



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104320324 B

(45)授权公告日 2017.12.12

(21)申请号 201410660555.9

(56)对比文件

(22)申请日 2014.11.18

CN 103428805 A, 2013.12.04,

(65)同一申请的已公布的文献号

US 2014298327 A1, 2014.10.02,

申请公布号 CN 104320324 A

US 2013287032 A1, 2013.10.31,

(43)申请公布日 2015.01.28

CN 1802815 A, 2006.07.12,

(73)专利权人 中国科学技术大学

审查员 夏礼

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

(72)发明人 殷磊 邱玲

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有限公司 34101

代理人 汪祥虬

(51)Int.Cl.

H04L 12/46(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

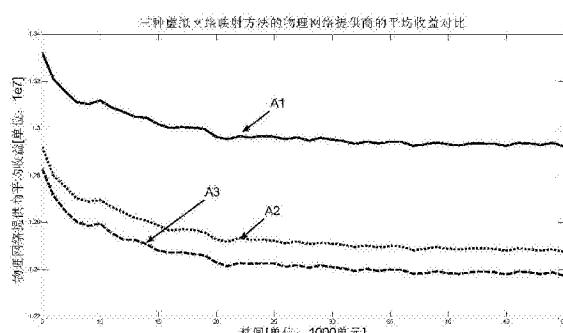
H04L 12/863(2013.01)

(54)发明名称

一种基于链路干扰的虚拟网络映射方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于链路干扰的虚拟网络映射方法，特征是在虚拟网络映射中，引入链路干扰衡量基础设施网络时间维度的拓扑信息；根据基础设施网络链路的可用带宽资源和干扰使用网页排序算法计算基础设施网络节点的排序值；根据虚拟网络请求的节点计算资源和链路带宽需求计算虚拟节点的排序值；使用贪婪匹配算法进行节点映射；加权基础设施网络链路的可用带宽和干扰值使用最短路径算法进行链路映射；采用本发明使用基于链路干扰的虚拟网络映射方法能显著的提高基础设施提供商的平均收益和虚拟网络请求的平均接受率。



1. 一种基于链路干扰的虚拟网络映射方法,包括:在时间轴上的每个时间窗口中,使用收益公式

$$\text{Revenue}(VNR_i) = \left\{ \alpha^C \sum_{u \in V_v} r\_cpu(u) + \alpha^B \sum_{(u,v) \in E_v} r\_bw(u,v) \right\} \tau_i$$

计算时间窗口内到达的和请求队列中的每个虚拟网络请求的收益Revenue,其中V<sub>v</sub>和E<sub>v</sub>分别表示虚拟网络请求VNR<sub>i</sub>的节点集合和链路集合,r<sub>cpu</sub>(u)表示虚拟节点u,u ∈ V<sub>v</sub>,的计算资源需求,r<sub>bw</sub>(u,v)表示虚拟链路(u,v),(u,v) ∈ E<sub>v</sub>,的带宽资源需求,α<sup>C</sup>和α<sup>B</sup>分别表示基础设施提供商的计算资源和带宽资源的单价,τ<sub>i</sub>为虚拟网络请求的生存时间;然后,按照虚拟网络请求的收益Revenue从大到小依次进行虚拟网络映射:如果节点映射和链路映射都成功,则虚拟网络请求映射成功,更新基础设施网络的可用资源;如果映射失败且该请求映射失败的次数未超过上限Th,则将其加入到请求队列中,延迟重新映射;如果虚拟网络请求映射失败的次数达到上限Th,则主动拒绝该虚拟网络请求;

其特征在于:

在虚拟网络映射中,引入链路干扰衡量基础设施网络时间维度的拓扑信息;根据基础设施网络链路的可用带宽资源和干扰使用网页排序算法计算基础设施网络节点的排序值,并根据虚拟网络请求的节点计算资源和链路带宽需求计算虚拟节点的排序值,使用贪婪匹配算法进行节点映射;加权基础设施网络链路的可用带宽和干扰值使用最短路径算法进行链路映射;具体的操作步骤如下:

第一步:使用链路干扰公式

$$I(u,v) = \frac{C_B(u)}{\deg(u)} + \frac{C_B(v)}{\deg(v)}, \forall u, v \in V_s$$

计算基础设施网络所有链路的干扰,其中I(u,v)表示基础设施网络链路(u,v)的链路干扰,V<sub>s</sub>表示基础设施网络节点集合,符号C<sub>B</sub>(i)和deg(i)(i=u,v)分别表示基础设施网络节点i的介数中心性和度中心性;

第二步:使用基础设施网络节点排序公式

$$AR_u = (1-\varepsilon) \sum_{v \in N(u)} \frac{m(v,u) AR_v}{\sum_{w \in N(v)} m(w,v)} + \varepsilon, \forall u, v \in V_s$$

计算基础设施网络所有节点的排序值AR,其中AR<sub>i</sub>(i=u,v)表示基础设施网络节点i的排序值,N(i)(i=u,v)表示与节点i直接相连的节点集合,参数ε ∈ (0,1),基础设施网络链路(u,v)的带宽资源可用度m(u,v)定义为:

$$m(u,v) = \gamma \text{norm}(a\_bw(u,v)) + (1-\gamma) \text{norm}\left(\frac{1}{I(u,v)}\right)$$

其中a<sub>bw</sub>(u,v)表示基础设施网络链路(u,v)的可用的带宽资源,norm(•)表示归一化操作,γ ∈ (0,1);

第三步:使用虚拟节点排序公式

$$RR_u = d \sum_{v \in N(u)} \frac{r\_bw(v,u) RR_v}{\sum_{w \in N(v)} r\_bw(w,v)} + (1-d)c(u), \forall u, v \in V_v$$

计算所有虚拟节点的排序值RR,其中 $RR_i (i=u, v)$ 表示虚拟节点*i*的排序值, $N(i) (i=u, v)$ 表示与节点*i*直接相连的节点集合, $d \in (0, 1)$ , $c(u) = \frac{r\_cpu(u)}{\sum_{v \in N_u} r\_cpu(v)}$ ;

第四步:节点映射,具体的映射流程如下:初始化未映射节点集合为虚拟网络请求的节点集合 $V_v$ ,可用节点集合为基础设施网络节点集合 $V_s$ ;重复如下操作直至节点映射结束:如果未映射节点集合是空集,则节点映射成功,节点映射结束;否则,选择其中排序值RR最大的虚拟节点vNode,在可用节点集合中搜索能满足虚拟节点vNode计算资源需求的节点组成可行节点集合;如果可行节点集合是空集,则节点映射失败,节点映射结束;否则,选择其中排序值AR最大的节点sNode作为虚拟节点vNode的映射结果,并将虚拟节点vNode和基础设施网络节点sNode分别从未映射节点集合和可用节点集合中移除;

第五步:链路映射,具体的映射流程如下:初始化未映射链路集合为虚拟网络请求的链路集合 $E_v$ ,备份基础设施网络的可用资源信息;重复如下操作直至链路映射结束后使用备份信息还原基础设施网络的可用资源信息:如果未映射链路集合为空集,则链路映射成功,链路映射结束;否则,从未映射链路集合中选择带宽资源需求最大的虚拟链路vLink,将基础设施网络的所有节点和能满足虚拟链路vLink带宽资源需求的链路提取出来形成一个简化的基础设施网络拓扑,使用链路权值计算公式

$$\chi(u, v) = \beta \text{norm}(I(u, v)) + (1 - \beta) \text{norm}\left(\frac{1}{a\_bw(u, v)}\right)$$

计算简化的基础设施网络拓扑中链路的权值,其中 $\chi(u, v)$ 表示基础设施网络链路(u, v)的权值, $\beta \in (0, 1)$ ;使用最短路径算法在虚拟链路vLink两端的虚拟节点所映射的基础设施数节点之间搜索链路权值和最小的路径P;如果路径P不存在,则链路映射失败,链路映射结束;否则将路径P作为虚拟链路vLink的映射结果,更新路径P中所有链路的可用带宽资源,并将虚拟链路vLink从未映射链路集合中移除;

第六步:根据节点映射和链路映射的结果,更新基础设施网络的可用资源信息。

## 一种基于链路干扰的虚拟网络映射方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于计算机网络技术领域,具体涉及基于链路干扰的虚拟网络映射方法。

### 背景技术

[0002] 电气与电子工程师协会全球通信国际会议的《多元化互联网络》(IEEE GlobeCom, vol.2, pp. 755-760, 2005)一文中指出,网络虚拟化技术能够将传统互联网服务提供商解耦为基础设施提供商和网络服务提供商,并允许多个网络服务提供商的网络共享同一底层基础设施网络资源。在网络虚拟化环境中,基础设施提供商负责构建、维护和管理底层物理网络设备;网络服务提供商根据服务需求向基础设施提供商租赁资源,构建并运营定制的虚拟网络,并提供端到端服务。第20届国际电信业务会议专家研讨会的《网络虚拟化中的资源分配挑战》(20th ITC Specialist Seminar, vol.18, pp18-20, 2009)一文中指出,网络虚拟化面临的一个重要挑战是虚拟网络映射,即根据服务提供商的虚拟网络请求(Virtual Network Request)的节点和链路的资源需求,合理的为其分配基础设施提供商的网络资源。

[0003] 经对现有文献检索发现,为解决虚拟网络映射这个非确定型多项式难(NP-hard)问题,现有的方法主要是将虚拟网络映射问题解耦为两个阶段:节点映射和链路映射。美国计算机协会数据通信专业组的《反思虚拟网络映射:基础设施网络支持路径分割和迁移》(ACM SIGCOMM, vol.38 (2), pp.17-29, 2008)一文提出了基于一种时间窗口模型的虚拟网络映射方法,但其在节点映射中只考虑了基础设施网络局部资源信息。《基于拓扑感知节点排序的虚拟网络映射》(ACM SIGCOMM, vol.41 (2), pp.38-47, 2011)一文在时间窗口模型的基础上,基于随机游走(Random Walk)思想,提出了一种随机游走-贪婪匹配-最短路径(RW-MM-SP)方法,但其在节点映射中没有能充分挖掘基础设施网络和虚拟网络的全局拓扑信息。《基于全局资源信息的收入主导的虚拟网络映射》(IEEE GlobeCom, pp.2294-2299, 2013)一文基于网页排序(PageRank)算法,进一步挖掘基础设施网络和虚拟网络的全局拓扑资源信息,提出了一种收益主导的虚拟网络映射方法(RD-VNE)。可是,虚拟网络映射是一个在线(On Line)的过程,上述的虚拟网络映射算法都旨在挖掘基础设施网络和虚拟网络空间维度的拓扑信息,而忽略了基础设施网络时间维度的拓扑信息,贪婪的优化当前虚拟网络的映射结果,从而导致现有这些虚拟网络映射方法在时间维度上具有很大的盲目性。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种基于链路干扰的虚拟网络映射方法,采用链路干扰来衡量基础设施网络时间维度上的拓扑信息,并将其考虑到节点映射和链路映射中,以减小现有的虚拟网络映射方法在时间维度上的盲目性,实现进一步提高基础设施提供商的平均收益和虚拟网络请求的平均接受率的目的。

[0005] 本发明基于链路干扰的虚拟网络映射方法,包括:在时间轴上的每个时间窗口中,使用收益公式

$$[0006] \quad Revenue(VNR_i) = \left\{ \alpha^C \sum_{u \in V_v} r\_cpu(u) + \alpha^B \sum_{(u,v) \in E_v} r\_bw(u,v) \right\} \tau_i \quad (1)$$

[0007] 计算时间窗口内到达的和请求队列中的每个虚拟网络请求的收益Revenue, 其中V\_v和E\_v分别表示虚拟网络请求VNR\_i的节点集合和链路集合, r\_cpu(u) 表示虚拟节点u ( $u \in V_v$ ) 的计算资源需求, r\_bw(u, v) 表示虚拟链路  $(u, v) ((u, v) \in E_v)$  的带宽资源需求,  $\alpha^C$  和  $\alpha^B$  分别表示基础设施提供商的计算资源和带宽资源的单价,  $\tau_i$  为虚拟网络请求的生存时间; 然后, 按照虚拟网络请求的收益Revenue从大到小依次进行虚拟网络映射: 如果节点映射和链路映射都成功, 则虚拟网络请求映射成功, 更新基础设施网络的可用资源; 如果映射失败且该请求映射失败的次数未超过上限Th, 则将其加入到请求队列中, 延迟重新映射; 如果虚拟网络请求映射失败的次数达到上限Th, 则主动拒绝该虚拟网络请求;

[0008] 其特征在于:

[0009] 在虚拟网络映射中, 引入链路干扰衡量基础设施网络时间维度的拓扑信息; 根据基础设施网络链路的可用带宽资源和干扰使用网页排序算法计算基础设施网络节点的排序值, 并根据虚拟网络请求的节点计算资源和链路带宽需求计算虚拟节点的排序值, 使用贪婪匹配算法进行节点映射; 加权基础设施网络链路的可用带宽和干扰值使用最短路径算法进行链路映射; 具体的操作步骤如下:

[0010] 第一步: 使用链路干扰公式

$$[0011] \quad I(u, v) = \frac{C_B(u)}{\deg(u)} + \frac{C_B(v)}{\deg(v)}, \forall u, v \in V_s \quad (2)$$

[0012] 计算基础设施网络所有链路的干扰, 其中  $I(u, v)$  表示基础设施网络链路  $(u, v)$  的链路干扰,  $V_s$  表示基础设施网络节点集合, 符号  $C_B(i)$  和  $\deg(i)$  ( $i = u, v$ ) 分别表示基础设施网络节点  $i$  ( $i = u, v$ ) 的介数中心性 (Betweenness Centrality) 和度中心性 (Degree Centrality);

[0013] 第二步: 使用基础设施网络节点排序公式

$$[0014] \quad AR_u = (1 - \varepsilon) \sum_{v \in N(u)} \frac{m(v, u) AR_v}{\sum_{w \in N(v)} m(w, v)} + \varepsilon, \forall u, v \in V_s \quad (3)$$

[0015] 计算基础设施网络所有节点的排序值AR, 其中  $AR_i$  ( $i = u, v$ ) 表示基础设施网络节点  $i$  的排序值,  $N(i)$  ( $i = u, v$ ) 表示与节点  $i$  直接相连的节点集合, 参数  $\varepsilon \in (0, 1)$ , 基础设施网络链路  $(u, v)$  的带宽资源可用度  $m(u, v)$  定义为:

$$[0016] \quad m(u, v) = \gamma \text{norm}(a\_bw(u, v)) + (1 - \gamma) \text{norm}\left(\frac{1}{I(u, v)}\right)$$

[0017] 其中  $a\_bw(u, v)$  表示基础设施网络链路  $(u, v)$  的可用的带宽资源,  $\text{norm}(\cdot)$  表示归一化操作,  $\gamma \in (0, 1)$ ;

[0018] 第三步: 使用虚拟节点排序公式

$$[0019] \quad RR_u = d \sum_{v \in N(u)} \frac{r\_bw(v, u) RR_v}{\sum_{w \in N(v)} r\_bw(w, v)} + (1 - d)c(u), \forall u, v \in V_v \quad (4)$$

[0020] 计算所有虚拟节点的排序值RR, 其中  $RR_i$  ( $i = u, v$ ) 表示虚拟节点  $i$  的排序值,  $N(i)$

$$(i=u,v) \text{ 表示与节点 } i \text{ 直接相连的节点集合, } d \in (0,1), c(u) = \frac{r\_cpu(u)}{\sum_{v \in V_v} r\_cpu(v)};$$

[0021] 第四步:节点映射,具体的映射流程如下:初始化未映射节点集合为虚拟网络请求的节点集合 $V_v$ ,可用节点集合为基础设施网络节点集合 $V_s$ ;重复如下操作直至节点映射结束:如果未映射节点集合是空集,则节点映射成功,节点映射结束;否则,选择其中排序值RR最大的虚拟节点vNode,在可用节点集合中搜索能满足虚拟节点vNode计算资源需求的节点组成可行节点集合;如果可行节点集合是空集,则节点映射失败,节点映射结束;否则,选择其中排序值AR最大的节点sNode作为虚拟节点vNode的映射结果,并将虚拟节点vNode和基础设施网络节点sNode分别从未映射节点集合和可用节点集合中移除;

[0022] 第五步:链路映射,具体的映射流程如下:初始化未映射链路集合为虚拟网络请求的链路集合 $E_v$ ,备份基础设施网络的可用资源信息;重复如下操作直至链路映射结束后使用备份信息还原基础设施网络的可用资源信息:如果未映射链路集合为空集,则链路映射成功,链路映射结束;否则,从未映射链路集合中选择带宽资源需求最大的虚拟链路vLink,将基础设施网络的所有节点和能满足虚拟链路vLink带宽资源需求的链路提取出来形成一个简化的基础设施网络拓扑,使用链路权值计算公式

$$[0023] \quad \chi(u,v) = \beta \text{norm}(I(u,v)) + (1-\beta) \text{norm}\left(\frac{1}{a\_bw(u,v)}\right) \quad (5)$$

[0024] 计算简化的基础设施网络拓扑中链路的权值,其中 $\chi(u,v)$ 表示基础设施网络链路 $(u,v)$ 的权值, $\beta \in (0,1)$ ;使用最短路径算法在虚拟链路vLink两端的虚拟节点所映射的基础设施节点之间搜索链路权值和最小的路径P;如果路径P不存在,则链路映射失败,链路映射结束;否则将路径P作为虚拟链路vLink的映射结果,更新路径P中所有链路的可用带宽资源,并将虚拟链路vLink从未映射链路集合中移除;

[0025] 第六步:根据节点映射和链路映射的结果,更新基础设施网络的可用资源信息。

[0026] 本发明方法由于采取了引入链路干扰来衡量基础设施网络时间维度的拓扑信息,并将其应用到节点映射和链路映射中,相比于传统的虚拟网络映射算法忽略基础设施网络时间维度的拓扑信息,本发明在节点映射和链路映射中都使用了基础设施网络的时间维度拓扑信息进行辅助;由于考虑了基础设施网络时间维度的拓扑信息,采用本发明方法能够减小虚拟网络映射在时间维度上的盲目性,明显的提高基础设施网络的平均收益和虚拟网络请求的平均接受率。

## 附图说明

[0027] 图1是基于时间窗口模型虚拟网络映射流程。

[0028] 图2是三种虚拟网络映射方法的基础设施网络提供商的平均收益对比图。

[0029] 图3是三种虚拟网络映射方法的虚拟网络请求的平均接受率对比图。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明进行进一步的详细描述。

[0031] 实施例1:

[0032] 本发明基于链路干扰的虚拟网络映射方法,包括:在时间轴上的每个时间窗口中,使用收益公式(1),即

$$[0033] Revenue(VNR_i) = \left\{ \alpha^C \sum_{u \in V_v} r\_cpu(u) + \alpha^B \sum_{(u,v) \in E_v} r\_bw(u,v) \right\} \tau_i$$

[0034] 计算时间窗口内到达的和请求队列中的每个虚拟网络请求的收益Revenue,其中V<sub>v</sub>和E<sub>v</sub>分别表示虚拟网络请求VNR<sub>i</sub>的节点集合和链路集合,r<sub>cpu</sub>(u)表示虚拟节点u(u ∈ V<sub>v</sub>)的计算资源需求,r<sub>bw</sub>(u,v)表示虚拟链路(u,v)((u,v) ∈ E<sub>v</sub>)的带宽资源需求,α<sup>C</sup>和α<sup>B</sup>分别表示基础设施提供商的计算资源和带宽资源的单价,τ<sub>i</sub>为虚拟网络请求的生存时间;然后,按照虚拟网络请求的收益Revenue从大到小依次进行虚拟网络映射:如果节点映射和链路映射都成功,则虚拟网络请求映射成功,更新基础设施网络的可用资源;如果映射失败且该请求映射失败的次数未超过上限Th,则将其加入到请求队列中,延迟重新映射;如果虚拟网络请求映射失败的次数达到上限Th,则主动拒绝该虚拟网络请求;

[0035] 图1给出了基于时间窗口模型的虚拟网络映射流程,如图1中所示:基于时间窗口模型的虚拟网络映射,在时间轴上的每一个时间窗口结束时进行一次虚拟网络映射,具体的流程如下:

[0036] 释放资源(S1):释放时间窗口内所有因生存周期结束而离开的虚拟网络请求所占用的基础设施网络资源,更新基础设施网络的可用资源信息;

[0037] 收集虚拟网络请求(S2):收集时间窗口内到达的和请求队列中的所有虚拟网络请求,使用收益公式(1)计算每一个虚拟网络请求的收益Revenue,并按照收益降序排序;

[0038] 虚拟网络映射(S3):使用本发明基于链路干扰的虚拟网络映射方法按照收益Revenue从大到小的顺序依次对虚拟网络请求进行映射,其中包括节点映射和链路映射;如果其中任意一个虚拟网络请求的节点映射和链路映射都成功,则该虚拟网络请求映射成功,并更新基础设施网络的可用资源信息;如果,映射失败并且失败的次数没有超过预先设置的上限Th,则将其加入到请求队列,延迟重新映射;如果映射失败次数超过上限Th,则主动拒绝该虚拟网络请求。

[0039] 本实施例中的基于链路干扰的虚拟网络映射方法具体包括如下步骤:

[0040] 第一步:使用链路干扰公式(2),即

$$[0041] I(u,v) = \frac{C_B(u)}{\deg(u)} + \frac{C_B(v)}{\deg(v)}, \forall u, v \in V_s$$

[0042] 计算基础设施网络所有链路的干扰,其中I(u,v)表示基础设施网络链路(u,v)的链路干扰,V<sub>s</sub>表示基础设施网络节点集合,符号C<sub>B</sub>(i)和deg(i)(i=u,v)分别表示基础设施网络节点i(i=u,v)的介数中心性和度中心性;特别指出,链路干扰只需要在基础设施网络拓扑发生变化时才需要重新更新;

[0043] 第二步:使用基础设施网络节点排序公式(3),即

$$[0044] AR_u = (1-\varepsilon) \sum_{v \in N(u)} \frac{m(v,u) AR_v}{\sum_{w \in N(v)} m(w,v)} + \varepsilon, \forall u, v \in V_s$$

[0045] 计算基础设施网络所有节点的排序值AR,其中AR<sub>i</sub>(i=u,v)表示基础设施网络节点i的排序值,N(i)(i=u,v)表示与节点i直接相连的节点集合,参数ε ∈ (0,1)用于保证每

个基础设施网络节点具有唯一的节点排序值,基础设施网络链路(u,v)的带宽资源可用度m(u,v)定义为

$$[0046] \quad m(u,v) = \gamma \text{norm}(a\_bw(u,v)) + (1-\gamma) \text{norm}\left(\frac{1}{I(u,v)}\right)$$

[0047] 其中a\_bw(u,v)表示基础设施网络链路(u,v)的可用的带宽资源,norm(•)表示归一化操作,  $\gamma \in (0,1)$  用于链路的可用带宽和干扰的折中;

[0048] 第三步: 使用虚拟节点排序公式(4), 即

$$[0049] \quad RR_u = d \sum_{v \in N(u)} \frac{r\_bw(v,u) RR_v}{\sum_{w \in N(v)} r\_bw(w,v)} + (1-d)c(u), \forall u, v \in V_v$$

[0050] 计算所有虚拟节点的排序值RR, 其中RR<sub>i</sub> ( $i = u, v$ ) 表示虚拟节点i的排序值,N(i)

$$(i = u, v) \text{ 表示与节点 } i \text{ 直接相连的节点集合}, c(u) = \frac{r\_cpu(u)}{\sum_{v \in V_p} r\_cpu(v)}, d \in (0,1) \text{ 用于折中虚拟}$$

网络请求节点计算资源需求和链路带宽资源需求对节点排序值的影响;

[0051] 第四步: 节点映射, 具体的映射流程如下:

[0052] 第4A分步骤: 初始化未映射节点集合为虚拟网络请求的节点集合V<sub>v</sub>, 可用节点集合为基础设施网络节点集合V<sub>s</sub>;

[0053] 第4B分步骤: 如果未映射节点集合是空集, 则节点映射成功, 节点映射结束; 否则, 选择其中排序值RR最大的虚拟节点vNode, 在可用节点集合中搜索能满足虚拟节点vNode计算资源需求的节点组成可行节点集合;

[0054] 第4C分步骤: 如果可行节点集合是空集, 则节点映射失败, 节点映射结束; 否则选择其中排序值AR最大的节点sNode作为虚拟节点vNode的映射结果, 并将虚拟节点vNode和基础设施网络节点sNode分别从未映射节点集合和可用节点集合中移除;

[0055] 第4D分步骤: 重复第4B分步骤和第4C分步骤直至节点映射结束;

[0056] 第五步: 链路映射, 具体的映射流程如下:

[0057] 第5A分步骤: 初始化未映射链路集合为虚拟网络请求的链路集合E<sub>v</sub>, 备份基础设施网络的可用资源信息;

[0058] 第5B分步骤: 如果未映射链路集合为空集, 则链路映射成功, 链路映射结束, 否则, 从未映射链路集合中选择带宽资源需求最大的虚拟链路vLink, 将基础设施网络的所有节点和能满足虚拟链路vLink带宽资源需求的链路提取出来形成一个简化的基础设施网络拓扑, 使用链路权值计算公式(5)即

$$[0059] \quad x(u,v) = \beta \text{norm}(I(u,v)) + (1-\beta) \text{norm}\left(\frac{1}{a\_bw(u,v)}\right)$$

[0060] 计算简化的基础设施网络拓扑中链路的权值, 其中x(u,v)表示基础设施网络链路(u,v)的权值,  $\beta \in (0,1)$  用于折中链路可用带宽资源和干扰;

[0061] 第5C分步骤: 使用最短路径算法在虚拟链路vLink两端的虚拟节点所映射的基础设施节点之间搜索链路权值和最小的路径P;

[0062] 第5D分步骤: 如果路径P不存在, 则链路映射失败, 链路映射结束; 否则将路径P作

为虚拟链路vLink的映射结果,更新路径P中所有链路的可用带宽资源,并将虚拟链路vLink从未映射链路集合中移除;

[0063] 第5E分步骤:重复第5B分步骤、第5C分步骤和第5D分步骤,直至链路映射结束;并在链路映射结束时,使用备份信息还原基础设施网络的可用资源信息;

[0064] 第六步:根据节点映射和链路映射的结果,更新基础设施网络的可用资源信息。

[0065] 下面是本实施例中采取仿真对比本发明基于链路干扰的虚拟网络映射方法和现有的RW-MM-SP和RD-VNE虚拟网络映射方法的性能,对比的性能指标包括:基础设施提供商的平均收益和虚拟网络请求的平均接受率;

[0066] 基础设施提供商的平均收益:基础设施提供商的平均收益定义为基础设施网络接

受的虚拟网络请求收益Revenue之和与时间的比值,即 $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=0}^T R(t)}{T}$ ,其中R(t)表示t时刻接

受的所有虚拟网络请求的收益之和;

[0067] 虚拟网络请求的平均接受率:虚拟网络请求的平均接受率定义为基础设施网络接

受的虚拟网络请求的数目与到达的虚拟网络请求总数之比,即 $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A_T}{R_T}$ ,其中AT表示时刻T之

前接受的虚拟网络请求的总数,Rt表示时刻T之前到达的虚拟网络请求的总数;

[0068] 本实施例中的仿真具体设置如下:

[0069] 基础设施网络:使用GT-ITM拓扑工具随机生成具有100个节点和570条链路的基础设施网络拓扑,且基础设施网络中节点的可用计算资源和链路的可用带宽资源均为均匀分布在50到100的随机值;

[0070] 虚拟网络请求:虚拟网络请求的到达过程为泊松过程,每100个时间单元平均到达5个虚拟网络请求;虚拟网络请求的生存时间服从指数分布,且平均生存时间为500个时间单元;对于每个虚拟网络请求,虚拟网络拓扑由GT-ITM拓扑工具随机产生,虚拟节点数目均匀分布在2到20之间,虚拟节点之间相连接的概率为0.5;虚拟节点的计算资源和虚拟链路的带宽资源需求均为均匀分布在1到50之间的随机值;

[0071] 本实施例中对本发明方法中的相关公式参数的具体设置如下:收益公式(1)的参数 $\alpha^c, \alpha^b$ 都设置为1;基础设施网络节点排序公式(3)的参数 $\epsilon$ 不包含任何有效信息,因此,将其设置为0.01,参数 $\gamma$ 设置为0.9;虚拟节点排序公式(4)的参数d设置为0.85;链路权值公式(5)的参数 $\beta$ 设置为0.3;

[0072] 本实施例的每次仿真模拟运行时间为50000时间单元,在这段时间内,约有2500个虚拟网络请求到达;每个虚拟网络请求的映射失败上限Th设置为0,表示映射失败则主动拒绝虚拟网络请求;最终用于对比的结果使用100次模拟仿真结果的平均值表示,具体的对比结果参照图2和图3;其中,图2是三种虚拟网络映射方法的基础设施网络提供商的平均收益对比图,图3是三种虚拟网络映射方法的虚拟网络请求的平均接受率对比图。图2中的实线A1表示使用基于链路干扰的虚拟网络映射方法的基础设施提供商的平均收益随时间变化的曲线,上面的虚线A2和下面的虚线A3分别表示使用RD-VNE和RW-MM-SP两种虚拟网络映射方法的基础设施提供商的平均收益随时间变化的曲线;图3中的实线B1表示使用基于链路干扰的虚拟网络映射方案虚拟网络请求的平均接受率随时间变化的曲线,上面的虚线B2和下

面的虚线B3分别表示使用RD-VNE和RW-MM-SP虚拟网络映射方法的虚拟网络请求平均接受率随时间变化的曲线。

[0073] 由图2可以看出,较现有的RD-VNE和RW-MM-SP虚拟网络映射方法,本发明基于链路干扰的虚拟网络映射算法能显著的提高基础设施提供商的平均收益;其中,较RW-MM-SP虚拟网络映射方法,基础设施网络的平均收益提高约5%;较RD-VNE虚拟网络映射算法,基础设施网络的平均收益提高约4%;由图3可以看出,较现有的RD-VNE和RW-MM-SP虚拟网络映射方法,本发明基于链路干扰的虚拟网络映射算法能显著的提高虚拟网络请求的平均接受率;其中,较RW-MM-SP虚拟网络映射方法,虚拟网络请求的平均接受率提高约5%;较RD-VNE虚拟网络映射方法,虚拟网络请求的平均接受率提高约4%;因此,使用基于链路干扰的虚拟网络映射方法能显著的提高基础设施提供商的平均收益和虚拟网络请求的平均接受率。

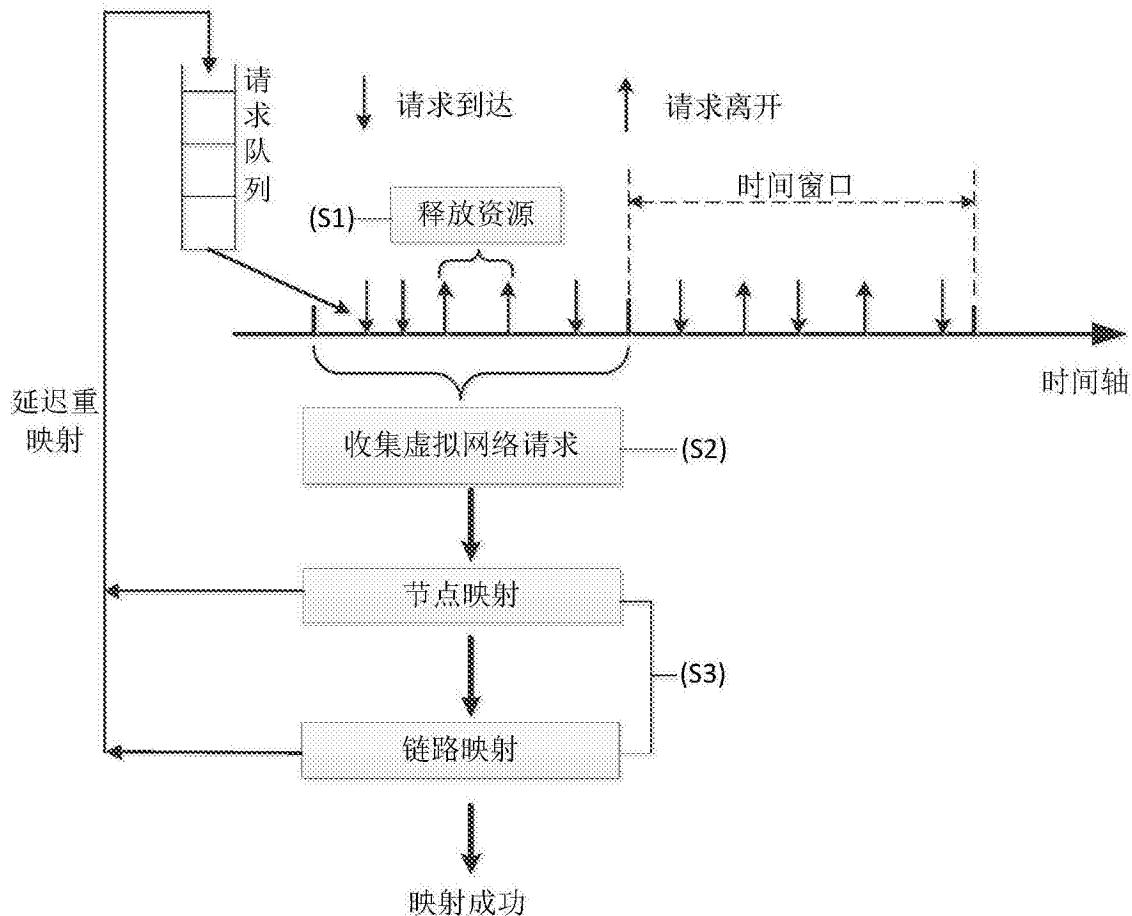


图1

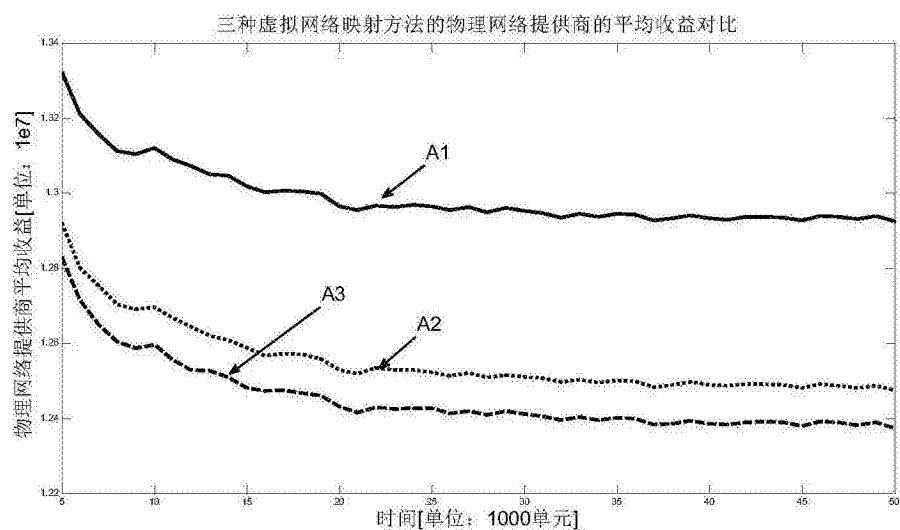


图2

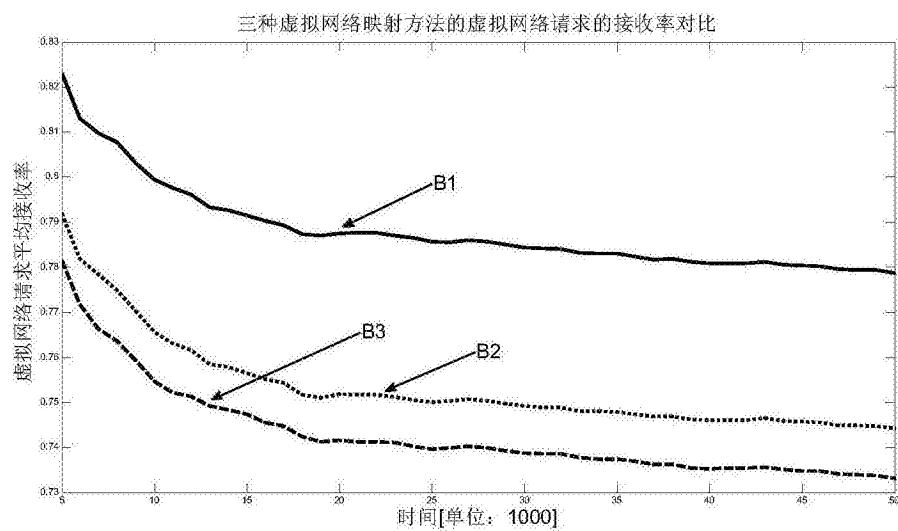


图3