

弹性光网络中资源节约型组播路由和频谱分配策略

张盛峰, 何阿成, 石鹏涛, 黄 胜

(重庆邮电大学 光通信与网络重点实验室, 重庆 400065)

摘要:在弹性光网络中对组播路由和频谱分配问题进行研究,综合考虑了组播调制格式、网络中具有组播能力(MC)的节点个数和组播节点选取等因素,提出有效的预计算最短路径树的组播路由和频谱分配算法(PSPT-DMRSA)。在组播路由之前,在网络中预先放置适当的MC节点,然后建立源节点到目的节点的最小生成树,以减少整个组播请求所占用的链路条数和传输距离。此外,频谱资源分配时采用距离自适应的调制格式。仿真结果表明,该算法在频谱资源利用率方面获得了较优的性能。

关键词:弹性光网络;组播;MC树;带宽槽;调制;路由和频谱分配

中图分类号:TN913.7 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2018)03-0052-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.03.014

Resource-saving multicast routing and spectrum allocation strategy in elastic optical networks

ZHANG Shengfeng, HE Acheng, SHI Pengtao, HUANG Sheng

(Optical Communication and Network Key Laboratory,

Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper studies the multicast routing and spectrum assignment (MRSA) in elastic optical networks. Some restrictions including multicast modulation format, the number of MC nodes and select of MC nodes are considered. In addition it presents an effective algorithm for MRSA, namely PSPT-DMRSA. Before multicast routing, the appropriate pre-selected MC nodes are put in the network, and then the minimum spanning tree is established from source to destinations so as to reduce the number of links and transmission distance occupied by the entire multicast request. Furthermore, the paper uses distance adaptive modulation level assignment in spectrum allocation. Simulation results show that the proposed algorithm achieves better performance in spectrum utilization.

Key words: elastic optical networks; multicast; MC tree; slot; modulation; routing and spectrum allocation

0 引言

弹性光网络作为一种新颖的、高频谱效率和可扩展的光传送网络体系架构,能够满足动态高效的带宽服务需求,得到学术界和工业界的广泛关注,弹性光网络中的组播传输成为当前研究热点之一。文献[1]首次提出稀疏分光的概念,是指网络中仅有部分节点具有分光能力(Multicast Capable, MC)节点,其余的节点

收稿日期:2017-12-18。

基金项目:国家自然科学基金项目(61371096)资助;重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyjA40015)资助;国家留学基金委项目(CSC:201708500034)资助。

作者简介:张盛峰(1977-),男,副教授,主要研究方向为光网络、网络生存性和内容中心网络。

不具有分光能力(Multicast Incapable, MI)。如何将MC节点放置在网络中,以最大限度地减少MI节点个数,从而有效地减少网络成本,是一个有待解决的问题。

文献[2,3]在WDM光网络中对稀疏分光问题进行了研究,基于改进的现代启发式算法对路由和波长分配(RWA)问题进行研究,但是对于弹性光网络中的路由和频谱分配(RSA)并不适用,因为弹性光网络中的RSA问题需要满足诸多的约束,如频谱连续性约束、频谱一致性约束和频谱不重叠约束。Liu X等人在文献[4]中研究了弹性光网络中节点为MI情况下的覆盖层多播,然后又在文献[5]中提出一种遗传算法来解决弹性光网络中全光组播路由及频谱分配问题。文献[6]

使用组播森林实现了距离自适应的频谱资源分配,但并没有涉及到稀疏分光下的组播路由问题。文献[7]对组播路由节点个数增加了限制,在稀疏分光网络中提出了 ILP 公式和启发式算法,但没有考虑分光节点的放置问题。文献[8]使用多路径或单个光树来实现弹性光网络中的组播,提出了相应的 ILP 模型并设计启发式算法进行求解,但是没有考虑组播节点的限制和放置问题。

本文提出一种预计算最短路径树组播路由和频谱分配 (Pre-computing Shortest Path Tree-Distance adaptive Multicast Routing and Spectrum Allocation, PSPT-DMRSA)算法,首先根据 MC 节点的个数要求在网络中放置 MC 节点,然后建立源节点到目的节点的组播树,最后根据传输距离选取适当的调制格式进行频谱分配。

1 问题描述与理论模型

1.1 问题描述

设弹性光网络的物理拓扑抽象为有向图 $G=(V, E)$,其中 V 和 E 分别是网络的节点和有向链路的集合。对于每一条链路 $e \in E$ 具有 $BGHz$ 的频谱资源。假设给定组播请求 $R=(s,D)$,其中 s 为源节点, $D=(d_1, d_2, \dots, d_m) \subseteq \{V-[s]\}$ 为目的节点集, $s \cup D$ 为组播组成员。组播树 T 是 G 的一个子图,是以 s 为根节点覆盖组播请求的所有目的节点的一棵光树,表示为 $T=(V_T, E_T)$, $V_T \in V$, $E_T \in E$ 。网络中的所有节点均无波长转换能力。

稀疏分光弹性光网络组播路由的优化目标为放置合适的 MC 节点,选择合适的 MC 节点构造一棵以组播源 s 为根节点且覆盖所有目的节点的组播树 T ,并同时在满足频谱连续性、频谱一致性和频谱不重叠约束条件下进行频谱分配,使得光组播树所占用的链路带宽槽总数最小。在弹性光网络中,单播路由、调制和频谱分配(RMSA)问题已经被证明是一个 NP 难问题^[10]。由于稀疏分光弹性光网络组播路由比单播 RMSA 更为复杂,后者是稀疏分光组播 RMSA 问题不考虑 MC 节点放置且组播树中仅有一个目的节点时的特殊情况,表明稀疏分光组播 RMSA 问题也是一个 NP 难问题。因此,本文设计启发式算法来求解稀疏分光组播 RMSA 问题。

1.2 理论模型

文献[9]介绍了一种 DMRSA 算法,在组播路由时,首先依次求目的节点到源节点的最短距离,构建组播

树,然后根据构建的组播树自适应地选择适当调制格式进行频谱分配,如图 1(a)所示。图中节点 1 为源节点,目的节点为 4、5 和 6,所有边的权重为 1;每条链路上包含 4 个可用带宽槽。假设节点 4 为 MC 节点,其余为 MI 节点,整个组播树包含的光纤链路为 1-2-4-6, 1-3-5;所占用的总带宽槽个数为 10 个。DMRSA 算法的缺点是没有找到最优的组播树,所以频谱利用率不高且容易造成阻塞。本文提出的 PSPT-DMRSA 算法是对 DMRSA 算法的改进,如图 1(b)所示,预先建立节点 1 到节点 4 的一条光路 1-2-4,然后使用最短路径算法依次求目的节点到当前组播树的最短路径(分别求目的节点到当前组播树中节点度数为 1 的节点和 MC 节点的最短路径,取最小值)。以图 1(b)为例,整个组播树包含的光纤链路为 1-2-4-6 和 4-5,所占用的频谱槽总数为 8,减少了频谱资源的占用。

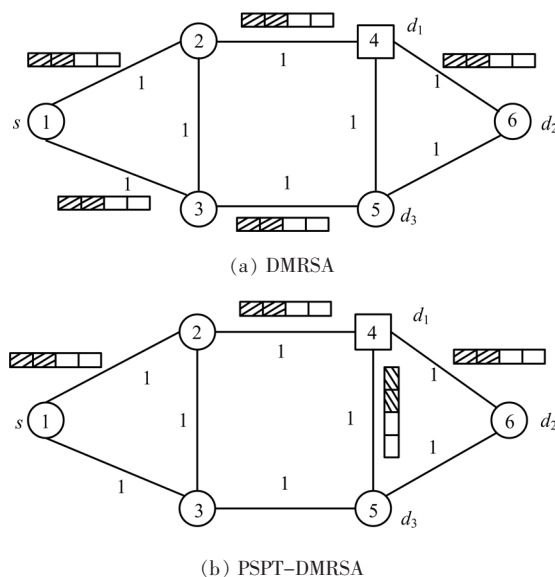


图 1 弹性光网络中 RSA

2 PSPT-DMRSA 算法描述

本文提出的算法包括两个部分。第一部分是 MC 节点的放置,我们改进参考文献[11]中提出的最大路径数目优先(Maximum Path Count First, MPCF)算法,将节点度数作为第一优先级,记为 DF(Degree First)算法,用于获取候选 MC 节点。DF 算法比 MPCF 算法更具有实际应用价值,将节点度数较大的节点设为 MC 节点可以产生更多的光树分支,而且将度数为 2 的节点设为 MC 节点没有任何意义。第二部分是基于选定 MC 节点的组播路由和距离自适应的频谱分配。在前一步选定并放置的 MC 节点基础上,采用最短路径树(SPT)算法构建 s 为根节点覆盖 MC 节点的 MC 树,

然后使用最短路径算法依次求目的节点到当前组播树的最短路径(分别求目的节点到当前组播树中节点度数为1的节点和MC节点的最短路径,取最小值),构造组播树 T 。最后采用距离自适应选择策略选择适当的调制格式,对给定的多播会话所需带宽槽的数量进行最小化。

2.1 MC 节点放置

DF算法是对MPCF算法的一种改进,优先考虑网络中节点的度数,DF算法流程图如图2所示。

本文模拟具有14个节点和21条链路的NSFNet进行分析,NSFNet拓扑图如图3所示。按照DF算法步骤,MC的候选节点优先级排序为9-6-8-4-5-2-13-11-12-4-3-1-7-10。

2.2 PSPT-DMRSA

本文考虑4种调

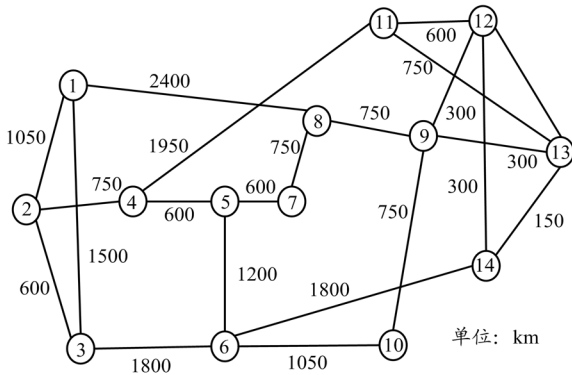


图3 NSFNet 拓扑

制格式BPSK、QPSK、8-QAM和16-QAM,其对应的调制等级 $m=1,2,3,4$ 。根据参考文献[11],不同的调制格式所对应的最大传输距离如表1所示。

对于带宽请求为 b 的组播业务,根据表1选择适当的调制等级 m ,可以确定所需的带宽槽个数 n 为:

表1 调制格式、调制等级与传输距离的关系

调制格式	调制等级 m	最大传输距离(km)
BPSK	1	10000
QPSK	2	5000
8-QAM	3	2500
16-QAM	4	1250

$$n = \left\lceil \frac{b}{m \cdot C_{\text{BPSK}}} \right\rceil \quad (1)$$

其中, C_{BPSK} 是一个带宽槽使用BPSK时的容量,在此 $C_{\text{BPSK}}=12.5\text{Gb/s}$ [12]。PSPT-DMRSA算法流程图如图4所示。

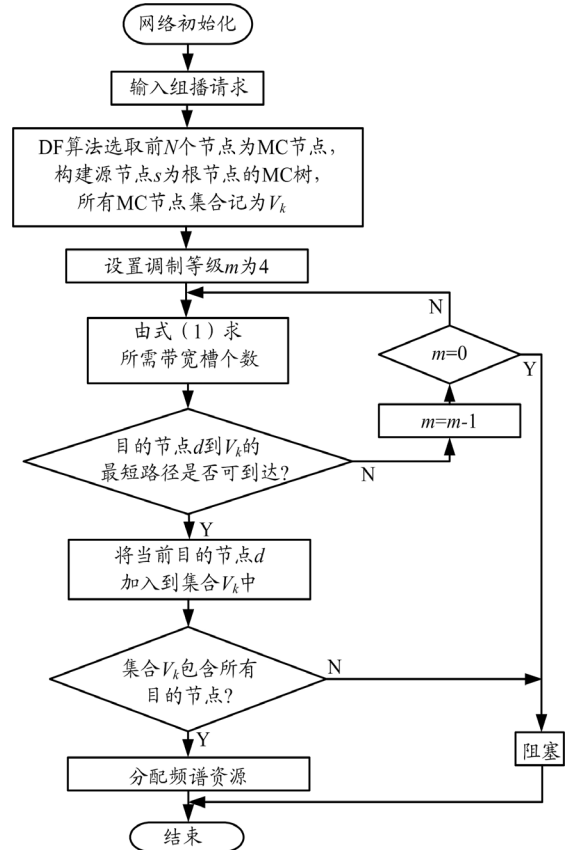


图4 PSPT-DMRSA 算法流程图

在PSPT-DMRSA算法中,由于采用不同调制格式,所以为了避免交叉相位调制的影响,相邻请求之间加入保护带宽 Δg 。另外,一个组播内部存在多个请求,如果某个请求不可到达,即链路不能提供足够的带宽槽,则定义这个组播业务阻塞。算法中的频谱分配过程采用经典的First-Fit(FF)算法, m 的值确保当前组播请求选择了最优的调制格式,所求的最短路径 d 需要满足参考文献[11]中调制等级与最大传输距离之间的关系。

3 仿真分析

3.1 仿真环境

本文通过模拟含有14个节点的NSFNet来分析提出的算法性能。假设弹性光网络部署在C波段,也就是说链路上总的带宽资源为4.475THz,可用带宽槽个数为358个。对于组播请求,源节点 s 和目标节点集

D 随机选择,目的节点个数为 3 个,每个请求之间的保护带宽 $\Delta g=1$ 。每一个带宽请求服从均匀分布,范围是 $[12.5,100]\text{Gb/s}$ 。MC 比率设为 0.1、0.3 和 0.5 (MC 比率定义为 MC 节点的数量除以弹性光网络中的总节点数,MC 节点和组播成员个数向上取整),即分别设 2、5 和 7 个 MC 节点。本文考虑并比较了文献 [11] 中的 DMRSA 和经典的成员优先算法(MF)。

3.2 仿真结果

图 5 中显示了 NSFNet 中 MC 比率为 0.1、0.3 和 0.5 时 PSPT-DMRSA 算法消耗的总带宽槽数与组播请求数量之间的关系。当增加 MC 节点比率以提供更多的分光能力时,NSFNet 网络消耗的总带宽槽数量减少,这是因为具有组播能力节点个数的增加使得组播树中的共享链路随之增加。另外,在 MC 比率为 0.5 时(即节点 9、6、8、4、5、2 和节点 13 为 MC 节点),我们对了几种 RSA 算法的性能,如图 6 所示。可以看出,PSPT-DMRSA 算法性能优于 DMRSA 和 MF 算法,且消耗的带宽槽总数量最低,原因如下:一是因为 PSPT-DMRSA 算法所构建的组播树具有更多的共享链路,所以总的链路数量减少;二是因为对于单个的组播请求该算法可以根据传输距离选择适当的调制格式,使得占用带宽槽总数量减少。

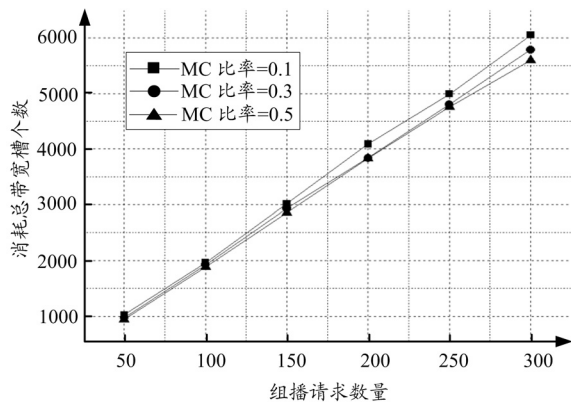


图 5 不同 MC 比率下消耗带宽槽总量比较

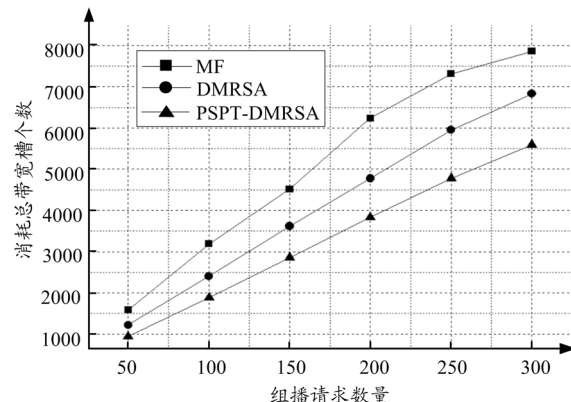


图 6 MC 比率为 0.5 时, 3 种算法的消耗带宽槽总量对比

4 结束语

本文介绍了弹性光网络中的 PSPT-DMRSA 算法。本算法基于稀疏分光的设计,限制网络中具有组播能力节点的个数,选取适当的组播节点,在组播路由之前优先建立 MC 树。对于给定多播会话,随着组播节点比率的增加,PSPT-DMRSA 算法的总消耗带宽槽数较少,有效地提高了频谱资源利用率,降低了网络的成本。在今后的工作中我们将对 MC 节点之间的负载均衡和容错等方面作进一步研究。

参考文献:

- [1] SUBRAMANIAM S, AZIZOĞLU M, SOMANI A K. All-optical networks with sparse wavelength conversion [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 1996, 4(4): 544–557.
- [2] ZHOU F, AIT-OUAHMED A, CHEREF A. QoT-aware multicast provisioning using column generation in mixed-line-rate optical networks[C] //Computing, Networking and Communications (ICNC), Feb 15–18, 2016, Kauai, HI, USA. Piscataway: IEEE, 2016.
- [3] 程希, 沈建华. 一种基于改进蚁群算法的光网络波长路由分配算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(3): 710–715.
- [4] LIU X, GONG L, ZHU Z. On the spectrum-efficient overlay multicast in elastic optical networks built with multicast-incapable switches [J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(9): 1860–1863.
- [5] GONG L, ZHOU X, LIU X, et al. Efficient resource allocation for all-optical multicasting over spectrum-sliced elastic optical networks [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2013, 5(8): 836–847.
- [6] FAN Z, LI Y, SHEN G, et al. Distance-Adaptive Spectrum Resource Allocation Using Subtree Scheme for All-Optical Multicasting in Elastic Optical Networks [J]. Journal of Lightwave Technology, 2017, 35 (9): 1460–1468.
- [7] CONSTANTINOU C K, MANOUSAKIS K, ELLINAS G. Multicast routing algorithms for sparse splitting optical networks[J]. Computer Communications, 2016(77): 100–113.
- [8] RUZI M, VELASCO L. Serving multicast requests on single-layer and multilayer flexgrid networks [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2015, 7(3): 146–155.
- [9] GOSCIEN R, WALKOWIAK K, KLINKOWSKI M. Distance-adaptive transmission in cloud-ready elastic optical networks [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2014, 6(10): 816–828.
- [10] MOHARAMI M, FALLAHPOUR A, BEYRANVAND H, et al. Resource Allocation and Multicast Routing in Elastic Optical Networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2017, 65(5): 2101–2113.
- [11] HWANG I S, LIN T C. Performance assessment of multicast node placement for multicast routing in WDM networks with sparse light splitting[J]. Photonic Network Communications, 2008, 16(2): 107–116.
- [12] 刘夏荷. 基于弹性光网络的组播路由和频谱分配算法研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.