# 基于广义网络温度(GNT)的虚拟网络映射算法

摘要:

关键词:广义网络温度，虚拟网络映射，网络虚拟化，节点排序，网络拓扑属性

目录

1. 绪论
   1. 研究背景与意义
   2. 研究内容与目标
   3. 本文的主要贡献
   4. 本文的组织架构

本文由五个章节组成.具体章节情况如下:

第一章节，即本章节，为绪论部分.本章节主要介绍了本文研究内容的背景与意义，指出了研究内容与目标，简要概述了本文的主要贡献，并给出了本文的组织架构.

第二章节，为综述部分.本章节首先对虚拟化技术做了简要综述，然后介绍虚拟网络映射问题的模型，过程，目标以及性能指标，最后，介绍了虚拟网络映射算法的国内外研究现状以及算法分类.

第三章节，基于广义网络温度的虚拟网络映射算法部分.本章节提出了一种基于广义网络温度的启发式虚拟网络映射算法.首先，介绍算法的研究背景，阐述本章研究的必要性和重要性.然后，介绍本章算法所用到的基于广义网络温度的节点排序算法.紧接着，进一步提出了基于广义网络温度的启发式虚拟网络映射算法.之后，进行大量的仿真实验，验证和分析本章提出的启发式虚拟网络映射算法的性能.最后，对本章内容做了总结，指出下一步的优化方向.

第四章节，虚拟网络映射的动态调整部分.本章提出了一种能对已映射的虚拟网络进行动态调整的虚拟网络映射算法.首先，介绍算法的研究背景，阐述本章研究的必要性和重要性.然后，详细介绍本章的算法，它由两部分子算法组成:初始虚拟网络映射子算法和动态调整子算法.之后，进行大量的仿真实验，验证和分析本章提出的虚拟网络动态调整算法的性能.最后，对本章内容做出总结，指出下一步的优化方向.

第五章节，为总结与展望部分.首先对本文的研究内容与成果进行总结，然后指出后续的研究方向.

1.4本章小节

本章首先介绍了网络僵化问题与虚拟网络映射问题，然后将虚拟网络映射与动态调整作为本文的主要研究内容.本文提出了一种基于广义网络温度的启发式虚拟网络映射算法以及虚拟网络动态调整算法，提高虚拟网络映射成功率，缓解底层网络的资源碎片化问题.最后，本章对本文的组织结构进行简要介绍.

1. 网络虚拟化与虚拟网络映射问题综述

本章首先介绍网络虚拟化技术，然后，介绍虚拟网络映射问题，包括:网络模型，虚拟网络映射过程，约束条件以及相关评价指标.最后，介绍虚拟网络映射算法的国内外研究现状以及虚拟网络映射算法的分类.

2.1网络虚拟化综述

略

2.2虚拟网络映射问题

前言

2.2.1网络模型

底层网络模型:

底层网络可以用一个带权无向全连通图，其中，和分别代表底层网络中的节点集合与链路集合，和分别代表的是底层网络中的节点和链路数量.

还少了节点和链路的属性介绍(cpu，带宽)

如图2.2(a)所示，底层网络具有8个节点和13条链路，节点和链路旁的数字分别代表节点和链路所具有的计算和带宽资源.

虚拟网络模型

与底层网络类似，虚拟网络也是由虚拟化后的虚拟节点通过虚拟链路连接组成，同样用带权无向全连通图表示:.其中，和分别代表虚拟网络中的虚拟节点和虚拟链路，而和则分别代表虚拟节点和虚拟链路的数量.

还少了节点和链路的属性介绍(cpu，带宽)

如图2.2(b)所示，该虚拟网络包含3个虚拟节点和3条虚拟链路，节点和链路旁的数字分别代表虚拟节点和虚拟链路所需要的计算和带宽资源量.

2.2.2映射过程

在满足虚拟网络的节点和链路资源与功能需求的前提下，将虚拟网络映射到底层网络的过程称为虚拟网络映射(Virtual Network Embedding，VNE)，该过程通常包含两个子过程:节点映射子过程和链路映射子过程.

节点映射子过程:

链路映射子过程:

2.2.3约束条件

在进行虚拟网络映射的过程中，需要同时满足虚拟节点和虚拟链路的资源需求与功能需求，具体来说:

2.2.4评价指标

在进行虚拟网络映射时，需要利用评价指标对算法性能进行量化与评估，有利于与其他算法进行比较.本节介绍虚拟网络映射算法研究中常用的VNE评价指标:

1. 虚拟网络映射接受率:又称虚拟网络映射成功率，是VNE算法研究中最重要的评价指标.虚拟网络映射接受率由映射成功的虚拟网络数量占全部虚拟网络请求的比值所决定，直接反应算法的映射性能，即接受率越高，算法的映射能力越强.虚拟网络映射接受率的计算公式如下所示:

其中，分子表示从零时刻开始经过T时间成功映射的虚拟网请求的数量，而分母表示这段时间内的经过算法处理的虚拟网络请求到总数量.

1. 映射收益:虚拟网络服务提供商通过将虚拟资源以虚拟网络的形式租给终端用户，并向终端用户收取费用，这部分费用即虚拟网络的映射收益.对于虚拟网络服务提供商来说，需要尽可能最大化虚拟网络的映射收益，并尽可能最小化虚拟网络映射成本.虚拟网映射收益的计算公式如下:
2. 映射成本:除了虚拟网映射收益之外，虚拟网络服务提供商还需要付出虚拟网络映射成本.虚拟网络映射成本的计算公式如下:

符号表示底层链路是否被虚拟网络占用，若占用，取值为1，否则取值为0.

1. 虚拟网络收益支出比:在VNE算法研究中，通常使用虚拟网络收益支出比来弥补虚拟网络映射收益和支出的不全面缺陷，计算公式如下:

更一般的，使用长期收益支出比来评价算法的性能，计算方式如下:

2.3虚拟网络映射算法分类

从2006年IEEEINFOCOM会议上发表的第一篇VNE算法研究的文章开始，开启了虚拟网络映射算法的初级摸索阶段，这一阶段的主要工作就是对虚拟网络映射问题进行定义，并建立虚拟网络映射问题的算法模型.

从虚拟网络映射问题研究的初级摸索阶段到现在，经过十几年的研究，国内外的研究人员基于不同的出发点以及目标，提出并利用多种算法来解决虚拟网络映射问题.

分类的优点

关于虚拟网络映射算法的一些综述类文章，根据不同的分类标准对虚拟网络映射算法进行了分类，它们采用的分类标准有:根据VNE算法优化策略的不同，根据算法使用场景的底层网络的数量，根据算法的映射目标等.

2.3.1根据算法采用的优化策略进行分类

2.3.1 根据应用场景是单域还是多域

单域与多域的划分依据是基础设施供应商的数量，传统的虚拟网络映射算法普遍聚焦于单域条件下的映射问题，即只有单一的基础设施供应商为底层网络提供支持.单域条件下，虚拟网络映射算法往往通过启发式算法进行求解，例如麻雀算法、遗传算法、萤火虫算法等等.启发式算法通过大量可行解之间的相互学习，最终可以得到质量较高的映射方案，在虚拟网络请求接受率、映射成本等方面有较好表现

2.3.2根据算法的应用场景进行分类

根据映射步骤，虚拟网络映射算法可分为二阶段映射算法与一阶段映射算法.二阶段算法将整个映射过程分解为两个步骤，首先进行虚拟节点映射方案的求解，随后在虚拟节点映射方案的基础上对虚拟链路进行映射.一阶段算法又被称作协同映射算法，可以在一个步骤内得到整个虚拟网络的映射方案，由于在求解节点映射方案的过程中考虑到了链路资源的约束条件，一阶段算法能够得到质量较好的映射方案

传统的二阶段虚拟网络映射算法大多基于启发式算法进行改造，文献[33]利用改进的蚁群算法进行虚拟节点映射，并设计了一种链路资源启发式信息素将其融入蚁群算法的搜索过程中，该算法与传统的蚁群算法相比显著地降低了时间开销并提高了算法性能.文献34针对现有的算法大多未考虑负载均衡这一弊端，提出了一种模拟退火虚拟网络映射算法，通过引入新的代价函数来反映当前映射方案对于负载均衡的影响，有效地避免了资源碎片的产生.文献35提出了一种混合群智能优化算法，该算法首先通过传统的遗传算法扩大搜索范围，随后利用粒子群算法加强局部搜索，有效地加快了算法的收敛速度并提高了底层网络的收益开销比.文献36提出了一种自适应遗传模拟退火虚拟网络映射算法，该算法利用模拟退火算法的思想对遗传算法中的选择操作进行了修改，有效地提高了算法的全局寻优能力.二阶段算法较为简单直观并且易于实现，但是存在着资源开销较大的缺陷

当前对于一阶段虚拟网络映射算法的研究存在着较大的发展空间，文献37提出了一种协同映射算法，在链路映射的过程中同时考虑到节点与链路两方面的资源约束条件，并将当前链路映射方案对周围链路的影响纳入考虑范围，实验证明该算法显著地提高了长期收益以及后续请求的接受率.文献38将虚拟网络映射问题定义为整形规划问题，并将拓扑相关因子加入目标函数，实现了节点与链路的协同映射，经过仿真验证，该算法有效地提高了各项性能指标

2.3.3根据算法的映射目标进行分类

2.3.4动态与静态虚拟网络映射算法

根据是否包含对虚拟网络映射方案的动态调整过程，可以将虚拟网络映射算法分成动态虚拟网络映射与静态虚拟网络映射.

对于静态虚拟网络映射来说，一旦算法得出虚拟网络请求的映射结果，那么在该虚拟网络的整个生命周期内，映射方案都不会发生改变.

而对于动态虚拟网络映射算法来说，动态虚拟网络与静态虚拟网络的主要区别在于是否包含对映射方案的动态调整过程，对于静态虚拟网络，底层网络不会对其映射方案进行改动.对于动态虚拟网络，在以下三种情况出现时，底层网络会对虚拟网络的映射方案进行动态调整:

由于虚拟网络请求不断地到来或离开，底层节点与底层链路的负载会变得不均衡，资源碎片化程度加深，底层网络需要对虚拟网络的映射方案进行动态调整以保证后续请求的接受率.根据重映射过程的触发时机，虚拟网络重映射算法可分为被动式与主动式两种.被动式重映射算法在虚拟网络请求被拒绝时启动，对资源瓶颈进行重映射以实现对底层网络的负载均衡.主动式重映射算法以固定的周期扫描底层网络的负载状态，筛选出高负载的节点或者链路并对其上的虚拟节点或虚拟链路进行重映射，以此来进行负载均衡并消除资源瓶颈

文献4提出了一种基于被动机制的重映射算法，该算法以负载不均衡度作为评判标准进行过载节点与过载链路的筛选，并对虚拟节点与虚拟链路进行联合迁移以优化底层网络的负载均衡度.文献1针对重映射资源开销过高的问题，设计了一种基于被动机制的重映射算法，当虚拟网络请求被拒绝时，首先定位造成映射失败的瓶颈节点以及瓶颈链路，随后针对性地降低这些资源瓶颈的负载压力以实现负载均衡.文献2定义了重映射能量消耗的概念并将其作为目标函数设计了一种重映射算法，仿真结果验证了该算法在提高后续请求的接受率与降低底层网络能量消耗等方面有着较为突出的表现.文献3设计了一种具有自适应区间的重映射算法，该算法通过底层网络的整体负载状态来确定重映射操作的启动周期，仿真实验表明该算法能够显著地提高运营收益并且维持较低的重映射开销.

由于虚拟网络请求中的资源需求或者网络拓扑结构需求随着时间的推移发生了变化，底层网络需要对虚拟网络的映射方案进行动态调整以满足新的资源需求或者拓扑结构需求.当前针对需求动态变化条件下的虚拟网络重映射问题的相关研究较少，文献4利用混合整数线性规划方法对需求动态变化的虚拟网络重映射问题进行数学建模，提出了一种启发式算法并以最小化虚拟网络重映射开销为优化目标对重映射问题进行求解.文献5考虑到需求动态变化的条件下底层网络的能耗问题，设计了一种启发式算法，能够在保持运营收益的前提下最大限度地降低底层网络的能量消耗

由于承载着某些虚拟网络的底层节点或者链路发生故障，底层网络需要对这部分虚拟网络的映射方案进行动态调整以保证虚拟网络能够正常运行.文献6设计了一种融合了恢复机制与保护机制的混合式策略以解决可生存性虚拟网络映射问题，有效地提高了底层资源的利用率并保证了网络运营商的收益.文献7提出的虚拟网络重映射算法利用底层网络中的路径多样性为底层链路预留了一组备份链路，当底层链路出现故障时可以第一时间将其上的虚拟链路迁移到备份资源上，使得故障带来的影响最小化

1. 基于广义网络温度的启发式虚拟网络映射算法

本文首先介绍了研究背景.然后，本文介绍了一个新颖的基于多网络拓扑属性和全局网络资源的节点排序算法.紧接着，本文详细介绍了基于多拓扑属性和全局资源的启发式映射算法并简要讨论了该算法的复杂度.之后，为验证提出的启发式算法的可行性和高效性，本文进行了仿真实验工作，并选择了五个同类别的启发式算法进行性能比较.最后，本文总结了贡献并指出了下一阶段的研究工作

3.1引言

如上一章所述，根据采用的优化策略不同，虚拟网络映射算法可以分为三类:精确解算法类，启发式算法类和元启发式算法类.尽管精确解映射算法和元启发式算法可以确保在小规模的网络场景中给每个给定的虚拟网络找到最佳或接近最优的映射方案，但是这两类算法的计算复杂性非常大，更别提推广到中等或大规模的网络场景了.

在过去的几年中，研究人员开展了启发式算法研究并提出了很多经典的启发式映射算法[17].一般来说，这些启发式映射算法将虚拟网络映射分两个连续的映射阶段来进行：虚拟节点映射阶段、虚拟链路映射阶段.在开始进行虚拟节点映射之前，这些启发式算法一般都先采用各自专有的节点排序算法来对所有的物理节点、虚拟节点进行了一次排序.这些专有的节点排序算法都是通过选择量化一些拓扑属性和网络资源来实现节点排序的功能.本章节重点介绍了目前学术界存在的这类具有代表性的启发式映射算法.

在文献[9]中，Cheng等人提出了一种基于拓扑感知节点值的启发式虚拟网络映射算法.但Cheng等人提出的算法中仍未考虑节点和其他非直接连接节点之间的位置关系、未量化全局资源.在文献[41]中，Feng等人介绍了三种不同的节点拓扑属性，并提出了三种不同的节点排序方法.与之前的研究工作[6][9]相比，Feng等人对于基于节点排序值的启发式算法的研究前进了一大步.但是，Feng等人提出的三种节点排序方法仍然是由节点CPU、直连链路带宽之和和物理路径的中间节点数的乘积确定.这样的节点排序方法和参考文献[6]中的方法相类似.此外，在文献[4]中，Feng等人没有提出用于计算稳定节点排序值的方法.在进行链路映射的时候，Feng等人也没有考虑虚拟路径分割.

在参考文献[13]中，Zhang等人对基于节点值的启发式虚拟网络映射算法进行了研究.

Zhang等人研究的主要亮点是他们提出的节点排序方法.Zhang等人提出的节点排序方法是基于节点度属性和聚类系数信息属性的.这两个属性是先前的VNE研究没有考虑过的.Zhang等人通过量化这些拓扑属性作为节点排序的依据.算法其余步骤，与之前的算法[16][19]相类似.与之前的研究[16][19]相比，Zhang等人的研究前进了一大步：考虑了不同的拓扑属性.可是，节点度属性和聚类系数信息属性依旧属于局部拓扑属性，Zhang等人没有再考虑全局的拓扑属性，即量化节点与非直连节点之间的关系.

3.2节点排序方法

3.3启发式虚拟网络映射算法

直接启发式子算法由三个步骤组成：计算直接节点排序值步骤、贪婪虚拟节点映射步骤和最短路径虚拟链路映射步骤.

3.3.1虚拟节点步骤

第一个节点值计算步骤在上一小节已经被详细介绍.本小节重点介绍贪婪虚拟节点映射步骤和最短路径虚拟链路映射步骤

3.3.2虚拟节点映射步骤

因为虚拟节点的节点值在整个虚拟节点集合中是最高的，所以有最高映射优先级.虚拟网络服务商优先对虚拟节点进行映射.虚拟网络服务供应商从物理节点集合中首先挑出物理网络中节点排序值最高的物理节点MP.如果物理节点MP能够满足节点的资源（节点容量）需求和功能需求（节点位置），那么虚拟节点就成功映射到物理节点MP上.如果MP不能满足其中一项，就从物理节点集合中选出节点排序值第二高的NP.如果NP能够满足节点的资源（节点容量）需求和功能需求（节点位置），那么虚拟节点AV就成功映射到物理节点NP上.如果节点的任意一项需求不能被满足，就继续从剩余物理节点中挑选直至找到合适的.如果找不到合适的物理节点，那么虚拟节点不能被成功映射.相应地，该虚拟网络GV就会被虚拟网络服务供应商拒绝.GV的映射以失败告终.上述的虚拟节点映射方式在VNE研究中被称为贪婪节点映射方法.

如果节点被成功映射，服务供应商就会挑选第二高的BV来进行虚拟节点映射.重复刚刚上述的步骤直至BV找到合适的物理节点.

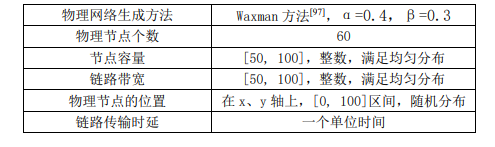
3.3.3最短路径虚拟链路映射步骤

在完成GV中所有虚拟节点的映射之后，开始进行GV中所有虚拟链路的映射.和上步骤中贪婪节点映射策略相类似，本步骤优先选择带宽需求最大的虚拟链路来进行映射

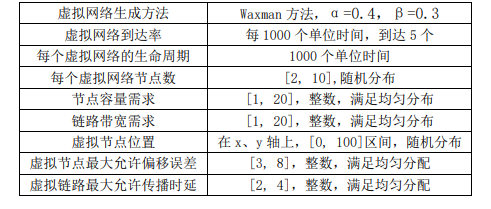
与传统的最短路径方法相比，最短路径方法在此基础上进行了升级.首先删除了MP和NP之间的部分物理路径.被删除的物理路径不满足节点的资源需求.在删除完了这部分物理路径，算法采用Dijkstra算法[8]找出MP和NP之间的最短路径，同时满足节点的资源需求.

1. 实验
   1. 实验环境和参数设置

为了评估VNE-NTANRC算法的性能，本文进行了仿真实验.算法的仿真工作所采用的底层物理网络的参数设置如表3.1所示.这些参数设置是VNE算法研究领域都是具有代表性的参数设置:



虚拟网络的参数设置如表3.2所示:



本章节的算法仿真的工作时长为100000个时间单位.在本文中，一个时间单位代表一分钟.也就是说，本章节的算法仿真工作将持续100000分钟.

* 1. 对比算法介绍
  2. 实验结果和分析讨论

在本小节中，本文呈现的是仿真实验结果图和实验结果讨论.图3.2描述的虚拟网络映射成功率结果图.图3.3描述的是虚拟网络映射收益支出比的结果图.在VNE研究中，映射成功率（图3.2）和收益支出比（图3.3）能够直接反映出被评估的VNE算法的映射能力和资源利用率.除了这两个性能结果以外，本文还记录了节点容量利用率（图3.4）和链路带宽利用率（图3.5）.这两个指标结果能够从间接折射出被评估算法的映射能力.

* + 1. 映射成功率

图3.2记录了七个VNE算法的虚拟网络映射成功率随着仿真时间的变化而变化的结果.虚拟网络映射成功率是直接反映出VNE算法映射能力的重要指标.一般而言，映射成功率越高就代表该VNE算法的映射虚拟网络能力就越强.从图3.2可以看出，算法的虚拟网络映射成功率几乎都随时间的延长而降低.这种降低行为表明：随着仿真实验的延申，越来越多的虚拟网络需求被用户提出来.但是，底层的物理网络资源是有限的并不是无限的.所以，虚拟网络映射成功率会呈现降低的趋势

* + 1. 虚拟网络映射算法的收益支出比

记录了本章节所有虚拟网络映射算法的收益支出比结果.可以得出结论.第一个结论：随着仿真时间的不断延伸，所有映射算法的收入支出比都逐渐降低.

* + 1. 虚拟网络映射算法的节点和链路资源利用率

分别记录了七个启发式算法的节点容量利用率和链路带宽利用率结果.综合这两个性能仿真图，很容易得出一个很明显的结论：随着虚拟网络需求数量的增加，所有选定算法的节点和链路利用率也随之提高

* 1. 本章小节
     1. 算法总结

为了解决先前启发式算法只考虑了单一节点拓扑属性和局部的节点网络资源作为网络节点排序和虚拟网络映射的基础而导致低虚拟网络映射成功率的问题，本文提出了一个可行的和可靠的启发式虚拟网络映射算法.采用了一种新型的节点排序算法.该节点排序算法充分考虑并量化了节点重要性随底层网络流量变化而变化的特点.

本算法首先采用提出的新型节点排序算法计算出待映射的虚拟网络和底层物理网络的所有节点值并进行降序排序，然后利用贪婪策略进行虚拟节点映射.在所有虚拟节点都映射完毕后，利用最短路径算法进行虚拟链路的映射.只有虚拟节点和虚拟链路都映射成功，这个虚拟网络请求才算顺利完成映射，否则，该虚拟网络没有映射成功.

特别说明的是，本文提出的节点排序算法由两个子排序算法组成：第一个节点排序子算法是直接采用量化的拓扑属性和网络资源的乘积值作为节点排序值.第二个节点排序子算法是采用了著名的谷歌网页排序的方法来计算求出稳定准确的节点值.为验证算法的可行性和高效性，本文进行了仿真实验并选择五种典型的同类型启发式算法进行性能比较.仿真结果表明本文提出的算法与选取的启发式算法相比，有较强的网络映射能力.

4.4.2未来研究方向

模板

题目:基于GNT的虚拟网络映射算法

摘要:背景，做了什么，怎么做的，效果如何

关键词:虚拟网络映射，广义网络温度，网络虚拟化，节点排序

1. 引言

背景，问题，如何做

本文的创新点包含以下几个方面:

1. 相关工作
2. 背景知识
3. 基于广义网络温度的虚拟网络映射算法:
   1. 算法概述
   2. GNT指标的计算
   3. 节点排序，伪代码
   4. 虚拟网络映射，伪代码
4. 实验及分析
   1. 实验环境
   2. 评价指标
   3. 对比算法
   4. 实验结果及分析
5. 结论与展望
6. 参考文献

基于广义网络温度GNT的虚拟网络映射方法

# 摘要

本文提出一种基于广义网络温度GNT(Generalized Network Temperature)的虚拟网络映射方法. 该方法首先从底层网络中提取流量特征, 计算底层节点的广义网络温度; 然后将节点GNT值与底层拓扑信息结合, 综合评估底层节点的重要性, 并按重要性对底层节点降序排序, 节点排名越高, 节点映射能力越强; 然后采用贪婪策略进行虚拟节点映射, 虚拟节点映射完毕后利用Dijkstra最短路径算法进行虚拟链路映射, 最终完成整个虚拟网络的映射过程. 仿真结果表明, 本文提出的两阶段启发式虚拟网络映射算法可以提高虚拟网络映射的成功率和底层网络资源的利用率, 同时缓解网络阻塞与资源碎片化问题.

# 引言

虚拟化技术 -> 虚拟网络映射问题 -> NP-hard

随着互联网的快速发展, 传统互联网的僵化问题愈发严重, 为了有效解决互联网的僵化问题, 引进了虚拟化技术. 而作为虚拟化技术的关键问题之一的虚拟网络映射问题, 由于

目前的启发式虚拟网络映射算法在进行节点重要性排序时, 只考虑网络拓扑结构与全局网络资源, 忽略了网络负载变化对于节点重要性排名的影响. 针对这个问题, 本文基于王昌达等提出的广义网络温度(Generalized Network Temperature, GNT), 提出了基于广义网络温度的虚拟网络映射算法. 该算法的优点是: 1) 将广义网络温度与网络拓扑特征结合, 可以更加全面的评估节点的重要性, 节点排序结果更加准确; 2)

第一个优点: 本算法采用了新型的节点排序方法, 同时考虑网络的静态和动态属性. 大部分基于节点重要性的两阶段启发式算法在进行节点排序时, 仅考虑网络拓扑特征(比如, 节点度属性, 节点强度属性)和网络资源(比如, 节点cpu资源与链路带宽和的乘积), 在映射虚拟网络时会出现节点cpu资源满足约束但链路资源不满足需求的情况, 导致虚拟网络映射失败.

第二个优点: 同时考虑网络的静态和动态属性, 节点的重要性会随着网络流量的变化而变化, 会影响虚拟网络映射的成功率.

第三个优点: 本文建立了一个仿真实验平台来验证所提出的算法的可行性, 并选取几个同类型且具有代表性的经典算法作为对比算法, 在相同的实验条件下进行仿真实验, 在虚拟网络映射成功率与长期收益支出比等评价指标上进行性能比较.

本文的创新点包括以下几个方面:

1. 本文在GNT的基础上, 选择

# 相关工作

分类, 并分析各自的优缺点

分类1:

分类2:

分类3:

综上所述, 现阶段大多数启发式虚拟网络映射算法采用的节点排序方法还是基于静态的网络拓扑与网络资源, 忽略了网络负载变化对节点重要性的影响.

# 相关知识

本节介绍虚拟网络映射的相关技术, 首先对广义网络温度GNT进行介绍, 之后介绍在计算节点GNT时所使用的三种网络熵

本节首先给出了VNE虚拟网络映射问题的模型, 虚拟网络映射流程, 两阶段启发式映射过程; 然后详细介绍流量矩阵以及广义网络的计算方法; 再然后, 讨论了三种网络熵的定义和性质, 主要包括香农Shannon熵, Rényi 熵和Tsallis熵; 最后

两部分: 1. 广义网络温度, 流量矩阵, 三种网络熵

2: 虚拟网络模型, 两阶段, 整体流程(参考南邮)

网络流量矩阵

本文使用网络流量矩阵来表示一个网络的负载情况, 主要体现两个网络节点间的OD(Origin-Destination)流, 用于之后计算网络节点的广义网络温度GNT指标.

定义1 网络邻接矩阵: 底层网络模型可以看作一个带权无向连通图, 其中, 表示网络中网络节点的集合, 而则表示网络中链路的集合, 是节点的总数量, 表示的是节点到之间的链路. 网络中的邻接矩阵可以表示为, 其中:

图

定义2 网络的权重矩阵: 用表示权重矩阵, 其中, 表示节点和节点时间的网络传输负载, 特别地, 表示到节点之间没有传输负载.

图

定义 3 网络流量矩阵: 由当前网络中所有的OD(Origin-Destination)流量组成的矩阵, 其中OD流定义为从节点(源节点)进入, 最后流出节点(目标节点)的所有流量的集合.

* 1. 广义网络温度

广义网络温度(Generalized Network Temperature, GNT)是王昌达等人提出的一种兼顾网络拓扑与网络流量的度量指标, 具有时空融合特性. 该指标在网络攻击检测, 网络安全态势评估等多个领域具有广泛的应用场景. 文献(韦尧)使用GNT作为检测指标对DDoS攻击进行检测, 取得了较好的检测结果. 在文献(陈前)中, 作者提出了基于GNT与网络拓扑结构的节点重要性排序方法.

在热力学中, 温度T定义为一个绝热系统中热量的引进或流失额度与由此导致的热力学熵变化量的微商. 在文献(老板)中, 作者类比热力学温度, 用网络的Shannon熵取代热力学熵, 用网络中”在传输数据包数量的变化”取代热力学中”热量的引进或流失额度”, 最终得到新的度量指标, 即广义网络温度, 具体定义如下:

其中, 表示网络中传输数据包数量的变化, 而表示由数据包数量变化导致的Shannon熵的变化.

GNT具有与热力学温度相似的性质,

* 1. 网络熵
  2. 流量矩阵

# 基于GNT的虚拟网络映射方法

本方法首先从底层网络提取流量信息, 得出流量矩阵, 然后计算节点的GNT, 然后与网络拓扑特征结合, 综合评价节点的重要性, 进行节点排序. 然后对虚拟网络进行两阶段映射, 首先基于节点重要性, 利用贪心策略进行节点映射, 在节点映射完成后, 利用Dijkstra最短路径算法进行虚拟链路的映射, 最终完成整个虚拟网络的映射.

流程图

* 1. 广义网络温度的计算
  2. 几点拓扑特征的计算
  3. 节点重要性

在进行虚拟网络映射时, 不同重要性的节点对于映射结果的影响是不同的, 节点越重要, 对映射结果的影响越大.

一般的, 网络节点的重要性不仅与网络的拓扑结构和自身网络资源有关, 也与当前的网络负载状况有关, 节点重要性会随着网络负载变化而变化. 然而, 目前已知的启发式虚拟网络映射算法在进行节点排序时, 大多是基于网络拓扑与网络资源的静态分析的方法. 在网络状态不断变化的情况下, 这些方法普遍不能全面衡量网络节点的重要性, 导致虚拟网络映射成功率和资源利用率的降低.

因此, 本文在进行节点重要性排序时, 将网络拓扑结构和网络资源与网络负载变化相结合, 综合衡量节点的重要性.

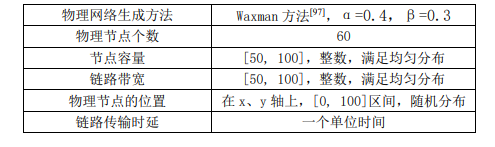
* 1. 虚拟网络映射过程
  2. 节点排序
  3. 虚拟节点映射, 伪代码
  4. 虚拟链路映射, 伪代码

# 实验评估

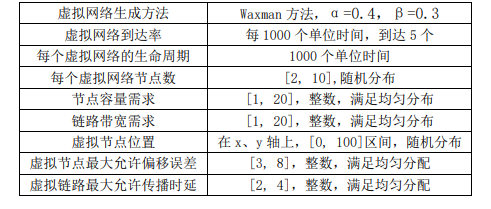
本节首先设计了基于三种网络熵的虚拟网络映射实验, 然后将本文提出的算法与经典的虚拟网络映射算法进行对比试验, 验证所提出的算法的可行性与优越性.

* 1. 实验环境和参数设置

为了评估VNE-NTANRC算法的性能，本文进行了仿真实验. 算法的仿真工作所采用的底层物理网络的参数设置如表3.1所示.这些参数设置是VNE算法研究领域都是具有代表性的参数设置:



虚拟网络的参数设置如表3.2所示:



本章节的算法仿真的工作时长为100000个时间单位. 在本文中，一个时间单位代表一分钟. 也就是说, 本章节的算法仿真工作将持续100000分钟.

* 1. 对比算法介绍

本文提出的两阶段启发式虚拟网络映射方法使用(香农熵, 瑞利熵, T熵)三种网络熵来计算网络节点的广义网络温度指标. 除了本文提出的算法, 还选取几个同类型且具有代表性的经典算法作为对比算法, 在相同的实验条件下进行仿真实验, 进行性能比较.

表对比算法的相关介绍:

* 1. 基于三种网络熵的虚拟网络映射实验
  2. 经典算法对比试验
  3. 实验结果和分析讨论

在本小节中，本文呈现的是仿真实验结果图和实验结果讨论.图3.2描述的虚拟网络映射成功率结果图.图3.3描述的是虚拟网络映射收益支出比的结果图.在VNE研究中，映射成功率（图3.2）和收益支出比（图3.3）能够直接反映出被评估的VNE算法的映射能力和资源利用率.除了这两个性能结果以外，本文还记录了节点容量利用率（图3.4）和链路带宽利用率（图3.5）.这两个指标结果能够从间接折射出被评估算法的映射能力.

* + 1. 映射成功率

图3.2记录了七个VNE算法的虚拟网络映射成功率随着仿真时间的变化而变化的结果.虚拟网络映射成功率是直接反映出VNE算法映射能力的重要指标.一般而言，映射成功率越高就代表该VNE算法的映射虚拟网络能力就越强.从图3.2可以看出，算法的虚拟网络映射成功率几乎都随时间的延长而降低.这种降低行为表明：随着仿真实验的延申，越来越多的虚拟网络需求被用户提出来.但是，底层的物理网络资源是有限的并不是无限的.所以，虚拟网络映射成功率会呈现降低的趋势

* + 1. 虚拟网络映射算法的收益支出比

记录了本章节所有虚拟网络映射算法的收益支出比结果.可以得出结论.第一个结论：随着仿真时间的不断延伸，所有映射算法的收入支出比都逐渐降低.

* + 1. 虚拟网络映射算法的节点和链路资源利用率

分别记录了七个启发式算法的节点容量利用率和链路带宽利用率结果.综合这两个性能仿真图，很容易得出一个很明显的结论：随着虚拟网络需求数量的增加，所有选定算法的节点和链路利用率也随之提高

# 结论与展望

本文针对虚拟网络映射问题中的某某问题, 设计实现了一种基于广义网络温度的虚拟网络映射方法. 与现有的虚拟网络映射算法相比, 本文使用基于广义网络温度的方法评估底层网络节点在网络中的重要性变化, 在两阶段启发式算法映射虚拟网络时可以得到更全面准确的重要性排名.

实验结果显示, 基于三种网络熵的虚拟网络映射方法与经典的虚拟网络映射算法相比, 不仅可以得到更加准确的节点重要性排名, 而且可以提高虚拟网络的映射成功率与底层网络资源的利用率.

但是, 本文也存在一些不足之处. 比如在利用流量矩阵计算节点的广义网络温度时, 在网络熵的阶数选择上, 只考虑了阶数大于1 的情况, 而阶数对于广义网络温度的计算结果有影响, 因此下一阶段的主要工作就是研究网络熵阶数对于虚拟网络映射的影响, 进一步提升算法的性能, 并进一步研究使用其他信息熵定义网络熵, 用于虚拟网络的映射.

另外, 基于广义网络温度与底层拓扑信息, 得到节点重要性排名, 利用贪心策略映射虚拟节点与利用Dijkstra最短路径算法映射虚拟链路, 将虚拟网络请求映射到底层网络后, 在虚拟网络的整个生命周期内, 并不会改变该虚拟网络的映射内容, 但网络状态会随着时间发生变化, (会出现什么问题? 资源碎片化, 阻塞, 负载均衡, 资源利用率低), 所以需要对已映射的虚拟网络进行调整,

参考文献: