

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201604023



优化人工蜂群算法的跨域 虚拟网络映射算法

顾艳林

(内蒙古财经大学 计算机信息管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 针对跨域虚拟网络映射问题,提出一种基于优化人工蜂群算法的跨域虚拟网络映射算法.该算法采用集中管理、分布控制的方式实现物理网络资源的有效利用,并就人工蜂群算法收敛速度慢、局部最优缺点,提出寻优能力更强的优化人工蜂群算法进行域间映射请求的划分.实验结果表明:与 LID-MVNE 算法、Policy-MVNE 算法、GA-MVNE 算法相比,所提算法能够以更小的额外开销、更少的划分时间实现更高的接受率.

关键词: 人工蜂群; 虚拟网络; 自治域; 服务代理

中图分类号: TP 393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)04-0507-04

Multi-Domain Virtual Network Mapping Algorithm Based on Optimized Artificial Bee Colony

GU Yanlin

(College of Computer Science and Technology, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Huhehaote 361021, China)

Abstract: Aiming at the problem of multi-domain virtual network embedding, a multi-domain virtual network mapping algorithm based on optimized artificial bee colony is proposed. The proposed algorithm can maximize the utilization of limited physical network resources through centralized management and distributed control. And to overcome the defaults of the local optimization and low convergence of the traditional artificial bee colony algorithm, an optimized artificial bee colony algorithm is proposed, which is used to deal with the division of cross-domain mapping request. The experimental result shows that compared with LID-MVNE, Policy-MVNE, GA-MVNE, the proposed algorithm can realize higher acceptance ratio with less extra cost and time division.

Keywords: artificial bee colony; virtual network; autonomous domain; service agent

虚拟网络作为一种新颖的互联网体系架构,能够有效地解决互联网体系架构的“僵化”问题^[1].在网络虚拟环境下,基础设施提供商(InP)负责物理网络的管理和运营,并且能向服务提供商(SP)提供网络资源租赁服务,而被租赁的网络资源被映射为虚拟网络,从而实现个性化的可订制的端到端服务^[2].其中,具有链路和节点资源约束的虚拟网络到物理网络的映射问题,被称为虚拟网络映射(VNE)问题^[3].随着在线游戏、云计算、IPTV 等新兴网络业务的迅猛发展,单个自治域难以很好地支撑这些新兴的网络业务.跨域虚拟网络映射(MVNE)算法就是用于解决多自治域下虚拟网络到物理网络的映射问题^[4].Dietrich 等^[5]提出了 LID-MVNE 算法,采用整数规划把虚拟网络拓扑分解成由不同自治域负责的多个虚拟子网路,再通过域内映射完成子网络的映射.Chowdhury 等^[6]提出了 Policy-MVNE 算法,

收稿日期: 2016-05-01

通信作者: 顾艳林(1971-),女,副教授,主要从事计算机应用及网络、程序设计的研究. E-mail: guyanlin5830908@126.com.

基金项目: 内蒙古自治区教育科学规划课题(GJ2011-51-02)

把 VNE 请求交由位置最近的自治域进行处理,如果该自治域无法完成 VNE,则该 VNE 请求转交由相邻的自治域处理. 上述两种算法存在复杂度高、平均划分时间长的缺点. Xiao 等^[7]提出了 GA-MVNE 算法,通过遗传算法完成虚拟子网络的划分,但是 GA-MVNE 算法并没有对域内链路开销进行考虑. 因此,本文提出了一种基于优化人工蜂群算法的跨域虚拟网络映射(OABC-MVNE)算法.

1 MVNE 模型

物理网络由多个自治域构成,每个自治域中都有一个区域服务代理(regional service agent,RSA)负责域内状态采集以及域内 VNE. 同时,物理网络中有一个全局服务代理(global service agent,GSA)负责域间拓扑状态的采集、域间 VNE 的划分以及和 RSA 的通信,以掌握自治域的资源使用情况. 为了实现集中管理和分布控制,MVNE 的工作流程如下. 1) RSA 负责接收域内用户的 VNE 请求,如果能完成 VNE,那么,其通过单域 VNE 算法响应该请求;否则,在 GSA 轮询到该 RSA 时,把该请求转交由 GSA 处理. 2) 在处理 RSA 提交的 VNE 请求的过程中,GSA 把 VNE 请求放入 FIFO 队列中,并按照先到先服务的原则串行处理每个 VNE 请求,并按照制定的域间划分算法把域间请求划分为若干个域内请求,交由相应的 RSA 处理.

物理网络表示为加权无向图 $G_S = (N_S, L_S) = \bigcup_{i=1}^D G_S^k (1 \leq k \leq D)$. 其中, D 为自治域数; N_S 是域内节点集 N_{Sy} 和边界节点集 N_{Sb} 构成的物理网络节点集; L_S 是域内链路集 L_{Sy} 和域间链路集 L_{Sb} 构成的物理网络链路集; G_S^k 表示自治域 k . 同时,虚拟网络请求表示为 $VNR = (G_V, t_r, t_l)$. 其中, t_r 和 t_l 分别为请求到达时间和虚拟网络保持时间; G_V 是虚拟网络拓扑, $G_V = (N_V, L_V, C_{N_V}, C_{L_V})$, N_V 和 L_V 分别为虚拟网络的节点集和链路集, C_{N_V} 和 C_{L_V} 分别为虚拟节点资源约束和虚拟链路资源约束.

MVNE 表示为
$$MVNE = \begin{cases} VNR \rightarrow G_S^i, & VNR \text{ 是自治域 } i \text{ 的域内请求,} \\ VNR \rightarrow G_S, & VNR \text{ 是域间请求.} \end{cases}$$

2 优化目标

由于尽量减少虚拟链路所消耗的链路资源就能以最小的代价完成 MVNE. 因此, MVNE 算法的优化目标函数为

$$\min: \sum_{l_{i,j} \rightarrow r_{cd}, l_s \in r_{cd}, 1 \leq i, j \leq m, 1 \leq c, d \leq n} x_i \cdot u_L(l_s) B(l_{i,j}) + \lambda D(l_s). \tag{1}$$

式(1)中: $l_{i,j}$ 为虚拟链路; r_{cd} 为 $l_{i,j}$ 对应的物理路径; l_s 为 $l_{i,j}$ 中的物理链路; m 为虚拟网络的节点数; n 为物理网络的节点数; $D(l_s)$ 为 l_s 的时延; λ 为单位时延开销; x_i 为 $l_{i,j}$ 的类型,其表达式为

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{链路 } l_{i,j} \text{ 为域内链路,} \\ \beta, & \text{链路 } l_{i,j} \text{ 为域间链路且 } \beta \geq 1. \end{cases} \tag{2}$$

同时,表达式还应满足 2 个约束条件,即

$$B(l_{i,j}) \leq \text{Re } s(B(l_s)), \tag{3}$$

$$\sum_{l_s \in r_{cd}} D(l_s) \leq \text{Re } qD(l_{i,j}). \tag{4}$$

式(3)说明物理链路 l_s 的剩余带宽 $\text{Re } s(B(l_s))$ 能够满足虚拟链路的 $l_{i,j}$ 带宽需求. 而式(4)说明路径 r_{cd} 的时延不大于虚拟链路 $l_{i,j}$ 的时延约束.

3 算法实现

虚拟网络划分问题已被证明是 NP-hard 问题,为了得到该问题的近似最优解,OABC-MVNE 算法使用优化人工蜂群(optimized artificial bee colony,OABC)算法完成域间请求到域内请求的划分.

蜜源的位置通常用 $\mathbf{X}_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,d})$ 表示,而在寻找蜜源的过程中,表示为

$$v_{i,j} = x_{i,j} + r_{i,j} (x_{i,j} - x_{k,j}), \tag{5}$$

$$p_i = \text{fit}(\mathbf{X}_i) / (\sum_{i=1}^{SN} \text{fit}(\mathbf{X}_i)). \tag{6}$$

式(5),(6)中:SN 为蜂群数; k 和 j 为随机数,且 $k \in \{1,2,\cdots,\text{SN}\}, j = \{1,2,\cdots,d\}, k \neq i; r_{i,j}$ 为 $[-1,1]$ 上的随机数; $v_{i,j}$ 为新蜜源的位置; p_i 为雇佣蜂被选中的概率.

定义 1 蜜源位置. 域间请求到域内请求的划分的解对应着蜜源位置,而一个蜜源只对应着一个雇佣蜂,即 $\mathbf{X}_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,m})^T$. 式中: m 为 VNE 请求中的虚拟节点数;行向量 $x_{i,j}$ 为边界节点与虚拟节点的映射关系; i 为第 i 个蜜源.

定义 2 蜜源的适应度. 由于蜜源的好坏直接由蜜源的适应度 $\text{fit}(\mathbf{X}_i)$ 决定,因此,以 MVNE 算法的优化目标函数为参考设定 $\text{fit}(\mathbf{X}_i)$,其值为

$$\text{fit}(\mathbf{X}_i) = 1 / (1 + \sum_{l_{i,j} \rightarrow r_{cd}, l_c \in r_{cd}, 1 \leq j \leq m, 1 \leq c, d \leq n} x_i \cdot u_L(l_s) B(l_{i,j}) + \lambda D(l_s)).$$

(7)

定义 3 位置调整准则. 基本 ABC 算法只进行单维变量搜索,从而存在算法收敛速度慢的缺点. 针对这个问题,OABC 算法引入蜜源历史最优位置加速搜索速度. 因此,式(5)改写为

$$v_{i,j} = x_{i,j} + r_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) + \varphi_{i,j}(x_{i,j}^{\text{best}} - x_{i,j}).$$

(8)

式(8)中: $\varphi_{i,j}$ 为 $[-1,1]$ 上的随机数; $x_{i,j}^{\text{best}}$ 为蜜源历史最优位置.

定义 4 蜜源选择准则. 基本 ABC 算法会导致蜂群快速向好蜜源靠近,导致局部最优. 为了增加种群的多样性,式(6)改写为

$$p_i = \exp(\text{fit}(\mathbf{X}_i)) / \sum_{i=1}^{\text{SN}} \exp(\text{fit}(\mathbf{X}_i)).$$

(9)

定义 5 随机搜索准则. 如果观察蜂在蜜源邻域搜索 l 次后,蜜源适应度值的变化值小于阈值 ϵ ,那么,通过杂交操作生成新的蜜源. 杂交公式为

$$\mathbf{X}_i = \alpha \mathbf{X}_i + (1 - \alpha) \mathbf{X}_j^{\text{best}}.$$

(10)

式(10)中: α 为 $[-1,1]$ 上的随机数; $j \in \{1,2,\cdots,\text{SN}\}, j \neq i; \mathbf{X}_j^{\text{best}}$ 为 \mathbf{X}_j 的当前最佳位置.

OABC 算法的工作流程:1) 设置蜂群规模 SN,最大迭代次数 M ,最大搜索次数 l ,阈值 ϵ ,随机生成 SN 个初始蜜源;2) 计算所有蜜源的适应度,并按照从大到小的顺序排序,选择前 $\lfloor \text{SN}/2 \rfloor$ 个作为蜜源,蜜源与雇佣蜂一一对应;3) 雇佣蜂根据位置调整准则来寻找新的蜜源,并比较新旧蜜源的适应度值,如果 $\text{fit}(\mathbf{X}_{\text{New}}) < \text{fit}(\mathbf{X}_i)$,保留旧蜜源,否则,留下新蜜源;4) 根据雇佣蜂释放的信息,观察蜂以式(9)进行蜜源选择,并按照位置调整准则进行更优蜜源的搜索;5) 如果经过 l 搜索后,蜜源适应度值的变化量小于 ϵ ,对其进行杂交操作;6) 如果迭代次数小于 M ,跳到步骤 2),否则,算法结束,输出最优解.

4 仿真分析

仿真实验在 Intel Xeon E5-2650 CPU 2.0 GHz,内存 16 G 的联想 Think Station C30 工作站上进行. 物理网络由 10 个自治域构成,每个自治域包含 50 个节点,其中,边界节点 2 个,并且边界节点之间是全连接. 其他仿真参数,如表 1 所示. 表 1 中: t_1 为仿真时间.

表 1 仿真参数表
Tab. 1 Simulation parameter

参数	取值	参数	取值
物理链路单位开销	$[1,10]$ 的均匀分布	t_1/s	3 500
VNE 请求的到达率	均值为每 100 s 4 个的泊松分布	β	2
虚拟网络保持时间	均值为 1 000 s 的指数分布	M	20
链路带宽需求	$[1,50]$ 的均匀分布	SN	30
一个 NVE 请求中的虚拟节点数	$[1,8]$ 的均匀分布	ϵ	0.02
物理节点的连接概率	0.5	l	20
虚拟节点的连接概率	0.5		

4 种算法的平均划分时间(t)随虚拟节点数(n)的变化,如图 1 所示. 随着虚拟节点数的增加,4 种算法的平均划分时间都变大. 这是因为虚拟节点数越多,虚拟网络结构越复杂,需要花更多的时间完成虚拟网络的划分. 其中,OABC-MVNE 算法所需的平均划分时间最小,这是由于 OABC-MVNE 算法使用 OABC 算法进行域间映射划分,从而避免了复杂的数学运算,实现了平均划分时间的减少.

3 种算法的额外映射开销(η)随虚拟节点数(n)的变化,如图 2 所示.由图 2 可知:Policy-MVNE 算法的额外开销是最大的,这是因为在边界节点信息未知的情况下,Policy-MVNE 算法并没有对跨域开销进行优化.图 2 中:OABC-MVNE 算法和 GA-MVNE 算法的额外开销都始终小于 5%.这是因为 2 种算法在边界节点信息已知的情况下以最小资源开销为目标进行了跨域开销的优化.由于 OABC-MVNE 算法的寻优能力更强,因此,其额外开销小于 GA-MVNE 算法.

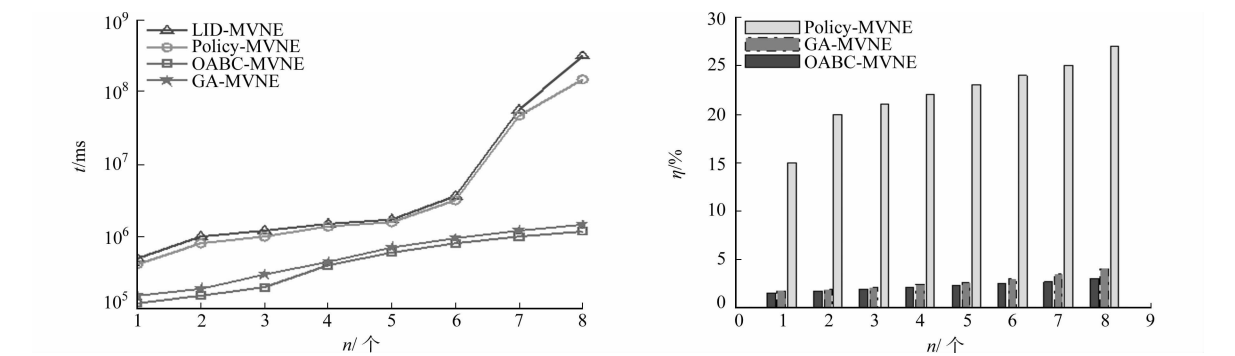


图 1 平均划分时间随虚拟节点数的变化
Fig.1 Average time changing with the number of virtual nodes

图 2 额外映射开销随虚拟节点数的变化
Fig.2 Additional costs vary with the number of virtual nodes mapping

5 结束语

首先,对 MVNE 问题的基本概念与研究现状进行阐述,指出现有算法存在复杂度高、平均划分时间长、开销大等缺陷.然后,针对以上问题,提出了 OABC-MVNE 算法,并介绍了 OABC-MVNE 算法的实现过程.最后,通过仿真实验,从平均划分时间、平均接受率、平均额外开销 3 个方面,验证了 OABC-MVNE 算法的有效性.

参考文献:

[1] CHEN Zhong,GUAN Zhi,MENG Hongwei,et al. A survey of future internet architecture and security design[J]. Journal of Information Security Research,2015,6(2):89-98.

[2] LUO Juan,FU Shan,CHEN Lei,et al. Concurrent resource mapping in virtual network[J]. Journal of Computational & Theoretical Nanoscience,2014,11(5):1264-1270.

[3] FISCHER A,BOTERO J F,TILL BECK M,et al. Virtual network embedding: A survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2013,15(4):1888-1906.

[4] PITTARAS C,PAPAGOANNI C,HAM J V D,et al. Resource discovery and allocation for federated virtualized infrastructures[J]. Future Generation Computer Systems,2015,42(C):55-63.

[5] DIETRICH D,RIZK A,APADIMITRIOU P. Multi-domain virtual network embedding with limited information disclosure[C]//Proceedings of IFTP Networking Conference. Brooklyn:IEEE Press,2013:1-9.

[6] CHOWDHURY M,SAMUEL F,BOUTABA R. PolyViNE: Policy-based virtual network embedding across multiple domains[J]. Journal of Internet Services and Applications,2013,6(4):1-23.

[7] XIAO Ailing,WANG Ying,MENG Luoming,et al. Knowledge description and genetic algorithm based multi-domain virtual network embedding[J]. Journal of Software,2014,25(10):1289-2205.

[8] RAZZAQ A. Virtual network embedding[J]. Journal of Electrical & Computer Engineering,2012,7(15):762-771.

[9] KARABOGA D,BASTURK B. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm[J]. Applied Soft Computing,2008,8(1):687-697.

[10] 黄炯,谭锦伟. 人工蜂群算法结合 PTS 技术的 PAPR 降低方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2014,35(6):631-635.