



面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法^{*}

曲桦¹, 王丽霞¹, 赵季红^{1,2}, 王贺男¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049;

2. 西安邮电学院大学通信与信息工程学院 西安 710061)

摘要:网络虚拟化是克服当前网络僵化的重要方法,而资源分配是网络虚拟化实现的核心。为了解决业务差异性需求导致的物理网络资源分布不均,造成虚拟网络接受率下降的问题,提出面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法。该算法首先定义反应节点和所连接链路资源比的节点饱和度,依此将虚拟节点映射在节点饱和度最接近虚拟网络请求的物理节点上,最后基于所映射的物理节点和节点饱和度约束,将虚拟链路映射在由物理链路组成的路径上。仿真结果表明该算法能够满足不同业务的差异化请求,具有较高的资源利用率和虚拟网络接受率。

关键词:虚拟网络映射;差异化业务请求;节点饱和度

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.12.009

Virtual Network Embedding Algorithm for Diverse Service Request

Qu Hua¹, Wang Lixia¹, Zhao Jihong^{1,2}, Wang Henan¹

(1. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, 710049 Xi'an, China;

2. School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of

Posts and Telecommunications, 710061 Xi'an, China)

Abstract: Network virtualization is the main means of solving the ossification problem, and resource allocation is the core of network virtualization. Unbalanced resource distribution and low virtual network acceptance ratio have been caused by diversifying services whose requests of virtual nodes and virtual links have great disparity. In order to solve these problems, virtual network embedding algorithm for diverse service requests was proposed. First, it defined node saturation which reflects resource ration between node and its connected links. Then, it mapped virtual nodes to substrate nodes whose minimum node saturation was closest to the one of virtual nodes. At last, it mapped virtual links to substrate paths which were composed of substrate links based on the constraints of mapped substrate nodes and node saturation. Simulation result shows that the proposed algorithm can satisfy diverse service requests and get higher virtual network acceptance ratio and resource utilization ratio.

Key words: virtual network embedding, diverse service requests, node saturation

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No. 61371087),“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项基金资助项目(No. 2013ZX0302010-003),国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No. 2014AA01A701, No. 2014AA01A706, No. 2014AA01A707)

1 引言

新型网络应用的层出不穷,导致现有互联网架构很难满足这些应用的差异性发展需求,一定程度上出现了网络僵化现象^[1]。网络虚拟化是在保留现有互联网架构的前提下,通过在现有网络上构建虚拟网络以满足多样化业务的需求;它是应对当前网络僵化的一种重要方案,是未来多个异构隔离虚拟网络共享底层物理资源网络的重要范式^[2]。

为虚拟网络请求动态分配资源是实现网络虚拟化的关键技术;基于虚拟网络的动态资源分配技术可以抽象为虚拟网络映射问题^[3,4]。参考文献[5~7]提出分布式虚拟网络映射架构,定义分布式虚拟网络映射协议和物理节点之间的信息交互模式,解决分布式环境下的虚拟网络映射问题;参考文献[8~12]应用虚拟网络映射算法解决面向应用的业务承载问题,如 IPTV 业务、无线多播业务等以及网络节能的问题;参考文献[13~17]应用启发式算法或线性规划模型解决虚拟网络映射问题,以提高虚拟网络接受率和网络的资源利用率。虚拟网络根据用户需求承载不同业务,不同业务对虚拟节点和虚拟链路的资源需求各不相同,而参考文献[5~17]都没有考虑面对不同业务的虚拟网络的差异化请求,容易造成物理网络资源分布不均,使虚拟网络请求接受率和网络的资源利用率较低。

为了解决该问题,综合业务的差异化需求,提出了面向业务差异化的虚拟网络映射算法。首先,定义节点与所连接链路的资源比为节点饱和度,包括物理节点的饱和度和虚拟节点的饱和度;其次,应用基于节点饱和度的虚拟节点映射算法,将虚拟节点映射在剩余资源以满足虚拟节点资源请求,且节点饱和度最接近虚拟网络请求中虚拟节点饱和度的物理节点上,确定承载虚拟节点的物理节点;最后,确定承载虚拟链路的物理路径上的部分物理链路,应用基于节点饱和度的虚拟链路映射算法,选择所经过物理节点的节点饱和度最接近虚拟网络请求的节点饱和度的一条物理路径承载虚拟链路,实例化虚拟网络。仿真结果显示,该算法能够使网络资源分布更均衡,提高了网络资源利用率和虚拟网络请求接受率。

2 节点饱和度与网络模型

2.1 节点饱和度定义

定义 将节点与其所连接的某条链路的资源比,称为基于某条链路的节点饱和度。对于节点 m ,如果其连接的

链路有 n 条,则节点 m 的饱和度为:

$$NS_m(i) = \frac{R(m)}{R(L_i)}, i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

其中, $R(m)$ 表示节点 m 的资源, $R(L_i)$ 表示连接节点 m 的某条链路 L_i 的资源。

对于虚拟网络请求,其节点饱和度为:

$$NS_m^v(i) = \frac{R_v(m)}{R_v(L_i)}, i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

其中, $R_v(m)$ 表示虚拟节点 m 的请求资源, $R_v(L_i)$ 表示连接虚拟节点 m 的某条虚拟链路 L_i 的请求资源。

对于物理网络,其节点饱和度为:

$$NS_m^s(i) = \frac{R_s(m)}{R_s(L_i)}, i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

其中, $R_s(m)$ 表示物理节点 m 的剩余资源, $R_s(L_i)$ 表示连接物理节点 m 的某条物理链路 L_i 的剩余资源。

2.2 网络模型

面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法将虚拟节点映射在满足其资源需求,且节点饱和度最接近虚拟节点饱和度的物理节点上,在确定承载虚拟节点的物理节点的同时,确定了承载虚拟链路的物理路径上的部分物理链路,并将虚拟链路映射到满足其资源请求的物理链路组成的物理路径上,如图 1 所示。

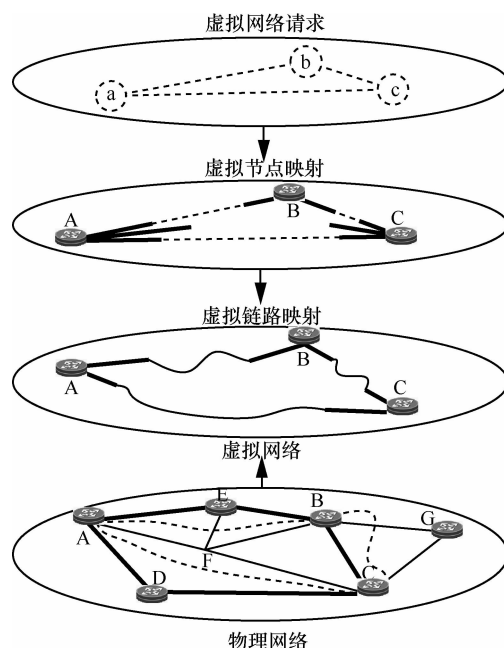


图 1 面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法网络模型

2.2.1 物理网络模型

使用无向带权图 $G^s=(N^s,E^s)$ 表示物理网络,其中, N^s 为



物理节点集合, E^S 为物理链路集合。 c_{N^S} 表示物理节点 i 的资源, b_{E^S} 表示物理链路所能承受的带宽值。

在链路分配过程中, 存在一条虚拟链路被映射到多条物理链路集合的情况。

2.2.2 虚拟请求模型

与物理网络模型类似, 使用无向带权图 $G^V=(N^V, E^V)$ 表示虚拟网络, 其中, N^V 为虚拟节点集合, E^V 为虚拟链路集合。 c_{N^V} 表示虚拟节点的资源, b_{E^V} 表示该虚拟链路所需带宽大小。

2.2.3 虚拟网络收益

虚拟网络的收益指虚拟网络中节点和链路所需资源总和, 定义为:

$$R_E(G^V) = \lim_{T \rightarrow \infty} T \times (\sum_i c_{N_i^V} + \sum_j b_{E_j^V}) \quad (4)$$

其中, T 表示虚拟网络映射成功后的生存时间。

虚拟网络的收益表示底层供应商承载该虚拟网络的最低资源消耗。

2.2.4 资源利用率

定义资源利用率及其方差来表示物理网络资源均衡分布性, 以提高虚拟网络的接受率和网络的资源利用率。包括物理节点资源利用率及其标准方差和物理链路资源利用率及其标准方差。

(1) 物理节点的资源利用率及其方差

具体定义为:

$$U_{N_i^S} = \frac{\sum_{\forall N^{V'} \uparrow N^S} c_{N_i^{V'}}}{\sum_i c_{N_i^S} \times f_{N_i^S}} \quad (5)$$

其中, $f_{N_i^S}$ 取 0 或 1, 1 表示虚拟节点 $N_i^{V'}$ 映射在物理节点 N_i^S 上, 反之亦然。标准方差定义为:

$$\sigma_{N_i^S} = \sqrt{(U_{N_i^S} - \overline{U_{N_i^S}})^2} \quad (6)$$

其中, $\overline{U_{N_i^S}} = \frac{\sum_{N_i^S \in \{N^S\}} U_{N_i^S}}{[N^S]}$, $[N^S]$ 表示物理网络中所有节点的数目。

(2) 物理链路的资源利用率及其方差

具体定义为:

$$U_{E_i^S} = \frac{\sum_{\forall E^{V'} \uparrow E^S} b_{E_i^{V'}}}{\sum_i b_{E_i^S} \times f_{E_i^S}} \quad (7)$$

其中, $f_{E_i^S}$ 取 1 或 0, 1 表示虚拟链路 $E_i^{V'}$ 映射在物理链路 E_i^S 上, 反之亦然。

其标准方差定义为:

$$\sigma_{E_i^S} = \sqrt{(U_{E_i^S} - \overline{U_{E_i^S}})^2} \quad (8)$$

其中, $\overline{U_{E_i^S}} = \frac{\sum_{E_i^S \in \{E^S\}} U_{E_i^S}}{[E^S]}$, $[E^S]$ 表示物理网络中所有链路的数目。

2.3 网络资源分配过程

一个虚拟网络映射可被分解为彼此相关联的两部分: 节点映射和链路映射, 即:

$$M: M_{VN} \cup M_{VL} \quad (9)$$

其中, $M_{VN}: N^V \rightarrow N^S$, 表示虚拟节点被映射到物理节点上; $M_{VL}: E^V \rightarrow P$, 表示将虚拟链路映射到物理路径上, 物理路径 $P=\{E^S\}$, 由物理链路组成。

物理节点的剩余资源为某个物理节点总的资源与已被虚拟请求占用的资源之差。具体定义为:

$$R_N(N_i^S) = c_{N_i^S} - \sum_{\forall N^{V'} \uparrow N^S} c_{N_i^{V'}} \quad (10)$$

其中, $N^{V'} \uparrow N^S$ 表示将虚拟节点 $N^{V'}$ 映射到物理节点 N^S 上。

物理链路的剩余资源即物理链路总带宽与被占用带宽之差。具体定义为:

$$R_E(E_i^S) = b_{E_i^S} - \sum_{\forall E^{V'} \uparrow E^S} b_{E_i^{V'}} \quad (11)$$

其中, $E^{V'} \uparrow E^S$ 表示将虚拟链路 $E^{V'}$ 映射到由物理链路 E^S 组成的物理路径 P 上。

3 面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法

3.1 基于节点饱和度的虚拟节点映射算法

基于节点饱和度的虚拟节点映射算法在虚拟请求到达时, 首先计算所有物理节点基于所有链路的节点饱和度, 并选出最小节点饱和度; 针对每个虚拟节点, 选择物理节点剩余资源大于虚拟节点请求资源, 且最小节点饱和度最接近虚拟节点饱和度的物理节点, 将虚拟节点映射在该物理节点上, 具体算法流程如图 2 所示。

Begin 初始化 $j=1, m=1$;

Step 1 计算所有物理节点基于所有链路的节点饱和度 $NS_m^S(i)$, 并判断出最小节点饱和度 $\min NS_m^S(i)$;

Step 2 对于虚拟节点 j , 判断物理节点 m 是否满足资源需求, 即 $c_{N^V} - \sum_{\forall N^{V'} \uparrow N^S} c_{N^{V'}} < c_{N^V}$ 是否为真, 如果是, 转到 Step 6, 否则转到 Step 3;

Step 3 计算虚拟节点 j 的所有节点饱和度, 选出最小节点饱和度 $\min NS_m^V(j)$, 判断 $\min NS_m^V(i) - \min NS_m^S(j)$ 是否最小, 如果是, 转到 Step 4, 否则, 转到 Step 6;

Step 4 将虚拟节点 j 映射到物理节点 m 上;

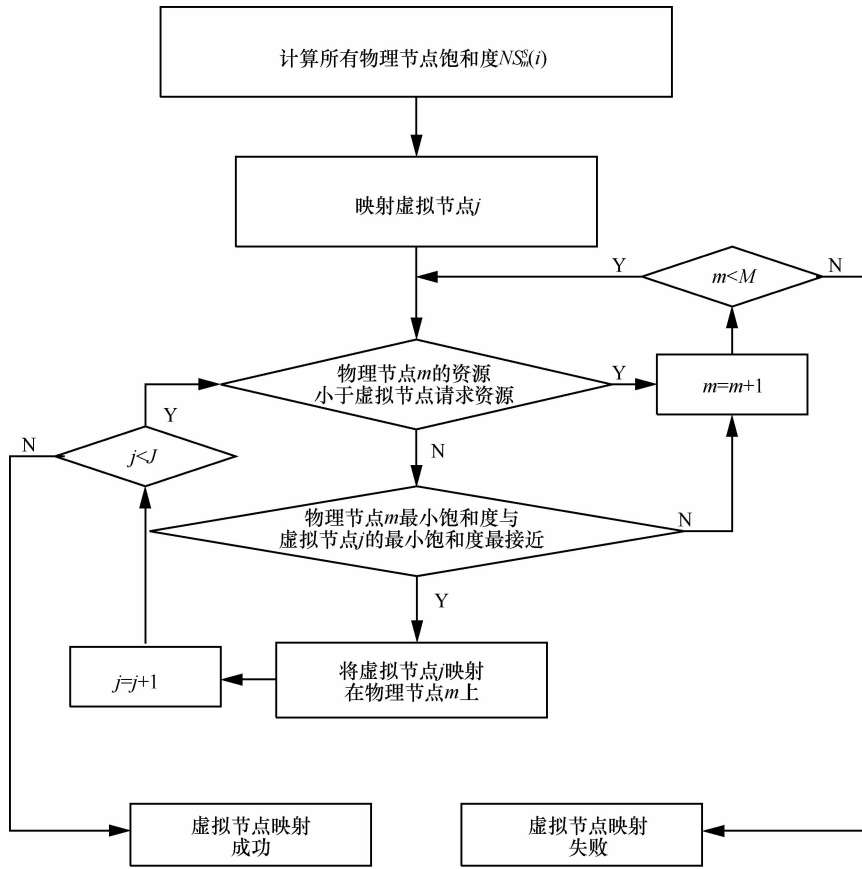


图2 基于节点饱和度的虚拟节点映射算法

Step 5 $j=j+1$ 并判断 $j < J$ 是否为真,如果是,转到 Step 2,否则,转到 Step 7;

Step 6 $m=m+1$ 并判断 $m < M$ 是否为真,如果是,转到 Step 2,否则,转到 Step 8;

Step 7 虚拟节点映射成功;

Step 8 虚拟节点映射失败;

End

记物理网络中的节点个数为 M ,链路条数为 N ,虚拟网络请求中的节点个数为 J ,虚拟链路条数为 K ,则基于节点饱和度的虚拟节点映射算法的时间复杂度为 $O(N \log J)$ 。

3.2 基于节点饱和度的虚拟链路映射算法

虚拟链路 E_i^V 的两个端点为 $N_s^V(i)$ 和 $N_d^V(i)$,假设应用基于节点饱和度的虚拟节点映射算法确定了承载虚拟节点的物理节点 $N_s^S(i)$ 和 $N_d^S(i)$ 以及承载虚拟链路的部分物理链路,记所确定部分物理链路的另一端点为 $N_s^S(i)$ 和 $N_d^S(i)$ 。基于节点饱和度的虚拟链路映射算法在物理节点 $N_s^S(i)$ 和 $N_d^S(i)$ 之间计算一条满足虚拟链路资源请求,且所经过物理节点的饱和度最接近 $N_s^V(i)$ 和 $N_d^V(i)$ 节点饱和度的物理路

径,承载虚拟链路 E_i^V 。具体算法流程如图 3 所示。

Begin 初始化 $i=1$;

Step 1 对于虚拟链路 E_i^V ,两端点已经映射到物理节点 $N_s^S(i)$ 和 $N_d^S(i)$,计算两节点间所有链路;

Step 2 初始化 $n=1$,以 $N_s^S(i)$ 为端点的物理路径 E_n^{VS} 的剩余资源是否满足虚拟链路 E_i^V 的请求资源,如果是,转到 Step 3,否则,转到 Step 7;

Step 3 该物理链路的另一端点的节点饱和度是否与 $N_d^V(i)$ 最接近,如果是,转到 Step 4,否则,转到 Step 7;

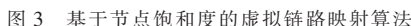
Step 4 将该物理链路加入物理路径结合 $\{P\}$, 转到 Step 5;

Step 5 是否已经从节点 $N_s^S(i)$ 搜索到节点 $N_d^S(i)$,如果是,转到 Step 8,否则,转到 Step 9;

Step 6 $i=i+1$,判断是否 $i < I$,如果是,转到 Step 1,否则,转到 Step 10;

Step 7 $n=n+1$,判断是否 $n < N$,如果是,转到 Step 2,否则,转到 Step 9;

Step 8 虚拟链路 E_i^V 映射成功,转到 Step 6;



End

4 仿真与性能分析

4.1 仿真设计

为了降低网络拓扑和所提面向差异请求的虚拟网络映射算法性能之间的关联性,增加网络拓扑的随机性,本文设计 50 个节点的物理网络拓扑,每对节点之间是否连接的概率为 0.5,节点和链路资源服从 50 单位~100 单位的均匀分布;虚拟网络请求中虚拟节点的数目服从 5~10 的均衡分布,每对虚拟节点之间是否连接的概率为 0.5,虚拟网络中节点和链路的请求资源服从 0 单位~50 单位的随

4.2 仿真结果

(2) 虚拟网络请求接受率

图5比较了不同算法下虚拟网络请求接受率。由图可得,NS-VNE算法综合物理网络的资源分布情况,避免某些节点或链路资源已经耗尽,而某些节点和链路资源剩余较多的情况。当新虚拟网络请求到达时,物理网络中有更多满足虚拟网络的资源请求的节点和链路,提高了虚拟网络请求接受率。

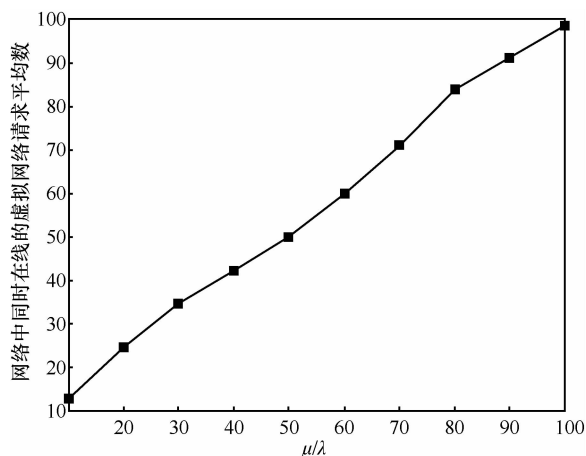
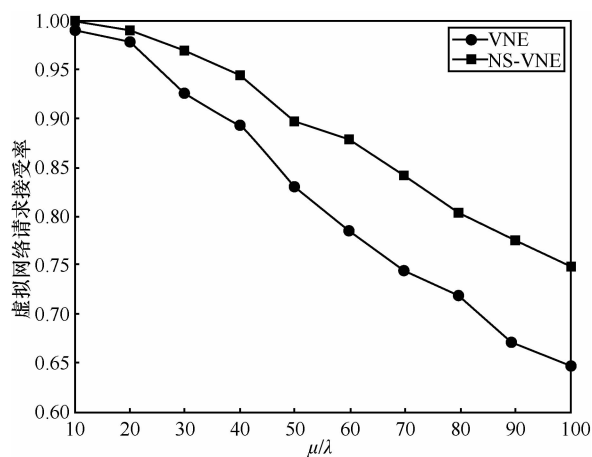
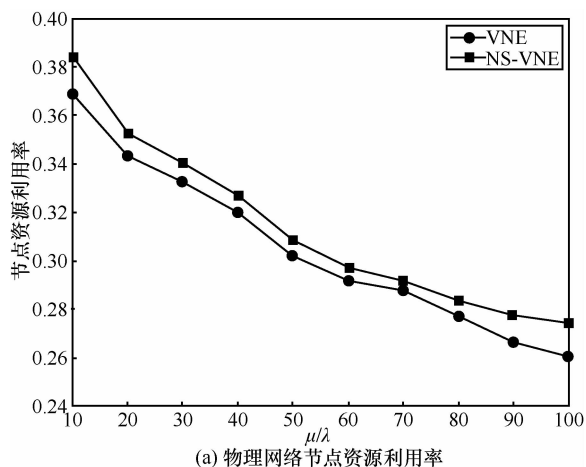
图4 基于不同 μ 和 λ 参数的平均虚拟网络请求数

图5 虚拟网络请求接受率

(3) 物理网络资源利用率

图6对比了不同算法下物理网络的资源利用率,图6(a)表示物理网络节点资源利用率,图6(b)为物理网络链路资源利用率。由图6可得,NS-VNE算法的节点资源利用率和



(a) 物理网络节点资源利用率

链路资源利用率比VNE算法更优;这是因为所提算法综合虚拟网络请求的资源分布和物理网络的资源分布,将虚拟网络映射在最合适的物理节点和物理链路上,使物理网络的资源分布较为均衡,提高了网络的资源利用率;而链路资源利用率比节点资源利用率高,是因为一条虚拟路径被映射在由多条物理链路组成的物理路径上。

(4) 物理网络资源分布

物理网络资源分布情况由物理网络节点资源利用率的标准方差和物理网络链路利用率的标准方差表示。

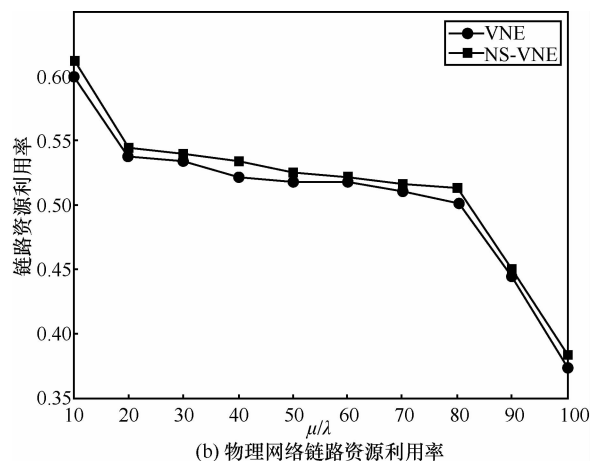
图7对比了不同算法下物理网络资源利用率的标准方差,图7(a)为物理网络节点资源利用率的标准方差,图7(b)为物理网络链路资源利用率的标准方差。由图7可得,NS-VNE算法使得物理网络的资源分布更均衡,获得更低的标准方差;同时,物理网络链路资源利用率的标准方差比物理网络节点资源利用率的标准方差高,这是因为虚拟链路映射在由多条物理链路组成的物理路径上,导致虚拟链路映射时,物理链路被选择的随机性更高。

(5) 网络收益

图8对比了不同算法下网络的收益。从图8可得,面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法提高了网络的资源利用率,使得网络的资源分布更均衡,进而提高了虚拟网络的请求接受率。由于接入网络中的虚拟网络请求更多,增加了网络的收益。

5 结束语

网络虚拟化技术能够提高网络的灵活性和可扩展性,应用网络虚拟化技术构建的虚拟网络能够快速部署新业务,而虚拟网络映射是实例化虚拟网络,实现网络资源分



(b) 物理网络链路资源利用率

图6 物理网络资源利用率

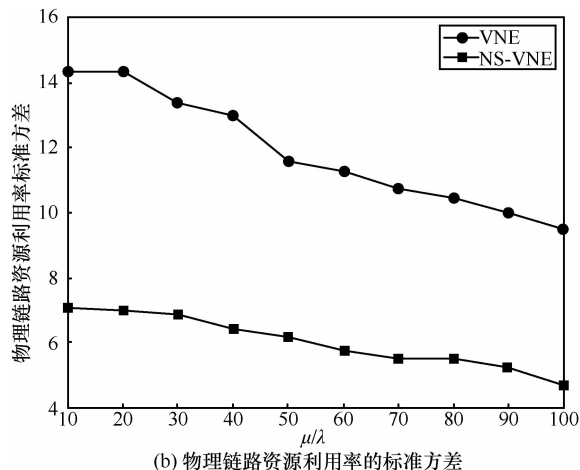
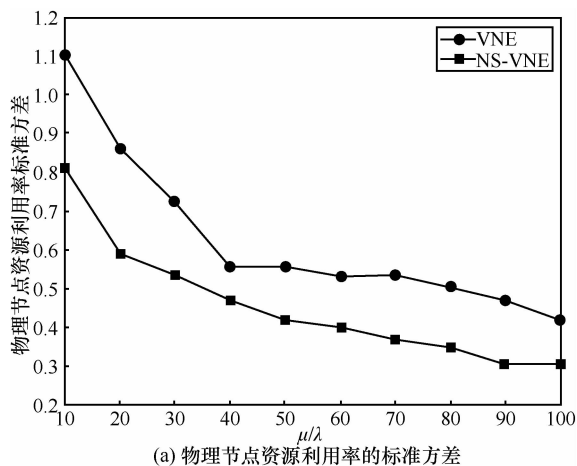


图7 物理网络资源利用标准方差

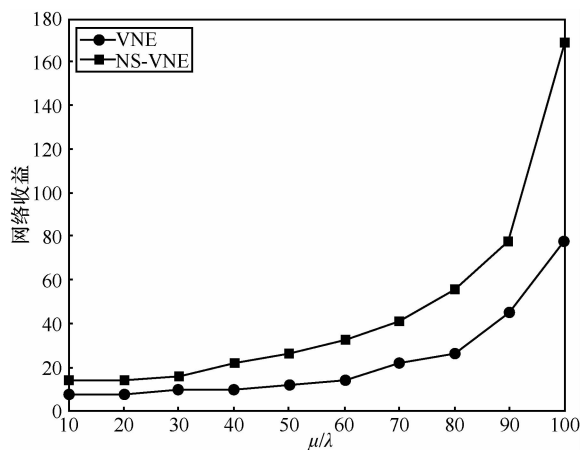


图8 网络收益

配的关键。本文提出面向差异化业务请求的虚拟网络映射算法,通过定义节点饱和度,提出基于节点饱和度的虚拟节点映射算法和基于节点饱和度的虚拟链路映射算法,应对虚拟网络请求中虚拟节点资源请求和虚拟链路资源请求差异较大,造成网络资源分布不均的情况。通过仿真分析,所提算法能够使网络资源分布更均衡,提高了网络资源利用率和虚拟网络请求接受率,同时验证了所设计仿真系统的合理性,为设计离散事件仿真系统实现虚拟网络映射提供参考。

参考文献

- 1 Anderson T, Peterson L, Shenker S, *et al.* Overcoming the internet impasse through virtualization. *Computer*, 2005, 38(4): 34~41
- 2 Zugenmaier A, Jurca, Kellerer W. Network virtualization: a hypervisor for the internet. *IEEE Communication Magazine*,

2012, 50(1):136~143

- 3 Chowdhury N, Boutaba R. A survey of network virtualization. *Computer Networks*, 2010, 54(5): 862~876
- 4 Chowdhury N, Boutaba R. Network virtualization: state of the art and research challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2009, 47(7): 20~26
- 5 Michael T, Andreas F, Hermann M. Distributed virtual network embedding. *Proceedings of the 7th GI/ITG KuVS Workshop on Future Internet*, Munich, Germany, 2012
- 6 Ines H, Wajdi L, Djamel Z. A Distributed and Autonomic Virtual Network Mapping Framework. *GET-INT Technical Report*, TR-07009-RS2M, 2007
- 7 Balasubramaniam S, Mineraud J, Perry P, *et al.* Coordinating allocation of resources for multiple virtual IPTV providers to maximize revenue. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2011, 57(4):826~839
- 8 Juan F, Xavier H, Michael D, *et al.* Energy efficient virtual network embedding. *IEEE Communication Letters*, 2012, 16(5):756~759
- 9 Albert P, Jordi P, Salvatore S. Strategies for virtual optical network allocation. *IEEE Communication Letters*, 2012, 16(2): 268~271
- 10 Pin L, Zhipin C, Jia X, *et al.* Multicast service-oriented virtual network embedding in wireless mesh networks. *IEEE Communication Letters*, 2012, 16(3): 375~377
- 11 Muntasir R, Issam A, Boutaba R. Survivable virtual network embedding. *Lecture Notes of Computer Science*, 2010, 6091(2010): 40~52
- 12 Ines H, Wajdi L, Djamel Z. A distributed virtual network mapping algorithm. *Proceedings of ICC 2008, Beijing, China*, 2008, 5634~5640

(下转第75页)