



一种基于临近原则的虚拟网络映射算法^{*}

黄 胜, 吴川川, 杨晓非, 王 辉, 张 卫

(重庆邮电大学光纤通信技术重点实验室 重庆 400065)

摘 要:在两阶段虚拟网络映射算法的基础上,针对现有的贪婪策略对节点映射存在盲目性的缺点,提出了一种基于临近原则的虚拟网络映射算法。该算法对节点映射阶段做了优化和改进,在节点映射阶段充分考虑其对链路映射带来的影响,使节点映射到相对集中的区域,降低链路映射阶段的求解难度。仿真结果表明,所提出的算法与已有的算法相比,在虚拟网络请求接受率、平均时间收益和收益开销比等方面均有明显提高。

关键词:虚拟网络映射;临近原则;接受率;收益开销比

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.12.006

A Virtual Network Mapping Algorithm Based on Approaching Principle

Huang Sheng, Wu Chuanchuan, Yang Xiaofei, Wang Hui, Zhang Wei

(Key Lab of Optical Fiber Communication Technology, Chongqing University of

Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: On the basis of two stages virtual network mapping algorithm, pointing at the defects of the blind node mapping of existing greedy strategy, a virtual network mapping algorithm based on approaching principle was proposed. The algorithm optimized and improved the node mapping stage, and it took a full consideration of the impact on link mapping in the node mapping stage, which made the nodes map to the area of relatively concentrated and reduced the difficulty of solving the link mapping stage. Simulation results show that compared with the existing algorithms, the proposed algorithm improves the virtual network request acceptance ratio, average time revenue and revenue/cost (r/c) ratio.

Key words: virtual network mapping, approaching principle, acceptance ratio, revenue/cost ratio

1 引言

近年来,网络虚拟化技术日渐受到工业界和学术界的广泛关注。应用网络虚拟化技术可以在共享的物理网络基础设施上构建多重彼此隔离的虚拟网络^[1,2],这些虚拟网络可以运行不同的应用程序、网络协议^[3],从而实现了异构的

网络共享底层网络资源,解决现有互联网的“僵化”问题^[4]。然而,要使异构的虚拟网络高效地映射到底层物理网络,实现底层物理网络资源的合理利用,依然是一个 NP 难问题。

虚拟网络映射是网络虚拟化技术的关键部分,可以在满足各种资源需求条件的情况下将虚拟网络映射到底层

^{*} 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(No.2012CB315803),国家自然科学基金资助项目(No.61071117, No.61171158, No.61275077),重庆市科委自然科学基金资助项目(No.2010BB2413, No.2010BB2409),重庆市教委自然科学基金资助项目(No.KJ110519, No.KJ110527)

物理网络。一个虚拟网络由虚拟节点和虚拟链路构成,两者均有资源需求,而物理网络的资源是有限的,因此如何把虚拟网络请求高效地映射到合适的底层物理网络中是一个 NP 难问题,也是提高虚拟网络和物理网络性能的关键。目前关于虚拟网络映射算法研究中大多是基于启发式方法^[5,6]。参考文献[5,7~10]没有考虑节点或链路的资源约束,参考文献[5,9,10]假设事先知道所有的虚拟网络请求,以离线的方式解决虚拟网络映射问题,而参考文献[7]只考虑一种定制的网络拓扑,这些算法都是通过减小问题域简化虚拟网络映射问题,但如此一来就与实际的网络需求相违背。

在充分考虑资源约束、准入控制、在线请求和拓扑多样性等诸多问题的情况下,参考文献[11,12]在考虑节点 CPU 和链路带宽的同时,加入了地理位置约束,使用混合整数规划的方法来求解虚拟网络映射问题,但是该算法过分依赖链路分裂,当底层物理网络不支持链路分裂时,算法的性能比较差。参考文献[13]提出了基于子图同构检测的虚拟网络映射算法,应用同构子图搜索算法解决虚拟网络映射问题,但该算法本质是回溯算法,计算开销较大,因此该算法只适用于处理小型网络。参考文献[14]提出了临近因子的概念,引入指数模型评价可用的资源,但该算法在网络资源不充足时性能较差。参考文献[6]首次提出了物理链路支持链路分裂和迁移的虚拟网络映射算法,但该算法缺乏对节点映射阶段的优化,在评价节点可用资源能力时,仅仅考虑节点的资源能力,没有将节点在网络中的距离因素考虑进来,这将给链路映射阶段造成困难,对算法性能和映射质量产生一定的不利影响。

参考文献[6]采用两阶段映射方法,先按照贪婪算法将虚拟节点映射物理节点,然后用 K 最短路径算法^[15]或 MCF (multi-commodity flow, 多商品流)算法完成虚拟链路的映射。但是,按照贪婪算法将虚拟节点预先映射可能会导致相邻虚拟节点在物理网络中距离过远,这种盲目性不仅减小了链路映射阶段的求解域,而且占用过多的带宽资源,导致算法性能和虚拟网络映射质量的下降。

针对以上问题,本文将研究的重点放在节点映射阶段,在没有减小问题域的前提下,充分考虑节点映射阶段可能对链路映射阶段造成的影响,在节点映射阶段融入了相邻虚拟节点在底层物理网络中的距离因素,优化了节点映射阶段备选物理节点的选择过程,提高了虚拟网络的映射质量,并且在此基础上对节点映射的顺序进行了优化,

较好地协调了节点映射阶段和链路映射阶段。由此,提出了一种基于临近原则的虚拟网络映射算法,解决了虚拟网络请求映射问题。

2 基于临近原则的节点排序方案和资源评价方法

2.1 虚拟网络映射问题模型

本文参考参考文献[6]中虚拟网络映射问题模型,用带权无向图 $G_s=(N_s, E_s, A_s^n, A_s^e)$ 描述底层物理网络, N_s 和 E_s 分别代表物理节点集合和物理链路集合, A_s^n 和 A_s^e 分别表示物理节点和物理链路的资源信息, P_s 表示物理网络中所有无环路径的集合。与物理网络类似,将虚拟网络请求描述成 $G_v=(N_v, E_v, A_v^n, A_v^e)$, N_v 和 E_v 分别代表虚拟节点集合和虚拟链路集合, A_v^n 和 A_v^e 分别表示虚拟节点和虚拟链路的资源需求信息。本文重点考虑节点 CPU 和链路带宽。

将虚拟网络映射问题描述为 $M: G_v=(N_v, E_v): \rightarrow G_s=(\hat{N}_s, \hat{E}_s)$, 其中 $\hat{N}_s \subset N_s, \hat{P}_s \subset P_s$ 。虚拟网络映射过程包括节点映射和链路两个部分: 节点映射 $M_N: G_v \rightarrow \hat{N}_s$, 链路映射: $M_E: E_v \rightarrow \hat{P}_s$ 。

节点映射中,每个虚拟节点能且仅能被映射到一个能够满足其 CPU 需求的物理节点上,并且同一虚拟网络的节点不能共享一个物理节点;链路映射中,每条虚拟链路都被映射到一个能够满足其带宽需求的无环物理路径上,该物理路径可能由多条物理链路组成。

2.2 基于临近原则资源评价方法与排序方案

参考文献[6]中虚拟网络映射算法在评价节点的资源能力时,用节点 CPU 与其相邻链路带宽之和的乘积:

$$H(n) = CPU(n) \cdot \sum_{e \in E(n)} BW(e) \quad (1)$$

其中, n 表示节点, $E(n)$ 表示 n 邻接链路的集合。

但是,这种资源评价方法只是综合了节点 CPU 和链路带宽,在选择备选物理节点时并没有考虑其对链路映射阶段的影响,造成链路映射阶段求解域的减小和选择的物理节点之间距离过远等问题,导致物理网络资源的浪费。基于以上考虑,对于一个给定节点物理 n_s ,加入了距离的因素和临近因子,将节点资源的评价方法重新定义为:

$$HW(n_s) = \frac{coeff^{mm} CPU(n_s) \sum_{l^s \in L(n_s)} BW(l_s)}{1 + \sum_{\hat{n}_s \in \text{neigh}(\hat{n}_v \rightarrow \hat{n}_s)} dis(n_s, \hat{n}_s)} \quad (2)$$



其中, n_s 表示备选物理节点, 虚拟节点 $\hat{n}_V$ 为已映射到物理节点 $\hat{n}_s$ 的节点, 并且 $\hat{n}_V$ 是预映射虚拟节点 n_V 的邻居节点, num 表示该邻居节点的个数。 $coeff$ 为临近因子^[14], 表示备选物理节点 n_s 与已选物理节点 $\hat{n}_s$ 之间的关联度, $dis(n_s, \hat{n}_s)$ 表示 n_s 和 $\hat{n}_s$ 之间的最短距离。

在参考文献[6]中, 节点映射阶段虚拟节点的映射顺序是按照节点的随机编号, 这样就加大了节点映射的盲目性, 预映射的虚拟节点没有考虑其与已映射虚拟节点之间的关联。

基于上面提出的资源评价方法, 为了使得该资源评价方法的优势得到更充分的发挥, 本文提出了一种基于临近原则的节点排序方案, 将一个虚拟网络请求的节点重新排序。该方案的描述如下: 对于一个虚拟网络请求, 首先按照式(1)选择出资源需求最大的节点, 将此节点作为首节点, 加入映射顺序队列, 然后查找该首节点的邻居节点, 按照式(1)的大小依次添加到映射顺序队列, 当把首节点的所有邻居节点都添加完毕, 然后查找邻居节点的邻居节点, 直到所有节点添加完毕。

如图1所示, 方框内数字代表虚拟节点的CPU, 线条上的数字代表虚拟链路带宽, 圆圈内字母代表虚拟节点的编号。在参考文献[6]中的, 虚拟节点按照随机编号映射, 即映射顺序可能是: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow I$, 也可能是 $A \rightarrow C \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow B \rightarrow I$, 抑或其他情况, 然而这样的映射顺序减小了一个拓扑内邻居节点的关联性, 增加了链路映射阶段的求解难度。

下面是基于临近原则的节点排序方案: 首先按照式(1)可知, $H(E)=5\ 000$, 在所有虚拟节点中资源需求最大, 把节

点 E 选取为首节点, 加入映射顺序队列, 查找节点 E 的邻居节点有 C 、 D 、 F 和 G , 而 $H(C) > H(F) > H(D) > H(G)$, 则映射顺序暂时为 $E \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow G$ 。然后查找 C 、 D 、 F 和 G 的邻居节点有 A 、 B 和 H , 而 $H(A) > H(B) > H(H)$, 加入映射顺序队列, 然后查找 A 、 B 和 H , 执行同样的操作, 直到所有节点都加入映射顺序队列, 本例中的映射顺序为 $E \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow G \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow H \rightarrow I$ 。如此一来, 每映射一个虚拟节点, 总能找到尽量多的已映射的邻居节点, 使 num 的值尽量大, 加强了预映射节点与已映射节点之间的关联度, 然后配合文中提出的资源评价方法, 在考虑距离因素的同时使这些节点关联, 从而选择出比较优的备选物理节点。

2.3 基于临近原则的虚拟网络映射实例

以图2为例, 方框内数字代表物理节点或虚拟节点的CPU, 线条上的数字代表物理网络或者虚拟网络链路带宽, 圆圈内字母代表物理节点或者虚拟节点的编号。

如图2所示, 虚拟节点 a 映射到物理节点 A , 虚拟节点 b 映射到物理节点 B , 现在要选择虚拟节点 c 和 d 的备选物理节点。如果按照参考文献[6]中策略, 按照式(1)选择物理节点为剩余资源能力最大的节点, 可能是 H , 也能为 G , 也可能为其他, 这种盲目性会造成映射的虚拟节点在物理网络中现在采用式(2)选择备选物理节点, 根据第2.2节的排序方案, 现在预映射的虚拟节点必定为 c , 而 c 又是 a 和 b 的邻居节点, 因此对于节点 F : $num=2$, 并且 F 节点到 A 和 B 节点的最短距离之和为2, 而对于节点 E : $num=0$, E 到 A 和 B 节点的最短距离之和为4, 则在可用资源一定的情况下 $HW(F)$ 的值相对较大, 这样就增大了节点 F 被选中的可能性。即使在 $num=0$ 时, 本文提出的资源评价方法也可以保证备选物理节点与已选择的物

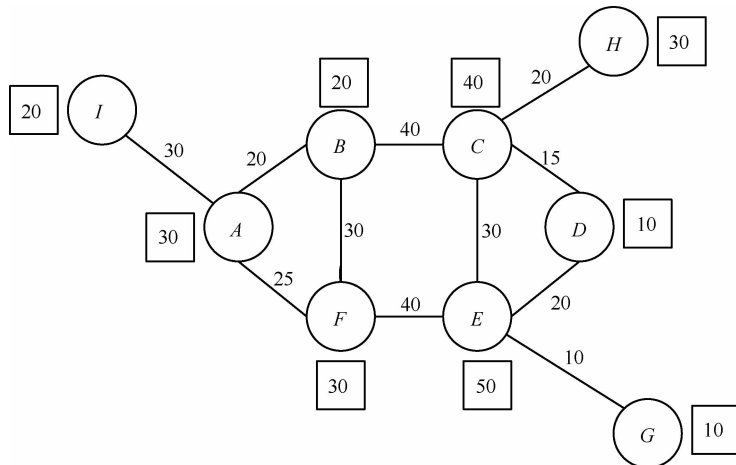


图1 虚拟网络请求实例

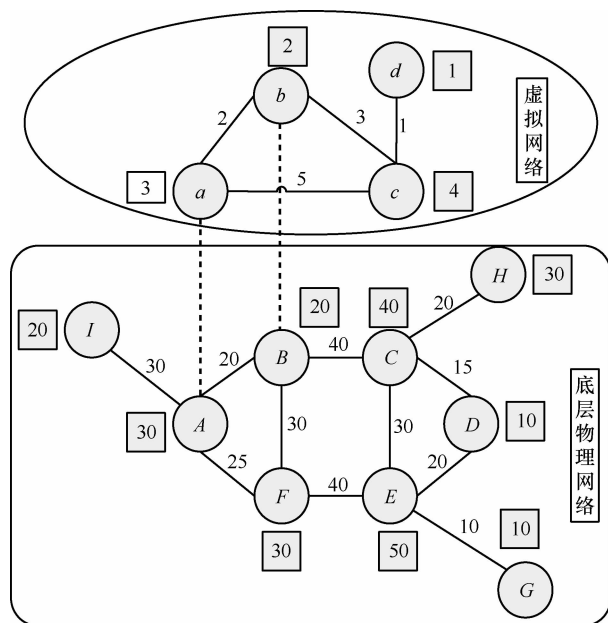


图2 虚拟网络映射实例

理节点之间的距离之和尽量小,使得选择的物理节点尽可能临近。

本文提出的资源评价方法综合考虑了节点 CPU、链路带宽以及备选物理节点与已选物理节点的距离,并且联合提出的节点排序方案,并且通过 *coeff* 加强备选物理节点与已选物理节点之间的关联,通过距离因素使得邻居虚拟节点在物理网络中尽量临近,增大临近的物理节点被选中的概率,将备选物理节点确定在已选物理节点临近的位置,使得选取的物理节点位置相对集中,从而节约了带宽资源,减小了链路映射阶段的求解难度。

3 基于临近原则的虚拟网络映射算法

参考文献[6]采用了两阶段映射算法,在没有减小问题域的前提下采用贪婪算法同时辅以链路分裂和路径迁移方法,提升了映射质量。但是参考文献[6]算法节点映射和链路映射两个阶段并没有关联性,在节点映射阶段没有考虑到对链路映射阶段可能造成的不利影响,在使用贪婪算法完成虚拟节点的预映射后有可能导致链路映射求解过程复杂甚至无法完成。基于参考文献[6]中存在的问题,本文提出了基于临近原则的虚拟网络映射算法,采用了第2.2节中提出的策略,对参考文献[6]算法进行了优化和改进,算法的描述如下所示。

(1) 节点映射

对时间窗内待映射的虚拟网络请求按照其收益降序

排序

for 完成排序的虚拟网络请求

将该虚拟网络请求内的虚拟节点按第2.2节方案重新排序

for 完成排序的虚拟节点

在底层物理网络中选取第2.2节式(2)最大的物理节点

if 步骤(5)映射失败

根据重映射次数门限直接拒绝或将请求送至下一个时间窗的等待队列

end if

end for

end for

(2) 链路映射

与参考文献[6]中类似,采用 *K* 最短路径算法或者 MCF 算法完成链路映射。

首先将时间窗内的虚拟请求按照收益的大小降序排序,为了实现收益最大化,先映射收益大的虚拟网络请求。对于一个虚拟网络请求,首先按照第2.2节的方案对虚拟节点重新排序,确定映射的顺序,然后按照第2.2节式(2),依次选取最大的节点作为备选物理节点。如果找不到备选物理节点时,则说明当前底层物理网络不能满足其 CPU 需求,根据重映射次数门限拒绝该请求或者加入等待的队列,至此,节点映射阶段完成。然后,进入链路映射阶段,和参考文献[6]类似,采用 *K* 最短路径算法^[15]或者 MCF 算法选取物理路径,如果找不到合适的物理链路,则根据重映射次数门限拒绝该请求或者将其加入等待的队列,直至所有虚拟链路映射完成。至此,一个虚拟网络请求的映射完成。

4 仿真与分析

4.1 仿真环境和参数设置

仿真中,采用 GT-ITM 工具生成底层物理网络和虚拟网络请求的拓扑,参数的设置参考参考文献[11]。

底层物理网络有 50 个节点,141 条链路,物理节点的 CPU 和物理链路的带宽均服从 50~100 的均匀分布。虚拟网络节点数服从 2~10 的均匀分布,任意一对虚拟节点之间以 0.5 的概率相连接,虚拟节点 CPU 服从 0~20 的均匀分布,虚拟链路带宽服从 0~50 的均匀分布,虚拟网络请求到达率服从每个时间窗均值为 4 的泊松分布,虚拟网络请



求的生存时间服从均值为 10 个时间窗的指数分布, 其中每个时间窗为 100 个时间单元。 $DELAY$ 表示时延, 是虚拟网络请求可以等待的时间门限, 也是重映射次数的门限, 与参考文献[6,11]类似, 本文中统一取 $DELAY=3$ 。 $coeff$ 表示临近因子, 是反映临近效果的参数, 本文对 $coeff$ 的不同取值进行了仿真。

为了保证仿真结果的稳定性和可信度, 本文对 500 个时间窗 (50 000 个时间单元) 进行了仿真, 每次仿真处理 2 000 个虚拟网络请求。

本文参考参考文献[6]的虚拟网络映射问题描述, 将虚拟网络请求接受率、平均时间收益和收益开销比这 3 个指标作为算法的优化目标, 用以判定映射方案质量的优劣。

采用参考文献[6]中的算法为对比算法, 描述见表 1。

表 1 对比算法

缩写	算法描述
G-SP ^[6]	贪婪式的节点映射结合 K 最短路径算法的链路映射
G-MCF ^[6]	贪婪式的节点映射结合 MCF 算法的链路映射
A-SP	临近式的节点映射结合 K 最短路径算法的链路映射
A-MCF	临近式的节点映射结合 MCF 算法的链路映射

4.2 仿真结果和分析

4.2.1 $coeff$ 对虚拟网络请求接受率的影响

在此仿真中, 采用表 1 中的算法, 分裂率为 0, 其余参数设置如第 4.1 节, 分别在 $coeff=1, 2, 3, 4, 5$ 时进行了仿真测试。如图 3 所示, 当 $coeff=2$ 时, 虚拟网络请求接受率明显要优于其他 $coeff$ 值的结果。为了虚拟网络请求接受率和收益的最大化, 在下面的仿真中, 均采用 $coeff=2$ 的设置。

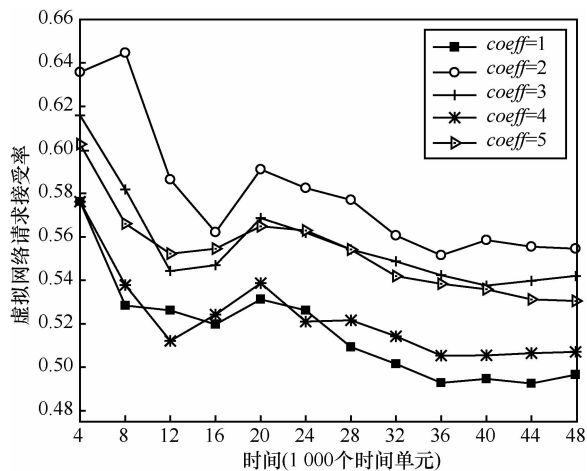


图 3 虚拟网络请求接受率

4.2.2 分裂率为 0, 算法性能对比

在此仿真中, 为了更直观地反映临近算法对链路映射的影响, 在计算收益和开销时仅考虑链路带宽, 下面的仿真均采用此设置。分裂率为 0, $coeff=2$, 其余参数设置如第 4.1 节。

如图 4 所示, 本文的算法较参考文献[6]在虚拟网络请求接受率方面提高了 14.5%, 这是由于采用了临近原则的映射方案, 在节点映射阶段考虑了距离因素, 兼顾了对链路映射阶段的影响, 使得链路映射的求解过程相对容易, 更多的虚拟网络请求映射成功。

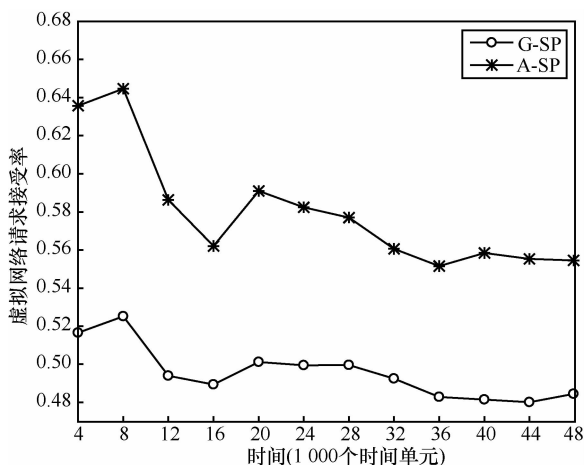


图 4 虚拟网络请求接受率

如图 5 所示, 本文的算法较参考文献[6]在平均时间收益方面提高了 14.6%。这是由于虚拟网络请求接受率的提高, 被映射成功的虚拟网络请求个数增多, 因此平均时间收益增大。

如图 6 所示, 本文的算法较参考文献[6]在收益开销比

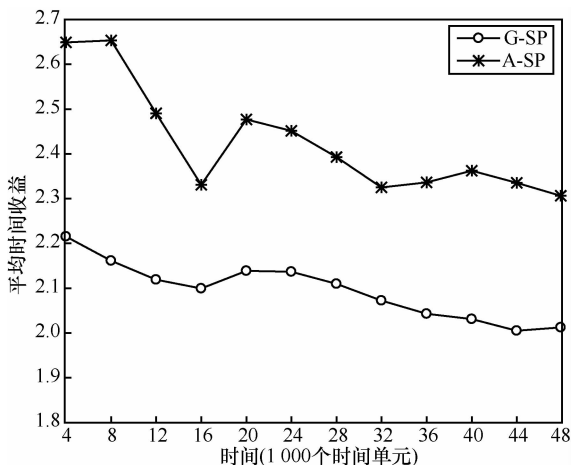


图 5 平均时间收益

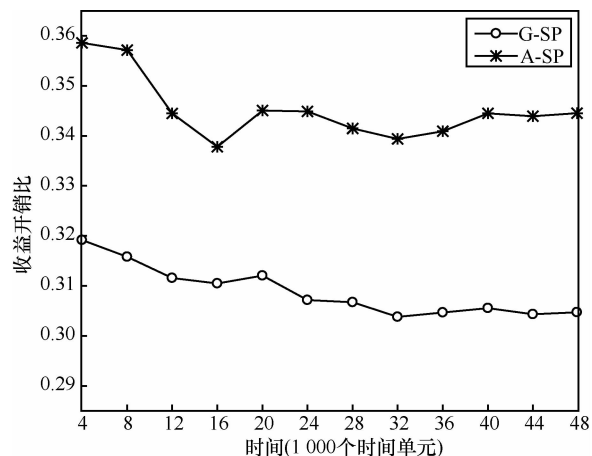


图6 收益开销比

方面提高了13.1%。这是由于采用了临近原则的映射方案,使得虚拟网络映射在了相对集中的区域,占用的带宽资源相对减少,因此收益开销比提高。

由此可见,在底层物理网络不支持链路分裂时,本文提出的算法,在提高虚拟网络请求接受率的同时降低了底层物理资源的占用率,增加了物理网络资源的利用率。

4.2.3 分裂率从0增加到10,算法性能对比

在此仿真中,分裂率从0增长到10(100%), $coeff=2$,其余参数设置如第4.1节。

如图7所示,随着分裂率的增加,本文的算法较参考文献[6]在虚拟网络请求接受率方面的优势逐渐减小。这是由于MCF算法的采用,使得虚拟节点在物理网络中的距离因素对虚拟网络请求接受率的影响减弱,相同条件下更多的请求可以映射成功,因此本文算法的优势下降。

如图8所示,随着分裂率的增加,本文的算法较参考文献[6]算法在平均时间收益的方面的优势逐渐减小。这是由于在虚拟网络请求接受率方面的优势逐渐减小,平均时

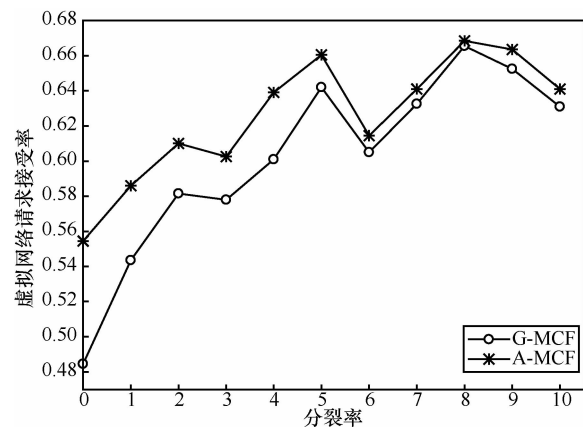


图7 虚拟网络请求接受率

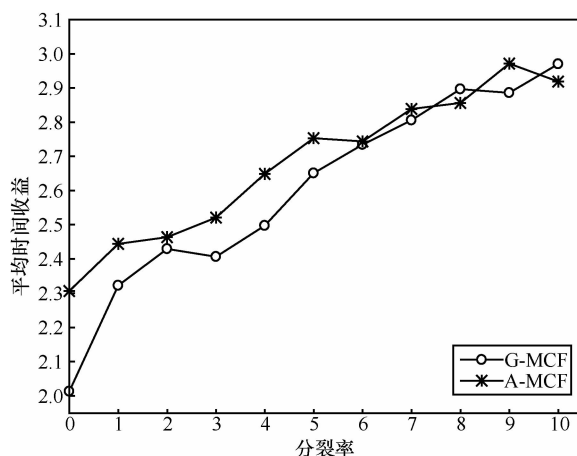


图8 平均时间收益

间收益方面也受到了相应的影响。

如图9所示,本文的算法较参考文献[6]算法在收益开销比方面具有较为明显的优势。这是由于采用了临近原则的映射方案,使得虚拟网络请求映射在了相对集中的区域,在资源需求一定时所占用的带宽资源相对减少,节约了带宽资源,因此收益开销比提高。

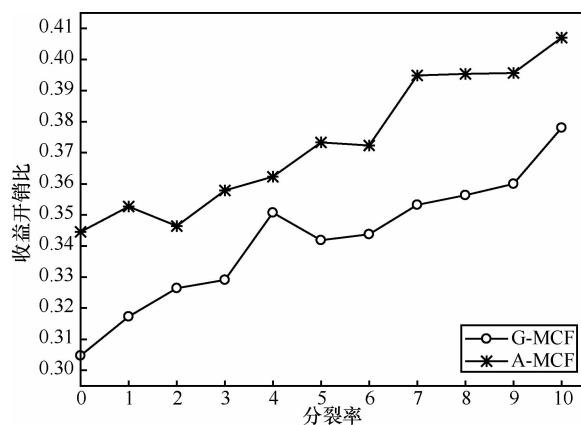


图9 收益开销比

值得注意的是,在分裂率为0时,本文的算法较对比算法的性能最为优越。由此可见,本文提出的算法更加适用于底层物理网络不支持链路分裂的虚拟网络映射问题。

5 结束语

本文提出一种基于临近原则的虚拟网络映射算法,对参考文献[6]中的虚拟网络映射算法进行了改进和优化。首先,提出了一个综合考虑节点可用资源和距离因素的节点资源评价方法,更合理地评价了物理节点的资源;其次,提出了一种基于临近原则的虚拟节点排序方案,优化了节点



的映射顺序;最后,通过考虑备选物理节点与已映射虚拟节点所在的物理节点的距离关系,优化了节点映射阶段备选物理节点的选择过程,提高了虚拟网络的映射质量。仿真结果表明,本文提出的算法虚拟网络请求接受率、平均时间收益和收益开销比等方面均明显优于已有的算法,使得底层物理资源得到充分的利用。

参考文献

- 1 程祥,张忠宝,苏森. 虚拟网络映射问题研究综述. 通信学报, 2011, 32(10):143~150
- 2 魏晓辉,邹磊,李洪亮. 基于优化的同构子图搜索的虚拟网络映射算法. 吉林大学学报, 2013, 43(1):165~171
- 3 李小玲,王怀民,丁博. 虚拟网络映射问题研究及其进展. 软件学报, 2012, 23(10):3009~3028
- 4 Chowdhury N M M K, Boutaba R. Network virtualization: state of the art and research challenges. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(7):20~26
- 5 Lu J, Turner J. Efficient Mapping of Virtual Networks onto a Shared Substrate. Washington: Washington University Technology Report, 2006
- 6 Yu M, Yi Y, Rexford J, *et al.* Rethinking virtual network embedding: substrate support for path splitting and migration. Computer Communication Review, 2008, 38(2):17~29
- 7 He J, Zhang S R, Li Y, *et al.* Davinci: dynamically adaptive virtual networks for a customized internet. Proceedings of the ACM CoNEXT Conference, Madrid, Spain, 2008
- 8 Zhu Y, Ammar M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components. Proceedings of the 25th IEEE Int'l Conference on Computer Communications, Barcelona, Catalunya, Spain, 2006
- 9 Shamsi J, Brockmeyer M. QoSMap: QoS aware mapping of virtual networks for resiliency and efficiency. Proceedings of the IEEE GLOBECOM Workshop, Washington D C, USA, 2007
- 10 Houidi I, Louati W, Zeghlache D. A distributed virtual network mapping algorithm. Proceedings of IEEE ICC, Beijing, China, 2008
- 11 Chowdhury N M M K, Rahman M R, Boutaba R. Virtual network embedding with coordinated node and link mapping. Proceedings of IEEE INFOCOM 2009, Rio de Janeiro, Brazil, 2009: 783~791
- 12 Chowdhury N M M K, Rahman M R, Boutaba R. ViNEYard: virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012(3)
- 13 Lischka J, Karl H. A virtual network mapping algorithm based on subgraph isomorphism detection. Proceedings of the 1st ACM Workshop on Virtualized Infrastructure Systems and

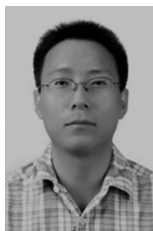
Architectures, Barcelona, Spain, 2009:81~88

- 14 Liu J, Huang T, Chen J Y. ViNEYard: a new algorithm based on the proximity principle for the virtual network embedding problem. Journal of Zhejiang University-Science C (Computers & Electronics), 2011, 12(11):910~918
- 15 Eppstein D. Finding the shortest paths. SIAM J Comput, 1998, 28(2): 652~673

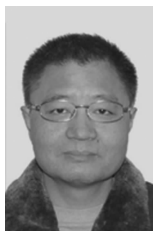
[作者简介]



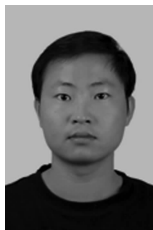
黄胜,男,博士,重庆邮电大学副教授,主要研究方向为光纤通信系统和网络。



吴川川,男,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为网络资源虚拟化。



杨晓非,男,重庆邮电大学副教授,主要研究方向为电路、信号与系统。



王辉,男,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为光网络。



张卫,男,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为路由查找。

(收稿日期:2013-08-21)