

一种新型结构光交叉连接节点及其联网性能分析

乐孜纯 陈 君 付明磊 朱智俊 侯继斌 张 明

(浙江工业大学理学院, 浙江 杭州 310023)

摘要 通过对常见光交叉连接器(OXC)的改进,提出了一种具有有限波长转换能力的内部光交叉连接节点(L-WIXC),既具备冲突消解能力又降低成本。采用算法编程方法,分析比较了 L-WIXC 和其他两种现有 OXC 结构,以及基于不同信令协议的 L-WIXC 的拥塞性能,结果表明 L-WIXC 具有较低的拥塞概率,并且基于 JET 协议的 L-WIXC 比基于 JIT 协议的 L-WIXC 具有更低的拥塞概率。通过搭建 L-WIXC 仿真平台,测试信号光功率、串扰、误码率、眼图等性能参数,分析讨论了单个 L-WIXC 节点,以及基于 L-WIXC 节点的线状网络和网状网络的仿真测试结果。结果表明 L-WIXC 具有良好的联网性能。

关键词 光通信;光交叉连接;光突发交换;拥塞分析;控制算法

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.0306005

Optical Cross Connection: Novel Architecture and Performance Analysis

Le Zichun Chen Jun Fu Minglei Zhu Zhijun Hou Jibin Zhang Ming

(College of Sciences, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract A novel optical cross connection named limited wavelength conversion wavelength interchangeable cross connection (L-WIXC) is proposed to improve the conflict resolution and decrease the cost. The optical architecture and network control system of L-WIXC as well as corresponding control algorithm are described. By means of comparing congestion properties of several different OXC structures and different signaling protocols, it can be concluded that the congestion of L-WIXC is lower, and L-WIXC with JET protocol has better congestion probability than that with JIT protocol. A simulation platform is also built for testing the performance of L-WIXC. The tests are done and analyzed for single L-WIXC node, serial links with L-WIXC and mesh links with L-WIXC by simulating the optical power, crosstalk, BER and eye diagram. The results show that L-WIXC has satisfying performance for applying in optical switching networks, especially in optical burst switching network.

Key words optical communications; optical cross connection; optical burst switching(OBS); congestion analysis; control algorithm

OCIS codes 060.2330; 230.1150; 060.1155; 060.4251; 060.4251

1 引 言

光交叉连接器(OXC)是光网络节点中实现信息交换的关键器件,对光网络中的路由、资源优化配置、保护与恢复机制等都具有重要影响。近年来,国内外研究者对 OXC 开展了深入研究。在 OXC 结构设计方面,通过利用不同光学器件和采用不同设计方法,构架具有独特功能的新型结构 OXC 以满足不同的应用需要^[1~3]。在 OXC 的性能分析方面,则主要通过建立分析模型^[4]对其光学和网络性能进

行分析^[5,6]。

对 OXC 性能的研究应该包括两方面,一方面涉及 OXC 的结构对网络性能的影响,以拥塞、通信吞吐量等作为评价指标;另一方面涉及 OXC 的光学和通信性能,以信道串扰、误码率和眼图等作为评价指标,二者对 OXC 的在通信网中的实际应用均非常重要。然而,由于专业背景不同,多数研究者要么只侧重于 OXC 光学结构及光学和通信性能的研究,要么只关注 OXC 结构的网络性能,因此尚未见

收稿日期: 2010-09-06; **收到修改稿日期**: 2010-10-21

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y1080172)和浙江省重大科技计划(2009C11051)资助课题。

作者简介: 乐孜纯(1965—),女,博士,教授,博士生导师,主要从事光纤通信网络组网技术与光电子器件等方面的研究。

E-mail: lzc@zjut.edu.cn

对 OXC 节点的光学性能和网络性能进行综合研究的报道。

本文提出了一种适用于交换速度快、粒度小的新一代光交换网络^[7~9]的、具有有限波长转换能力的光交叉连接节点(L-WIXC)结构^[10]。该 L-WIXC 节点包括了具有有限波长转换能力的光学结构以及基于光突发交换(OBS)网络环境^[8,11]的网络控制系统,在满足单向资源预留要求的同时还具有成本低廉的优点。并对单个 L-WIXC 节点和 L-WIXC 节点在联网状态下的光学、通信和网络性能进行了综合研究。本文首先简要介绍 L-WIXC 的构架,之后基于 L-WIXC 结构对 JET 协议进行改进,设计并实现了适用于 L-WIXC 的信令控制算法,并在此基础上,对不同的 OXC 结构以及不同信令协议下的网络拥塞性能进行了分析比较。最后,搭建仿真平台,分别针对单个 L-WIXC 节点,以及线状网络(即基于 L-WIXC 节点构建串行链路)和网状网络(即基于 L-WIXC 节点构建网状链路),仿真测试了联网状态下 L-WIXC 的光功率、信号串扰、误码率和眼图等性能参数,并对仿真测试结果进行了分析和讨论。

2 L-WIXC 的构架

基于空间交换的 OXC 典型结构有:无波长转换 OXC,如波长选择交叉连接器(WSCX)和全波长

转换 OXC,如波长内部可变交叉连接器(WIXC)。WIXC 的优点是能实现严格无阻塞的波长交换,因此节点的拥塞率低;缺点是由于大量使用波长转换器,价格十分昂贵。WSCX 不使用波长转换器,光交叉矩阵规模也较小,其优点是价格较低,缺点是波长交换能力差,很难实现波长重用。为了解决上述两种 OXC 结构的缺点,提出了具有有限波长转换能力的 WIXC(L-WIXC)节点^[10]。

如图 1 所示,该 L-WIXC 的光学结构是一个 3 光纤输入、3 光纤输出、每根光纤支持 4 个波长信道的光通信系统,它包括 3 个位于输入端口的解复用器、3 个位于输出端口的复用器、4 个 4×4 交换光开关(S_0-S_3)和 1 个 4×4 波长交换光开关(S_4),以及 4 个任意输入、固定输出的波长转换器。L-WIXC 的工作流程:来自输入端口的 WDM 信号经过解复用器后,转换成 4 个独立的波长信号并进入对应的交换光开关。如果光开关输出端口相应波长信道为空闲,则无需波长转换,直接输出。如果相应波长信道已被占用,而当前时刻尚有其他波长信道空闲,则该输入波长信号从交换光开关输出到波长转换光开关中,并通过相应的波长转换器转化为空闲波长,然后再次进入交换光开关中并输出。

L-WIXC 的网络控制系统工作流程:信号源以一定概率分布发送突发数据包(BDP),BDP 经过电

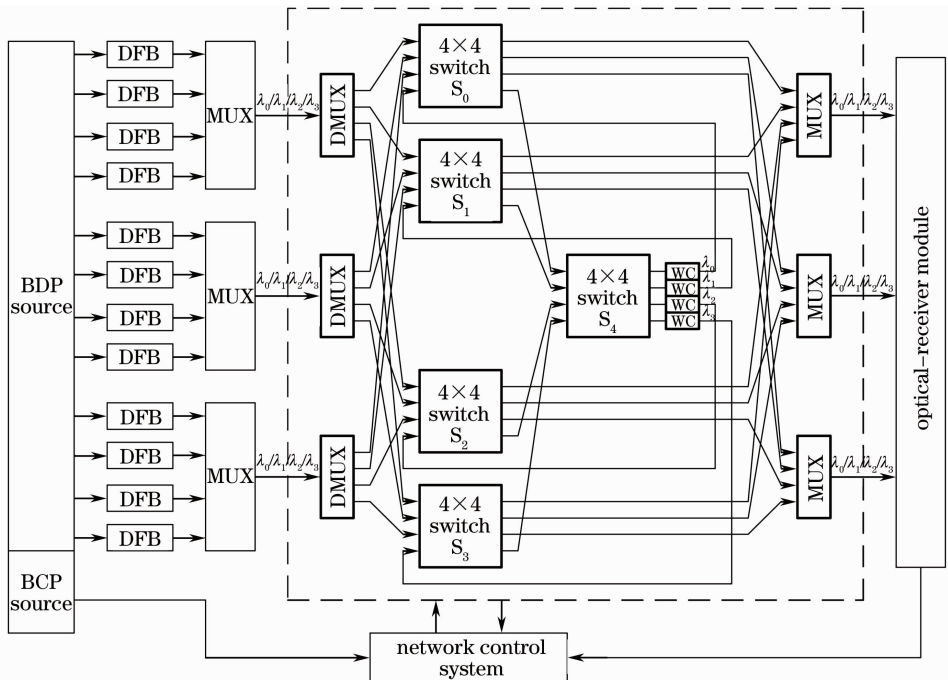


图 1 L-WIXC 节点构架

Fig. 1 Structure of L-WIXC node

光转换器变成光信号,并通过波分复用器耦合进光纤中传输。在每一个BDP发送之前,与其对应的突发控制包(BCP)提前一个偏置时间发送到控制模块。控制模块根据BCP中包含的BDP的目的地址、包长、偏置时间等信息,并依据当前所采用的信令协议,为即将到达的BDP选择和预留可用波长。控制模块通过串口输出控制信令完成对L-WIXC中光开关的配置。如果当前的L-WIXC波长使用情况使得无法为新到达的BDP预留波长,则对应的BDP将被丢包。L-WIXC输出的光信号最终到达光接收模块,光接收模块同时具有监测性能,监测成功传输的BDP数量和主要的光学参数,并将监测结果反馈至控制模块。

3 L-WIXC的控制算法及其拥塞性能分析

3.1 基于JET协议的L-WIXC的控制方法

JET是针对OBS网络提出的一种传输控制协议,它使网络的控制管理更灵活,但却对网络的冲突消解能力有更高的要求。波长转换是一种频域的冲突消解机制,L-WIXC具有有限波长转换能力,因此从硬件构架上已经具备支撑JET协议的基础,本文基于L-WIXC结构对JET协议进行改进,设计并实现了适用于L-WIXC的信令控制算法。描述L-WIXC工作状态的符号和术语定义如下:

$Q_1[\lambda_{ij}]$ 表示L-WIXC当前波长占用状态矩阵, λ_{ij} 为布尔型变量。 $\lambda_{ij}=0$ 时,对应的波长空闲; $\lambda_{ij}=1$ 时,对应的波长被占用。

$Q_2[t_{ij}]$ 表示 $Q_1[\lambda_{ij}]$ 中对应波长的占用时间, t_{ij} 为整数型变量。 $t_{ij}=0$ 时,对应的 $\lambda_{ij}=0$;否则,对应的 $\lambda_{ij}=1$ 。

$Q_3[e_{ij}]$ 表示 $Q_2[t_{ij}]$ 中对应定时器的使能信息, e_{ij} 为整数型变量。当 $e_{ij}=0$ 时,对应的 t_{ij} 开始计时,并且 $\lambda_{ij}=1$;否则,对应的 t_{ij} 保持预置值不变,并且 $\lambda_{ij}=0$ 。

$Q'_2[t'_{ij}]$ 表示 $Q_2[t_{ij}]$ 中对应元素的备份信息,其中 t'_{ij} 为整数型变量。

$Q'_3[e'_{ij}]$ 表示 $Q_3[e_{ij}]$ 中对应元素的备份信息。其中 e'_{ij} 为整数型变量。

只有在 Q'_3 中 $e'_{ij}=0$ 的条件下, Q_3 中的 e_{ij} 才可以置0;当 $e'_{ij}=0, e_{ij} \neq 0$ 时, $e'_{ik}=e_{ik}, t_{ik}=t'_{ik}$ 。

i 表示输出光纤的端口号,取值范围为 $[0,1,2]$ 。

j 表示对应的波长编号,取值范围为 $[0,1,2,3]$ 。

$L(n)$ 表示第 n 个BDP的包长信息。

$T(n)$ 表示第 n 个BDP的偏置时间。

对于采用JET协议的L-WIXC网络控制系统,控制步骤如下:

1)对于第 n 个到达的BCP,基于现场可编程门阵列(FPGA)的控制模块会记录其中的 $L(n), T(n)$,目的端口编号 i ,输入波长编号 j 。

2)查询 Q_1 和 Q_3 ,如果 $\lambda_{ij}=0$ 并且 $e_{ij}=0$,那么 $t_{ij}=L(n), e_{ij}=T(n)$,转向4);如果 $\lambda_{ij}=0$ 并且 $e_{ij} \neq 0$,那么如果 $L(n)+T(n) \leq e_{ij}$,缓存 $e'_{ij}=e_{ij}-[L(n)+T(n)]$ 和 $t'_{ij}=t_{ij}$ 。同时更新 $t_{ij}=L(n), e_{ij}=T(n)$,转向4);如果 $\lambda_{ij}=1$,那么转向3)。

3)查询 λ_{ij} 的相邻波长,设 k 的取值范围为 $[0,1,2,3]$ 且 $k \neq j$,如果 $\lambda_{ik}=0$ 并且 $e_{ik}=0$,那么 $t_{ik}=L(n), e_{ik}=T(n)$,转向4);如果 $\lambda_{ik}=0$ 并且 $e_{ik} \neq 0$,那么如果 $L(n)+T(n) \leq e_{ik}$,缓存 $e'_{ik}=e_{ik}-[L(n)+T(n)]$ 和 $t'_{ik}=t_{ik}$ 。同时更新 $t_{ik}=L(n), e_{ik}=T(n)$,转向4);如果 $\lambda_{ik}=1$,那么丢弃这个BCP。

4)更新 Q_1, Q_2, Q_3, Q'_2 和 Q'_3 的元素值,等待下一个BCP到来。

最后,FPGA根据计算结果分别向交换光开关和波长转换光开关发送串行指令,并且在BDP到达之前完成光开关的配置。

3.2 不同OXC结构和不同信令协议下的网络拥塞性能比较

拥塞产生与BCP的到达情况和OXC中的波长占用状态有关,本文主要针对波长占用状态对OXC的拥塞进行分析,并假设两个或者以上具有相同目的地址的BCP不会同时到达。

假设OXC输入端口的BDP到达率服从均值为 λ 的泊松分布,BDP包长分布的均值为 $1/\mu$,那么可以将3光纤输入、3光纤输出、每根光纤支持4个波长信道的WSXC描述为12个独立的M/M/1/1排队系统,且该排队系统的负载 $\rho=\lambda/(12 \times \mu)$ 。而3光纤输入、3光纤输出、每根光纤支持4个波长信道的WIXC则可被描述为一个M/M/12/12排队系统,并且该排队系统的负载 $\rho=\lambda/\mu$ 。具有有限波长转换能力的OXC,其描述较为复杂,通常需要采用连续时间马尔科夫链^[12~14]或者生灭过程^[15]等方法进行描述。

与上述方法不同,本文采用提出算法并编程仿真的手段对WSXC, WIXC和L-WIXC三种OXC结构的网络拥塞性能进行研究,并分析了L-WIXC在两种不同的信令协议下的拥塞性能,即基于JET

协议的 L-WIXC(用 L-WIXC-JET 表示)和基于 JIT 协议的 L-WIXC(用 L-WIXC-JIT 表示)。仿真结果如图 2 所示。从图 2 中可以看出,在同样的网络负载条件下,WIXC 具有最低的拥塞概率,WSXC 的拥塞概率最高,而 L-WIXC-JIT 和 L-WIXC-JET 的拥塞概率接近 WIXC。并且,L-WIXC-JET 比 L-WIXC-JIT 具有更低的拥塞概率。如果假设 BDP 的包长变化范围为 120 Mb 至 240 Mb,偏置时间变化范围为 12 ms 至 24 ms,数据收发速率为 10 Gb/s,那么在拥塞概率为 5%的条件下,采用 JIT 协议的 L-WIXC 的最大通信吞吐量为 24 Gb/s;而采用 JET 协议的 L-WIXC 的最大通信吞吐量为 31.9 Gb/s。

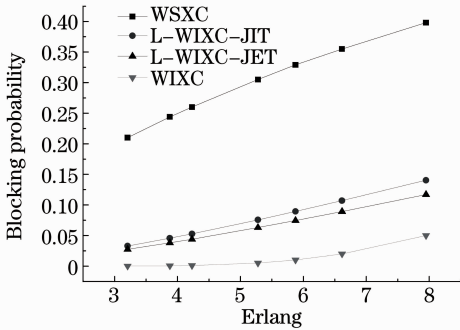


图 2 拥塞概率比较结果

Fig. 2 Comparison of congestion probability

4 L-WIXC 仿真平台搭建以及性能分析

本文采用 Optisystem 光通信仿真软件搭建了一个 L-WIXC 仿真平台,仿真平台的参数设置如下:信号发射波长为 $\lambda_0 = 1490$ nm, $\lambda_1 = 1500$ nm, $\lambda_2 = 1510$ nm, $\lambda_3 = 1520$ nm,平均光发射功率

0.1 mW,即 -10 dBm。信号传输主要采用标准单模光纤,其衰减参数为 0.2 dB/km,色散参数为 1.6×10^{-5} s/m²。仿真中为了比较色散值对信号传输的影响,还选用了一种低色散值的特种光纤,其衰减参数仍为 0.2 dB/km,色散参数则减小为 0.5×10^{-5} s/m²。传输光纤长度最长设置为 50 km。光开关的串扰隔离度设置为 55.0 dB,4 个波长转换器的输出频率分别为 $\lambda_0 = 1490$ nm, $\lambda_1 = 1500$ nm, $\lambda_2 = 1510$ nm, $\lambda_3 = 1520$ nm。其他光学参数取系统默认值。

4.1 单个 L-WIXC 节点性能分析

对于单个 L-WIXC 节点,侧重仿真分析了其串扰性能、误码率以及色散对传输性能的影响。首先分别在无波长转换和有波长转换条件下,对 L-WIXC 的串扰性能进行了仿真分析,观察输入主波长为 $\lambda_0 = 1490$ nm,检测输出端口主波长的光功率和串扰信号的光功率。无波长转换时,输出主波长信号仍为 $\lambda_0 = 1490$ nm,仿真结果如图 3(a)所示, $\lambda_0 = 1490$ nm 主信号的光功率大约为 -14 dBm(稍低于原始功率 -10 dBm),而另 3 个波长的串扰信号的光功率约为 -68 dBm,主信号强度远远高于串扰光信号强度。有波长转换时,假设输入波长 $\lambda_0 = 1490$ nm 的光信号发生冲突,需转换成 $\lambda_1 = 1500$ nm 输出,则输出端口主波长信号变为 $\lambda_1 = 1500$ nm,仿真结果如图 3(b)所示, $\lambda_1 = 1500$ nm 主信号的光功率约为 -16 dBm,而另 3 个波长的串扰信号的光功率约为 -68 dBm。虽然主信号在需要波长转换的情况下总共经过了 6 个光器件(如图 1 所示),但是主信号的强度仍然明显高于串扰信号强度。因此可以得出结论,串扰信号对主信号的接收产生的影响很小。

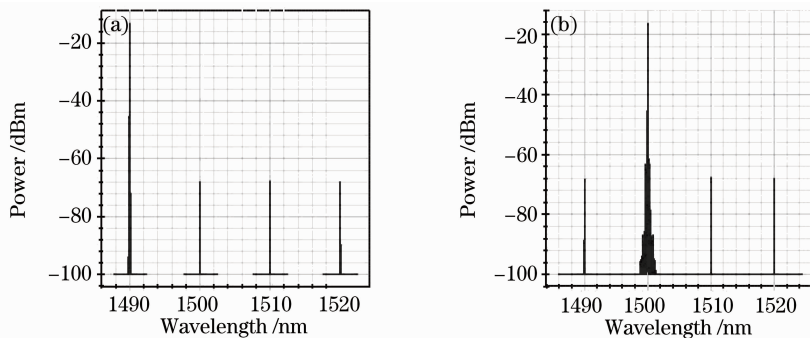


图 3 (a)无波长转换情况下的信号串扰图,(b)有波长转换情况下的信号串扰图

Fig. 3 (a) Signal crosstalk without wavelength conversion, (b) signal crosstalk with wavelength conversion

为了比较色散值对信号传输的影响,仿真时选用了色散参数为 1.6×10^{-5} s/m² 的标准单模光纤

(SMF)和色散参数为 0.5×10^{-5} s/m² 的低色散值特种光纤,测试了上述两种色散参数下 L-WIXC 的

误码率(BER) n_{BER} 。其中标准单模光纤在光纤长度为 43 km 时, BER 接近 1×10^{-9} , 即接近光通信系统对误码率的最低要求。而特种光纤在光纤长度为 46 km 时, BER 接近 1×10^{-9} 。使用低色散值的特种光纤只比标准单模光纤增加了约 7% 的传输距离, 可见降低色散值对于增加传输距离没有明显效果。因此, 在 L-WIXC 的实际应用中一般应使用标准单模光纤, 有成本低、性能稳定的优点。而在一些有着特别要求的应用场景, 比如高传输速率、低信道间隔的密集波分复用(DWDM)系统则可以选用低色散值的特种光纤。

4.2 联网状态下 L-WIXC 节点的性能分析

4.2.1 串行链路(线状网络)条件下 L-WIXC 的误码率

在串行链路的 L-WIXC 节点数分别为 2 个和 3 个时, 通过改变 L-WIXC 节点之间的光纤长度, 测试了整条串行链路的误码率。另外, 还测试了配置

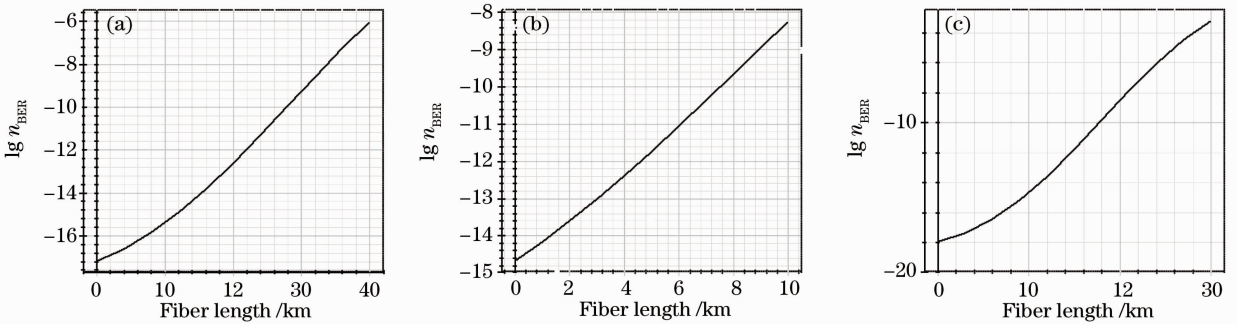


图 4 (a) 两节点串行链路的误码率, (b) 三节点串行链路的误码率, (c) 配置 EDFA 后的三节点串行链路的误码率
Fig. 4 (a) BER versus fiber length for two nodes, (b) BER versus fiber length for three nodes, (c) BER versus fiber length for three nodes with EDFA

4.3 网状链路(网状网络)条件下 L-WIXC 的性能分析

4.2 节的串行链路可以被看作是网状链路的组成单元, 网状链路具有更加复杂的特性。对于拓扑结构如图 5 所示的网状链路, 每个 L-WIXC 节点之间的单模光纤长度为 5 km。波长为 $\lambda_0 = 1490$ nm 和 $\lambda_1 = 1500$ nm 的复用光信号从编号为(1)的 L-WIXC 节点进入网状链路, 然后在编号为(2)的 L-WIXC 节点分成两路, 一路经编号为(3)和(4)的 L-WIXC 节点, 另一路经编号为(5)的 L-WIXC 节点, 传输至编号为(6)的 L-WIXC 节点。在编号为(6)的 L-WIXC 节点的输出端口分别测试两路光信号的光功率、误码率以及眼图。

4.3.1 网络链路条件下 L-WIXC 的信号光功率检测分析

图 6 是两路光信号的光功率的仿真测试结果。

掺铒光纤放大器(EDFA)后的 3 节点串行链路的误码率。误码率的仿真测试结果如图 4 所示。

图 4(a) 给出当 L-WIXC 的节点数为 2 个时, 串行链路的 BER 与光纤长度的关系。从图 4(a) 可以看出, 在光纤长度约为 31 km 时, 串行链路的 BER 达到了 1×10^{-9} ; 图 4(b) 给出 L-WIXC 的节点数为 3 个时, 串行链路的 BER 与光纤长度的关系。图 4(b) 中, 在每段光纤长度约为 9 km 时, 即总光纤长度约为 18 km 时, 串行链路的 BER 达到 1×10^{-9} ; 图 4(c) 则给出了当 L-WIXC 的节点数为 3 个时, 增加配置了 EDFA 的串行链路的 BER 与光纤长度的关系。图 4(c) 中, 在每段光纤长度约为 19 km 时, 即总光纤长度约为 38 km 时, 串行链路的 BER 达到 1×10^{-9} 。由此可见, 增加节点数目将使得传输距离大幅度减小, 此时通过配置 EDFA, 可以补偿节点处的功率损耗, 增加信号的传输距离。因此在构建节点链路时, 需要根据节点数量适当地配置 EDFA。

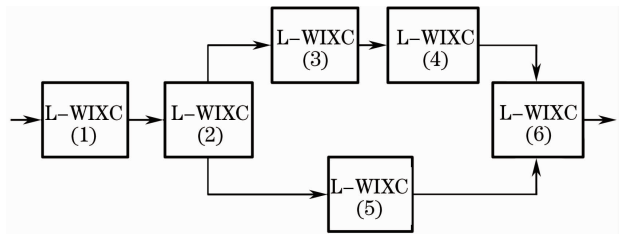


图 5 基于 L-WIXC 的网状链路

Fig. 5 Diagram of the mesh links based on L-WIXC

由于 $\lambda_0 = 1490$ nm 的光信号在传输过程中经过了 5 个 L-WIXC 节点和 20 km 的光纤, 而 $\lambda_1 = 1500$ nm 的光信号只经过了 4 个 L-WIXC 节点和 15 km 的光纤, 所以 $\lambda_1 = 1500$ nm 的光信号强度大于 $\lambda_0 = 1490$ nm 的光信号强度。而两路光信号的功率均大于 -30 dBm, 能够被光接收器正常接收。仿真结果验证了不同频率的光信号可以在基于 L-WIXC 的网状链路中并行传输。

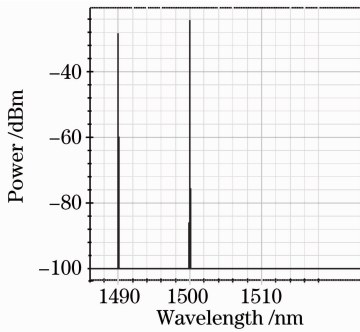


图 6 网状链路条件下两路信号的光功率

Fig. 6 Optical power of the two signals transmitted in the mesh links

4.3.2 网络链路条件下 L-WIXC 的信号误码率、眼图分析

图 7(a)和(b)是两路光信号眼图的仿真测试结果。图 7(a)给出的是第一路光信号($\lambda_0 = 1490$ nm)的眼图,该路光信号在传输过程中经过了编号为(1)~(4)和(6)共 5 个 L-WIXC 节点和 20 km 光纤,该眼图所对应的误码率是 1.3×10^{-2} (已远远超过 1×10^{-9}),因此该眼图非常模糊,完全不能辨别。图 7(b)给出的是第二路光信号($\lambda_1 = 1500$ nm)的眼图,该路光信号在传输过程中经过了编号为(1),(2),(5),(6)共 4 个 L-WIXC 节点和 15 km 光纤,

其对应的误码率是 1.2×10^{-4} ,也超过 1×10^{-9} ,故该眼图也很模糊,但尚能分辨眼状。虽然两个信号的光功率足够大,但是误码率却已非常高,已经满足不了通信的要求。

如果在图 5 中编号为(6)的 L-WIXC 节点的输出端口配置 1 个 EDFA,并在 EDFA 的输出端测试两路光信号的误码率以及眼图,眼图如图 7(c)和(d)所示。图 7(c)给出的是配置了 1 个 EDFA 后的第一路光信号($\lambda_0 = 1490$ nm)的眼图,其眼图已经大为改善,较为清晰,所对应的误码率是 3.8×10^{-11} ,符合光通信要求;图 7(d)是第二路光信号($\lambda_1 = 1500$ nm)的眼图,眼图已经非常清晰,其对应的误码率是 2.0×10^{-24} ,同时两路光信号的光功率亦增加了约 17 dB。以第一路光信号($\lambda_0 = 1490$ nm)为例,在确保其误码率为 1×10^{-9} 的条件下进行仿真测试,两节点之间的传输距离可增加至 5.5 km,总传输距离增加至 22 km,输出端光功率约为 -15 dBm。可见配置 EDFA 可以大幅度改善信号误码率和眼图质量,同时增加信号光功率和传输距离。若要进一步增加节点之间的传输距离,还可以将 EDFA 配置在中间节点[比如图 5 中的(3),(4)或(5)节点]处,但此时就需要综合考虑每路光信号

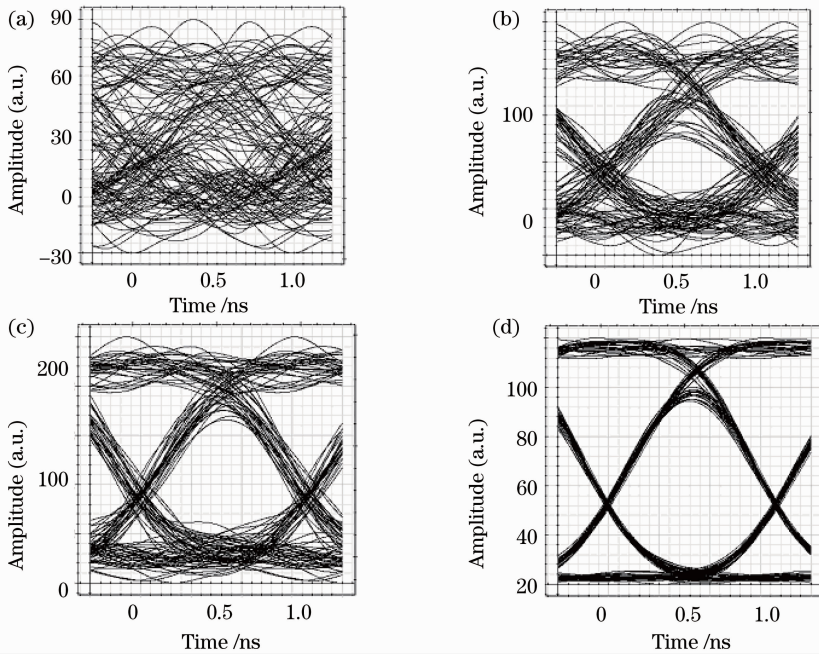


图 7 (a) $\lambda_0 = 1490$ nm 光信号的眼图,(b) $\lambda_1 = 1500$ nm 光信号的眼图,(c)配置 1 个 EDFA 后 $\lambda_0 = 1490$ nm 光信号的眼图,(d)配置 1 个 EDFA 后 $\lambda_1 = 1500$ nm 光信号的眼图

Fig. 7 (a) Eye diagram of the optical signal with $\lambda_0 = 1490$ nm, (b) eye diagram of the optical signal with $\lambda_1 = 1500$ nm, (c) eye diagram of the $\lambda_0 = 1490$ nm optical signal after adding an EDFA, (d) eye diagram of the $\lambda_1 = 1500$ nm optical signal after adding an EDFA

的光功率均衡问题(可以简单地通过选择 EDFA 的放大倍率来解决),以便执行后续的信号复用。因此,随着网络规模扩大、节点数目增加,需要增加配置 EDFA 来改善信号传输性能,并需根据应用需要仔细选择 EDFA 的技术参数和配置位置。

5 结 论

本文提出的 L-WIXC,可以支撑 OBS 网络单向预留机制的要求,适合用于 OBS 网络核心节点,具有结构简单、成本低廉的优点。设计实现的 JET 协议的控制算法使网络的控制管理具有更大的灵活性,提高了网络的冲突消解能力。通过分析比较不同的 OXC 结构以及不同信令协议下的网络拥塞性能,结果表明 L-WIXC 拥塞概率接近 WIXC,并且基于 JET 协议的 L-WIXC-JET 比基于 JIT 协议的 L-WIXC 具有更低的拥塞概率。

通过搭建仿真平台,仿真测试了单个 L-WIXC 节点,以及基于 L-WIXC 的线状网络和网状网络的通信传输性能,考察指标包括光功率、串扰、误码率和眼图。结果表明,L-WIXC 足以胜任 OBS 网络核心节点的功能要求,单个 L-WIXC 能满足 43 km 以内的光通信链路的传输要求。当网络规模扩大、节点数目和通信距离增加时,可以通过适当地配置 EDFA 来满足组网要求。

参 考 文 献

- 1 Comellas J., Conesa J., Junyent G.. Design and performance analysis of a simple OXC[J]. *Photonic Network Communications*, 2003, **5**(81): 81~88
- 2 Li Wei, Liu Deming, Yang Chunyong *et al.*. Design and implementation of a novel low cost intelligent optical wavelength cross converter connect[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(3): 351~355
李蔚,刘德明,杨春勇等.一种低成本智能全波长交叉交换连接器的设计和实现[J].*中国激光*, 2006, **33**(3): 351~355
- 3 Gadkar A., Subramaniam S.. Buffered time-wavelength cross-connects: architectures and performance evaluation[J]. *Optical Switching and Networking*, 2009, **6**(4): 276~288
- 4 Zhao Y., Zhang J., Han D. *et al.*. Analytical models of blocking

- probability for multi-granularity cross-connect-based optical networks[J]. *IET Communications*, 2009, **3**(11): 1716~1723
- 5 Guan Aihong, Zhang Hongmei, Wang Yuhua *et al.*. Analysis of the accumulation of crosstalk in optical cross-connects based on the benes networks[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(3): 602~607
管爱红,张红梅,王玉华等.基于扩展 Benes 结构的光交叉连接节点中串扰积累特性分析[J].*光学学报*, 2009, **29**(3): 602~607
 - 6 Hou Peipei, Song Zhe, Li Xudong *et al.*. Integrated optical $N \times N$ crossbar network and its control algorithm[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 365~369
侯培培,宋哲,李旭东等.单块晶体集成的 $N \times N$ 纵横开关网络及其控制算法[J].*光学学报*, 2008, **28**(2): 365~369
 - 7 Shigeo Shioda, Shu Namiki. Fundamental studies on ultra-high-speed optical LAN using optical circuit switching[J]. *Photonic Network Communications*, 2010, **19**(1): 32~41
 - 8 Amit Kumar Garg, Kaler RS. A novel optical burst switching architecture for high speed networks[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(11): 807~811
 - 9 Zhou Heng, Qiu Kun, Ling Yun *et al.*. Design and demonstration of optical packet switching system adopting multiple optical orthogonal codes label[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(4): 867~872
周恒,邱昆,凌云等.基于多重光正交码光标签的光分组交换系统实验研究[J].*中国激光*, 2009, **36**(4): 867~872
 - 10 Chen Jun, Le Zichun, Fu Minglei. Design of optical cross connection system for the core node in optical burst switching network[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, **38**(s): 229~232
陈君,乐孜纯,付明磊. OBS 核心节点中的 OXC 系统设计方案[J].*红外与激光工程*, 2009, **38**(s): 229~232
 - 11 Gang Wang, Hongxiang Wang, Yuefeng Ji. A congestion alleviated scheme in optical burst switching network[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(9): 628~630
 - 12 Akar N., Karasan E. Exact calculation of blocking probabilities for bufferless optical burst switched links with partial wavelength conversion [C]. Proc of 1st International Conference on Broadband Networks, San Jose CA, 2004. 110~117
 - 13 Reviriego P., Guidotti A. M., Raffaelli C. *et al.*. Blocking models of optical burst switches with shared wavelength converters; exact formulations and analytical approximations[J]. *Photonic Network Communications*, 2008, **16**(1): 61~70
 - 14 Wong E W M, Zukerman M. Performance evaluation for an optical hybrid switch with circuit queued reservations[J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(23): 9446~9459
 - 15 Puttasubbappa V S, Perros H G. An approximate queueing model for limited-range wavelength conversion in an OBS switch [C]. Proc. of 4th International IFIP-TC6 Networking Conference, 2005 Waterloo CANADA, 3462. 697~708