

文章编号: 0253-2239(2004)02-208-7

串扰对密集波分复用网络扩展性的影响*

李凡龙 孙军强

(华中科技大学光电子工程系, 武汉 430074)

摘要: 串扰是限制密集波分复用网络扩展的一个重要因素。理论分析了三种典型光交叉连接中的串扰。结果表明基于扩展贝奈斯光交换结构的光交叉连接可以完全消除低于二阶的各类串扰,同时,若将可调谐的窄带滤波器引入到结构 2 中可以消除低于三阶的各类串扰。用数值模拟的方法分析了带内串扰对强度调制—直接检测网络扩展性的影响。结果表明,基于扩展贝奈斯光交换结构的光交叉连接对器件串扰系数的要求得到了很大的放宽,用它来组建的密集波分复用网络具有很好的扩展性。串扰多是由构成光交换节点中各种器件的非理想性造成的,通过分析得出器件中产生的串扰可以从系统中得到很好的解决。

关键词: 光纤通信技术; 光交叉连接; 扩展贝奈斯结构; 光学串扰; 功率代价

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

Influence of Crosstalk on the Scalability of Dense Wavelength Division Multiplexing Networks

Li Fanlong Sun Junqiang

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(Received 13 November 2002; revised 15 May 2003)

Abstract: Crosstalk is an important limiting factor on the scalability of dense wavelength division multiplexing (DWDM) networks. Crosstalk contributions in three types of DWDM cross-connect topologies with dilated Benes switch architecture have been identified. Results show that first-order crosstalk can be removed in the three optical cross-connect (OXC) nodes and the second-order crosstalk can be eliminated with narrow-band tunable optical filter introduced in the second scheme. Scalability of intensity-modulation direct-detection DWDM networks which built with the three OXC nodes is compared and discussed by numerical simulation. Results indicate that dilated Benes switch-based OXC nodes have good scalability although they are built with high crosstalk-level component. Although the crosstalk of the optical devices used in OXC node is large, it can be reduced by carefully designing the OXC node topology.

Key words: optical fiber communication technology; optical cross connection (OXC); dilated Benes switch; optical crosstalk; power penalty

1 引 言

密集波分复用(DWDM)光网络以其容量大,组网灵活,透明传输、可扩展等特点,成为了各国研究的热点^[1]。光交叉连接(OXC)是组建密集波分复用光网络的基本单元,每个光交叉连接中能容纳的

光纤数、每条光纤中能复用的波长数和能串联的光交叉连接数目是衡量密集波分复用网络扩展性的重要指标。光交叉连接中串扰是限制光网络扩展的主要因素^[2,3]。光交叉连接通常是由解复用器(DMUX)、光开关和复用器(MUX)组成。由于这些器件的非理想性使得输入信号的一部分功率泄漏到其它本不应该去的输出信道中,从而产生串扰。串扰可分为带间串扰和带内串扰。带间串扰指串扰信号的频率在主信号频带外,这种串扰可以用窄带滤波器来滤掉,对信号的影响不大。带内串扰指串

* 国家“八六三”高科技项目(2001AA122072)、武汉市高新技术攻关项目(2002100513008)资助课题。

E-mail: lhfiber@sina.com

收稿日期:2002-11-13; 收到修改稿日期:2003-05-15

扰信号的频率落在主信号的频带内,这种串扰用滤波器无法滤出,会在网络中大量地积累,使系统的误码率增加,信噪比下降,严重影响网络的扩展性能^[4,5]。所以,提高光交叉连接的性能,消除带内串扰尤为重要。

文献[6,7]从整体上分析了串扰对光网络性能的影响,但都没有就某一具体的光交换结构进行分析,而且没有区别讨论各类器件的串扰系数与激光器消光比对系统性能的影响。同实际系统相比,这种分析过于简化。本文首先分析了基于扩展贝奈斯(DB)结构的三种典型光交叉连接结构,得出了不同结构中串扰的相应理论表达式,然后以强度调制—直接检测系统为例,考虑了器件的不同串扰系数和光源消光比等因素,分析了串扰对光网络扩展性的影响,最后比较得出了一种最优的光交叉连接结构。

2 典型的光交叉连接拓扑结构

图 1 和图 2 为典型的光交叉连接结构,文献[8]中也提出类似的结构,本文将扩展贝奈斯结构引入到这光交叉连接中进行分析。

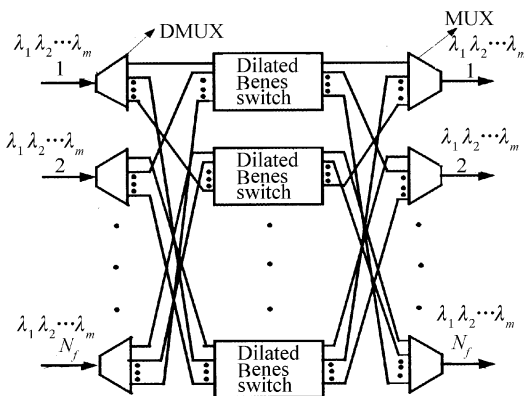


Fig. 1 A generalized OXC architecture with N_f input fibers each carrying N_λ wavelengths. That signals with same wavelengths are switched in each dilated Benes switch is called scheme one, however, with different wavelengths are switched in each dilated Benes switch is called scheme two ($m = N_\lambda$)

一个 $N \times N$ 的扩展贝奈斯结构由 $K = 2 \lg N$ 级构成,且每一级由 N 个 2×2 光开关单元组成^[9]。对图 1 中波长信号进行不同的分组,会派生出两种对应的光交叉连接结构。通过波长分组使具有相同波长的信号在同一个扩展贝奈斯结构中进行交换,我们称之为结构 1。使具有不同波长的信号在同一

个扩展贝奈斯结构中进行交换,我们称之为结构 2。图中用 N_f 代表输入或输出光交叉连接的光纤数, N_λ 代表每根光纤上复用的光波数,因而图 1 中需要 N_λ 个 $N_f \times N_f$ 扩展贝奈斯结构。结构 2 和结构 1 相比,解复用器、复用器和扩展贝奈斯结构数量相同。在结构 2 中当 $N_f \leq N_\lambda$ 时能保证每一个扩展贝奈斯结构中交换的是不同的波长信号,当 $N_f > N_\lambda$ 时至少一个相同波长的信号在同一个扩展贝奈斯结构中进行交换。图 2 中只用一个 $(N_f \cdot N_\lambda) \times (N_f \cdot N_\lambda)$ 扩展贝奈斯结构来完成波长信号之间的交换,我们称之为结构 3。

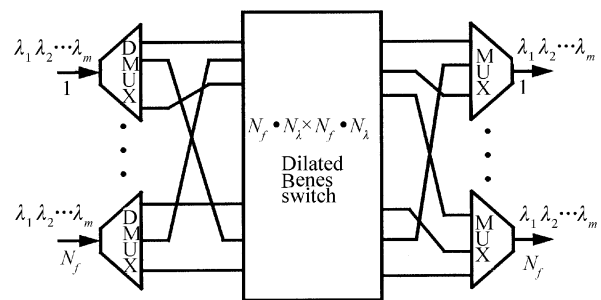


Fig. 2 A generalized node architecture with N_f input fibers each carrying N_λ wavelengths only use a single $(N_f \cdot N_\lambda) \times (N_f \cdot N_\lambda)$ dilated Benes switch. This structure is called scheme three ($m = N_\lambda$)

3 三种光交叉连接结构中串扰的理论分析

在光交叉连接中可以用相同的器件通过不同的拓扑结构来实现相同的交换功能,例如可以利用电光、声光、热光、微机电(MEMS)光开关来组建光交叉连接,但仅仅依靠器件的改进消除串扰是不够的。用相同的器件,不同的拓扑结构,也可使串扰特性有一定程度的改善。

一个光交叉连接中共有三处会引发串扰的产生:第一处,解复用器的非理想性,在最坏的情况下,总有一个波长会受到其它波长的带间串扰的影响。第二处,复用器的非理想性,在最坏的情况下总有一个波长会受到不同程度的带间和带内串扰的影响。由于解复用器和复用器有滤波的功能^[10],所以当节点串连时,对带间串扰而言,低阶串扰会向高阶串扰转化,将大大降低带间串扰的影响。第三处,在光交换结构中,由不同的拓扑结构将引发不同程度、不同类型的串扰。扩展贝奈斯结构是基于贝奈斯结构上

为降低串扰的影响而提出的,它通过一种环回算法(Looping algorithm)^[11]得到的。它不仅继承了贝奈斯结构的优点同时还对串扰有很好的限制^[12],因此,可以用串扰较大的器件来构建串扰较小的光交叉连接节点。所以,在分析中将考虑低于四阶串扰的影响而忽略更高阶串扰的影响,分析中假设密集波分复用网络是由一系列光交叉连接节点串连组成的,同时为了着重分析光交叉连接中串扰对网络扩展性的影响,忽略放大器的自发辐射噪声(ASE)和光纤非线性效应的影响。

图3为一个 4×4 的扩展贝奈斯结构。图中用虚线表示出信号 S_1 受到其它信号的干扰,可以看出它一共有6个串扰。对于一个 $N_f \times N_f$ 的扩展贝奈斯结构一共有 $2\text{lb}N_f$ 级,同时任何一个信号有可能受到其他 $N_f - 1$ 个信号的干扰,当信号经过第二级时有1个串扰加入到信号中,经过第三级时有2个串扰加入到信号中去...、经过第 N 级时有 $N - 1$ 个串扰加入到信号中去,所以总的串扰个数为 $\sum_{i=1}^{2k-1} i$ 。在结构1中,每个扩展贝奈斯结构将交换相同波长的信号,所以整个节点的串扰系数 R_{node} 可以表示为

$$R_{\text{node}} = M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}} + (M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + 1)M_{\text{MUX}}(N_\lambda - 1) + (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}}, \quad (1)$$

式中 $k = \text{lb}N_f M_{\text{SW}}$, M_{DMUX} 和 M_{MUX} 分别为光开关、

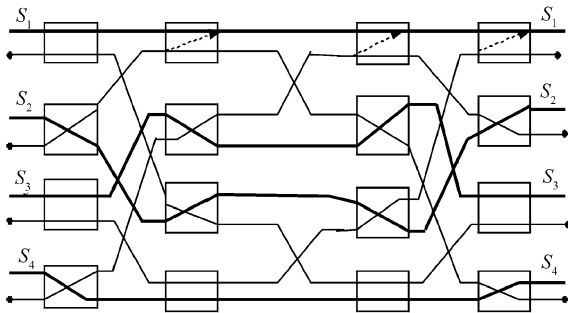


Fig. 3 A 4×4 dilated Benes switch

解复用器和复用器的功率串扰系数。式中第一项为扩展贝奈斯结构引入的带内串扰;第二项为解复用器引入的带间串扰;第三项为复用器引入的带间串扰;第四项为解复用器引入的带内串扰。当大量的节点串连时,凡是带间串扰由于解复用器和复用器的滤波功能将向更高阶转换,所以完全可以忽略其影响。假设节点的串连数为 N_n ,则密集波分复用网络中由节点产生的总串扰系数 R_{total} 为

$$R_{\text{total}} = N_n \left[M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}} \right], \quad (2)$$

图1中的结构2为每个扩展贝奈斯结构中交换的是不同的波长,当 $N_f \leq N_\lambda$ 时,能保证每一个扩展贝奈斯结构中交换的都是不同的波长信号。对于这样拓扑结构由于解复用器和复用器的非理想性,同样会存在带内串扰。对应的节点串扰系数 R_{node} 为

$$R_{\text{node}} = M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}}(N_\lambda - 1) + M_{\text{DMUX}}M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + M_{\text{MUX}} \left(M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + 1 \right) (N_\lambda - 1) + (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}}, \quad (3)$$

当大量的节点串连时总串扰系数 R_{total} 为

$$R_{\text{total}} = N_n \left[M_{\text{DMUX}}M_{\text{SW}}^k \sum_{i=1}^{2k-1} i + (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}} \right], \quad (4)$$

从(4)可以看到,对应扩展贝奈斯结构这里只有三阶串扰,对串扰有了很大的改善。当 $N_f > N_\lambda$ 时,至少有两个相同波长信号被路由到同一个扩展贝奈斯结构中交换,这时引进一个整数 C 作为光纤数与波长数之比,即

$$C = \text{ent}(N_f/N_\lambda), \quad (5)$$

通过合理的波长分组,会至多有 C 个相同的波长信号在同一个扩展贝奈斯结构中交换,这时产生的带内串扰用 X 表示,由于一个 $N \times N$ 的扩展贝奈斯结构中一共有 $k(2k - 1)$ 个串扰其中,这时引进另一个整数 m 作为串扰总数与串扰源个数 $N - 1$ 的比值,即

$$m = \text{ent}[k(2k - 1)/(N - 1)], \quad (6)$$

所以

$$X = \begin{cases} 2(C - 1) + k(2k - 1) - 2(N - 1), & 2 < m < 3, \quad k(2k - 1) - 2(N - 1) < C - 1, \\ 2(C - 1), & 1 < m \leq 2, \quad 2(C - 1) \leq k(2k - 1), \\ (C - 1) + k(2k - 1) - (N - 1), & 1 < m \leq 2, \quad 2(C - 1) > k(2k - 1), \\ C - 1, & 0 < m \leq 1, \quad (C - 1) \leq k(2k - 1), \\ k(2k - 1), & 0 < m < 1, \quad (C - 1) > k(2k - 1), \end{cases} \quad (7)$$

此时对应的串扰系数 R_{node} 为

$$R_{\text{node}} = (N_\lambda - 1)M_{\text{DMUX}}M_{\text{MUX}} + (M_{\text{MUX}}M_{\text{SW}}^e + M_{\text{DMUX}}M_{\text{SW}}^e)[k(2k - 1) - X] + M_{\text{SW}}^e X + (N_\lambda - 1)M_{\text{MUX}}\{M_{\text{SW}}^e X + 1 + M_{\text{DMUX}}M_{\text{SW}}^e[k(2k - 1) - X]\}, \quad (8)$$

当多个节点串连时滤出带间串扰的影响,得到 R_{total} 为

$$R_{\text{total}} = N_n\{M_{\text{DMUX}}M_{\text{SW}}^e[k(2k - 1) - X] + M_{\text{SW}}^e X + (N_\lambda - 1)M_{\text{MUX}}(M_{\text{DMUX}} + M_{\text{SW}}^e X)\}, \quad (9)$$

图 2 中对应的结构 3, 它相当于 $C = N_f, k = \text{lb}(N_f \cdot N_\lambda)$, 其对应的 R_{node} 和 R_{total} 表达式与(8)、(9)式相同。

从以上表达式可以看出, 扩展贝奈斯结构对串扰有很好的限制, 它对各类串扰都控制在二阶以上, 但是通过合理的分组波长, 以复杂软件控制为代价, 会进一步限制甚至是消除串扰的影响, 这在成本方面的考虑是值得的。由复用器引入的带内串扰在三种光交叉连接结构中都是相同的而且在结构 2 中它比扩展贝奈斯结构引入的带内串扰低一阶, 所以由复用器引入的带内串扰占主导地位, 为了更进一步减少带内串扰, 可以在每个扩展贝奈斯结构的输出端引入可调谐窄带滤波器, 这样复用器引入的带内串扰提高一阶, 此时结构 2 的优点更加突出。

4 光交叉连接中的串扰对密集波分复用网络扩展性影响的分析

4.1 理论模型的建立

本文着重分析串扰对强度调制—直接检测系统的扩展性影响。分析基于文献[13]中提出的理论模型, 分析中综合考虑了信号的消光比和信号的极化方向的影响, 更能符合实际的通信系统。当不存在差拍噪声时, 假设噪声为高斯分布, 当存在串扰且数目很大时, 根据中心极限定律, 差拍噪声的分布也是高斯分布^[14], 这时系统的误码率为

$$R_{\text{BE}} = \frac{1}{4} \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{I_{\text{SN1}} - I_{\text{D}}}{\sqrt{\delta_1^2 + P_1}}\right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{I_{\text{D}} - I_{\text{SN0}}}{\sqrt{\delta_0^2 + P_0}}\right), \quad (10)$$

式中 I_{D} 为判决门限, δ_1 、 δ_0 分别表示没有差拍噪声时“1”码和“0”码的噪声, 它主要是由接收机的热噪声决定, 在下面的讨论中认为 $\delta_0 = \delta_1 = \delta$ 。 I_{SN1} 表示有差拍噪声时“1”码时对应的光电流; I_{SN0} 表示有差拍噪声时“0”码时对应的光电流。 P_1 表示对应于“1”

码时接受机带宽内的差拍噪声功率; P_0 表示对应于“0”码时接受机带宽内的差拍噪声功率。串扰产生的拍频噪声功率与激光器的 3 dB 带宽有关^[15], 但在系统设计时考虑最坏的情况是必须的。对应的最坏的情况为: 1) 接收机的带宽远远大于激光器线宽, 即拍频噪声全都落在接受机的带宽内; 2) 所有串扰都和信号的极化方向相同。在 1)、2) 两点假设下有

$$P_1 = 2I_{\text{S1}}^2 \sum_{i=1}^N R_{\text{Ci}}, \quad P_0 = 2I_{\text{S0}}^2 \sum_{i=1}^N R_{\text{Ci}}, \quad (11)$$

定义归一化的平均噪声功率为

$$\delta_{\text{RIN}}^2 = \frac{(P_1 + P_0)/2}{[(I_{\text{S1}} + I_{\text{S0}})/2]^2} = 2 \sum_{i=1}^N R_{\text{Ci}}, \quad (12)$$

式中 R_{Ci} 表示的是第 i 路串扰光相对于信号光的强度即串扰的功率系数。定义功率代价为在一定的误码率下, 存在串扰时所需要最小的接收光功率 P_{SN} 与不存在串扰时所需最小的光功率 P_{S} 的比值的分贝数。若判决门限固定即 $I_{\text{D}} = (I_{\text{SN1}} + I_{\text{SN0}})/2$, 此时功率代价

$$p_{\text{p}} = \ln\left(\frac{P_{\text{SN}}}{P_{\text{S}}}\right) = \ln\left(\frac{Q \sqrt{\delta^2 + P_1}}{Q' \delta}\right), \quad (13)$$

$$Q = \frac{I_{\text{SN1}} - I_{\text{SN0}}}{2 \sqrt{\delta^2 + P_1}}, \quad Q' = \frac{I_{\text{S1}} - I_{\text{S0}}}{2 \delta},$$

分别对应于存在和不存在串扰时的情况。当要求误码率为 10^{-9} 时, 有 $\frac{1}{4} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q'}{\sqrt{2}}\right) = 10^{-19}$, $Q = 5.9$, $Q' = 6$ 此时。此时

$$p_{\text{p}} = \ln\left(\frac{Q}{Q'}\right) - 5 \lg\left[1 - 2\left(\frac{r+1}{r-1}\right)^2 \delta_{\text{RIN}}^2 Q^2\right], \quad (14)$$

式中 r 为不归零码的消光比。消光比对系统性能的影响不能忽视^[16]。如图 4 为结构 1 中消光比与功率代价的关系。图 4 分别对应于光交叉连接中没有引入和引入窄带可调光滤波器的情况。可以看出, 由扩展贝奈斯结构组建的光交叉连接对消光比依赖性不大, 当 $r > 10$ 时, 几乎不影响功率代价, 当引入窄带可调光滤波器后更是如此。

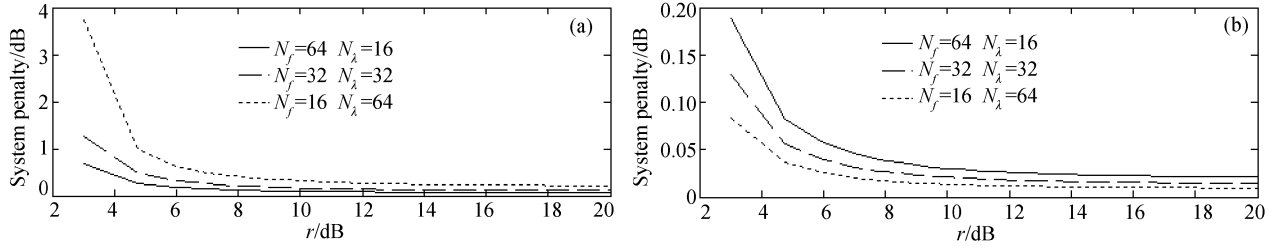


Fig. 4 Calculation system-penalty versus extinction ratio r with $M_{SW} = -30$ dB, $M_{MUX} = M_{DMUX} = -25$ dB in scheme 1.

(a) Without narrow-band tunable optical filter, (b) With narrow-band tunable optical filter

4.2 光交叉连接中串扰对密集波分复用网络扩展性影响的数值模拟

由于大多数系统都采用固定判决电平,所以这里只讨论这种情况。从(14)式可以分析串扰对系统的扩展性影响。这里设消光比 $r = 20$ dB, 误码率为 10^{-9} , 其对应的 $Q = 5.9$, $Q' = 6$ 。此时唯一影响功率代价的就是 δ_{RIN}° 即功率串扰系数总和。由第 3 部分的分析, 对应单个光交叉连接而言, $\delta_{RIN}^{\circ} = 2R_{node}$, 对多个光交叉连接串连, $\delta_{RIN}^{\circ} = 2R_{total}$ 。图 5、图 6 和图 7 分别为不同 N_f 、 N_λ 情况下三种光交叉连接中由串扰而引起功率代价和串连节点数的关系。从图中可以看出, 在没有引入窄带可调光学滤波器减小解复用器/复用器对引入的带内串扰时, 三种结构中功率代价很相似, 这是因为在最坏的情况下三种结构中由解复用器/复用器对引入的带内串扰相同, 和光交换结构引入的带内串扰相比且占主导地位, 这从图中看出复用的波数越多则对应的功率代价也高,

对于这样的情况可以选择增加输入的光纤数来扩展节点的容量。当引入窄带可调光学滤波器后, 将使三种结构中由解复用器/复用器对引入的带内串扰都控制在三阶, 这时结构 2 中由串扰引入的功率代价最小, 如图 6(b) 所示, 用这种结构可以构建无串扰的光交叉连接。对于结构 3 的情况如图 7 所示, 它的变换情况和结构 1 很类似, 这是因为, 在由光交换结构引入的二阶串扰可以忽略的情况下, 它和结构 1 的带内串扰是相同的, 主要由解复用器/复用器对引入。随着组网规模的扩大由光交换结构引入的带内串扰不能忽略, 这时在 $N_f < 64$ 时 $\text{lb}N_f(2\text{lb}N_f - 1) > N_f - 1$, 即由结构 3 引入的带内串扰小于结构 1, 所以随着串连节点数的增加, 结构 1 引入的功率代价大于结构 3, 图中正是这种情况。由于结构 3 在软件控制方面更容易实现, 因而对阻塞性要求不高的情况下可以考虑来选择结构 3。对于三种结构就给定结点数而言, 在节点容量不大时, $\text{lb}N_f(2\text{lb}N_f - 1) < N_\lambda - 1$,

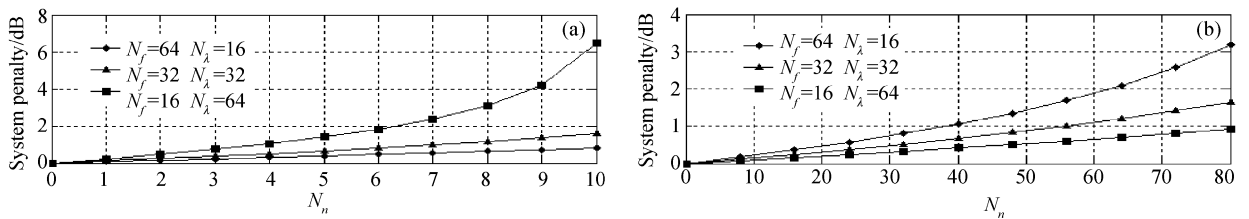


Fig. 5 System-penalty versus node numbers N_n with $M_{SW} = -30$ dB, $M_{MUX} = M_{DMUX} = -25$ dB, $r = 20$ dB in scheme 1.

(a) Without narrow-band tunable optical filter, (b) With narrow-band tunable optical filter

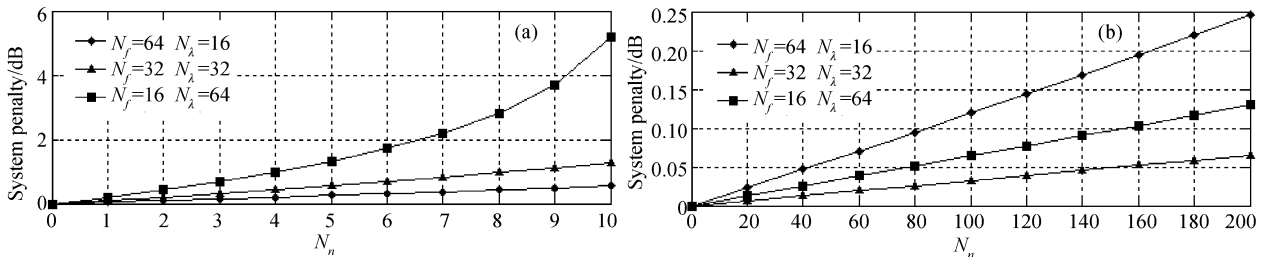


Fig. 6 System-penalty versus node numbers N_n with $M_{SW} = -30$ dB, $M_{MUX} = M_{DMUX} = -25$ dB, $r = 20$ dB in scheme 2.

(a) Without narrow-band tunable optical filter, (b) With narrow-band tunable optical filter

若 $N_f > N_\lambda$, 可以获得更小的功率代价, 这是因为在最坏的情况下, 由解复用器引入的带内串扰刚好随其他的波长信号透明地通过扩展贝奈斯结构, 只有到达复用器时才会受到第二次的限制, 一共有 $(N_\lambda - 1)$ 条路径会产生这样的带内串扰。所以带内串扰对波长数的依赖性更强, 同时也表明提高解复用器/复用器对隔离度对消除串扰更为关键。图 8 所示为结构 2 中

节点数 $N_n = 50$ 和没有引入窄带滤波器的条件下系统功率代价同 M_{SW} 和 M_{MUX} 的关系, 可以看出 M_{MUX} 对 p_p 的影响更大。当 $N_f = 16, N_\lambda = 64$ 时若 $M_{MUX} > -25$ dB 这时 p_p 将出现最大值, 在这种情况下, 无论怎么增加接收光功率, 也不能达到要求的误码率, 即出现误码率饱和现象“BER floor”。

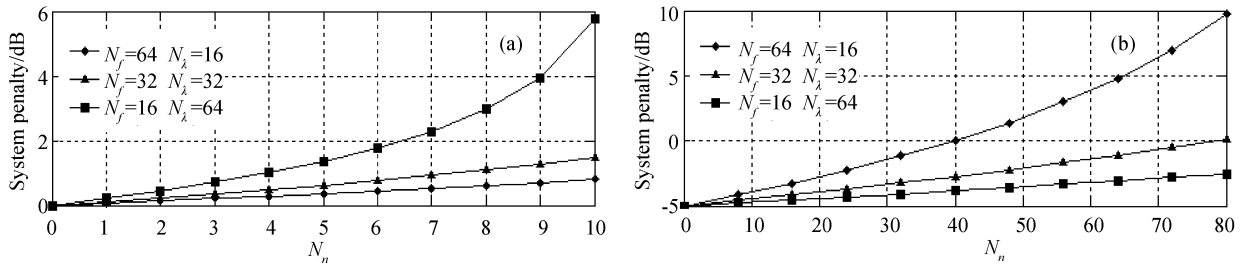


Fig. 7 System-penalty versus node numbers N_n with $M_{SW} = -30$ dB, $M_{MUX} = M_{DUMUX} = -25$ dB, $r = 20$ dB in scheme 3.
(a) Without narrow-band tunable optical filter, (b) With narrow-band tunable optical filter

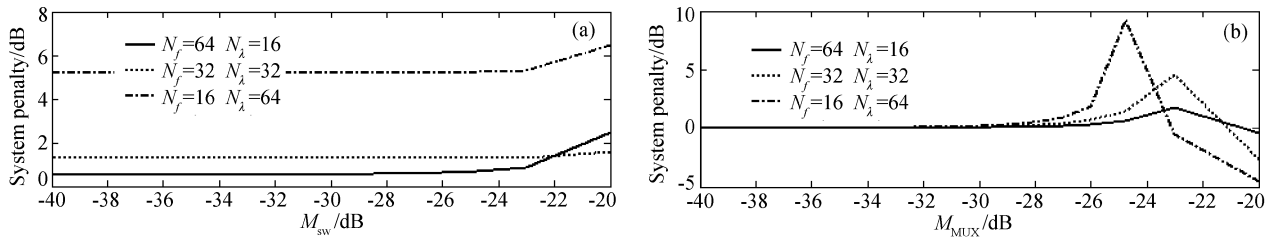


Fig. 8 Calculation system-penalty versus M_{MUX} and M_{SW} in Scheme 2 with $r = 20$ dB, $N_n = 50$ and without narrow-band tunable optical filter

图 9 分析了在功率代价为 1 dB 和引入窄带滤波器的情况下, 三种光交叉连接结构对扩展贝奈斯结构中开关串扰系数 M_{SW} 随串连节点数的关系。从图中可以看出, 随着串连节点的增加, 结构 2 对光开关串扰要求较结构 1 和 3 要小得多, 这对于现在的技术是完全可以达到的, 这也意味着用结构 2 可以

组建大规模的密集波分复用光网络, 但三种结构对比基于贝奈斯结构^[17]光交叉连接而言, 其要求都得到了很大的放宽, 这表明光交换结构的选择对消除串扰尤为重要。在结构 2 中由于每个扩展贝奈斯结构交换的是不同的波长信号所以对带内串扰有更好的限制, 如果将可调谐的窄带滤波器引入到这种拓扑结构中消除低于三阶的带内串扰, 如果 N_λ, N_f 之一变化那么对器件串扰系数的要求主要由 N_f 和 N_λ 的比值决定, 这是因为当 $N_f > N_\lambda$ 时, 在同一扩展贝奈斯结构中引入二阶的带内串扰。从图中也可以看出结构 3 对光开关的串扰系数较结构 1 的小, 这是因为当交换的容量 $N_f < 64$ 时, $k(2k-1) > N_f - 1$, 即结构 3 中的带内串扰反而比结构 1 中的小, 但当交换容量增加时, 结构 3 中的带内串扰将比结构 1 中的大, 所以在交换容量不大时, 若仅从串扰影响方面考虑可以选择结构 3。

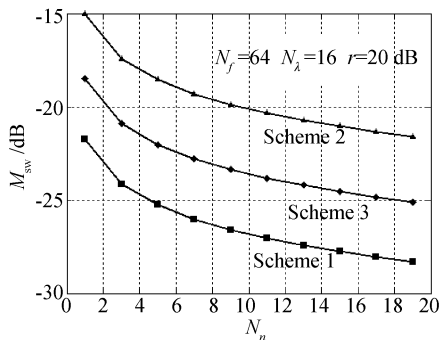


Fig. 9 Calculation M_{SW} versus the nod numbers N_n in the three optical cross-connect nodes with $M_{MUX} = M_{DUMUX} = -30$ dB, $N_f = 64, N_\lambda = 16$ and $p_p = 1$ dB

结论 本文分析了串扰对不同光交叉连接结构扩展性的影响, 给出了以扩展贝奈斯结构为基础的三种

光交叉连接中各类串扰的理论公式。结果表明,采用扩展贝奈斯结构的光交叉连接能完全消除二阶以上的各类串扰。对于扩展贝奈斯结构中交换不同的波长信号的第 2 种光交叉连接拓扑结构,可以完全消除低于三阶的带内串扰,如果引入可调谐的窄带滤波器,将完全消除低于四阶的带内串扰。对强度调整一直检测系统,在固定判决电平条件下模拟了带内串扰所引起的光功率代价。分析表明用基于扩展贝奈斯结构的光交叉连接用来组建系统时系统的功率代价变化很缓慢,表明这种光交叉连接具有很好的扩展性,而且引入窄带滤波器后能更有效地抑制串扰的影响。

网络扩展对器件的要求也得到了分析,结果表明采用拓扑结构 2 对器件的要求很低,用现在技术完全可以达到,所以,在器件上解决不了的问题可以考虑从系统中去解决。在需要扩展节点的容量时,对于不同的结构应对 N_λ 和 N_f 进行不同的选择来获得最小的功率代价。网络扩展对器件的要求也得到了分析,结果表明采用拓扑结构 2 对器件的要求较低,用现在技术完全可以达到,用这种结构可以组建无串扰的光交叉连接节点同时它也是组建解复用器光网络的一种最优结构。

参 考 文 献

- 1 Le Guen D, Del Burgo D, Moulinard L *et al.*. Narrow band 1.02 Tbit/s (51×20 Gbit/s) soliton transmission over 1000 km of standard fiber with 100 km amplifier spans. *Proc. OFC '98*, postdeadline paper PD4, 1999
- 2 Goldstein E L, Eskildsen L, Elrefiac A. Performance implication of component crosstalk in transparent lightwave network. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(5):657~660
- 3 Gyselings T, Morthier G, Baets R *et al.*. Crosstalk analysis of multiwavelength optical network. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(8):1273~1283
- 4 Gillner L, Larsen C P, Gustavsson M. Scalability of optical multiwavelength switching networks: crosstalk analysis. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(1):58~67
- 5 O'Reilly J J, Appleton C J. System performance implications of homodyne beat noise effects in optical fiber networks. *IEEE Proc. Optoelectron.*, 1995, **142**(3):143~148
- 6 Wu Qiang, Yu Chongxiu, Xin Xiangjun *et al.*. Research of crosstalk in cascade system of OXC and OADM. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2002, **31**(4):421~424 (in Chinese)
- 7 Feng Jianhe, Ji Yuefeng, Lue Lairong *et al.*. Property and experiment of crosstalk in WDM network. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2001, **30**(3):284~288 (in Chinese)
- 8 Zhou Jingyu, Cadeddue R, Casacia E *et al.*. Crosstalk in multiwavelength optical cross-connect networks. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6):58~67
- 9 Hinton H S. *A Introduction to Photonic Switching Fabrics*. New York and London: Plenum Press, 1993. 107~110
- 10 Zhou J, Walker S D, Walker S D. Analysis of optical crosstalk effects in multiwavelength switched networks. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(2):302~305
- 11 Padmanabhan K, Netravial A. Dilated networks for photonic switching. *IEEE Trans. Commun.*, 1987, **35**(12):1357~1367
- 12 Lu Chien-Chun, Thompson R A. The double-layer network architecture for photonic switching. *J. Lightwave Tehnol.*, 1994, **12**(8):1482~1489
- 13 Shen Yunfeng, Zhang Jie, Gu Wanyi. Research on same-frequency in all-optical networks. *Acta Electronic Sinica* (电子学报), 1999, **27**(5):73~77 (in Chinese)
- 14 Takanaski H, Oda K, Toba H. Impact of crosstalk in arrayed-waveguide multiplexer on $N \times N$ optical interconnection. *J. Lightwave Techonol.*, 1996, **14**(6):1097~1105
- 15 Jin Yuehui, Zeng Qinji. Comparison of in intraband crosstalk penalties in WDM networks for different modulated method. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(5):629~633 (in Chinese)
- 16 Song J, Chan F K, Chen L K. Extinction ratio induced crosstalk system penalty in WDM networks. *Elctron. Lett.*, 1996, **32**(23):2112~2114
- 17 Sun J. Influence of crosstalk on the scalability of WDM cross-connect networks. *IEEE Proc. Optoelectronic*, 2002, **149**(2):59~64