

基于资源节约策略的弹性光网络碎片整理算法

程博凯,杭程,胡云霏,刘仕鑫,于俊良,王宇彤,沈建华*

(南京邮电大学通信与信息工程学院,南京 210003)

摘要:弹性光网络(EON)中的业务频谱分配需要同时满足子载波频谱一致性和连续性约束,不同带宽需求的业务分配或释放后会产生大小不同的频谱碎片,影响后续业务的分配和频谱资源利用率。提出一种改进的基于资源节约策略(RSS)的EON碎片整理算法。进行碎片整理时,能够使得整理出来的连续可用频隙数与到达业务所需频隙数尽可能相等,避免产生新的频谱碎片。理论分析和仿真结果表明:在100~600 Erl内,改进的碎片整理算法与传统碎片整理算法相比,带宽阻塞率最优可降低8.54%。

关键词:弹性光网络;碎片整理;带宽阻塞率

中图分类号:TN929.1 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)03-0045-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Defragmentation algorithm based on resource saving strategy for elastic optical networks

CHENG Bokai, HANG Cheng, HU Yunfei, LIU Shixin, YU Jiaoliang, WANG Yutong, SHEN Jianhua*

(School of Communications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications (NJUPT), Nanjing 210003, China)

Abstract: The spectrum allocation in elastic optical network (EON) needs to meet the spectrum consistency and continuity constraints of subcarriers at the same time. The spectrum fragments of different sizes will be generated after the allocation or release of services with different bandwidth requirements, which will affect the allocation of subsequent services and the utilization of spectrum resources. An improved EON defragmentation algorithm based on resource saving strategy (RSS) is proposed. In the process of defragmentation, the number of continuously available frequency gaps and the number of frequency gaps needed for arriving services can be as equal as possible to avoid the generation of new spectrum fragments. Theoretical analysis and simulation results show that in 100~600 Erl, compared with the traditional defragmentation algorithm, the improved algorithm can reduce the bandwidth blocking rate by 8.54%.

Key words: elastic optical networks; defragmentation; bandwidth blocking probability

0 引言

传统的波分复用(WDM)网络中,相邻信道之间的间隔遵循国际电信联盟(ITU-T)标准规定的固定间隔,但其固定频谱栅格和较粗带宽粒度的特点,使WDM网络在面对当前及未来复杂多变的业务需求时存在较低的频谱利用率和较差的扩展性。弹性光网络

(EON)采用正交频分复用技术,将网络频谱资源进一步分割成颗粒度较小的频谱单元(即频隙),并可根据实际的业务需求分配适宜的邻接频谱单元,据此进行动态有效的频谱资源分配,从而提高了网络中资源的利用率和业务传输效率。EON也被广泛认为是下一代光网络发展的主要方向之一^[1]。

路由选择与频谱分配(RSA)问题是EON中的核心问题,其目标是为每个到达的业务计算并分配合理的带宽和路由,从而优化频谱利用率^[2]。由于频谱分配需要遵守一致性和连续性约束^[3],在网络的动态建立与拆除过程中,可能会产生大量的频谱碎片,频谱碎片会降低频谱资源的利用率并严重影响后续业务的传输。

收稿日期:2019-10-12。

作者简介:程博凯(1994-),男,江苏昆山人,硕士,美国光学学会会员,现就读于南京邮电大学通信与信息工程学院电子与通信工程专业,主要从事弹性光网络中路由和频谱分配方向的研究。发表EI检索会议论文1篇,获国家励志奖学金、研究生一等奖学金。

*通信作者:沈建华(E-mail: shenjiah@njupt.edu.cn)。



针对这一问题, 频谱碎片整理算法受到学界的关注^[4,5]。频谱碎片整理是减小或消除频谱碎片的有效方法。目前, 学术界已经提出了一些频谱碎片整理策略, 以降低业务阻塞率和提高资源利用率。Stiakogiannakis 等人^[5]提出了基于飘移阻塞邻居(FBN)的频谱碎片整理算法, 当最大的空闲频谱块无法承担业务时, 搬移最大频谱块相邻的业务来扩大连续可用频隙数, 从而建立业务, 但其缺点是没有考虑新的、更小的碎片产生。文献[6]提出了一种贪婪式碎片整理算法, 该算法选择源节点到目的节点中的最短路径, 若最短路径有足够的频谱资源, 每一个连接请求都会重构到最短路径上尽可能低的频谱位置, 这样可以最小化现有连接所需的总频谱资源, 但缺点是会出现为了资源的平滑程度而使业务搬移到跳数较多的路径的情况, 从而造成较大的网络延时。另外, Seydou Ba 等人^[7]提出了一种基于保护路径的无损频谱碎片整理算法, 将业务从工作路径转移到备份路径传输, 着力于保护路径, 但其缺点是占用较多的频谱资源, 对于缓解工作路径上业务阻塞的效果不是非常明显。

虽然目前提出了很多改进的算法, 但大多仅考虑满足当前到达业务能够建立, 没有考虑整理碎片和业务建立后链路状态对后续业务建立的影响。本文提出一种改进的基于资源节约策略(RSS)的 EON 碎片整理算法, 采用阻塞触发和频谱资源重构的机制, 在碎片整理时可以尽量避免整理后产生新的、更小的碎片, 从而有效降低带宽阻塞率、提高资源利用率。

1 算法工作原理

本文所提的碎片整理算法的中心思想是: 在进行碎片整理时, 使得整理出来的连续可用频隙数与到达业务所需频隙数尽可能相等。在完成业务建立后, 避免产生新的、更小的碎片。

当新业务到达时, 若当前链路无法满足业务建立需要遵守的一致性和连续性要求, 则会触发碎片整理。此时, 传统的 FBN 碎片整理算法将优先从最大的空闲频谱块入手。不同阶段的链路状态如图 1 所示。图 1(a)中, 若到达业务需要从节点 D 经过节点 F 到达节点 E, 则需要 4 个频隙。为遵循频谱一致性约束, 并便于后续说明, 我们将已占用频隙标记为“1”, 未占用频隙标记为“0”, 每条链路相同位置的频隙进行或运算, 形成组合链路如图 1(b)所示。由组合链路可知, 当前链路状态无法满足业务建立, 于是, 触发碎片整理。FBN 碎片整理算法将选定最大的空闲频谱块, 即包含

3 个空闲频隙的空闲频谱块 B, 并搬移最大空闲频谱块前的业务, 进行局部的碎片整理得到的链路状态如图 1(c)所示。此时, 当业务建立后, 会出现 1 个新的频谱碎片(图 1(d)中虚线部分)。

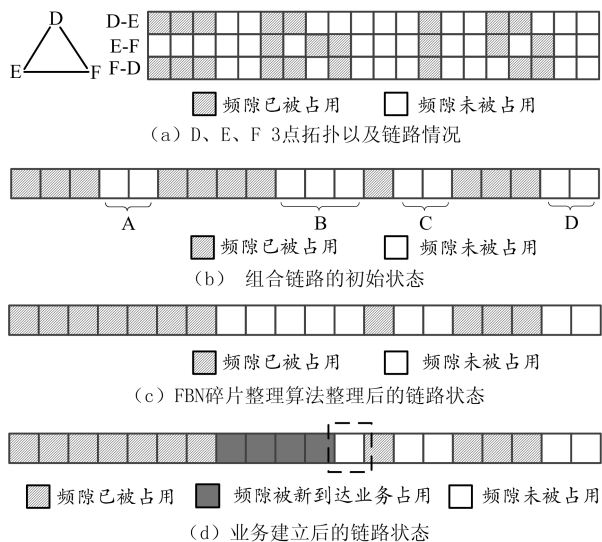


图 1 不同阶段的链路状态

针对 FBN 碎片整理算法的不足, 本文提出一种改进的基于 RSS 的 EON 碎片整理算法。其伪代码如图 2 所示。

运行 RSS 碎片整理算法将得到 2 种不同结果:

①得到 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, 共 n 个均满足频谱资

```

1. 业务阻塞, 触发碎片整理
2. 设到达业务需要  $B$  个频隙, 链路中空闲频谱块  $Be_i$  个
3. 计算第  $i$  个频谱块的空闲频隙个数为  $Bei$ 
4.  $M$  为空集
5.  $S=0$ 
6. For  $i$  in  $[1, Be]$ 
7.      $S=S+Bei$ 
8.     if  $S < B$ 
9.          $Bei$  存入集合  $M$  中
10.    if  $S=B$ 
11.         $Bei$  存入集合  $M$  中并输出集合  $M$ , 再去掉集合  $M$  中的第 1 个元素
12.    if  $S > B$ 
13.         $Bei$  存入集合  $M$  中, 去掉集合  $M$  中的第 1 个元素
14.    end if
15.    若剩余未遍历频谱块的频隙之和小于  $B-S$ , 则立刻终止算法
16. End for
  
```

图 2 RSS 碎片整理算法描述

源节约策略的方案。此时, 选择需要整理业务最少的方案去执行, 并建立业务。

②没有得到满足条件的 M 集合, 此时将采用 FBN 碎片整理算法, 选择最大空闲频谱块, 将其前面的业务往低频段搬移, 使得最大空闲频段块变大, 若此时仍无法满足到达业务 B , 则业务阻塞, 反之则业务建立成功。

仍以图 1(b) 所示链路状态为例对 RSS 碎片整理算法工作原理进行说明: 若到达业务需要 4 个频隙, 当前状态无法满足业务建立, 触发碎片整理。将频谱块 A、B 放入集合 M 中, 此时整理所得连续可用频隙数为 5, 大于所需频隙数 4, 故将频谱块 A 从集合中去除, 并将频谱块 C 放入集合 M 中, 此时整理所得连续可用频隙数为 5, 仍大于所需频隙数 4, 故将频谱块 B 从集合中去除, 并将频谱块 D 放入集合 M 中, 此时整理所得连续可用频隙数等于所需频隙数, 故得到方案 M_1 , 因后续无空闲频谱块, 算法结束。业务建立后的链路状态如图 3 所示。通过整理频谱块 C、D, 使得到达业务建立的同时不再产生新的频谱碎片, 为后续到达业务的建立创造了条件。

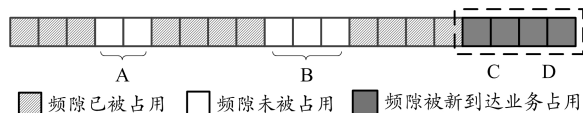


图3 业务建立后的链路状态

本文所提算法对频谱状态进行 1 次遍历, 故时间复杂度为 $O(n)$ 。同时, 需要使用额外存储变量 m 和 s 。 m 为存储频谱块元素, s 为存储频隙数的累和。 m 和 s 均与 n 为线性关系, 故该算法的空间复杂度为 $O(n)$ 。

2 数值仿真和结果分析

目前, 现网中大规模商用的光网络设备端口主要为 100G 和 400G, 再考虑到 ITU-T 针对光传送网 (OTN) 制定的不同类型前向纠错 (FEC) 方案。因此, 一般光网络中单端口的最高速率不超过 500 Gb/s。本文仿真采用中国教育科研网 (20 个节点, 22 条链路) 作为网络拓扑。假设每条链路中只有一个光纤对, 每条光纤总频谱带宽为 4000 GHz, 选取频隙为 12.5 GHz, 频隙数为 320, 保护带宽占用 2 个频隙。仿真中网络业务在 10~400 Gb/s 随机取值。

为验证本文提出改进 RSS 碎片整理算法的性能, 采用数值仿真方法对其与不采用碎片整理的 D+FF (D 为 Dijkstra 算法, FF 为首次分配法) 和 FBN 碎片整理

算法进行对比分析。仿真主要考察的性能为带宽阻塞率 (BBP)^[8]、资源利用率 (SRU) 和单次碎片整理时业务重构平均数^[9,10] (以下简称“重构平均数”)。BBP 和 SRU 定义分别如下:

$$BBP = \frac{|S_b|}{|S| + |S_b|} \quad (1)$$

$$SRU = \frac{\sum_{e=1}^{|E|} \eta_e}{|E|} \quad (2)$$

其中, S_b 表示被阻塞业务的集合; S 表示成功建立业务的集合; η_e 表示第 e 条链路上的资源利用率, 等于该链路中已占用频隙数与总频隙数之比; $|E|$ 表示网络中总链路数。

3 种算法下的 BBP 和 SRU 的比较如图 4 和图 5 所示。在网络负载较小时, 3 种算法的 BBP 和频谱 SRU 均相差不明显; 在网络负载为 300 Erl 时, RSS 碎片整理算法的 BBP 为 0.18, 比 FBN 碎片整理算法、D+FF 算法分别降低了 8.54%、12.96%。在网络负载为

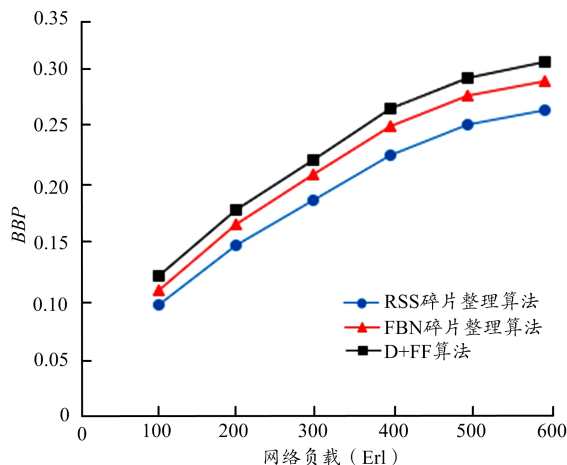


图4 BBP比较

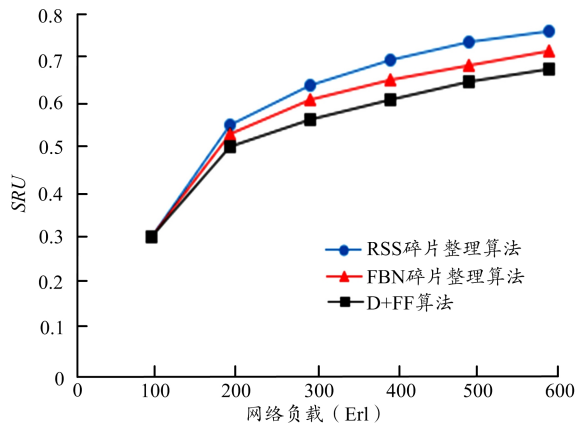


图5 SRU比较

程博凯, 杭程, 胡云霏, 等: 基于资源节约策略的弹性光网络碎片整理算法

500 Erl 时, RSS 的频谱 SRU 比 FBN 碎片整理算法和 D+FF 算法分别提高 6.70%、11.84%。当网络负载进一步增大时, BBP 的差值减小, 这是因为网络负载较大的情况下, 可分配的网络资源减少。

RSS 碎片整理算法和 FBN 碎片整理算法重构平均数的比较情况如图 6 所示。在网络负载较小时, 因为可用网络资源较多, 2 种算法的重构平均数均较低; 在网络负载处于 100~200 Erl 时, 频谱碎片增多, 2 种算法的重构平均数迅速上升; 在网络负载进一步增加时, 2 种算法的重构平均数进入平稳上升状态。此外, 在所有网络负载情况下, FBN 碎片整理算法相比于 RSS 碎片整理算法, 重构平均数最多仅减小了 1.89%。

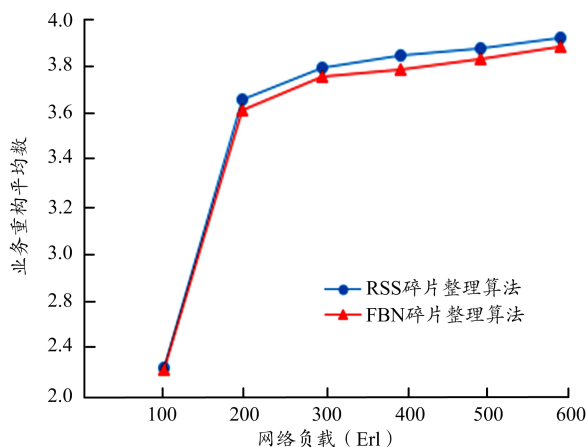


图 6 单次碎片整理时, 业务重构平均数比较

总体而言, RSS 碎片整理算法在碎片整理的代价和收益之间取得了一个较好的平衡。相比于 FBN 碎片整理算法, RSS 碎片整理算法仅增加较少的业务重构数, 在带宽阻塞率和频谱资源利用率上获得了较大的改善。

3 结束语

EON 作为下一代光网络的主要发展方向之一, 频谱碎片与其解决策略是 EON 中 RSA 算法的最核心问题之一。本文提出了一种改进的基于 RSS 的 EON 碎

片整理算法。当业务发生阻塞时, 该算法尽可能地避免在进行碎片整理和业务建立之后产生新的碎片。数值仿真结果表明: 基于 RSS 的 EON 碎片整理算法相比于传统算法最优时的阻塞率降低了 8.54%, 最优时的资源利用率提高了 6.70%。

参考文献:

- [1] ZHANG L, ANSARI N, KHREISHAH A. Anycast Planning in Space Division Multiplexing Elastic Optical Networks With Multi-Core Fibers[J]. IEEE Communications Letters, 2016, 20(10): 1983-1986.
- [2] CHATTERJEE B C, SARMA N, OKI E. Routing and Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks: A Tutorial [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, 17(3): 1776-1800.
- [3] CHATTERJEE B C, BA S, OKI E. Fragmentation Problems and Management Approaches in Elastic Optical Networks: A Survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20(1): 183-210.
- [4] 鞠卫国, 黄善国, 徐珍珍, 等. 面向频谱融合的路由频谱分配和碎片整理算法[J]. 光子学报, 2013(8): 51-57.
- [5] STIAKOIANNAKIS I, PALKOPOULOU E, KLONIDIS D, et al. Dynamic cooperative spectrum sharing and defragmentation for elastic optical networks[J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2014, 6(3): 259-269.
- [6] PATEL A N, JI P N, JUE J P, et al. Defragmentation of transparent Flexible optical WDM (FWDM) networks[C]// Optical Fiber Communication Conference and Exposition 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference 2011(OFC/NFOEC), March 6-10, 2011, Los Angeles, United States. New York: IEEE, 2011.
- [7] BA S, CHATTERJEE B C, OKI E. Defragmentation Scheme Based on Exchanging Primary and Backup Paths in 1+1 Path Protected Elastic Optical Networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2017 (25): 1717-1731.
- [8] SHI W, ZHU Z, ZHANG M, et al. On the Effect of Bandwidth Fragmentation on Blocking Probability in Elastic Optical Networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2013, 61(7): 2970-2978.
- [9] COMELLAS J, VICARIO L, JUNYENT G. Periodic Defragmentation in Elastic Optical Networks[C]//20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), July 1-5, 2018, Bucharest, Romania. New York: IEEE, 2018.
- [10] SINGH S K, JUKAN A. Efficient spectrum defragmentation with holding-time awareness in elastic optical networks [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2017, 9(3): B78-B89.

2020 年 光通信技术 征订启事 月刊

邮发代号: 48-126

定 价: 16 元/册; 192 元/年

订 阅: 全国各地邮局