

弹性光网络中基于持续时间的奇偶分区频谱分配算法

张盛峰,王鹏,袁强,黄胜

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院,重庆 400065)

摘要:为了解决弹性光网络中频谱碎片过多的问题,提出了一种基于持续时间的奇偶分区频谱分配(OEPSA-HT)算法。该算法考虑混合速率业务、业务持续时间等因素,根据链路中不同类型的业务划分专用区域,同时将专用区域分为奇偶2种类型,使得相邻的奇偶区域之间形成共享区域,提高业务传输的成功率;并且结合业务的持续时间,采用一种分区-时间结合策略,在时域下有效地减少频谱碎片。仿真结果表明:算法能够有效地减少带宽阻塞率,同时提高频带利用率。

关键词:频谱碎片;奇偶分区;持续时间;带宽阻塞率;频带利用率

中图分类号:TN929.11 文献标志码:A 文章编号:1002-5561(2020)07-0047-05

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.07.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Odd-even partition spectrum assignment algorithm based on holding time for elastic optical networks

ZHANG Shengfeng, WANG Peng, YUAN Qiang, HUANG Sheng

(Institute of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In order to solve the problem of excessive spectrum fragmentation in elastic optical networks, this paper proposes an odd-even partition spectrum assignment algorithm based on holding time. The algorithm considers the factors such as the mixed line rate services and the holding time for services, according to the different types of services in the link, the special area is divided into two types: odd and even, which makes the adjacent odd and even areas form a shared area and improves the success rate of service transmission. Combined with the holding time of the services, a partition-time combine strategy is adopted to effectively reduce the spectrum fragmentation in the time domain. The simulation results show that the algorithm can effectively reduce the bandwidth blocking probability and improve the spectrum utilization ratio.

Key words: spectrum fragmentation; odd-even partition; holding time; bandwidth blocking probability; spectrum utilization ratio

0 引言

近年来,随着通信技术的不断创新和互联网行业的发展,视频会议、超高清电视、云计算和大数据等应用的不断涌入,网络中信息流量呈现指数性增长,并且社会对大容量网络的需求在持续不断地增加,驱动了大容量光网络的发展^[1]。相比于传统的波分复用网络,弹性光网络实现了更加灵活的带宽分配,提高了各种粗细粒度业务速率的成功传输,减少了由于固定

收稿日期:2020-01-04。

基金项目:国家自然科学基金(61571072)资助。

作者简介:张盛峰(1977—),男,副教授,硕士生导师,现就职于重庆邮电大学通信与信息工程学院,从事教学和科学研究工作。主要研究方向为光网络、网络生存性和内容中心网络,负责完成和参与省部级、国家级项目共7项。



带宽粒度而导致的带宽浪费,极大地提高了频谱的利用率^[2]。另一方面,网络流量时刻发生着变化,大量业务动态地到达和离开,导致光网络中形成过多的频谱碎片,这些频谱碎片极大地限制了业务的传输,因此对光网络的路由和频谱分配及碎片整理的研究极其重要。

现有的文献已经提出了许多解决方法。文献[3]根据业务速率选择子载波的调制格式,提出一种按照业务需求排序的网络优化启发式算法和整数线性规划(ILP)模型,通过对排序的初始请求分配频隙来最小化目标函数,但是该算法没有考虑业务的持续时间。文献[4]对静态网络控制器接收的业务频隙进行流量监控,然后推断出适合业务的分布区域并划分频谱,这种方法虽然可以避免频谱碎片对网络造成的不公平性,但是忽略了动态网络中产生的频谱碎片。文献[5]

针对弹性光网络中业务的持续时间进行重路由,采用“hitless defragmentation”方法减少网络流量中断的时间,使后续业务有足够的空闲频谱块进行分配,但是该方法没有考虑不同业务类型下产生的频谱碎片。文献[6]考虑2个相邻业务的持续时间差和链路上的频谱碎片化程度,使业务分配后路径上的频谱碎片最小化,但是并没有考虑混合速率共存的情况下产生的频谱碎片。文献[7]对不同的业务划分不同的专用区域,并在专用区域无可用资源时,设计了一种区域选择方式,综合考虑其它区域的最小化频谱占用冲突概率,但是该方法未考虑采用相邻专用区域之间的空闲频谱块去容纳业务请求。

综上所述,虽然现有的大多数文献能够从业务差异性或者业务持续时间方面提出不同的频谱分配方法,但是都没有考虑当业务释放后对网络中空闲频谱块的整理,导致业务阻塞率增加。因此,根据现有研究工作的问題,本文考虑在弹性光网络混合速率共存的情况下,提出一种具有持续时间的奇偶分区频谱分配(OEPSA-HT)算法。

1 频谱碎片问题

在静态网络环境中,常常采用首次命中(FF)、最后拟合(LF)和最佳拟合(BF)与不同分区方式相结合^[8-10],改善网络中的碎片化情况。但是,均未考虑当网络运行一段时间后,由于业务的到达和释放会使区域中频谱分段产生频谱碎片,造成区域内部业务阻塞问题。在动态网络环境中,当业务请求到达时,可以通过网络的在线服务技术感知业务的到达时间、持续时间和离开时间^[11]。本文考虑通过业务持续时间对区域中业务进行调整。假设7个频隙占用状态如图1所示。图1(a)中某区域内的业务 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 和 R_6 在不考虑业务持续时间的情况下,频带利用率很高,但是随着较短时间业务 R_2, R_5 和 R_6 释放,会使区域频谱碎片化。因此,最有效的方法是对区域内请求进行调整,

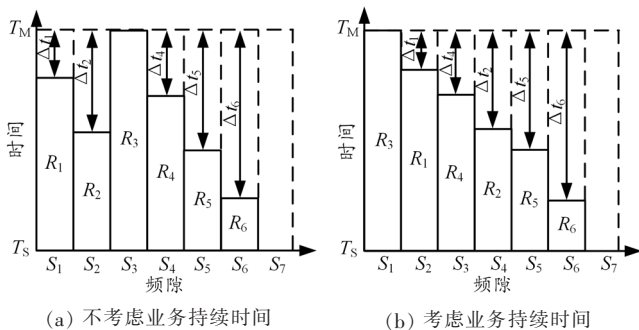


图1 频谱分配方式

对区域中的业务按业务持续时间降序排列,频谱分配方式如图1(b)所示。当业务请求离开网络时,业务请求持续时间集合 $S_{t_i} = \{T_M - \Delta t_1, T_M - \Delta t_2, T_M - \Delta t_3, \dots\}$ 调整成为有序集合。其中, T_M 为现有请求业务持续时间的极大值, T_s 为区域中新到业务请求的起始时间, Δt_i 为 T_M 与第 i 个业务持续时间的差值。这时业务请求逐一释放,区域内频谱碎片最小化,并且使用“hitless defragmentation”^[12]方法对业务进行调整,减少业务断开到建立的时间差,避免业务中断产生不必要的频谱碎片。

2 OEPSA-HT 算法原理

2.1 OEPSA-HT 算法思想描述

本文提出的 OEPSA-HT 算法旨在解决混合速率业务下的频谱碎片化问题。该算法根据业务的多样性和业务的持续时间,划分不同类型业务所对应的区域,将区域分为奇偶2种类型,在奇偶区域内的业务选择不同的频谱分配方式,并根据业务的持续时间顺序依次分配,这样能为链路提供最大的空闲频谱块,提高链路中其它业务传输的成功率。这种策略在网络负载较大的情况下也能保证业务的高效传输。

2.2 分区策略

弹性光网络中光路动态的建立与拆除,网络中会产生不连续且频隙数较少的频谱块,这些频谱块无法满足网络中后续业务的传输需求,导致了业务的阻塞。本文考虑不同速率的业务请求,将整个频谱分成几个独立分区^[6],以限制频谱邻接性约束。本文提出的分区策略,在满足约束条件的情况下,按照业务种类的不同划分独立区域 $Z_{S_i} = \{Z_{S_1}, Z_{S_2}, Z_{S_3}, \dots\}$,根据式(1)和式(2)可以计算出每个区域的最大业务数和每个区域的频谱资源大小^[6]。

$$K = \frac{B}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot G_i} \quad (1)$$

$$Z_{S_i} = K \cdot S_i \cdot G_i \quad (2)$$

其中, K 表示每个区域中能够分配业务数量的最大值, Z_{S_i} 表示第 i 种类型业务的区域占用的频隙数, B 表示每条链路中总频隙数, S_i 表示每种类型业务占用的频隙数集合, $S_i = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, G_i 表示每种类型业务流量强度比集合, $G_i = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ 。假设每种类型的业务流量强度相同,并且当余数不为零时,剩余的频谱资源留给最后一个分区。

2.3 OEPSA-HT 策略

虽然简单的分区策略^[4,7-8]可以缓解频谱碎片的产

生,但是当单个区域的频谱资源无法容纳业务请求时,这些分区方式会限制业务传输,因此本文考虑通过相邻区域之间的空闲频谱块容纳业务请求,并提出一种 OEPSA-HT 策略,原理如下:首先将整个区域分为奇偶 2 种类型的区域,奇区域表示 i 为奇数区域的总称,偶区域表示 i 为偶数区域的总称。奇区域与偶区域两两相隔,并且将链路中划分的首个区域设为奇区域,奇区域的业务请求按照 FF 策略分配,偶区域的业务请求按照 LF 策略分配。假设有 3 种类型的业务 $S_i = \{1, 2, 3\}$,并且每种类型业务的流量强度相同,每条链路的总频隙数为 19,OEPSA-HT 算法根据不同业务类型将整个频谱分为 3 个区域,每个区域大小为 3 频隙、6 频隙和 10 频隙。传统的分区策略如图 2(a)所示,每个区域的业务都按照 FF 策略分配。当区域 Z_{S_3} 频谱资源趋于饱和时,无法继续容纳相应类型的业务,业务被阻塞。本文提出的奇偶分区策略如图 2(b)所示,奇区域 Z_{S_1} 中业务按 FF 策略分配,偶区域中业务 Z_{S_2} 按 LF 策略分配,这样能产生拥有空闲频谱块的共享区域 C_{12} 。 C_{12} 为相邻奇偶区域 $Z_{S_i}, Z_{S_{i+1}}$ 中空闲频谱块的结合,并且只有当 i 为奇数时,2 个相邻区域之间才有能够结合的剩余频谱资源 C_{i+1} 。当专用区域无足够容纳业务的频隙时,可以通过共享区域进行分配,这种策略可以使带宽较大的业务也有极高的传输成功率。

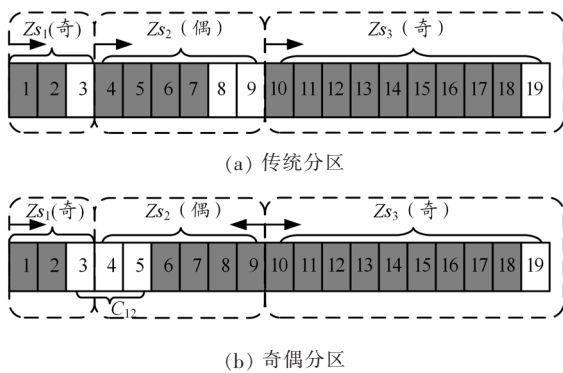


图 2 频谱分配

2.4 分区-时间结合策略

为了使分区策略效应最大化,本文进一步针对奇区域和偶区域的业务按照业务持续时间进行调整,即在考虑业务持续时间的情况下,奇区域中的业务按照持续时间降序排列并通过 FF 策略分配,偶区域的业务按照持续时间升序排列并通过 LF 策略分配。通过这种频谱分配方式,奇区域中持续时间较短的业务始终在该区域较高频隙索引处分配,而偶区域中持续时间较短的业务始终在该区域较低索引频隙处分配。当奇偶区域持续时间较短的业务释放后,奇区域的较高

索引频隙和偶区域的较低索引频隙逐渐处于空闲的状态,使共享区域的空闲频谱块逐渐增大,进而容纳更多的业务请求。基于时间分区调整的情况如图 3 所示,根据 3 种不同类型的请求划分不同的专用区域 Z_{S_1}, Z_{S_2} 和 Z_{S_3} ,奇区域 Z_{S_1}, Z_{S_3} 与偶区域 Z_{S_2} 相隔,每个区域的持续时间集合为 S_{t_1}, S_{t_2} 和 S_{t_3} 。当新业务请求到达时,根据新业务请求的起始时间对区域内现有业务请求进行更新,奇区域的持续时间集合更新为降序集合 $S_{t_1} = \{T_M - \Delta t_1, T_M - \Delta t_2\}$,偶区域的持续时间集合更新为升序集合 $S_{t_2} = \{T_M - \Delta t_3, T_M - \Delta t_4\}$ 。根据更新后的集合对区域内的业务请求进行调整,调整方式为降序集合的业务请求从频隙的开始索引依次分配,升序集合的业务请求从结束索引开始分配。随着时间到达,区域 Z_{S_2} 中的业务 R_3, R_4 释放,区域 Z_{S_1} 中的业务 R_2, R_1 释放,共享区域 C_{12} 逐渐增大。虽然这种方案可能会破坏分区策略,但是在共享区域内的业务释放之后到达的业务优先考虑在独立区域中分配,因此,这种分区策略只是对共享区域的临时借用。通过这样的分配方式,能够减少区域内部的频谱碎片,也能最大化共享区域,使无法在独立区域分配的业务有极高的传输成功性。

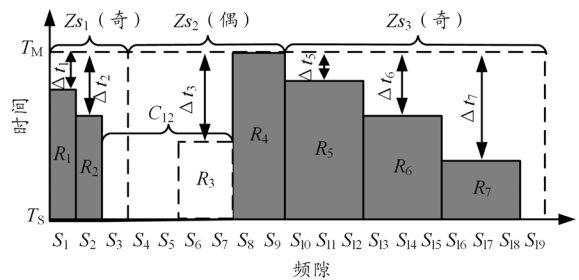


图 3 基于时间的分区调整

在分区-时间结合策略的基础上,若专用分区无法分配业务请求,则在其它专用区域搜索可用的空闲频谱块进行分配,并对该区域业务请求按照分区-时间结合策略更新。当单个区域无法容纳业务请求时,则分配业务到共享区域;此外,当共享区域有可用的充足空闲频隙,即分配当前业务后共享区域仍有空闲的频隙时,本文设计式(3)选择业务请求的主要占用共享区域,保证共享区域中分配的业务释放后不对相邻区域产生频谱碎片。

$$Sh_n = \frac{\min\{S_{t_i} - h_i\}}{T_M} \quad \left| \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\} \right. \quad (3)$$

其中, S_{t_i} 为奇偶区域的持续时间集合, h_i 为待分配的业务请求的持续时间, T_M 为持续时间集合中的极大值, Sh_n 表示在第 n 个区域中第 i 个业务请求产生频谱

张盛峰,王鹏,袁强,等:弹性光网络中基于持续时间的 OEPSA-HT 算法

碎片化的概率。 Sh_n 的值越大,说明分配到共享区域中的业务对区域 n 产生频谱碎片的概率越小,一般选择 Sh_n 取最大值的区域 n 作为业务请求的主要占用共享区域。

2.5 OEPSA-HT 步骤描述

OEPSA-HT 执行具体过程如下:

输入:光网络拓扑 G ,请求业务 R , K 条最短候选路径。

输出:业务 RSA 状态 F 。

Step1:生成光网络拓扑图以及设置各链路上的频谱资源状态为空闲。

Step2:根据式(3)、式(4)划分网络中各链路的专用区域,并划分奇、偶区域以及记录区域起始索引值 $index$ 。

Step3:取出第 i 个业务请求 R ,找到源地址到目的地址的 K 条最短路径。

Step4:查找最短候选路径上专用区域中频谱资源状态为空闲的频谱块,记录空闲频谱块的大小,放入空闲频谱块集合中。

Step5:若专用分区的空闲频谱块集合中有能够容纳业务请求的频谱块,则转到 Step6,否则,执行 Step7。

Step6: 根据持续时间集合 St_i 进行降序或升序排列,更新专用区域的业务请求,按照 OEPSA-HT 策略为业务分配频谱资源,并返回 $F=SUCCESS$ 。

Step7:若候选路径上其它专用区域能够容纳该业务请求,则分配到此区域,执行 Step6;若单个专用区域没有足够空闲频谱块容纳业务请求,则执行 Step8。

Step8:检查共享区域的空闲频谱块,当共享区域有充足频隙时,使用式(3)计算出频谱碎片化最小的区域做为主要占用共享区域,返回 $F=SUCCESS$,否则,阻塞业务。

Step9: $i=i+1$,转 Step3。

Step10:算法结束。

3 算法仿真及结果分析

3.1 仿真参数设置

为了验证算法的性能,将本文提出的 OEPSA-HT 算法与 ZB-SA^[4]、MWHTD^[6]和 FASA-SP-FLF-RM^[7]算法进行比较,在具有 14 个节点 21 条链路的 NSFNET 拓扑和具有 24 个节点 43 条链路的 USNET 拓扑下仿真验证,通过带宽阻塞率、频带利用率 2 个性能指标来评估算法性能。

网络中的每条链路都是双向的,每条链路上有

380 个频隙,每个频隙的带宽为 12.5 GHz,候选路径 $K=3$ 。仿真时假设源-目的节点对随机产生,业务请求在源-目的节点对之间均匀分布,业务请求到达服从参数为 λ 的泊松分布,业务持续时间服从参数为 $1/\mu$ 的指数分布。本文考虑 40 Gb/s、100 Gb/s 和 400 Gb/s 3 种不同类型的业务请求,不同业务请求间的保护带宽为 1 个频隙,相应业务的频隙数分别为 3、4 和 7,在每个仿真中生成 100000 个业务请求。

3.2 仿真结果分析

不同算法在 NSFNET、USNET 2 种网络拓扑下的带宽阻塞率如图 4 和图 5 所示。USNET 网络拓扑的带宽阻塞率总是优于网络 NSFNET 拓扑,这是因为 USNET 拓扑的连通性更好,能更好地为业务建立传输路径,从而能够容纳更多的业务。在 2 种网络拓扑中,当网络负载较低时,各算法的带宽阻塞率增长速度缓慢;当网络负载较高时,不同算法的带宽阻塞率增长速度较快,这是因为当网络负载较高时,网络中可容纳业务请求的空闲频谱块较少,更容易导致业务阻塞。

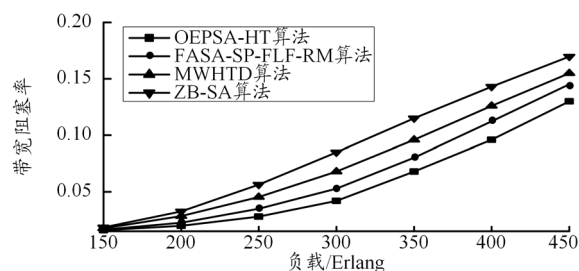


图 4 NSFNET 带宽阻塞率

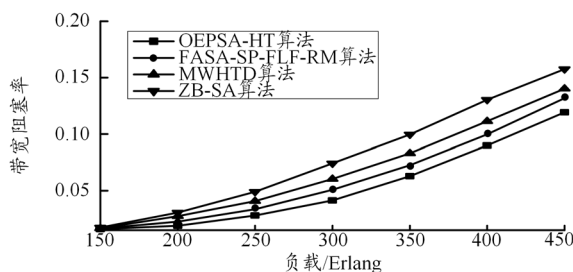


图 5 USNET 带宽阻塞率

从图 4、图 5 可以看出,本文所提的 OEPSA-HT 算法相比于其它算法在相同网络负载情况下获得了最低的阻塞率。这是因为 OEPSA-HT 算法一方面考虑了使用专用分区对每种类型业务频隙进行分配,从而减少频谱碎片,并且把区域分为奇偶 2 种类型,进一步最大化可用空闲频谱块,提高业务请求传输的成功率;另一方面考虑了业务的持续时间,使业务在各自

专用区域能够按序分配,从而减少时域中的碎片,在分区-时间结合的策略下改善网络性能。而 ZB-SA 算法带宽阻塞率最高,这是因为该算法只是将整个频谱分为几个专用区域,并没有考虑业务请求的持续时间,而且未在专区分配的业务也无法分配到其它区域,故此带宽阻塞率最高。而 MWHTD 算法和 FASA-SP-FLF-RM 算法不仅考虑业务的频谱碎片,并且结合持续时间,进一步避免了频谱碎片的产生。但是, MWHTD 算法只是结合路径碎片化程度和相邻业务持续时间的差值,减少频谱碎片,未对碎片化程度高的链路上的业务进行调整,也会导致较高的阻塞率; FASA-SP-FLF-RM 算法通过 LF 分配方式,允许其它区域容纳不同类型请求,并且通过频谱冲突避免重配置策略,将不在专区的业务重新配置回专用区域,而当单个区域没有足够空闲频谱块时,也会造成业务阻塞。因此,本文提出的 OEPSA-HT 算法得到的带宽阻塞率最低。

图 6 和图 7 显示了不同算法在 USNET、NSFNET 2 种网络拓扑下的频带利用率。可以看出,本文提出的 OEPSA-HT 算法由于能够传输更多的业务,所以获得了较高的频带利用率。这是因为在网络频谱资源充足时,所有算法都偏向于选择最短路径去建立传输路径,很少有业务被阻塞;当网络负载较高时,OEPSA-HT 算法可以通过奇偶区域提供最大的空闲频谱块(在专用区域频谱资源不充足时,借贷其余区域的空

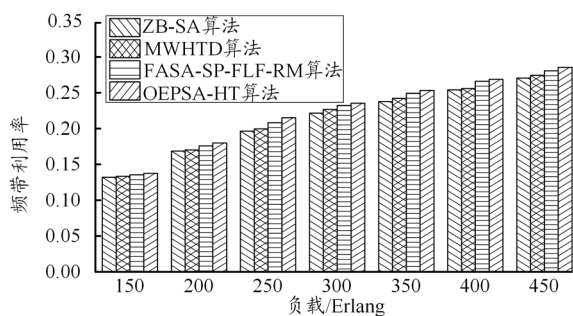


图 6 NSFNET 频带利用率

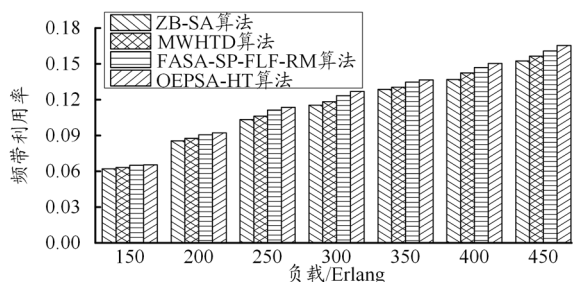


图 7 USNET 频带利用率

闲频谱块;单个区域无法容纳时,通过式(3)计算可以分配到共享区域),进一步提升了频带利用率。

4 结束语

频谱碎片整理策略是弹性光网络中 RSA 算法最核心的问题之一,对网络的资源利用率的提高有着重要的意义。本文提出了一种基于持续时间的 OEPSA-HT 算法,该算法综合整理网络链路时域-频域的频谱碎片,确保了链路中存在最大的空闲频谱块,提高了业务传输的成功率。OEPSA-HT 算法在 USNET、NSFNET 2 种网络拓扑下,其带宽阻塞率和频带利用率都优于传统算法。

参考文献:

- [1] ZHOU H, MAO S, AGRAWAL P. Optical power allocation for adaptive transmissions in wavelength-division multiplexing free space optical networks[J]. Digital Communications and Networks, 2015, 1(3): 171-180.
- [2] SANO A, YAMADA E, MASUDA H, et al. No-guard-interval coherent optical OFDM for 100Gb/s long-haul WDM transmission [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(16): 3705-3713.
- [3] BEHERA S, DEB A, DAS G, et al. Impairment Aware Routing, Bit Loading, and Spectrum Allocation in Elastic Optical Network [J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 48(8): 3009-3020.
- [4] RODRIGO S T, BART P, DIDIER C, et al. Zone based spectrum assignment in elastic optical networks:a fairness approach [C]// Opto-Electronics and Communications Conference, June 28-July 2, 2015, Shanghai, China. New York: IEEE, 2015: 1-3.
- [5] JUKAN A, SINGH S K. Efficient spectrum defragmentation with holding-time awareness in elastic optical networks[J]. Optical Communications and Networking, 2017, 9(3): B78-B89.
- [6] YANG F, WANG L, WANG L, et al. Holding-time-aware spectrum allocation algorithm for elastic optical networks [J]. Optical Fiber Technology, 2018, 41: 155-162.
- [7] LIU H L, LV L, CHEN Y, et al. Fragmentation-avoiding spectrum assignment strategy based on spectrum partition for elastic optical networks [J]. IEEE Photonics Journal, 2017, 9(5): 1-13.
- [8] JING Y, CHAO Z, HAIYING P, et al. Adaptive energy saving mechanism with QoS aware in ethernet passive optical network [J]. Chongqing University of Posts & Telecommunications, 2017, 29(2): 216-222.
- [9] CHATTERJEE B C, FADINI W, OKI E. A spectrum allocation scheme based on first-last-exact fit policy for elastic optical networks [J]. Network and Computer Applications, 2016, 68: 164-172.
- [10] JAUMARD B, POUYA H, COUDERT D. Wavelength defragmentation for seamless migration [J]. Optical Communications and Networking, 2019, 37(17): 4382-4393.
- [11] XU Z, HUANG J, ZHOU Z, et al. A novel grooming algorithm with the adaptive weight and load balancing for dynamic holding-time-aware traffic in optical networks[J]. Optical Fiber Technology, 2013, 19(5): 392-399.