

基于节点抗毁能力感知的虚拟网络可靠映射算法

李振涛, 孟相如, 赵志远, 苏玉泽

(空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077)

摘 要: 为提高虚拟网络映射的可靠性, 考虑影响底层物理节点抗毁能力的节点有效性、适应性、黏聚度及可用计算资源等因素, 提出一种改进的虚拟网络映射算法。采用逼近理想解排序法对底层物理节点的抗毁能力进行排序, 将虚拟节点映射至抗毁能力最强的物理节点上, 当物理节点故障时重映射至抗毁能力次强的节点上应对物理节点失效的情况。仿真结果表明, 在满足抗毁性约束的条件下, 该算法能够有效降低底层物理网络的开销, 提高虚拟网络映射成功率。

关键词: 网络虚拟化; 虚拟网络映射; 节点抗毁能力; 逼近理想解排序法; 重映射; 可靠性

中文引用格式: 李振涛, 孟相如, 赵志远, 等. 基于节点抗毁能力感知的虚拟网络可靠映射算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(9): 62-67.

英文引用格式: LI Zhentao, MENG Xiangru, ZHAO Zhiyuan, et al. Reliable Mapping Algorithm for Virtual Network Based on Node Survivability-awareness[J]. Computer Engineering, 2017, 43(9): 62-67.

Reliable Mapping Algorithm for Virtual Network Based on Node Survivability-awareness

LI Zhentao, MENG Xiangru, ZHAO Zhiyuan, SU Yuze

(College of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

[Abstract] In order to improve the reliability of virtual network mapping, this paper proposes an improved mapping algorithm for virtual network which considers the properties of validity, adaptability, degree of cohesion and available computing resource that affect the survivability of physical nodes. The method of Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is employed to rank the physical nodes in the bottom field, and the virtual nodes are mapped on physical nodes with the strongest survivability. Virtual nodes are re-mapped on physical nodes with the second strongest survivability once the physical node breaks down to cope with physical node failure. The simulation results show that the algorithm can reduce the overhead of the underlying physical network and improve the mapping success rate of virtual network under the condition of satisfying invulnerability constraint.

[Key words] network virtualization; virtual network mapping; node survivability; Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS); re-mapping; reliability

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.09.012

0 概述

网络虚拟化被视为未来网络的基本特征之一^[1-2], 将网络服务提供与基础设施提供 2 个功能分开, 依据用户业务需求提供合适的网络服务, 其核心问题是虚拟网络映射, 即为带有节点和链路约束条件的虚拟网络分配物理资源^[3-4]。目前, 研究人员在基本映射方法^[5-6]及映射过程中的能量需求^[7]、拓扑结构^[8]、最优化^[9]等方面已取得一些成果。但在军事、金融等领域, 更多考虑虚拟网络映射的可靠性,

即虚拟网络应对底层节点或失效链路的能力^[2]。文献[10-11]从构建共享式映射机制, 备份物理资源并重构资源等方面着手提高虚拟网络的可靠性。文献[12]针对网络环境的安全性, 提出一种基于信任感知的虚拟网络映射算法。从现有研究来看, 一方面, 大部分研究通过预留备份资源, 当物理资源失效时, 采用主备切换的策略提高虚拟网络映射的可靠性, 从而导致网络资源利用率低; 另一方面, 大部分研究默认映射环境是安全的, 但在实际网络环境中可能存在某些自然(人为)的威胁^[13], 且各节点(链

基金项目: 国家自然科学基金(61401499)。

作者简介: 李振涛(1990—), 男, 硕士研究生, 主研方向为网络虚拟化; 孟相如, 教授、博士生导师; 赵志远、苏玉泽, 博士研究生。

收稿日期: 2017-02-11 **修回日期:** 2017-03-12 **E-mail:** 1934204360@qq.com

路)应对威胁的能力不同。

为提高虚拟网络应对底层节点失效的能力,本文从感知节点抗毁能力出发,采用逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)^[12,14]对物理节点抗毁能力排序,利用广度优先搜索遍历法对虚拟节点的计算资源需求排序,将计算资源需求最大的虚拟节点映射在位置约束范围内抗毁能力最强的底层物理网络节点上,计算资源需求量次之的虚拟节点映射在抗毁能力次之的底层物理网络节点上,依次类推,直至所有虚拟节点映射成功,并应用 K 最短路径算法完成虚拟链路的映射。当底层节点失效而导致虚拟网络映射失败时,为确保虚拟网络持续为用户提供服务,再次使用 TOPSIS 方法对未失效的底层节点排序并对虚拟节点进行重映射,以提高虚拟网络映射的可靠性。

1 网络模型

1.1 建模描述

建模描述具体如下:

1) 物理网络

物理网络表示为有权无向图 $G^s = (N^s, E^s)$, 其中, N^s 是物理节点 n^s 的集合; E^s 为物理链路 e^s 的集合; 物理节点 n^s 具有可用计算资源、地理位置、抗毁能力 3 个属性。物理节点 n^s 中的节点可用计算资源用 $cpu(n^s)$ 表示; 节点地理位置用 $loc(n^s)$ 表示, 其坐标为 (x^s, y^s) ; 节点的抗毁能力用 $res(n^s)$ 表示, 其大小用有效性、适应性、黏聚度、可用计算资源指标衡量。物理链路 e^s 具有链路带宽等属性, 用 $b(e^s)$ 表示物理链路的可用带宽^[5,15-16]。

2) 虚拟网络

虚拟网络表示为有权无向图 $G^v = (N^v, E^v)$, 其中, N^v 是虚拟节点 n^v 的集合; E^v 为虚拟链路 e^v 的集合^[17]。 n^v 具有计算资源需求 $cpu(n^v)$ 和位置 $loc(n^v)$ 属性, e^v 带宽需求表示为 $b(e^v)$ 。

3) 虚拟网络映射

虚拟网络映射是将物理网络资源按照某种约束条件分配给虚拟网络^[18]。其中, 虚拟节点分配到的物理节点满足位置约束 $D(n^v)$ 和计算资源约束; 虚拟链路映射到底层物理网络的一条无环路径上, 路径上每条链路的可用带宽满足虚拟链路的带宽需求, 即 $b(e^s) > b(e^v)$, 且该路径端点应为虚拟链路的 2 个节点所映射的物理节点。图 1 为虚拟网络映射实例, 其中, $a, b, c, A, B, C, D, E, F$ 分别代表虚拟(物理)节点; 边上的数字代表链路的需求带宽(可

用带宽); 节点旁边的数字代表节点计算资源需求(可用计算资源)。节点映射方案为: $\{a \rightarrow A, b \rightarrow B, c \rightarrow F\}$, 链路映射方案为 $\{(a, b) \rightarrow (A, B), (a, c) \rightarrow (A, D, E, F)\}$ 。另外, 虚拟网络都有到达时刻和离开时刻。虚拟网到达, 开始映射, 占用物理资源; 虚拟网络生存时间结束, 虚拟网络离开, 相应的物理资源便被释放。

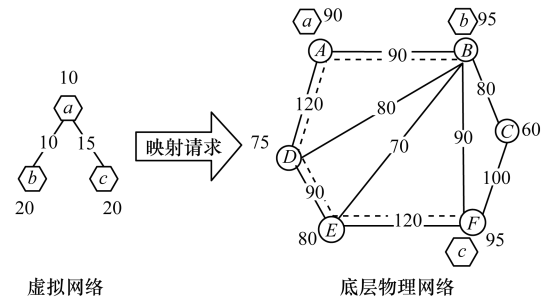


图 1 虚拟网络映射实例

1.2 评价指标

评价指标具体如下:

1) 虚拟网络请求接受率。虚拟网络请求接受率为时间 T 内成功映射的虚拟网络数量与到达的虚拟网络总数量之比:

$$\eta_{\text{accept}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{VNR_{\text{suc}}(T)}{VNR(T) + \delta} \quad (1)$$

其中, $VNR_{\text{suc}}(T)$ 表示 T 内虚拟网请求被成功映射的个数; $VNR(T)$ 表示 T 内虚拟网络请求总数; δ 为无限趋近于 0 的正数。式(1)表示 T 内请求总数一定的情况下, $VNR_{\text{suc}}(T)$ 越大, η_{accept} 越大。

2) 虚拟网络失效率。虚拟网络失效率定义为时间 T 内虚拟网络失效的数量与映射成功的虚拟网络总数之比:

$$\eta_{\text{fail}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{VNR_{\text{fail}}(T)}{VNR_{\text{suc}}(T) + \delta} \quad (2)$$

其中, $VNR_{\text{fail}}(T)$ 表示时间 T 内虚拟网络失效的数量; $VNR_{\text{suc}}(T)$ 表示 T 内虚拟网络映射成功的总数; δ 为无限趋近于 0 的正数。本文假设虚拟网络失效是且仅是其所映射的底层物理节点失效引起的。

3) 虚拟网络映射请求收益与物理网络映射开销。虚拟网络映射请求 VNR 在时刻 t 的收益定义为:

$$Rev(G^v, t) = \sum_{n^v \in N^v} cpu(n^v) + \alpha \sum_{e^v \in E^v} b(e^v) \quad (3)$$

式(3)表示在时刻 t 映射成功的虚拟网络节点计算资源需求与链路带宽需求和, α 是调节链路带宽和节点计算资源权重的参数。虚拟网络长期平均收益定义为:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=0}^T Rev(G^v, t)}{T + \delta} \quad (4)$$

物理网络在时刻 t 为满足虚拟网络请求的开销定义为:

$$Cost(G^s, t) = \sum_{n^v \in N^v} \sum_{n^s \in N^s} n_v^s (1 + res(n^s)) cpu(n^v) + \beta \sum_{e^v \in E^v} \sum_{e^s \in E^s} e_v^s b(e^v) \quad (5)$$

式(5)表示在时刻 t 虚拟网络占用的底层物理网络资源。 n_v^s 表示 n^v 和 n^s 的对应关系,若 n^v 映射到 n^s 上,则 $n_v^s = 1$; 否则 $n_v^s = 0$ 。同理, e_v^s 表示 e^v 和 e^s 的对应关系,若 e^v 成功映射到 e^s 上,则 $e_v^s = 1$; 否则 $e_v^s = 0$ 。物理节点抗毁能力 $res(n^s)$ 越大,底层物理网络的开销越大。 β 是调节节点计算资源与链路带宽权重的参数。物理网络长期平均开销为:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=0}^T Cost(G^s, t)}{T + \delta} \quad (6)$$

由式(4)和式(6)可得出虚拟网络映射请求长期平均收益开销比:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=0}^T Rev(G^v, t)}{\sum_{t=0}^T Cost(G^s, t)} \quad (7)$$

1.3 虚拟网络可靠性映射数学模型

在收益开销比可以接受的条件下,以最大化虚拟网络映射的可靠性,即最小化虚拟网络失效率为优化目标,建立虚拟网络可靠性映射数学模型,给出目标函数如式(8)所示,约束条件如式(9)所示。

$$\min \eta_{fail}(G^v) \quad (8)$$

$$\forall n^s \in N^s, \sum_{e^v \in E^v} n_v^s cpu(n^v) \leq cpu(n^s) \quad (9)$$

式(9)对节点的计算资源进行约束,物理节点的可用计算资源应不小于其所承载虚拟节点的计算资源需求。式(10)表示位置约束,表明虚拟节点与其映射的物理节点的距离不大于约束条件 $D(n^v)$ 。式(11)表示映射到物理链路 e^s 上的所有虚拟链路带宽需求之和,该值不大于物理链路 e^s 的可用带宽资源。式(12)表示如果不同的虚拟节点属于同一个虚拟网络,那么它们不能占用一个物理节点。式(13)表示一个虚拟节点只能映射在一个物理节点上。式(14)是对变量域的约束。

$$dis(loc(n^s), loc(n^v)) \leq D(n^v) \quad (10)$$

$$\forall e^s \in E^s, \sum_{e^v \in E^v} e_v^s b(e^v) \leq b(e^s) \quad (11)$$

$$\forall n^s \in N^s, \sum_{n^v \in N^v} n_v^s \leq 1 \quad (12)$$

$$\forall n^v \in N^v, \sum_{n^s \in N^s} n_v^s = 1 \quad (13)$$

$$\forall n^v \in N^v, \forall n^s \in N^s, n_v^s \in \{0, 1\}$$

$$\forall e^v \in E^v, \forall e^s \in E^s, e_v^s \in \{0, 1\} \quad (14)$$

2 节点抗毁能力排序方法

本文对底层物理节点的抗毁能力进行综合评价、排序,将虚拟节点映射到具备一定抗毁能力的底层节点上,这样便于达到降低节点失效率的目的。

2.1 节点抗毁能力评价指标分析

从节点的有效性、适应性、黏聚度、可用计算资源 4 个方面考虑节点抗毁能力,并给出每一个方面相应的可量化评价指标。

1) 节点有效性

节点 n^s 的有效值可表示为:

$$\varphi_{val}(n^s) = \sum_{n^s, n^{sj} \in N^s} \frac{1}{dis(n^s, n^{sj})} \times p(n^s), n^{sj} \neq n^s \quad (15)$$

其中, $dis(n^s, n^{sj})$ 表示节点 n^s 与底层物理网络其他节点的距离。网络中传输距离越短,网络传输效率越高,节点效率 $\frac{1}{dis(n^s, n^{sj})}$ 越高,所以, $\sum_{n^s, n^{sj} \in N^s} \frac{1}{dis(n^s, n^{sj})}$ 能够有效地计算出节点 n^s 在网内的效率。另外,节点的生存概率 $p(n^s)$ 对节点 n^s 有效性的影响较大。节点有效性 $\varphi_{val}(n^s)$ 为节点的网内效率与生存概率乘积。

2) 节点适应性

节点 n^s 的适应性为:

$$\varphi_{adapt}(n^s) = \min_{j, h \in N^s} dis(j, h), j, h \neq n^s \quad (16)$$

其中, $dis(j, h)$ 表示当节点 n^s 失效后,其他节点对 (j, h) 为恢复与 n^s 相连的链路所增加通信距离的最小值。增加的通信距离越小,恢复时间越短,节点适应值越大;反之,节点适应值越大。所以,式(16)能反映出节点的适应性。

3) 节点黏聚度

节点黏聚度为该节点生存概率与节点连接度之积^[19],即:

$$\varphi_{coh}(n^s) = p(n^s) k(n^s) \quad (17)$$

其中, $k(n^s)$ 为节点 n^s 的连接度,即与节点 n^s 相连的边数。通常, n^s 相连的边数越多,生存概率越高,则该节点越不易从网络中移除,与整体网络关系越密切,越有利于网络的健壮性。

4) 节点可用计算资源

底层物理节点承载虚拟节点需求,可用计算资源越多,可承载的服务越多,越不容易出现“瓶颈”,抗毁能力越强。因此,将节点可用计算资源作为评价节点抗毁能力的指标具有实际意义。

2.2 TOPSIS 排序方法

TOPSIS 是一种多属性决策方法,把评价方案的属性与属性(负)理想点的欧式距离作为标准,对评价方案与理想方案的接近程度进行排序。 m 个评价方案,每个评价方案有 n 个属性,则第 i 个方案的第 j 个属性值为 a_{ij} ,则决策矩阵为:

$$A_{m \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (18)$$

对各指标进行无量纲标准化处理,建立标准化决策矩阵:

$$B_{m \times n} = (b_{ij})_{m \times n} = \left(\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij})^2}} \right)_{m \times n} \quad (19)$$

建立加权标准化决策矩阵 V 。决策者提供加权向量 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, $B_{m \times n}$ 中每一列与相应的权重 w_j 相乘,得到加权标准化决策矩阵 V 。

$$V = \begin{pmatrix} b_{11}w_1 & b_{12}w_2 & \cdots & b_{1n}w_n \\ b_{21}w_1 & b_{22}w_2 & \cdots & b_{2n}w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1}w_1 & b_{m2}w_2 & \cdots & b_{mn}w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{pmatrix} \quad (20)$$

确定方案的属性理想点 A^+ 和负理想点 A^- :

$$A^+ = \{ (\max_i v_{ij} | j \in J^+), (\min_i v_{ij} | j \in J^-) | i \in m \} \\ = \{ v_1^+, v_2^+, \cdots, v_j^+, \cdots, v_n^+ \} \quad (21)$$

$$A^- = \{ (\min_i v_{ij} | j \in J^+), (\max_i v_{ij} | j \in J^-) | i \in m \} \\ = \{ v_1^-, v_2^-, \cdots, v_j^-, \cdots, v_n^- \} \quad (22)$$

其中, J^+ 为效益型属性集合,属性的数值结果越大越好; J^- 为成本型属性集合,属性的数值结果越小越好。

计算每个方案的属性与属性理想点、负理想点的欧式距离,即:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i \in m \quad (23)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i \in m \quad (24)$$

计算各方案与理想方案的接近程度 C_i :

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}, C_i \in (0, 1), i \in m \quad (25)$$

可以看出,当评价方案的属性与 A^+ 越接近,即越趋向于理想点, D_i^+ 越小, D_i^- 越大, C_i 越接近 1; 反之,越接近 0。依据 C_i 的大小对评价方案进行降序排序,得到所求结果。

2.3 节点抗毁能力排序

若对底层物理网络中 m 个物理节点进行排序,则把 m 个物理节点看作 m 个方案进行评价,每个方案有 4 个属性,即节点有效性、适应性、黏聚度、可用计算资源。根据 2.1 节,计算出每个节点的 $\varphi_{val}(n^s)$, $\varphi_{adapt}(n^s)$, $\varphi_{coh}(n^s)$, $cpu(n^s)$ 值,其中 $p(n^s)$ 服从 $(0.9, 1)$ 随机分布。代入式 (18), 即为节点抗毁能力决策矩阵 $A_{m \times 4}$, 利用式 (19)、式 (20) 得到 $V_{m \times 4}$ 。为方便计算,加权向量 $W = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$, 计算出每个 n^s 的 C_i , 进而对 $C_1, C_2, \cdots, C_m$ 进行排序。

3 虚拟网络可靠映射算法设计

本节设计基于节点抗毁能力感知的虚拟网络可靠映射算法 (NS-VNRM) 对虚拟网映射问题进行求解。

输入 物理网络拓扑结构 G^s , 虚拟网络拓扑结构 G^v

输出 映射后的网络状态 $MappingList$

1. 初始化网络拓扑结构

2. for 物理网络中每一个节点 $n^s \in N^s$, do

3. 计算 n^s 的 $\varphi_{val}(n^s)$, $\varphi_{adapt}(n^s)$, $\varphi_{coh}(n^s)$, $cpu(n^s)$

4. 根据式 (25) 得 C_i , 对 $n^s \in N^s$ 进行排序

5. 排序结果存入 $SubstrateNodeList$ 中

6. end for

7. 计算 n^v 的资源需求 $cpu(n^v)$

8. 以 $cpu(n^v)$ 值最大的虚拟节点为根节点, 利用广度优先搜索遍历算法, 将 n^v 从大到小排序

9. 将 n^v 由大到小存入 $VirtualNodeList$

10. for $VirtualNodeList$ 中每个 n^v , do

11. 从 $SubstrateNodeList$ 中选取满足 $D(n^v)$ 和 $cpu(n^v)$ 的候选节点集合 $\theta(n^v)$

12. if $\theta(n^v)$ 为空

13. Return "NODE_MAPPING_FAILED"

14. else

15. n^v 映射至 $\theta(n^v)$ 内 C_i 最大的物理节点

16. 结果存入 $NodeMappingList$ 中

17. end if

18. end for

19. for 每条待映射的虚拟链路 $e^v \in E^v$, do

20. k 最短路径映射 E^v

21. if 链路映射不成功

22. return LINK_MAPPING_FAILED

23. end if

24. end for

25. if 节点失效

26. 节点重映射

27. end

28. 跳转至步骤 2

29. end all

4 性能评估与分析

为了验证本文算法的有效性,本节对 NS-VNRM 算法进行模拟仿真,并与现有算法进行对比,从虚拟网络请求接受率、虚拟网络失效率、虚拟网络映射请求长期平均收益、底层网络长期平均开销及平均收益开销比 5 个方面分析算法的性能。

4.1 仿真环境设置

由 GT-ITM 拓扑生成器随机产生物理网络拓扑和虚拟网络拓扑,物理节点数目设为 100,其位置坐标 x^s 和 y^s 均服从 $[0, 1\ 000]$ 的均匀分布,物理节点的计算资源和物理链路的带宽服从 $[50, 100]$ 的均匀分布。另外,虚拟节点数目服从 $[2, 10]$ 的均匀分布,其位置坐标 x^v 和 y^v 均服从 $[0, 1000]$ 的均匀分布,请求的位置约束 $D(n^v)$ 取 200,虚拟节点的计算资源需求和物理链路的带宽服从 $[10, 30]$ 的均匀分布,且节点连接率均为 0.5。实验通过 Matlab2010 进行仿真评估,运行时间 T 为 30 000 个时间单元,虚拟网络请求到达率服从参数为 0.05 的 Poisson 分布,即平均每 100 个时间单元到达 5 个虚拟网络请求。每个虚拟网持续时间服从参数为 1 000 的指数分布。另外,为降低计算复杂度, $\alpha = \beta = 1$ 。仿真实验对 4 种映射算法进行比较:1) SP,经典两阶段映射算法;2) TF,考虑就近原则的拓扑特征算法;3) RVNM,节点可靠性感知和最优共享路径保护的虚拟网络映射算法;4) NS-VNRM,本文提出的基于节点抗毁能力感知的虚拟网络映射算法。为降低因数据随机性带来的仿真结果不稳定,每组实验重复仿真 100 次,取平均值。

4.2 仿真结果分析

仿真结果分析具体如下:

1) 虚拟网络请求接受率。图 2 为 4 种算法在实验仿真中虚拟网络请求接受率随时间变化的情况。物理网络资源丰富,请求接受率较高。随着时间推移,资源被逐渐占用,请求接受率降低,当释放与占用达到平衡,请求接受率便趋于稳定。SP 算法请求接受率最低,接受率低于 70%,这是因为贪婪算法的节点映射距离远,导致虚拟链路映射的物理路径较长,消耗链路资源多,不利于后续虚拟网络的映射。就近原则 TF 算法的接受率最好,稳定于 82% 左右,这是因为在节点映射过程中优先选择与映射节点距离近的物理节点,减少链路映射过程的消耗,有利于提高后续虚拟网络的请求接受率。RVNM 算法采取资源冗余备份策略,使映射过程消耗更多网络资源,导致请求接受率较低,为 75% 左右。本文提出的 NS-VNRM 算法映射过程中考虑节点抗毁能力,约束条件多,请求接受率比就近原则要低,但不需要资源冗余备份,比 SP 算法和 RVNM 算法要高。从实

验仿真结果可以看出,NS-VNRM 在虚拟网络请求接受率方面具有一定优势。

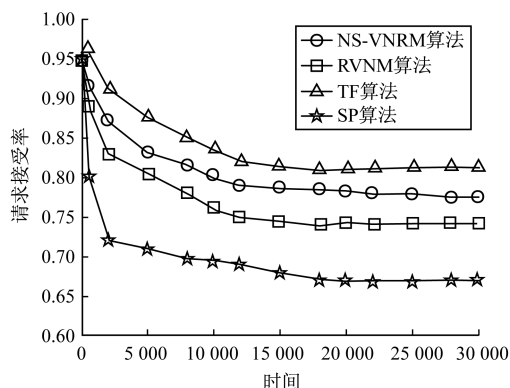


图2 虚拟网络请求接受率比较

2) 虚拟网络映射失效率。图 3 为 4 种算法对虚拟网络映射失效率的影响。可以看出,在失效率方面本文所提 NS-VNRM 算法较其他 3 种算法具有明显优势,因为在虚拟网络请求到达时,NS-VNRM 选择了抗毁能力较强的物理节点进行映射,而其他算法没有考虑底层物理节点抗毁能力,失效率较高。特别是 SP 和 TF 算法,长时间映射会导致大部分承受能力不强的底层资源失效,或者“瓶颈”资源过多,影响整体的虚拟网络映射工作。

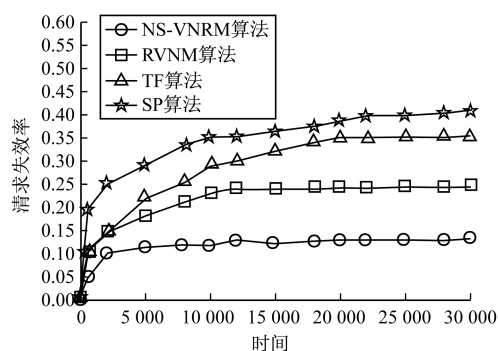


图3 虚拟网络请求失效率比较

3) 映射收益、开销及收益开销比。图 4 和图 5 为虚拟网络映射请求长期平均收益、物理网络长期平均开销的仿真结果。本文算法实现的虚拟网络映射具有较高的收益、开销,因其对底层资源进行抗毁能力比较时,排除了抗毁能力低的资源,虚拟网络长期请求收益相对较高,同时,底层基础设施提供商对虚拟网络映射的抗毁能力较强的资源收费较高,相应提高了物理网络映射开销。SP 开销较低是因为其采用贪婪算法,对底层物理网络的能力没有要求,相比 NS-VNRM 没有额外的开销,其收益会相应地降低。RVNM 对工作的底层资源进行了备份,增大了物理网络映射的开销。

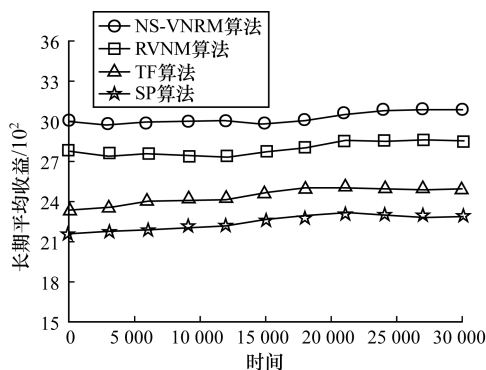


图4 虚拟网络映射请求长期平均收益比较

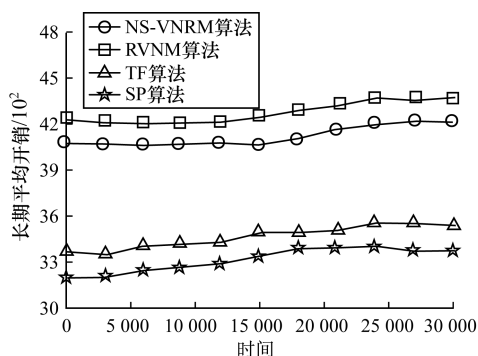


图5 物理网络长期平均开销比较

图6为算法对长期平均收益开销比的影响。从仿真结果可以看出,NS-VNRM具有较好的收益开销比。主要原因在于NS-VNRM在满足抗毁能力约束条件下,增强了底层网络的抗毁能力,整体上降低虚拟网络映射失效率,并且在虚拟网络长时间请求的情况下,降低底层物理网络开销的同时,提高了虚拟网络映射的成功率和收益。

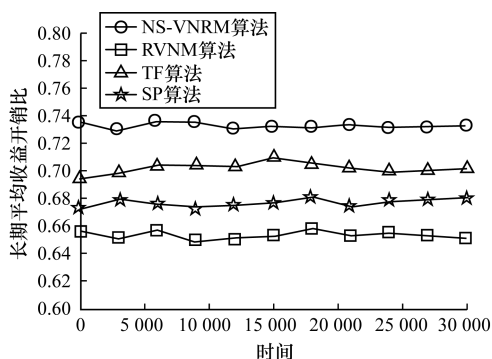


图6 映射收益开销比比较

5 结束语

本文提出提高虚拟网络映射可靠性的NS-VNRM算法。该算法将虚拟节点映射到满足位置约束条件且具备一定抗毁能力的物理节点上,并对失效节点进行重映射。仿真实验结果表明,该算法在减少虚拟网络失效率的同时,在一定程度上提高了

虚拟网络的请求接受率和收益开销比。下一步将针对底层链路失效问题展开研究,提高虚拟网络映射的可靠性。

参考文献

- [1] FISCHER A, BOTERO J F, BECK M T, et al. Virtual Network Embedding: A Survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(4): 1888-1906.
- [2] 刘光远. 可靠的虚拟网络映射算法研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- [3] SEDDIKI M S, FRIKHA M, SONG Y Q. A Non-cooperative Game-theoretic Framework for Resource Allocation in Network Virtualization [J]. Telecommunication Systems, 2016, 61(2): 209-219.
- [4] LI Hang, ZHOU Tianyang, WANG Qingxian. The Study of Dynamic Topology Remapping in Virtual Network Embedding [C] // Proceedings of International Conference on Information & Communication Technology Convergence. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015: 95-98.
- [5] 孙 昱. 虚拟网络的映射技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [6] 徐 鹏, 李 勇, 金德鹏, 等. 改进的两阶段虚拟网映射算法 [J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 79-82.
- [7] ZHANG Zhongbao, SU Sen, ZHANG Junchi, et al. Energy Aware Virtual Network Embedding with Dynamic Demands [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015: 5386-5391.
- [8] 彭利民. 一种拓扑感知的虚拟网络重构算法 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2015, 47(5): 110-116.
- [9] ZHOU Fanfu, MA Ruhui, LI Jian, et al. Optimizations for High Performance Network Virtualization [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2016, 31(1): 107-116.
- [10] RAHMAN M R, BOUTABA R. SVNE: Survivable Virtual Network Embedding Algorithms for Network Virtualization [J]. IEEE Transactions on Network & Service Management, 2013, 10(2): 105-118.
- [11] 陈青云. 虚拟化环境下网络生存件方案设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- [12] 龚水清, 陈 靖, 黄聪会, 等. 信任感知的安全虚拟网络映射算法 [J]. 通信学报, 2015, 36(11): 180-189.
- [13] KIM S, MA S, MOON J. A Novel Secure Architecture of the Virtualized Server System [J]. The Journal of Supercomputing, 2016, 72(1): 24-37.
- [14] 于 会, 刘 尊, 李勇军. 基于多属性决策的复杂网络节点重要性综合评价方法 [J]. 物理学报, 2013, 62(2): 114-118.
- [15] 曲 桦, 赵季红, 郭爽乐, 等. 基于最小代价的虚拟网络重配置方法 [J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(5): 114-118.
- [16] 余建军, 吴春明. 基于负载均衡的虚拟网映射随机算法 [J]. 计算机科学, 2014, 41(6): 69-74.
- [17] 彭利民. 高效节能的虚拟网络重构算法 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(5): 5-10.
- [18] 余建军, 吴春明. 基于二分图 K 优完美匹配的虚拟网映射算法设计 [J]. 电信科学, 2014, 14(2): 70-75.
- [19] 陈铎龙, 孟相如, 梁 霄, 等. 复杂环境下网络抗毁性综合评估方法 [J]. 计算机科学, 2012, 39(9): 101-105.

编辑 陆燕菲