

弹性光网络中虚拟光网络生存性研究

任丹萍, 王伟, 胡劲华, 赵继军

(河北工程大学 信息与电气工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 实现物理网络资源共享的虚拟光网络映射技术为新应用的发展提供了机会, 为提高部署在虚拟光网络上的业务可靠性, 虚拟光网络生存性问题已经引起了广泛关注。介绍了虚拟光网络生存性原理, 从3个不同角度分析了虚拟光网络生存性问题, 并基于此问题进一步分析了虚拟光网络的优化。最后, 分析了目前研究中未重点关注的内容, 为虚拟光网络生存性的研究提供了参考。

关键词: 弹性光网络; 虚拟光网络映射; 生存性

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)01-0001-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.01.001

Research on virtual optical network survivability in elastic optical network

REN Danping, WANG Wei, HU Jinhua, ZHAO Jijun

(School of Information and Electrical Engineering,

Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038, China)

Abstract: The virtual optical network mapping technology which realizes the sharing of the physical network resources, provides an opportunity for the development of new applications, in order to improve the service reliability of virtual optical network, the problem of virtual optical network survivability has attracted much attention. This paper introduces the principle of virtual optical network survivability and analyzes the problem of virtual optical network survivability from three different angles. Based on the problem of virtual optical network survivability, the optimization of virtual optical network is further analyzed. Finally, the paper analyzes the content that is not focused on in the current research and provides a reference for the study of problem of virtual optical network survivability.

Key words: elastic optical network; virtual optical network mapping; survivability

0 引言

物联网、云计算和高清视频等应用的出现推动了互联网技术的快速发展, 同时也对网络的功能和性能提出了更高的要求。弹性光网络能动态地分配频谱资源, 但现有网络环境为多运营商共同运营, 对网络资源进行管控具有一定难度。目前, 网络虚拟化技术被提出并用于解决网络管控问题, 而在网络虚拟化中实现底层资源共享的关键手段是虚拟网络映射^[1]。另外,

收稿日期: 2017-08-14。

基金项目: 河北省自然科学基金(F2017402068)资助; 河北省高等学校科学技术研究项目(QN2016090, QN2016142, QN2015046)资助。

作者简介: 任丹萍(1984-), 女, 博士, 研究生导师, 主要研究方向为下一代光网络与宽带接入。

随着网络规模的不断扩大, 网络一旦发生故障将带来不可估量的损失。虚拟光网络依赖底层物理网络而存在, 在网络虚拟化环境中, 底层物理网络故障会导致虚拟光网络故障。因此, 本文对虚拟光网络映射的生存性进行研究^[2]。

1 弹性光网络中虚拟光网络生存性原理

1.1 虚拟光网络映射

虚拟光网络映射技术不仅是实现多个虚拟网络共享底层物理资源的必要手段, 而且还能实现资源的灵活配置。目前, 二层、三层网络中对虚拟光网络映射问题的研究已经相对成熟, 并且有较为丰富的研究成果

果^[3]。但是,由于底层物理环境不同,这些研究成果不能直接应用于弹性光网络环境中,因此,对弹性光网络中虚拟光网络映射问题的研究十分必要。

假设底层物理网络为弹性光网络,由无向图 $G_s=(N_s, E_s)$ 表示,其中 N_s 和 E_s 分别是物理节点集合和物理链路集合。物理节点 $n_s \in N_s$ 上的可用计算资源定义为 $J_s(n_s)$,物理链路 l_s 上的可用频谱资源状况定义为 $D_s(l_s)$ 。包含 k 条链路的某一物理路径的频谱资源状况为 $L(P)=\cap_{i=1}^k D_s(l_s)$ 。 $MAX(L(P))$ 表示该路径具有的最大连续频谱资源数。虚拟光网络请求由无向图 $G_v=(N_v, E_v)$ 表示,其中 N_v 和 E_v 分别是虚拟节点集合和虚拟链路集合。虚拟节点 $n_v \in N_v$, n_v 需要的计算资源定义为 $J_v(n_v)$,虚拟链路 l_v 需要的连续频谱资源数为 $D_v(l_v)$ 。将虚拟节点 n_v 映射在物理节点 n_s 上表示为 $M(n_v)=n_s$,具体定义如下:

$$n_v \rightarrow n_s: M(n_v)=n_s, n_v \in N_v, n_s \in N_s \quad (1)$$

虚拟节点 n_v 映射在 n_s 上,意味着 n_s 需分配给 n_v 的计算资源为 $J_v(n_v)$ 。因此, n_s 的可用资源不能小于 n_v 所需求的计算资源,约束如下:

$$J_s(M(n_v)) \geq J_v(n_v), \forall n_v \in N_v \quad (2)$$

虚拟光网络映射时,将同一个虚拟光网络中的不同虚拟节点映射在不同的物理节点上,可以保证单个物理节点的故障不会同时影响虚拟光网络中的多个虚拟节点。因此,将虚拟节点映射在不同的底层物理节点上,表示如下:

$$M(i) \neq M(k), \forall i, k \in N_v \text{ 且 } i \neq k \quad (3)$$

与传统虚拟网络映射不同,弹性光网络中的虚拟光网络映射应遵循频谱连续性、频谱邻接性和频谱冲突性约束。虚拟链路映射时需要保证物理路径具有足够多的频谱资源可以供应给虚拟链路,约束如下:

$$MAX(L(P)) \geq D_v(l_v) \quad (4)$$

1.2 虚拟光网络生存性

虚拟光网络映射成功后,为虚拟光网络提供必要的生存性保证可以保障网络正常运行。虚拟光网络的生存性是指在网络发生故障后,网络能把受影响的业务重新选路,使网络恢复正常通信能力。虚拟光网络的生存性措施有保护和恢复两种^[4],这两种措施各有利弊。因此,在选择虚拟光网络的生存性措施中,可以根据不同的网络需求采用不同的措施。

在虚拟光网络映射数学模型的基础上,本文构建了一个简单的虚拟光网络生存性映射实例,如图1所示。节点和链路旁的数字为它们所具有(或需要)的资

源。针对简单的虚拟网络映射,节点映射过程中要满足式(2)和式(3)的约束条件,则对应的节点映射为 $\{a \rightarrow B, b \rightarrow C, c \rightarrow D\}$;链路映射需要满足式(4)的约束条件,则链路映射为 $\{(a, b) \rightarrow (B, C), (a, c) \rightarrow (B, D), (b, c) \rightarrow (C, D)\}$ 。为了保证虚拟网络的生存性,链路(B, C)的备份路径为(B, A, C),链路(B, D)的备份路径为(B, E, D),链路(C, D)的备份路径为(C, E, D)。一般情况下,工作路径和备份路径的选择除了要满足带宽资源约束外还会考虑最短物理距离、最小跳数等约束,这又增加了虚拟链路映射的复杂性。

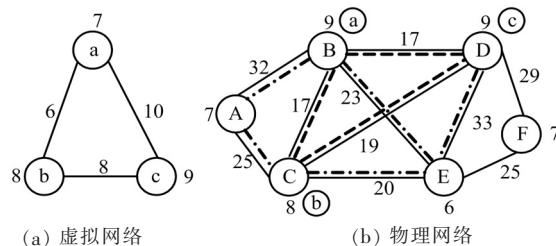


图1 虚拟网络映射问题实例

2 弹性光网络中虚拟光网络生存性技术现状

在弹性光网络环境中,相比于虚拟光网络的生存性措施,研究者关注更多的是保护性措施的研究,并且虚拟光网络映射时节点和链路的约束多为计算资源约束和带宽约束,对弹性光网络中恢复性措施的研究仍相对较少。本文列出了不同角度的虚拟光网络生存性映射技术,具体如表1所示。针对节点和链路的约束条件,文献[8~13]主要考虑了资源约束,而文献[5]将底层物理设备的失效概率与资源约束相结合,为节点和链路重新设定权值。文献[6]在资源约束的基础上考虑了物理设备的可用性信息。针对底层物理网络不同,文献[10~12]根据物理网络所具有的特点为其提供生存性保证。为了满足基础设施提供商对资源利用率和网络开销等方面的要求,文献[5]和文献[8]等对虚拟网络进行优化。

目前,对于弹性光网络中虚拟光网络生存性技术的研究可以分为两大类。第一类是单纯进行生存性映射算法的研究,目前的研究工作主要对静态、离线的虚拟光网络请求实施保护性措施。第二类是在生存性映射算法的基础上对虚拟光网络进行优化,例如提高虚拟光网络接收率、提高频谱资源利用率和减少网络开销等。

本文从多权值、综合措施和不同网络环境3个角度对弹性光网络中虚拟光网络生存性映射进行介绍。

表 1 虚拟光网络生存性技术分类

映射	生存性措施	主要约束条件	是否考虑物理网络特性	优化内容
具有网元失效概率的生存性虚拟网络映射 ^[5]	保护	失效概率	否	频谱资源利用率
可用性感知的生存性虚拟网络映射 ^[6]	保护	可用性信息	否	
信任感知的安全虚拟网络映射 ^[7]		资源约束、信任度	否	
具有共享备份路径保护的生存性虚拟网络映射 ^[8]	保护	资源约束	否	网络开销
具有不同保护措施生存性虚拟网络映射 ^[9]	保护	资源约束	否	
具有频谱和调制格式转换能力网络中的虚拟网络映射 ^[10]	保护	资源约束	是(具有频谱和调制格式转换能力)	
生存性损伤限制的虚拟网络映射 ^[11]	保护	资源约束	是(具有损伤限制)	网络开销
具有连续性感知的虚拟网络映射 ^[12]		资源约束	是(频谱连续性约束)	
节约成本的虚拟网络映射 ^[13]	保护	资源约束	否	网络开销

2.1 多权值下的虚拟光网络生存性技术

传统虚拟光网络生存性映射中,虚拟节点和虚拟链路的约束一般是资源约束。然而,映射中节点和链路的约束可以不只局限于资源约束,在满足资源约束的前提下可以考虑将具有其它意义的值作为权重,例如底层物理设备的失效概率、物理设备可用性和成本等。

文献[5]中 Yang 等人研究了虚拟光网络映射中考虑物理设备失效概率的专用路径保护策略,通过定义物理链路和光转发器的失效概率,将工作路径和其对应备份路径的联合失效概率作为底层物理链路新的权重。通过仿真^[5],证明物理设备失效概率的专用路径保护策略可以有效地减少虚拟光网络的失效概率。但是,对于虚拟链路的映射,文献[5]只是假设底层物理链路的带宽资源是充足的,并没有考虑其实际带宽资源是否充足。文献[6]中 Jiang 等人通过综合考虑物理节点的剩余资源和可用性为物理节点重新定义权重值,并根据贪婪思想进行节点映射。仿真结果^[6]表明,考虑可用性要求的生存性措施实现了较小的阻塞率。文献[7]将信任概念和信任度引入到虚拟网络资源分配中,通过选用高信任度的物理节点和链路增强虚拟光网络的安全性,提高了虚拟光网络的生存性,增加了映射的稳定性。

文献[5~7]研究了虚拟光网络映射中具有概率约束的保护性策略问题。这种策略摆脱传统映射中单纯的计算资源约束和带宽资源约束,使备份链路和备份节点更加安全可靠,同时使虚拟光网络具有更好的生存性。

2.2 综合措施下的虚拟光网络生存性技术

在虚拟光网络生存性映射技术的研究中,主要是对保护性措施的研究。研究人员提出了一种基于辅助图的专用路径保护策略,以应对单链路失效和单节点

失效。由于频谱和再生器资源缺乏,研究人员采用了共享备份路径保护的生存性优化设计方案。由于专用路径保护措施消耗了过多的资源来保证虚拟光网络服务的生存性,研究人员提出了一种改进的共享备份路径保护方法^[8]。综合措施下的虚拟光网络生存性技术可以考虑结合传统专用路径保护、共享备份路径保护等方法的优点。

文献[8]提出一种基于动态开销模型的虚拟光网络映射共享备份路径保护策略,其中共享备份路径保护分为不同虚拟请求间的备份路径共享和虚拟请求内的备份路径共享。仿真结果^[8]显示,与备份路径不可共享的基准算法相比,共享备份路径保护策略具有更低的频谱资源消耗。文献[9]对专用路径保护、压缩式专用路径保护等不同的保护方案进行了详细介绍,并列出了 3 种启发式映射算法。仿真结果^[9]表明多重保护机制比专用路径保护使用的频谱资源更少。除了文献[8,9]中介绍的对传统的专用路径保护和共享保护方法的改进外,还可以根据图论的知识,分析虚拟拓扑图和物理拓扑图,对虚拟网络进行生存性映射。

2.3 不同网络环境下的虚拟光网络生存性技术

因为底层物理网络环境的不同,其所具备的功能也不尽相同,例如部分网络具有频谱和调制格式转换能力,所以在提供生存性保证时可能需要考虑其它的条件。弹性光网络中的虚拟网络映射与波分复用光网络不同,必须满足频谱邻接性约束条件、频谱连续性约束条件和频谱冲突性约束条件。此外光信号容易受到物理因素的影响,例如噪声、光纤的线性和非线性损伤、光纤链路信道间及信道内部的相互串扰等。因此,在进行虚拟光网络生存性研究时需结合特定物理网络环境展开研究。

文献[10]介绍了具有频谱和调制格式转换功能的光网络环境下专用路径保护的生存性策略。仿真结

果^[10]表明,该文献中提出的结合式专用路径保护策略能有效降低虚拟网络映射的阻塞率。文献[11]进一步对虚拟光网络映射中损伤限制下的专用路径保护策略进行研究。仿真结果^[11]表明,该保护策略为虚拟网络提供了更高的生存性,与基准算法相比,启发式算法产生的网络开销更低。文献[12]考虑了弹性光网络中的频谱连续性限制,并提出了连续性感知的虚拟网络映射算法。

3 虚拟光网络生存性映射的优化

目前,虚拟光网络生存性映射的优化研究中,主要是以提高资源利用率和减少成本为目标,例如减少物理网络设施(如转发器、再生器等)的开销,减少阻塞率等。要实现“绿色”映射,不仅要提高虚拟网络的生存性,还要在此基础上进一步优化,使网络的服务质量进一步提升,实现运营商与用户的互利共赢。

文献[11]主要研究了损伤限制下的生存性策略,文中以最小化工作路径和备份路径的总开销为目标对虚拟网络进一步优化。虚拟光网络映射成功后,通过对比不同调制格式和链路速率下的网络开销来选择最优的方案。为了解决网络开销问题,文献[13]介绍了网络开销模型、启发式映射算法、最大带宽需求对应最短距离路径算法和最大计算资源需求映射最短距离路径算法。仿真结果^[13]表明,与基准算法相比,最大带宽需求对应最短距离路径算法和最大计算资源需求映射最短距离路径算法不仅解决了最小化网络开销问题,而且保证了频谱资源消耗和再生器的数量最少。文献[8]以最小化工作路径和备份路径资源消耗为目标,提出了一种动态开销模型,该模型通过共享频隙计算工作路径和备份路径的资源消耗。仿真结果^[8]表明,相比于基准算法,基于动态开销模型的映射算法消耗的资源更少。

综上所述,在目前虚拟光网络的生存性技术研究中,主要是针对简单的单链路故障或单节点故障,没有深入讨论多链路故障、多节点故障或区域故障的场景。对于生存性措施,研究的重点仍是保护性措施,尤其是专用路径保护,对恢复性措施的研究还相对较少。因此,在今后的研究中不仅可以加大对单节点或单链路故障下保护性措施的研究,还可以深入研究多故障或区域故障下的生存性问题。

4 结束语

本文主要从3种不同角度对弹性光网络中虚拟

光网络的生存性技术进行分析,并且对虚拟光网络生存性映射的优化进行了介绍。在目前的研究中,研究人员对保护措施下的虚拟光网络成本优化问题仍十分重视。因此,结合本文中3种不同的角度及弹性光网络环境的特点,以节约成本为目的,根据不同虚拟请求的要求对虚拟光网络保护机制进行深入研究仍是研究的主要趋势。

参考文献:

- [1] 李小玲,王怀民,丁博,等. 虚拟网络映射问题研究及其进展[J]. 软件学报,2012(11):3009-3028.
- [2] XIE W, JUE J P, ZHANG Q, et al. Survivable virtual optical network mapping in flexible-grid optical networks[C]//Computing, Networking and Communications (ICNC), February 3-6, 2014, Hawaii, USA. Piscataway: IEEE, 2014.
- [3] CHEN B. Power-aware virtual optical network provisioning in flexible bandwidth optical networks [Invited][J]. Photonic Network Communications, 2016, 32(2): 300-309.
- [4] 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.
- [5] YANG H, CHENG L, LUO G, et al. Survivable virtual optical network embedding with probabilistic network-element failures in elastic optical networks[J]. Optical Fiber Technology, 2015, 23(3): 90-94.
- [6] JIANG H, WANG Y, GONG L, et al. Availability-aware survivable virtual network embedding in optical datacenter networks [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2015, 7(12): 1160-1171.
- [7] 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(11):180-189.
- [8] WANG Y, LI X, GUO B, et al. Survivable virtual optical network mapping in elastic optical networks with shared backup path protection [C]//Wireless and Optical Communication Conference (WOCC), May 21-23, 2016, Chengdu, China. Piscataway: IEEE, 2016.
- [9] ASSIS K D R, PENG S, ALMEIDA R C, et al. Network virtualization over elastic optical networks with different protection schemes [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2016, 8(4): 272-281.
- [10] KHANDAKER F A, XIE W, JUE J P, et al. Survivable virtual optical network mapping in spectrum and modulation format convertible flexible grid optical networks [C]//Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 22-26, 2015, Los Angeles, USA. Piscataway: IEEE, 2015.
- [11] XIE W, JUE J P, ZHANG Q, et al. Survivable impairment-constrained virtual optical network mapping in flexible-grid optical networks [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2014, 6(11): 1008-1017.
- [12] WANG W, ZHAO Y, HE R, et al. Continuity Aware Spectrum Allocation Schemes for Virtual Optical Network Embedding in Elastic Optical Networks[J]. Optical Fiber Technology, 2016, 29(3): 28-33.
- [13] CHEN B, ZHANG J, XIE W, et al. Cost-effective survivable virtual optical network mapping in flexible bandwidth optical networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2016, 34(10): 2398-2412.