网络映射问题,VNE算法已有一些研

究。这些算法根据映射过程大致可以分为两类:节点和链路同时映射、节点和链路分两步单独映射。文献[2]中提出了VNE-Least算法,使用贪婪算法进行节点映射,最短路径算法进行链路映射,由于假设物理资源是无限的,所以控制条件不足,无法用于实际场景中。文献[3]中提出给予分布式协作虚拟网络映射算法,将虚拟网络划分为若干个星型拓扑网络,采用基于多代理系统同时完成节点和链路映射,为保证算法性能,假设物理资源是无限的。文献[4]中提出支持对物理网络路径分割,但求解复杂,开销很大。文献[5]中采用蚁群算法VNE-AC,旨在减少虚拟网络请求的拒绝率,算法派出工蜂寻找最优路径,虽然减少了链路

收稿日期:2015-05-11

修回日期:2015-08-14

网络出版时间:2016-01-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271237,61372124);国家“863”高技术发展计划项目(2013CB329104)

作者简介:蒋燕燕(1991-),女,硕士,研究方向为移动通信与无线技术;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://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160126.1520.036.html>

的利用率,但会引起部分链路发生拥塞现象。文献[6]中采用贪婪算法进行节点映射,路径分割进行链路映射,该方法容易造成部分节点过载。

通过以上分析,在实际应用场景中,物理网络资源不为无限可用,除了考虑算法效率外,还需考虑网络负载均衡,不能造成局部网络拥塞^[7]。文中主要研究基于映射树拓扑同时完成节点和链路映射的虚拟网络映射算法 VNE-RMT(Robust Mapping Tree),算法主要分为四步:

- (1)划分虚拟网络;
- (2)选出候选物理节点;
- (3)初始化映射树;
- (4)选出最佳映射方案。

该研究的目的在于尽可能提高虚拟网络请求的接收率和减少物理资源的开销。

1 网络模型及映射问题描述

1.1 物理网络模型

物理网络用加权无向图 $G_s = (N_s, L_s)$ 表示, N_s 表示物理节点, L_s 表示物理链路。每个物理节点 $n_s \in N_s$, $C(n_s)$ 表示物理节点可用的 CPU 资源, $\text{memory}(n_s)$ 表示物理节点的可用内存。每条物理链路 $l_s(i, j) \in L_s$, $l_s(i, j)$ 表示物理节点 i 和 j 之间的物理链路, $B(l_s(i, j))$ 表示物理链路的可用带宽资源, $u(l_s(i, j))$ 表示物理链路的成本、时延的均值。

1.2 虚拟网络模型

虚拟网络用加权无向图 $G_v = (N_v, L_v)$ 表示, N_v 表示虚拟节点, L_v 表示虚拟链路。每个虚拟节点 $n_v \in N_v$, $C(n_v)$ 表示网络请求对节点的 CPU 资源的约束, $\text{memory}(n_v)$ 表示请求对节点的内存约束。每条虚拟链路 $l_v(i, j) \in L_v$, $l_v(i, j)$ 表示虚拟节点 i 和 j 之间的虚拟链路, $B(l_v(i, j))$ 表示虚拟网络请求对链路的带宽约束, $u(l_v(i, j))$ 表示请求对链路的成本、时延的均值约束。

1.3 映射问题描述

图 1 给出了虚拟网络映射到物理网络上的过程,包括节点映射和链路映射。

(1)节点映射:虚拟节点 n_v 映射到物理节点 n_s , 用 M_N 表示节点映射过程, $M_N: N_v^{\text{Reqid}} \rightarrow N_s^{\text{Reqid}} \subseteq N_s$, N_s^{Reqid} 表示完成请求的虚拟节点映射的物理节点,且 $C(n_s) \geq C(n_v^{\text{Reqid}})$, 即物理节点 n_s 的 CPU 资源要能满足虚拟节点 n_v 的需求。

(2)链路映射:虚拟链路映射到物理链路或路径上,用 p 表示物理路径, $p(m, n)$ 表示物理节点 m 和 n 之间的物理路径,虚拟链路 $l_v(i, j)$ 映射到物理网络中的 $p(m, n)$, 用 M_L 表示链路映射过程, $M_L: L_v^{\text{Reqid}} \rightarrow$

$P^{\text{Reqid}} \subseteq P$, P^{Reqid} 表示完成虚拟网络请求链路映射所需的物理路径,且 $B(P) \geq B(L_v^{\text{Reqid}})$, 即物理路径的带宽资源需满足虚拟链路的映射需求。

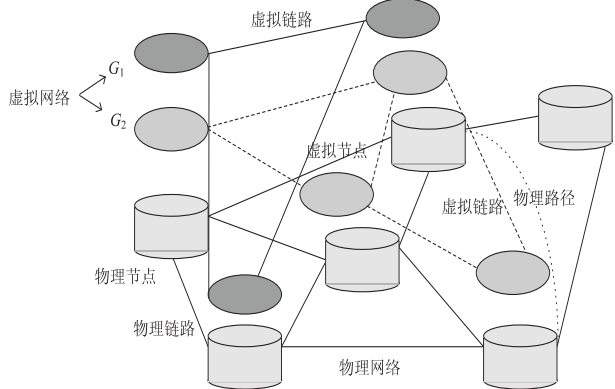


图 1 虚拟网络映射示意图

2 评价指标

虚拟网络映射算法的目标是用尽可能少的物理资源获得最大的收益,而且为了保证服务质量,请求接收率也是网络映射的重要指标之一。因此,这里考虑的评价指标有:网络收益、映射成本、收益成本、收益成本比和请求接收率^[8]。

(1)网络收益。

$$R(G_v^{\text{Reqid}}) = \sum_{l_v \in L_v} B(l_v) + \alpha \sum_{n_v \in N_v} C(n_v) + \sum_{n_v \in N_v} \text{memory}(n_v) \quad (1)$$

式中, G_v^{Reqid} 表示虚拟网络请求; α 表示 CPU 和带宽之间的均衡权值。

(2)映射成本。

$$\text{Cost}(G_v^{\text{Reqid}}) = \sum_{l_v \in L_v} \sum_{l_s \in L_s} B(l_v) + \beta \sum_{n_v \in N_v} C(n_v) + \sum_{n_v \in N_v} \text{memory}(n_v) \quad (2)$$

式中, β 表示 CPU 和带宽之间的均衡权值。

(3)收益成本比值。

$$\frac{R}{C} = \frac{R(G_v^{\text{Reqid}})}{\text{Cost}(G_v^{\text{Reqid}})} = \frac{\sum_{l_v \in L_v} B(l_v) + \alpha \sum_{n_v \in N_v} C(n_v) + \sum_{n_v \in N_v} \text{memory}(n_v)}{\sum_{l_v \in L_v} \sum_{l_s \in L_s} B(l_v) + \beta \sum_{n_v \in N_v} C(n_v) + \sum_{n_v \in N_v} \text{memory}(n_v)} \quad (3)$$

式中, R/C 的比值表示物理网络的资源利用率,可以直接反映基础设施提供商的利润。

(4)请求接收率。

虚拟网络的映射接收率表示为成功映射的虚拟网络请求数 $VN^{R-S}(t)$ 与该时间段内到达的虚拟网络请求总数 $VN^{R-A}(t)$ 的比值,即

$$\text{AR} = \frac{VN^{R-S}(t)}{VN^{R-A}(t)} \quad (4)$$

3 算法描述

3.1 选择参数

物理网络节点 n_s 的综合资源可以表示为:

$$IR(n_s) = C(n_s) \times \sum_{l_s \in L_s} B(l_s) \quad (5)$$

式中, $C(n_s)$ 表示物理节点 n_s 的可用 CPU 资源;

$\sum_{l_s \in L_s} B(l_s)$ 表示与物理节点 n_s 相连的链路带宽资源综合。

同样,虚拟节点 n_v 的综合资源可以表示为:

$$IR(n_v) = C(n_v) \times \sum_{l_v \in L_v} B(l_v) \quad (6)$$

式中, $C(n_v)$ 表示网络请求对虚拟节点的 CPU 资源约束; $\sum_{l_v \in L_v} B(l_v)$ 表示与虚拟节点 n_v 相连的链路带宽资源总约束。

3.2 VNE-RMT 算法描述

(1) 划分虚拟网络。

把虚拟网络划分为多个小型虚拟网络^[9], 计算每个小型虚拟网络中的每个虚拟节点的 $IR(n_v)$ 值, 把具有最大综合资源的虚拟节点作为根节点 $root$, 与之相邻的虚拟节点按照 $IR(n_v)$ 值降序排列。

(2) 选出候选物理节点。

计算物理网络中每个物理节点的综合资源 $IR(n_s)$ 。先估算物理网络承载虚拟网络请求的能力^[10]。用矩阵 $Mat(i, j)$ 表示每个虚拟节点的映射候选物理节点, i 表示物理节点的数目, j 表示虚拟节点的数目。

$$Mat(i, j) = \begin{cases} \text{val} & IR(n_v) \leq IR(n_s) \\ -1 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

因此,这个步骤是处理物理节点能承载的虚拟节点。通过比较可用节点和请求节点的综合资源参数, 选出每个虚拟节点的候选映射物理节点。如果虚拟节点 j 的 $Mat(i, j) < 0$, 算法将把负值返回给请求的虚拟网络, 将不为该节点进行映射分配物理节点。只要虚拟节点有一个候选物理节点, 算法将保留该虚拟节点。

(3) 初始化映射树。

如图2所示,在划分好的小型虚拟网络中,建立映射树 T_m 。每个映射树的等级代表第 j 级虚拟节点分配,节点和树枝分别代表候选物理节点和节点间的链路^[11-13]。虚拟网络中从源节点到目的节点的路径中的节点和链路的分配方式取决于启发式函数。启发式函数是一个有真实数值的函数,决定哪个节点作为最佳节点去生成映射树,直到所有节点完成分配。该映射树有 n 级, n 为每个小型虚拟网络总虚拟节点的数目,每个虚拟节点的映射方案对应搜索树的每一级。映射树的节点表示候选物理节点,节点之间的树枝表示两节点间链路的映射方案。通过启发式函数实现从

$root$ 节点到节点映射,该过程同时考虑了节点和链路的映射分配方案。在映射分配时,如果下一级节点没有可映射的物理节点,算法将回到上一级分配节点,从候选物理节点选出最佳节点。

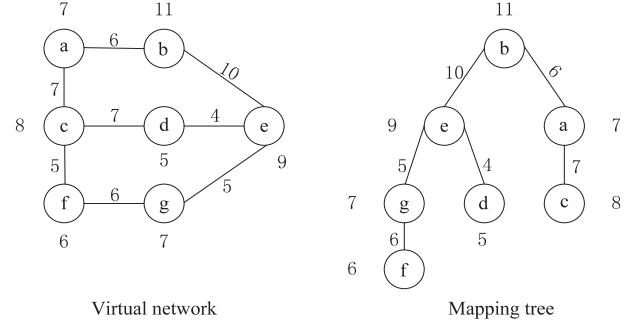


图2 虚拟网络树形拓扑

(4) 选择最佳映射方案。

通过估算资源能力,启发式函数为每个物理节点选出映射树的节点,物理节点 n_s 启发式函数表示如下:

$$f(n_s) = g(n_s) + h(n_s) \quad (8)$$

假设最小的 f 值表示构建方案的最佳节点。当发生回溯现象时,选择发生不能映射的最近一级的节点^[14]。启发式函数的第一部分是:

$$g(n_s) = (n - i) * 2^{n-i}, n = N_v, i \text{ 是当前虚拟节点} \quad (9)$$

$$h(n_s) = 1/Mat(i, j) + 1 \quad (10)$$

其中,函数 g 表示现在节点和最末节点树叶之间的距离。最末节点树叶定义为最后一个被映射的虚拟节点,该节点下面不再有分支节点。启发式函数 f 可以用最快的速度完成搜索过程,完成所有节点和链路的映射,允许映射过程发生无法再映射情况时回溯到上一级节点。函数 h 是为现在的虚拟节点估算候选物理节点的能力。 $Mat(i, j)$ 是一个整数值,表示每个虚拟节点的物理候选节点,假设没有约束条件的节点优于有约束条件的节点。

从式(9)和式(10)得到:

$$f(n_s) = (n - i) * 2^{n-i} + 1/Mat(i, j) + 1 \quad (11)$$

对当前虚拟节点,选择启发式函数 f 值最小的候选物理节点为映射树每一级的最佳候选节点。必须确认从一个物理节点到另一个物理节点间的路径链路满足请求所需的带宽。如果这样的路径存在,就进行下一个虚拟节点分配,否则算法将回溯到上一级节点,直到找到最佳分配方案。一旦路径找到,物理网络资源将被分配一段时间,用完后释放资源。当分配或释放资源发生时,将更新物理资源。

4 仿真与分析

文中使用 GT-ITM 拓扑生成器生成物理网络和虚

拟网络请求^[6]。物理网络是一个具有 100 个节点和约 500 条链路的初始拓扑,每对节点连接的概率是 0.5,物理节点的 CPU 资源、内存资源和链路带宽资源都符合[50,100]的均匀分布,虚拟网络请求的到达强度符合 100 个时间单元平均到达 4 个的泊松分布。假定有 10 个虚拟网络请求的节点个数符合[2,10]的均匀分布。

把 VNE-RMT 算法与 VNE-Least^[2]、G-MCF^[6] 进行比较。对虚拟网络请求接收率、物理网络节点和链路资源的平均利用率和虚拟网络映射平均收益进行分析比较。仿真过程假设式(1)和(2)中的 CPU 与带宽影响相同,即设 $\alpha = \beta = 1$ 。

图 3 的实验结果表明,VNE-RMT 算法的虚拟网络请求接收率比其他两种算法高,随着时间的推移,稳定在 0.74,这得益于预先对虚拟请求节点进行综合资源估算,避免了局部拥塞。

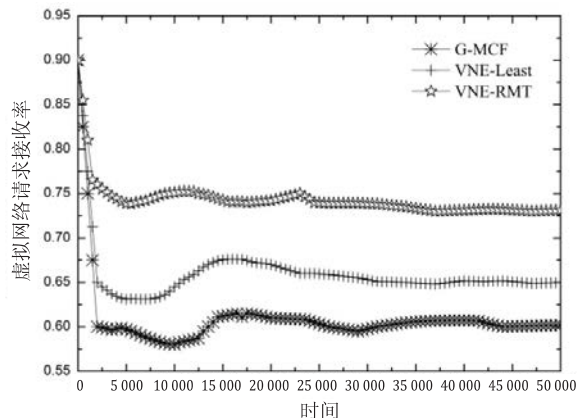


图 3 虚拟网络请求接收率

图 4 的实验结果表明,与其他两种算法比较,VNE-RMT 算法在映射较多的虚拟网络请求的同时使用较少的物理网络节点和链路资源。

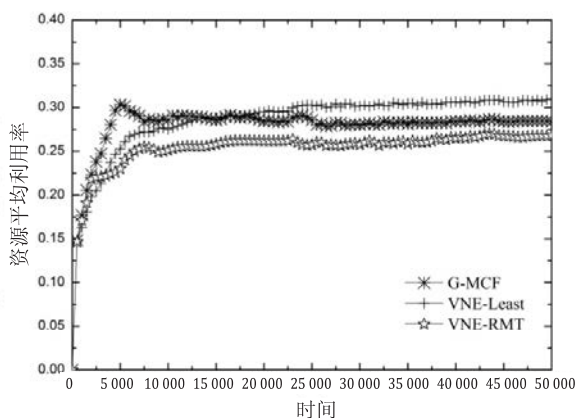


图 4 资源平均利用率

图 5 的实验结果表明,VNE-RMT 算法在物理网络上的平均收益比其他两种算法有明显优势,随着时间的推移稳定在 30 左右。

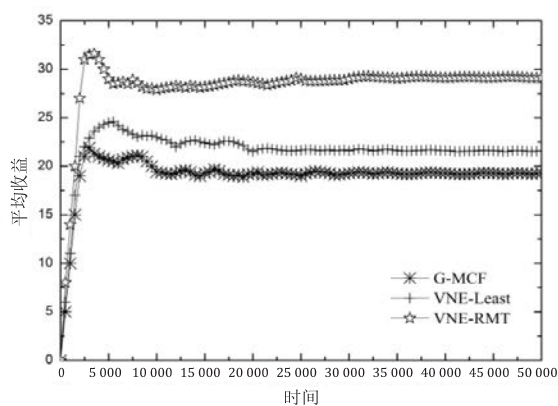


图 5 平均收益

5 结束语

网络虚拟化问题主要是有效的资源分配问题。文中使用基于健壮型映射树算法来同时完成节点和链路映射。该算法的主要目标是提高虚拟网络请求接收率和映射平均收益,且更高效地利用物理网络节点和链路资源。该算法将虚拟网络简化为映射树拓扑结构,使用启发式函数来确定资源分配方案,达到网络负载均衡。

随着网络规模的不断扩大,中心结构使得计算缓慢,造成严重时延。下一步研究工作将围绕应用多代理系统的虚拟网络映射算法展开。

参考文献:

- [1] Fischer A, Botero J F, Till B H, et al. Virtual network embedding: a survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(4): 1888-1906.
- [2] Zhu Y, Ammar M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components[C]//Proc of IEEE INFOCOM. [s. l.]: IEEE, 2006: 1-12.
- [3] Louati H W, Zeghlache D. A distributed virtual network mapping algorithm[C]//Proc of ICC'08. [s. l.]: IEEE, 2008: 5634-5640.
- [4] Chowdhury M, Rahman M R, Boutaba R. ViNEYard: virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(1): 206-219.
- [5] Fajjari I, Saadi N A, Pujolle G, et al. VNE-AC: virtual network embedding algorithm based on ant colony metaheuristic[C]//Proc of ICC. [s. l.]: IEEE, 2011: 1-6.
- [6] Yu M, Yi Y, Rexford J, et al. Rethinking virtual network embedding: substrate support for path splitting and migration[J]. SIGCOMM Comput Commun Rev, 2008, 38(2): 17-29.
- [7] 朱 军, 许 倩, 易辉跃, 等. 节点删除法的虚拟网络映射算法[J]. 安徽大学学报: 自然科学版, 2014, 38(5): 37-43.

击者知道了字符的缩放比例,也无法将秘密信息从文本载体中提取出来。

从这个意义上来说,文中提出的基于雅克比符号文本信息隐藏算法是非常安全的,具有很好的不可察觉性和抗分析能力。

由于文本的特殊性,鲁棒性弱是基于文本载体的信息隐藏技术不可避免的问题。当文本的内容遭到删除或篡改攻击,都会影响到隐秘密信息的恢复。文中基于对雅克比符号的判断隐藏信息,使得秘密信息均匀分散在整篇文档中,大大减少了被删除的秘密信息量,提高了秘密信息的抗攻击性和自恢复性。对于在文本中增加字符或更改文本格式的攻击,也是基于雅克比符号的判断提取信息,只要发现文本中某个元素的雅克比符号和缩放比例不一致,就能发现文本载体被篡改,接收者可以终止算法。对于字符替换攻击,由于文档具有继承性,替换后的字符仍然具有秘密信息的特征,所以可以正确提取秘密信息。

6 结束语

文中在轻微缩放字符大小比例来实现信息隐藏的基础上,提出了基于雅克比符号的判断实现信息隐藏的算法。该算法具有很好的隐蔽性、安全性,增强了文本信息隐藏的鲁棒性。与传统的文本信息隐藏算法相比具有更好的可靠性,而且算法的实现简单。在实际的使用中还需要对密钥的分发和管理作进一步研究。

参考文献:

- [1] 李顺东,王道顺.现代密码学:理论,方法与研究前沿[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] Petitcolas F A P, Anderson R J, Kuhn M G. Information hiding - a survey[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1062-1078.
- [3] 胡 洋,张春田,苏育挺.基于 H.264/AVC 的视频信息隐藏[J]. 电子学报, 2008, 36(4): 690-694.
- [4] Wu D C, Tsai W H. A steganographic method for images by pixel-value differencing [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9): 1613-1626.
- [5] Avcibas I. Audio steganalysis with content-independent distortion measures[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2006, 13(2): 92-95.
- [6] 曹卫兵,戴冠中,夏 煜,等.基于文本的信息隐藏技术[J]. 计算机应用研究, 2003, 20(10): 39-41.
- [7] Low S H, Maxemchuk N F, Brassil J T, et al. Document marking and identification using both line and word shifting[C]//Proc of fourteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. [s. l.]: IEEE, 1995: 853-860.
- [8] 徐迎晖,杨 榆,钮心忻,等.基于语义的文本隐藏方法[J]. 计算机系统应用, 2006(6): 91-94.
- [9] Topkara U, Topkara M, Atallah M J. The hiding virtues of ambiguity: quantifiably resilient watermarking of natural language text through synonym substitutions [C]//Proceedings of the 8th workshop on multimedia and security. Geneva: ACM, 2006: 164-174.
- [10] Lucena N B, Pease J, Yadollahpour P, et al. Syntax and semantics - preserving application - layer protocol steganography [C]//Information hiding. Berlin: Springer, 2005: 164-179.
- [11] 赵敏之,孙星明,向华政.基于虚词变换的自然语言信息隐藏算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(3): 158-160.
- [12] Chapman M, Davida G. Hiding the hidden: a software system for concealing ciphertext as innocuous text [J]. Information and Communications Security, 1997, 1(1): 335-345.
- [13] 李向辉.基于 Word 文本文档的信息隐藏方法研究[D].南宁:广西大学,2006.
- [14] 刘玉玲,孙星明.通过改变文字大小在 Word 文档中加载数字水印的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(12): 110-112.

(上接第 72 页)


- [8] 朱 强,王慧强,冯光升,等. VNE-ABC: 基于人工蜂群的网络虚拟化映射算法[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(1): 68-73.
- [9] Dong Z. A study on virtual network decomposing mapping algorithm based on network balance [C]//Proc of fourth international conference on computational and information sciences. [s. l.]: [s. n.], 2012: 880-883.
- [10] Di H, Yu H, Anand V, et al. Efficient online virtual network mapping using resource evaluation [J]. Journal of Network and Systems Management, 2012, 20(4): 468-488.
- [11] Huang Tao, Liu Jiang, Chen Jiangya, et al. A topology-cognitive algorithm framework for virtual network embedding problem [J]. China Communications, 2014(4): 73-84.

- [12] Cui Hongyan, Tang Shaohua, Huang Xu, et al. A novel method of virtual network embedding based on topology convergence-degree [C]//Proc of IEEE international conference on communications workshops. [s. l.]: IEEE, 2013: 246-250.
- [13] Butt N F, Chowdhury M, Boutaba R. Topology awareness and reoptimization mechanism for virtual network embedding [J]. Networking, 2010, 6091: 27-39.
- [14] Li Wen, Wu Chunming, Chen Jian, et al. Virtual network mapping algorithm with repeatable mapping over substrate nodes [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2011, 33(4): 908-914.

一种基于健壮型映射树的虚拟网络映射算法

作者：[蒋燕燕](#)，[杨龙祥](#)，[成聿伦](#)，[JIANG Yan-yan](#)，[YANG Long-xiang](#)，[CHENG Yu-lun](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

年，卷(期)：2016 (2)

引用本文格式：[蒋燕燕](#). [杨龙祥](#). [成聿伦](#). [JIANG Yan-yan](#). [YANG Long-xiang](#). [CHENG Yu-lun](#) [一种基于健壮型映射树的虚拟网络映射算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016 (2)