

弹性光网络中碎片问题的研究

施达雅^{1,2}, 余庚^{1,2}

(1. 福建工程学院 国脉信息学院, 福州 350014; 2. 福州理工学院, 福州 350506)

摘要: 由于弹性光网络(EON)在路由和频谱匹配时须同时满足波长连续性和频谱连续性双重约束,因此在频繁地动态建立和终结光路过程中,网络频谱将出现大量碎片。为改善EON碎片程度,提出一种动态路由和动态频谱匹配(Dynamic Routing and Dynamic Spectrum Fitting, DRDSF)策略,并通过构建实验模型对业务阻塞率和频谱资源利用率指标进行仿真分析。实验结果显示,相对于传统碎片清理机制,应用DRDSF策略后EON动态业务环境中产生的频谱碎片问题得到了更有效的控制,网络性能显著提高。

关键词: 弹性光网络; 碎片; 动态路由和动态频谱匹配; 任意匹配; 首次匹配

中图分类号: TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)02-0016-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.02.005

Research on the fragmentation problem in elastic optical network

SHI Daya^{1,2}, YU Geng^{1,2}

(1. Guo Mai Information College, Fujian University of Technology, Fuzhou 350014, China; 2. Fuzhou Institute of Technology, Fuzhou 350506, China)

Abstract: Elastic optical networks (EON) should be suitable for the two constrains of wavelength continuity and spectrum continuity when routing and spectrum matching. As a result, there will be a great deal of fragmentation in the network spectrum when building and terminating lightpaths in a dynamic manner. In order to improve the degree of EON fragmentation, this paper proposes a dynamic routing and dynamic spectrum fitting (DRDSF) strategy, and builds an experimental model to simulate the business blocking rate and spectrum resource utilization. The experimental results show that the DRDSF spectrum is more effective in controlling the spectrum fragmentation in EON dynamic business environment, compared with the traditional defragmentation cleaning mechanism. What is more, network performance can be improved significantly.

Key words: EON; fragment; DRDSF; RF; FF

0 引言

随着数据中心网络负载的不断增加,光网络面临着3个方面的困境:①网络动态负载环境下所建立的光通道无法根据实时业务载荷需求来自适应地分配频谱带宽资源,这必将引发频谱碎片问题;②由于现有的光网络传输体系相对固定,导致光通道路由建立之后就不再允许对载波的调制方式、传输速率等网络参量做任何变换,这种相对固定的体系不再满足动态业务的需求;③当光载波携带较高功率进行长距离传

输时,也会随着动态业务类型的不同,动态地适配调制方式和速率,这种频繁动态的调整势必带来多变的传输特性。然而,采用固定配置方式为波长通道配置路由的网络体系显然无法解决光通道路由在重构时所引发的传输质量动态要求问题。因此,为适应高带宽业务的4G^[1]、5G等网络带来的业务突发特性,本文提出以弹性光网络(EON)作为寻求提高资源整体利用率的解决方案。

1 碎片分析

与传统网络不同,EON引入了灵活栅格,网中频谱碎片规模较之传统网络要严重得多。随着数据中心网络的负载不断动态增加,在动态拆除光路时先前被

收稿日期:2017-09-19。

基金项目:福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT170802)资助。

作者简介:施达雅(1984-),女,硕士,讲师,专任教师,主要从事计算机通信。

使用的频谱资源被陆续被释放。由于被释放的频谱资源未必具有连续性,即可能分散在整个可用频段范围内,这样的分布状态很可能使某些节点对之间新发起的业务连接请求(该请求需使用较大的频谱资源)得不到响应,于是出现了碎片问题。频谱碎片问题会不可避免地降低网络资源利用率,导致网络性能劣化,比如业务阻塞率。尤其在匹配频谱时,除了要满足传统的波长连续性限制,还要满足频谱连续性限制,即为一个连接请求分配频谱频隙(slot)必须连续。正是由于频谱连续性限制的要求,才使网络中的频谱碎片更加严重。因此,有必要对这些散乱分布的闲置频谱碎片进行有效整合。

为了直观地说明 EON^[2] 碎片问题,此处采用 NSFNET 拓扑结构来仿真链路的最短路由使用频率,并做如下设定:每一对信源信宿的业务流量载荷为 0.5Erlang,单次带宽请求不超过 10slot,单条链路频谱总量为 300slot。汇总仿真结果,得出链路最短路由使用频率,如图 1 所示。

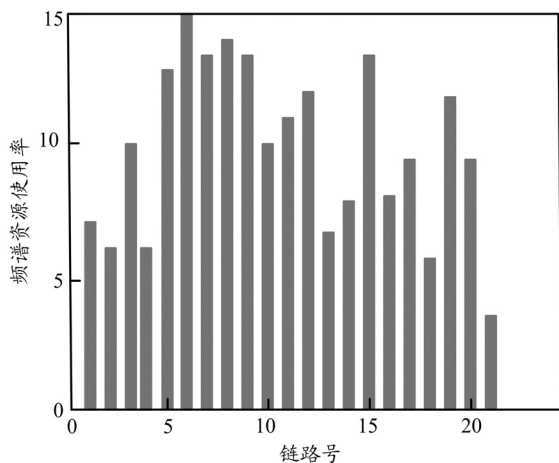


图 1 链路最短路由使用频率

由图 1 可见,在整个网络中第 6 条和第 21 条链路的最短路由使用频率呈现出两个极端。为了说明链路频谱使用的随机性,本文再次对这两条链路在 NSFNET 拓扑结构上进行频谱匹配(Spectrum-Fit, SF)策略仿真。结果表明,仿真的链路不但符合波长连续性和频谱连续性双重局限,同时两条链路对相同频段频谱的占用率呈现出一定的差异性。第 6 条链路对整个频段的占用较为均衡,相比之下第 21 条链路只是对频段的中间部分频谱占用比较均衡,首尾部分的频谱占用较少。这是由于:①频谱利用率较低的链路,频繁地使用一个频段的特定子集,该频段的其它子集较少被利用,进而产生了大量频谱碎片;②链路的频谱

利用率越高,该链路的阻塞程度、频谱碎片程度也相应越高。

2 动态路由和动态频谱匹配(DRDSF)策略

2.1 选路机制

在 EON 中常用的选路机制有固定机制和自适应机制。固定选路机制采用最短路径算法,在网中任意两个收发节点之间搜索出一条最短路由通道。当源节点发起业务请求连接时,就为这条预先计算好的路径分配频谱资源,从而建立光路。如果在一个节点对之间的路由上并不存在网络频谱资源时,该节点对之间的业务连接请求就陷入了阻塞且无备用资源。显然,该机制下的网络服务质量(QoS)较低。自适应机制虽然考虑到了全局链路实时状态降低阻塞率^[3],但在实施路由选择时无论是否基于约束条件为 EON 上任意节点对建立可用路由集,均需开展繁琐的实时计算分析,复杂度显著增加。基于上述选路机制的不足,本文提出一种改善的机制——固定/备用选路机制。

固定/备用选路机制下的路由搜索工作,要求在任意收发节点对之间提前搜索出多个备用路由。该机制下的源节点内存中记录了节点对的路径集合表。其中,默认该表中第一个路由为工作路由,除此之外的路由定义为次要路由,两类路由无关联度。该机制下的宿节点内存中存放了包括最短路由路径和次最短路由路径等一系列根据优先级来排序的路由路径集合表。当有一个业务连接请求发起并送往源节点后,宿节点在路由路径集合表中按照优先次序遍历备用路由路径,直至遍历到满足该业务连接请求所要求的资源才终止。此机制相对于传统的固定选路机制,不仅在业务阻塞性能方面有较大改善,同时也增强了网络生存性^[4]。

2.2 频谱匹配机制

频谱匹配机制旨在最大程度地减少频谱碎片化,提升网络频谱资源利用率。常用的策略有 SF 和路由匹配(Routing-Fit, RF)。SF 的思想是根据发起的请求所占据的 slot 数量,在链路 slot 中逐个遍历出与该请求数量一致的 slot,优先选取编号最靠前的 slot 来为该请求分配频谱。当遍历到了可用资源就不再继续遍历,显然这样的匹配过程没有考虑到网络的运行状态。RF 的思想和 SF 基本一致。但是,当找到多个选项时,则任意选择一个 slot 来为该请求分配频谱,不再考虑编号问题。当 EON 中的光波长没有变换功能时,这种频谱随机分配机制^[5]容易导致网络资源阻塞。而本

施达雅,余庚:弹性光网络中碎片问题的研究

文提出的动态匹配(Dynamic-Fit, DF)思想是先判断是否有精确的可用频隙块,如果有,就可为该链接请求分配 slot;反之,分配最小的可用 slot 块。显然,这样动态分配 slot 能够有效地提高频谱利用率改善频谱碎片问题,增强 EON 的生存性。

2.3 DRDSF 策略实施

碎片问题的重构策略包含固定备用选路机制和频谱动态匹配机制,即 DRDSF 策略。在重构碎片时可将碎片权值化进行分析。首先,将 EON 的频谱碎片(Fragment)量化为 $1 - (\text{最大闲置 slot 块的 slot 数量} \div \text{闲置 slot 数量})$ 。当 Fragment 置为 0,表明闲置 slot 集中在同一个 slot 块中;当 Fragment 置为 1,表明闲置 slot 分布在多个 slot 块中。在 $[0,1]$ 区间范围内,如 Fragment 值越大,则该光路阻塞越严重。根据 DRDSF 思想,当 EON 上发起一个业务连接请求,首先搜索出最短路由和次最短路由,并分别赋予这两个路由的碎片规模 $Fs-1st$ 和 $Fs-2nd$ 。当链路上存在满足连接请求所需要的可用连续 slot 时,如果前者规模较后者规模轻,则将次最短路径视为工作路径;反之,则选择最短路径视为工作路径。其次,将闲置 slot 块中的 slot 数量与发起的连接请求所需的 slot 数量做对比分析。最后,建立出一条高效光通路。DRDSF 策略的实施过程如图 2 所示。

由图 2 可知,本文提出的 DRDSF 策略是先结合

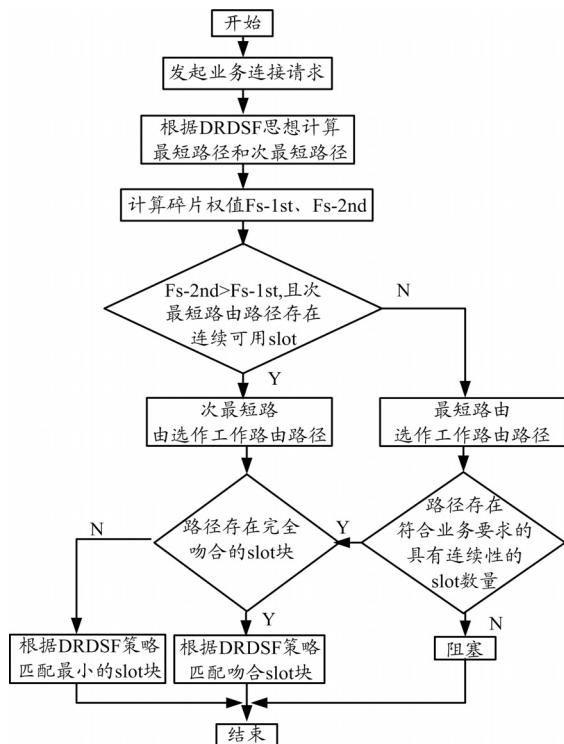


图 2 DRDSF 策略实施过程

网络业务动态特征,在节点对间实时地构建最短路由/次最短路由路径的信息集并统计路径中可用 slot 资源,进而获取碎片规模的权值。策略优先考虑最短路由路径,除非次最短路由路径上的碎片规模权值超过最短路由路径,且次最短路径上存在具有连续特征的 slot 资源可供分配^[6],这种情况下才予以考虑将次最短路径作为响应该业务连接请求的工作路径。这样的路由方式在一定程度上使散乱分布的碎片资源能够最大程度地被节点对之间新发起的业务连接请求所使用。在随后的频谱匹配环节中,根据动态网络实时状态下发起的业务连接请求所需求的 slot 数量,去选择与 slot 数量吻合的闲置 slot 块进行频谱匹配,以降低碎片程度。如果没有遍历到与该业务连接请求所需要的 slot 数相一致的闲置 slot 块,就为该业务匹配一个最小的可用 slot 块,尽量将其它规模较大的闲置 slot 块留给后续发起的业务连接请求使用。分析可知,DRDSF 策略能够更高效地利用网络频谱资源且缓解业务连接请求的阻塞特性。

3 实验方案

3.1 实验模型

为了验证 DRDSF 策略性能,本次实验选用 14 个节点、21 条链路的 NSFNET 作为测试网络。假设 EON 每条光纤链路总的频谱容量为 4000GHz,每个 slot 为 12.5GHz,可知每条光纤链路承载 320 个 slot。业务模型参照数字网络通用随机动态^[7]业务模型,可随机产生于 EON 上任意源/宿节点间。对节点而言,业务请求到达率遵循泊松分布,网中连接请求的持续时间服从均值为 μ 的负指数分布。本文在业务类型在区间 $[10\text{Gb/s}, 500\text{Gb/s}]$ 内随机选取了 4 种速率:10Gb/s、50Gb/s、100Gb/s 和 500Gb/s。对于发起连接请求的业务所需网络资源/slot 分别为:20GHz/(2 个)、40GHz/(4 个)、40GHz/(4 个)和 60GHz/(6 个)。

为了便于说明 DRDSF 相对于 SF 和 RF 两种策略具有优化效果,本次实验从频谱资源利用率和业务阻塞率两个方面将 DRDSF 与 SF/RF 进行数值仿真比较。频谱资源利用率可通过统计网中 slot 利用率来评价。slot 利用率反映了承载动态业务的网络在实时变化的业务流量载荷和不同策略下频谱资源的使用程度。slot 利用率定义为网络动态业务当前正在使用的所有 slot 资源数量与网络中总的 slot 资源数量之比;业务阻塞率定义为被阻塞的业务连接请求数量与网络中发起的所有业务连接请求的数量之比。

3.2 实验分析

网络业务载荷流量指网络业务连接请求的到达率和平均持续时间的乘积。在测试过程中,我们通过不断调整网络业务载荷流量^[8]来仿真在 NSFNET 中应用 3 种路由频谱匹配策略所表现出的阻塞性能和频谱利用率。仿真结果^[9]如图 3、图 4 所示。

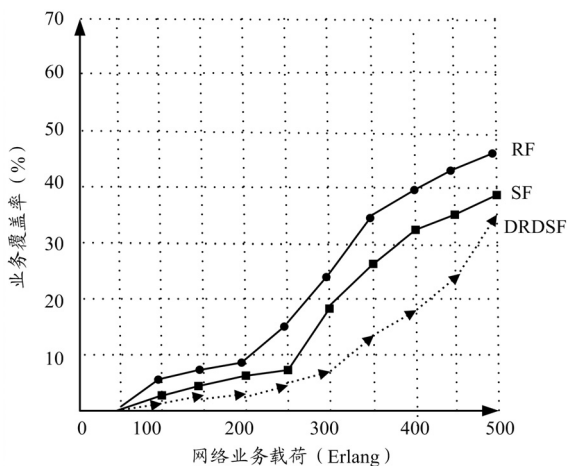


图 3 NSFNET 中 3 种策略下的阻塞率

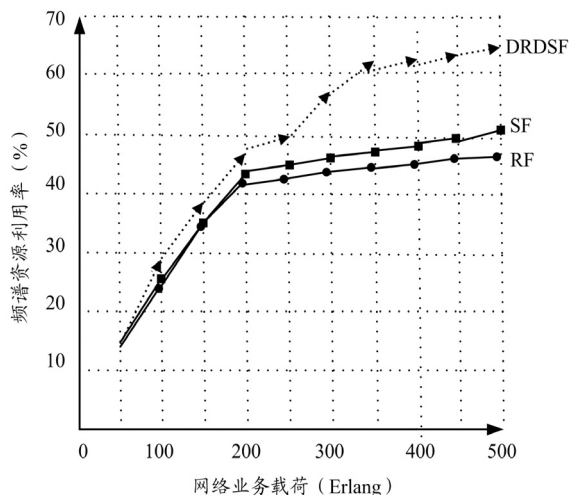


图 4 NSFNET 中 3 种策略下的频谱利用率

由图 3 可知,在相同的网络业务流量载荷环境下,DRDSF 业务阻塞特性较传统的 SF 和 RF 有明显的改善,其中 SF 算法性能总体优于 RF 算法。同时,3 种路由频谱匹配策略的阻塞特性随着业务流量载荷增加总体呈现出递增趋势。其中,DRDSF 策略阻塞特性最好。相对 SF 策略而言,RF 策略在阻塞性能方面的表现不如 SF。这是因为在一个节点对中,使用 SF 匹配的目标是将所有被占用的 slot 资源规划到 slot 编号较小的 slot 资源上,编号较大的邻接 slot 资源尽量分配给后续的业务连接请求来使用。这样的匹配过程

显然不需要去计算该路由上所有满足连接请求的可用 slot。较之 RF, SF 计算复杂度有所降低。同时,由于 SF 和 RF 策略采用固定路由方式来选路,导致路由负载不够均衡引发了比 DRDSF 高出很多的阻塞性能。

基于上述策略原理的分析可知,DRDSF 的频谱利用率比 RF 和 SF 高,其中 SF 略优于 RF。此结论在图 4 中也得到了体现。同时可知,随着网络载荷流量的增加,DRDSF 策略始终保持自身动态的优势,频谱利用率居高不下。

从上述仿真结果可以看出,本文提出的 DRDSF 策略在优化 EON 频谱资源和阻塞性能^[10]方面的效果,相对于传统的两种策略有显著提升。

4 结束语

本文从 EON 中的碎片问题出发,提出了一种有别于传统 RF 和 SF 的策略,即 DRDSF 策略。此策略从全局出发探讨业务连接请求的网络资源匹配方案,达到抑制频谱碎片的目的。同时,通过构建基于 OMNeT++ 平台的网络仿真模型,将本文提出的 DRDSF 策略与传统策略做了对比。实验表明,与传统策略相比,无论在相同业务载荷流量还是在动态业务载荷流量的环境状态下,本文的优化策略均能发挥出优越的网络性能。

参考文献:

- [1] 余庚,汤紫雄,王建彬. 4G LTE 制式下激光通信频偏补偿方法研究[J]. 激光杂志, 2017(7): 118-121.
- [2] 武文彦. 智能光网络技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 62-67.
- [3] 宫雷. 频谱灵活光网络中基于独立模型的阻塞性能研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2016: 52-56.
- [4] 刘焕淋,李瑞艳,孔德谦,等. 基于多目标遗传算法优化弹性光网络的多路径保护机制[J]. 电子与信息学报, 2016(9): 91-97.
- [5] 宣贺君. 弹性光网络中考虑节点安全性的频谱分配算法[J]. 中国激光, 2016(12): 199-206.
- [6] 冯海燕,沈建华. 弹性光网络中支持虚级联的频谱分配算法[J]. 光通信技术, 2016, 40(2): 5-7.
- [7] 刘海蛟,华楠,李艳和,等. 面向动态业务的光网络失真机理分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015(11): 7-12.
- [8] 徐展琦,王凯,丁喆,等. 一种负载均衡的虚拟光网络映射算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2017(5): 7-12.
- [9] 朱晓妹. OMNeT++ 仿真工具的研究与应用[J]. 大连工业大学学报, 2015(1): 62-65.
- [10] 李晨曦,刘英挺,毛杰,等. 频谱灵活光网络中基于带宽压缩的柔性保护技术[J]. 电子技术应用, 2016(6): 106-108.