

doi:10.13756/j.gtxyj.2020.02.004

光通信系统与网络技术

多芯光纤中串扰感知的路由频谱分配算法

熊琪乐^a, 刘焕淋^a, 刘欣悦^b

(重庆邮电大学 a. 通信与信息工程学院; b. 先进制造工程学院, 重庆 400065)

摘要:为了解决空分复用弹性光网络(SDM-EONs)中芯间串扰(ICXT)带来的业务阻塞问题,文章提出了一种动态寻路和串扰感知解决算法。首先在路由阶段设计了一个结合最短路径和路径负载的候选路径排序公式,根据系统负载动态地为业务请求选择更加合适的传输路径。同时对于多芯光纤中的 ICXT 问题,提出了一种串扰感知策略,将 ICXT 的影响降至最低,提高业务成功传输的概率,降低阻塞率。文章定义了 ICXT 改善指数来评价所提算法与对比算法的性能差异。仿真结果表明,文章所提算法相比于多篇对比文献,在阻塞率性能和 ICXT 影响上有着明显的提升。

关键词:空分复用;弹性光网络;多芯光纤;动态业务;资源分配算法

中图分类号:TN929.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2020)02-0016-04

Routing Spectrum Allocation Algorithm for Crosstalk-aware in Multi-Core Fiber

XIONG Qi-le^a, LIU Huan-lin^a, LIU Xin-yue^b

(a. School of Communication and Information Engineering;

b. School of Advanced Manufacturing Engineering, CUPT, Chongqing 400065, China)

Abstract: In order to solve the problem of service blocking caused by Inter Core Crosstalk (ICXT) in Space Division Multiplexing Elastic Optical Network (SDM-EONs), a dynamic routing and crosstalk sensing algorithm is proposed. Firstly, in the routing stage, a candidate path sorting formula combining the shortest path and path loading is designed to dynamically select a more appropriate path for business requests according to the system load. For the problem of inter core crosstalk in multi-core fiber, a crosstalk sensing strategy is proposed to minimize the impact of inter core crosstalk, with improvement of the probability of successful transmission and reduction of the blocking rate. In order to evaluate the performance of this algorithm, the ICXT improvement index is defined to evaluate the performance difference between this algorithm and the comparison algorithm. Simulation results show that the algorithm in this paper has a significant improvement in blocking rate performance and inter core crosstalk compared with many comparative literatures.

Key words: SDM; EONs; multi-core fiber; dynamic request; resource allocation algorithm

0 引言

随着 5G 移动网络、物联网和云计算等新兴技术的快速发展,多样化和多元化的网络业务使得以 IP 业务为代表的业务量呈现出指数级增长^[1]。基于正交频分复用技术的弹性光网络(Elastic Optical Networks, EONs)和空分复用(Space Division Multiplexing, SDM)技术的应用能更好地适应多样化的业务及传输容量需求^[2-3]。本文主要研究多芯光纤(Multi-Core Fiber, MCF)承载的动态业务下的路由频谱纤芯分配(Routing, Spectrum and Core Allocation, RSCA)问题。

文献[4]提出的纤芯优先级排序算法能在一定程度上避免芯间串扰(Inter Core Crosstalk, ICXT)问题;文献[5]提出了“四色原则”,进一步对 MCF 进行了分组操作;文献[6]设计了一种可重构的光分叉复用器,降低了 SDM 技术下可重构分插复用器

的结构复杂度并减少了消耗的器件数目;文献[7]分析了基于路径型和链路型纤芯交换的区别;文献[8]系统地介绍了 ICXT 的几种类型,能够避免过保护现象。

基于以上分析,针对 SDM-EONs 下的资源分配问题,本文提出了动态路由和串扰感知算法,该算法不仅能够根据动态业务自适应调整路由策略,同时还减少了 ICXT 的影响,降低了系统阻塞率并提高了吞吐量。

1 问题描述

1.1 ICXT 问题

由于 MCF 的物理结构特点,同一光纤内的纤芯间没有物理包层隔绝,在传输光信号时会因为光功率泄漏而导致 ICXT 问题,而且串扰问题会随着业务量以及传输距离的增加而变得更加严重,限制了 SDM 技术所带来的容量优势,影响了网络传输性能^[9-11]。图 1 所示为 ICXT 示意图。

收稿日期:2019-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51977021)

作者简介:熊琪乐(1995—),男,湖北武汉人。硕士,主要研究方向为光网络资源调度软件仿真和算法实现。

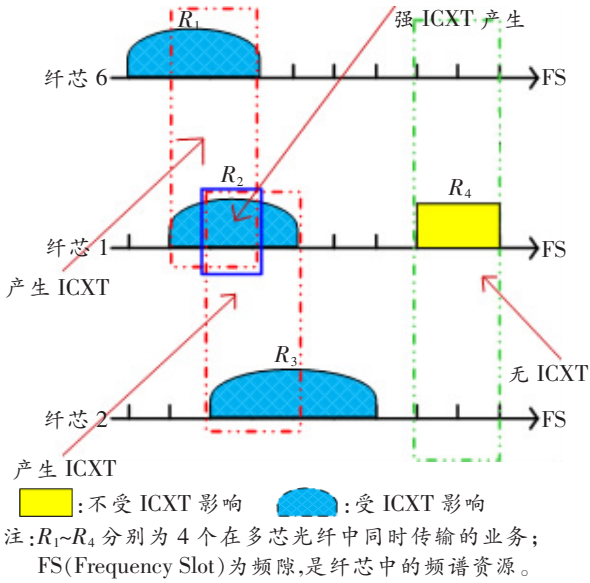


图 1 ICXT 示意图

目前, MCF 中 ICXT 普遍被定义为

$$h = \frac{2x^2 r}{\beta q}, \quad (1)$$

$$XT_{av} = \frac{n - n \cdot \exp[-(n+1) \cdot 2hL]}{1 + n \cdot \exp[-(n+1) \cdot 2hL]}, \quad (2)$$

式中: h 为 ICXT 增量; x 、 r 、 β 和 q 分别为耦合系数、弯曲半径、传播常数和芯间距; XT_{av} 为 ICXT 平均值; n 为相邻纤芯数; L 为光纤传输距离。

1.2 RSCA 问题

区别于传统波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)网络, EONs 具有更加灵活的频谱分配方式, 能够以更细粒度的频隙(如 12.5 GHz)代替 WDM 网络的子载波(如 100 GHz), 使得载波能够更好地适应不同类型的业务需求, 但与此同时, 其资源分配算法也将传统的路由波长分配(Routing Wavelength Allocation, RWA)问题变为更加复杂的路由频谱分配(Routing Spectrum Allocation, RSA)问题, 其复杂度已被证明为非确定性多项式完备问题。而随着 SDM(MCF)技术的引入, 虽然其带来了单模单芯光纤成倍的传输容量优势, 但空间维度的引入进一步增加了原 RSA 问题求解的复杂度, 将原 RSA 问题转变为了 RSCA 问题。因此, 设计一个合理有效的启发式算法不仅能够降低算法的时间复杂度, 同时还能够高效可靠地利用现有的物理资源降低业务传输的失败概率, 提高资源利用率。

2 RSCA 算法

2.1 动态路由子算法

在资源分配的初始阶段, 首先应该为到来的业

务选择传输路径。而传统的最短路径算法是根据业务请求的源目的节点静态地计算出最短跳数或最短物理距离的候选路径, 无法根据全网的负载和能耗情况做出动态调整。

本算法首先设计了一个候选路径优先级排序公式, 不仅考虑了物理跳数, 同时还将动态系统路径和链路负载情况考虑了进去:

$$W_{P_k}^r = \frac{\sum_{A_k \in F, A_k \geq f_r} N_{A_k}^r}{U_{P_k} \times Hop_{P_k}}, \quad (3)$$

式中: $W_{P_k}^r$ 为对于请求速率为 r 的业务其第 k 条候选路径的评判值, 其值越大说明该路径越该被先选择, 业务被成功传输的概率越大; f_r 为请求速率为 r 的业务在当前调制格式下所需的频隙数目; $N_{A_k}^r$ 为当前路径 k 中能够满足业务所对应的 f_r 的空闲频谱块; U_{P_k} 为路径 k 的频谱利用率; P_k 为第 k 条路径; Hop_{P_k} 为路径 k 的跳数。

路径 k 频谱利用率计算公式为

$$U_{P_k} = \begin{cases} \text{Max} \{U_{link_i} \mid link_i \in P_k\}, & \text{Max} \leq 0.75 \\ \text{Max} \{U_{link_i} \mid link_i \in P_k\} \times \theta, & \text{Max} \in (0.75, 0.95) \\ \infty, & \text{Max} \geq 0.95 \end{cases}, \quad (4)$$

$$U_{link_i} = \frac{\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^F f_j^c}{F \times C}, \quad (5)$$

其为一个分段函数, 由式(4)和(5)可计算出链路利用率并判断最大值和阈值的的关系。式中: U_{link_i} 为链路 i 的利用率; θ 为惩罚系数, 取值 0.9; C 和 F 分别为总纤芯数和中频隙数; f_j^c 为纤芯 c 中的第 j 号频隙索引, 空闲为 1, 否则为 0。

2.2 串扰感知算法

串扰感知算法的具体步骤如下:

步骤 1: 输入: 业务请求 (s, d, r) , s 、 d 和 r 分别为源节点、目的节点和请求速率, 纤芯优先级分组集合 G_i , 对应频谱分区集合 S_i 。选定候选路径 p 。

步骤 2: 对于每条属于 p 的链路 l_i 其中的每一个候选纤芯 c , 遍历其频谱资源, 寻找能够满足请求速率为 r 的业务的空闲频谱块数目。若可用资源非空, 则进入步骤 3, 否则循环此步骤至遍历完所有纤芯。

步骤 3: 对每个空闲频谱 FS_i , 从其起始频隙 f_s 开始, 计算新加入的串扰值 XT_a , 以及活跃的相邻纤芯对本频隙的串扰值 XT_b 。分别判断 XT_a 和

XT_i 与串扰门限值的关系,若均未超过门限,则跳出步骤 3 并返回 True,否则重复本步骤检查下一个空闲频谱块 $FS_i + 1$,直至检查完所有可用空闲频谱块。

步骤 4:若该候选路径 p 中所有的纤芯都不能满足该请求速率为 r 的业务,则返回 False。

3 仿真与分析

为了验证本文算法的性能,本文将以中国拓扑为仿真对象。本文主要针对 7 芯光纤进行仿真,在 ICXT 改善环节会对具有高串扰的 19 芯进行仿真。仿真业务数目为十万个,业务到达服从参数为 λ 的泊松分布,持续时间服从参数为 μ 的负指数分布,算法中对业务进行归一化处理。

本文首先以经典 K 条最短路径首次匹配(K-Shortest Path First Fit, KSP-FF)算法为基准算法,对比算法分别为按需结构 (Architecture of Demand, AoD)算法^[12]和纤芯分组 (Core Grouping, CG)算法^[13]。

图 2 所示为网络拓扑下带宽阻塞率性能,本文算法为蓝色实线。由图可知,基准算法 KSP-FF 带宽阻塞率最高,AoD 与 CG 算法其次,而本文提出的算法在阻塞率性能上表现优异。在相同业务负载下其带宽阻塞率明显比其他对比算法要低。这是由于本文不仅考虑了动态路由机制,还把 ICXT 的影响作为重要的度量,设计了串扰感知算法,进一步降低了带宽阻塞率。

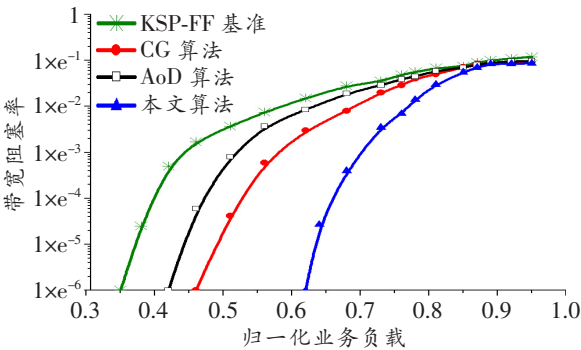


图 2 带宽阻塞率性能

图 3 和 4 所示分别为 7 芯和 19 芯 MCF 在美国电信网络 (USNET) 中针对不同算法与基准 KSP-FF 相比较的 ICXT 改善效果。由于公式以 KSP-FF 算法为基准,在业务负载较低时,MCF 中资源充裕,不会出现资源不够用的情况,所以在起始负载为 0.1 时,本文算法和 CG 算法相比于基准 KSP-FF 算法均只有 20%左右的提升,随着业务量的增长,

性能差距逐渐明显,这是因为被动的串扰避免方案只能在网络初始化阶段对纤芯和频隙进行分组操作,当业务负载较大时,所有无串扰分组都满载,算法性能将会严重受限。

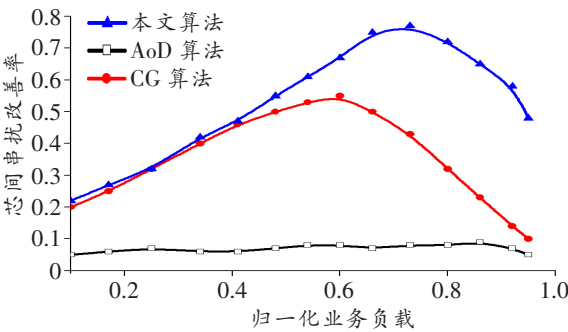


图 3 7 芯 MCF 中串扰改善率

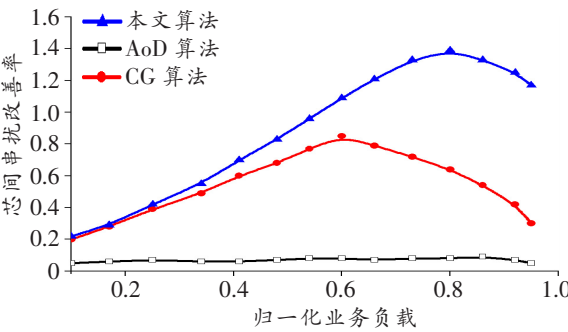


图 4 19 芯 MCF 中串扰改善率

4 结束语

本文针对 SDM-EONs 中动态资源分配问题,提出了一种基于动态路由与串扰感知的资源分配算法。首先设计了一种候选路径排序公式来综合性地对候选路径集进行排序,不仅考虑了物理跳数,还将链路利用率和剩余频谱资源作为重要度量参数。同时,设计了串扰感知算法判断 ICXT 情况,尽可能地降低串扰对系统阻塞率和吞吐量性能的影响。仿真结果表明,本算法在串扰解决和降低阻塞率等方面成效明显。

参考文献:

[1] Werner Klaus, Benjamin J, Puttnam, et al. Advanced Space Division Multiplexing Technologies for Optical Networks[J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2017, 9(4), C1-C11.

[2] Klinkowski M A, Walkowiak K. On the Advantages of Elastic Optical Networks for Provisioning of Cloud Computing Traffic[J]. IEEE Network, 2013, 27(6): 44-51.

[3] Klinkowski M, Lechowicz P, Walkowiak K. Survey of

- [40] Herji E A, André P, Gomes J, et al. A Study of Modulation Formats for the Blue Ray Underwater Optical Modem[C]//2018 Fourth Underwater Communications and Networking Conference. Lercici, Italy; IEEE, 2018;8493184.
- [41] Wang J, Lu C, Li S, et al. 100 m/500 Mbps Underwater Optical Wireless Communication Using an NRZ-OOK Modulated 520 nm Laser Diode[J]. Optics Express, 2019, 27(9):12171—12181.
- [42] Cox W C, Hughes B L, Muth J F. A Polarization Shift-Keying System for Underwater Optical Communications [C]//OCEANS 2009. Biloxi, MS, USA; IEEE, 2009:5422258.
- [43] Dong Y, Zhang T, Zhang X. Polarized Pulse Position Modulation for Wireless Optical Communications[C]//2013 47th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS). Baltimore, MD, USA; IEEE, 2013:6624253.
- [44] Mi X, Dong Y. Polarized Digital Pulse Interval Modulation for Underwater Wireless Optical Communications [C]//OCEANS 2016-Shanghai. Shanghai, China; IEEE, 2016:7485450.
- [45] Al-Halafi A, Shihada B. UHD Video Transmission over Bidirectional Underwater Wireless Optical Communication[J]. IEEE Photonics Journal, 2018, 10(2):1—14.
- [46] Bai J, Li Y, Cheng W, et al. PAPR Reduction for IM/DD-OFDM Signals in Underwater Wireless Optical Communication System[C]//2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). Wuhan, China; IEEE, 2018:8398007.
- [47] Hessien S, Tokgöz S C, Anous N, et al. Experimental Evaluation of OFDM-based Underwater Visible Light Communication System[J]. IEEE Photonics Journal, 2018, 10(5):1—13.
- [48] Lian J, Gao Y, Wu P, et al. Orthogonal Frequency Division Multiplexing Techniques Comparison for Underwater Optical Wireless Communication Systems[J]. Sensors, 2019, 19(1):s19010160.
- [49] Elamassie M, Karbalayghareh M, Miramirkhani F, et al. Adaptive DCO-OFDM for Underwater Visible Light Communications[C]//2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Sivivas, Turkey; IEEE, 2019:8806323.