

弹性光网络中基于业务整合的 CD-ROADM 节点优化配置方案

张圣羽¹ 李贵鑫¹ 孙卿¹ 朱敏²

(1. 东南大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学 移动通信国家重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要 可重构光分插复用器 ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexers) 已经被网络运营商广泛铺设在透明光核心网中, 以增加网络的动态性和透明性. 下一代 ROADM 具备无色无向无竞争 (Colorless, Directionless, Contentionless, CDC) 的特性. 然而, 完全理想的 CDC-ROADM 结构会造成一些不足, 如 ROADM 节点结构复杂, 收发机模块硬件成本较高, 波长选择开关波长选择开关 (Wavelength-Selective Switch, WSSs) 端口规模较大, 以及能耗较高. 本文提出了一种利用光谱预留和光路嫁接机制的业务整合算法, 优化了弹性光网络中具有业务疏导功能的 CD-ROADM 节点配置, 并评估分析了不同收发机模块及其中光收发机资源配置对网络性能的影响. 仿真结果表明, 在满足最佳网络性能的前提下, 本文提出的业务整合方案优化了 ROADM 节点结构, 降低了节点成本, 减少了节点功耗.

关键词 弹性光网络; 可重构光分插复用器; 业务整合; 光收发机

中图分类号 TN929.11

文献标识码 A

0 引言

近年来, 随着云计算、网络电视、区块链、物联网等为代表的新型业务日益兴起^[1], 电信运营商面临着光网络发展的内在挑战. 与传统的电信业务相比, 这些新兴业务有着高度动态性和不可预测性的特点. 为了实现在网络状态发生改变时的快速响应能力, 更加灵活地调度网络业务, 作为物理层的光网络需要被赋予更高的灵活性和智能化功能. 为此, 弹性光网络 EON (Elastic Optical Network) 的概念被提出来, 它可以极大地提高网络灵活性和光谱利用率^[1]. 而在传统的固定栅格的波分复用网络 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 中, 所有的光谱资源按照 ITU-T 标准, 被分为 50 GHz 或 100 GHz 的独立光通道. 相比而言, 弹性光网络允许以一个很小的粒度, 按需分配光谱资源. 因此, EON 被认为是下一代互联网未来基础设施中的一项支撑技术^[2].

可重构光分插复用器 ROADM 是实现 EON 的关键技术之一, 它可以快速灵活地响应网络状态的变化, 如按需配置异构的光路资源, 建立新的光路或释放现有的光路. 这大大降低了网络运营商的建造成本和运营成本^[3], 下一代理想的 CDC-ROADM 要求具备无色无向无竞争的特性^[4-6]. 其中, 为了实现“无竞争”“无阻塞”的特性, 这就需要在 ROADM 内部配置等同于节点度的收发机模块, 在每一个收发机模块内部需要配置等同于光通道数量的光收发机^[4,5]. 这样的结构, 不仅复杂, 还会带来巨大的硬件成本和能源消耗. 图 1 展示了一个典型的 CD-ROADM 的结构, 由交换核心部分和上/下路收发机模块两部分组成, 其中, 收发机模块及其中光收发机数量

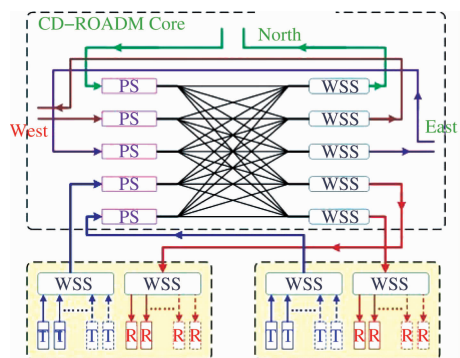


图 1 一个典型的 CD-ROADM 结构

大大减少,降低了节点复杂度和成本.对于这样的 CD-ROADM 结构,为了实现近似无阻塞性能,一些光路配置 RWA(Routing and Wavelength Allocation) 算法被提出来^[9-16],优化收发机模块及其中光收发机的配置.

以往对收发机模块与收发机的配置的优化工作,主要集中在传统的固定栅格 WDM 网络的情况下进行. D Wang 等人研究表明,如果适当地规划 ROADM 配置,就有可能减轻甚至消除由上/下路光谱竞争所引起的光路阻塞^[7]. P Pavon-Marino 等人研究了在离线情况下,意识到上/下路光谱竞争路由和波长分配(ADCA-RWA)问题^[8],建立了整数线性规划模型,提出了相应的启发式算法.仿真结果表明,在实际应用中,CD-ROADM 节点内部最多配置 2 个收发机模块,节点内部的上下路堵塞就可以忽略不计的,近似于无阻塞的情况.相同的作者也研究了离线光路恢复^[9]和在线 ADCA 光路配置^[10]等问题,同样得出相同的结论.另外, P Pavon-Marino 等人也研究了在弹性光网络的情况下,光收发机模块的配置情况.结果表明,2 个上/下路收发机模块足以实现近似于无阻塞的情况.值得注意的是,上述这些研究,仅仅考虑了光收发机模块的配置问题,忽略了光收发器模块中的光收发机的优化配置^[11].最近,在 J L Strand 的一项研究中,同时考虑了光收发机模块及其光收发机的数目对节点内部光谱竞争的限制,并采用一种集成的方法来联合解决 RWA 的问题,但这项研究仅仅考虑了 WDM 网络的情况^[12].

要进一步研究光收发机的数目对 CD-ROADM 节点内部光谱竞争的影响,一个著名的解决方案是业务整合策略^[13].在 Y Zhang 等人的一项研究中,首先提出了采用业务整合策略,来提高弹性光网络的频谱效率^[14].然而,在这项研究中,业务整合策略仅仅应用在静态流量模型中,没有考虑到光收发机的频谱连续性限制和带宽异构性的特点. G Zhang 等人提出了可变带宽收发机的概念^[15],并将其引入到基于 EON 的业务整合策略中,提出了一种光谱路由分配 RSA (Routing and Spectrum Allocation)的启发式算法.但是,该算法只考虑到光发射端的业务整合,并没有考虑光接收机中的业务整合.最近, Eira 等人提出了一个意识到非线性损伤的业务整合算法,该算法仅仅考虑到网络链路资源,但节点内部光收发机模块及其光收发机的配置问题依然没被考虑^[16].

在本文中,我们提出了一种利用光谱预留和光路嫁接机制的业务整合算法,该算法同时实现了光发射机和光接收机两端的业务整合,并考虑到 CD-ROADM 节点内部的光收发机模块及其中光收发机的约束,优化配置了 CD-ROADM 节点结构,降低了节点成本和能耗.

1 网络及业务模型

我们将 EON 的物理拓扑表示为无向图 $G(N, L)$,其中 L 表示网络中节点间的物理链路,每条链路都有着两条单向的光纤, N 表示网络中物理节点的集合.每个物理节点都配置有一个 CD-ROADM 节点,节点内部配置着相应的上/下路光收发机模块及其中光收发机等资源.这里,将一个 ROADM 节点内所拥有的上/下路收发机模块数目记为 C .我们假设 EON 中的一个频率槽(Frequency Slot, FS)的频谱粒度 g 为 12.5 GHz.每根光纤 $l \in L$,所支持的频谱 FSs 的总数由 T (比如 $T = 360$)表示.

所有的光路连接请求也可以被表示为 $r(s, d, b)$,其中 s 和 d 表示为连接请求的源节点和目的节点, b 表示为请求的带宽需求,并通过 FS 来度量大小.现有光路表示为 $lp(s, d, b, rs(lp))$,其中 $rs(lp)$ 表示预留带宽中 FSs 的个数, B 为保护带宽占用的 FSs 个数(如 $B = 2$).

当一个光路请求到达时,如果可以配置相应的资源而满足其要求,则该请求被接受;反之,如果没有足够多的资源可配置,也就是说发生了资源竞争,则该请求被阻塞.我们建立了弹性 CD-ROADM 光网络的阻塞模型,包括两部分:网络层次上节点之间的频谱竞争,以及 CD-ROADM 节点内的频谱竞争.前者主要是遵循流守恒约束和链路容量约束.所谓流量守恒约束主要是指任意节点输入的数据流等于输出的数据流.而链路容量守恒约束指的是在任意一条链路上的数据流总和小于该链路的总容量.此外,在 EON 中配置频谱资源时,还需满足频谱连续性限制和邻近性限制^[2].它保证请求的光路通过两个或多个光纤链路时,不会改变其频谱块,且配置的频谱资源紧密相连.当一个业务请求无法在遵守上述约束条件下,分配到足够多的资源,则该请求将在网路层次上被阻塞.

CD-ROADM 节点内的频谱竞争,发生在上/下路收发机模块及其中光收发机中.具体地说,有限数目的收发机模块,限制了 CD-ROADM 可以提供的重复频谱的最大数量.如果超过了该数目,将会在收发机模块中引发光谱竞争,而导致阻塞.另外,每一个收发机模块中有限数目的光收发机,限制了 CD-ROADM 所能提

供的光通道的最大数量. 如果该节点处业务请求数量大于光收发机的数目时,将会引发光收发机资源竞争,而导致阻塞. 除此之外,还应该考虑光收发机容量的限制,它限制了该收发机所能传输请求的总带宽的大小,我们用 C_{TP} 来表示单个光收发机所能传输的最大带宽. 当进行业务整合的时候,同一个光收发机所能整合的最大带宽不应该大于该光收发机的容量. 通过上述约束条件,我们可以构建意识到节点内部阻塞的弹性光网络模型.

2 基于光谱预留和光路嫁接机制的业务整合算法

在本文中,我们提出了一个新的基于光谱预留机制和光路嫁接方法的业务整合策略. 首先,如表 1 所示,我们预先构建虚拟辅助图. 我们将所有的物理节点作为虚拟辅助图中待定的虚拟节点(第 1 行). 针对每一条现存的非嫁接方式配置的光路,获取其剩余可用的预留带宽大小 $rs(lp)$. 如果该 $rs(lp)$ 值不小于待配置光路请求的带宽需求 b , 即 $rs(lp) \geq b$, 则将对应的光路虚拟化为虚拟辅助图中的一条虚拟链路(第 2-7 行). 注意,在这里的每条虚拟链路,代表的是一条已经存在的光路中的剩余可用的预留带宽资源 $rs(lp)-b$. 之后,在虚拟辅助图中删除那些没有链路连接的孤立节点(第 8 行),就可以得到所需要的虚拟辅助图了.

表 1 构建虚拟辅助图

输入: 待配置业务请求的带宽要求 b , 网络状态 G^s , 所有现存已配置的光路	
输出: 虚拟辅助图 G^v	
1	将所有的物理节点作为虚拟辅助图 G^v 中的虚拟节点
2	For 所有现存的非嫁接方式配置的光路(未标记的)
3	选择一条光路 $lp_{(s,d)}$, 获取该光路具有最大的预留带宽 $rs(lp)$
3	If 预留带宽 $rs(lp)$ 不小于带宽要求 b
4	在虚拟图中增加虚拟链路 $l'_{(s,d)}$
5	End
6	标记这个现存已配置的光路
7	End
8	在虚拟图 G^v 中删除那些没有链路连接的孤立的节点
9	Return 虚拟辅助图 G^v

表 2 动态业务整合启发性算法

输入: 待配置业务请求 $r(s,d,b)$, 网络状态 G^s , 虚拟辅助图 G^v	
输出: 配置状态 PS	
1	初始化 PS = FAILED
2	在虚拟辅助图 G^v 上找一条从源节点 s 到目的节点 d 的最短路径
3	If 在虚拟辅助图 G^v 上可以找到这条最短路径
4	用现存的光路来配置这条光路请求 $r(s,d,b)$
5	Return PS = SUCCEDED
6	End
7	Else If PS = FAILED
8	For 采用 first-fit 策略, 按照升序方式扫描光谱资源
9	在网络 G^s 中找一条从源节点 s 到目的节点 d 的最短路径
10	If 在网络 G^s 中找一条最短路径
11	用新建的光路来配置这条光路请求 $r(s,d,b)$, 并预留资源
12	Return PS = SUCCEDED
13	End
14	End
15	If PS = FAILED
16	Return PS = FAILED
17	End
18	End

我们所提出的业务整合算法,如表 2 所示.针对每一个待配置的光路请求,可以在得到的虚拟辅助图中通过运行 Dijkstra 算法来寻找最短路径路由.若成功找到相应的最短路径,则意味着可以通过光路嫁接的方式,并在不占用新的收发器资源的情况下,完成对新请求的光路配置(第 2-6 行).否则,为该请求新建一条光路,并采用带宽预留机制,不仅在物理链路中预留一定的频谱资源,还在 CD-ROADM 物理节点中也预留同样的子载波频谱资源(第 8-14 行).该基于光谱预留机制和光路嫁接方法的算法流程图,如图 2 所示.

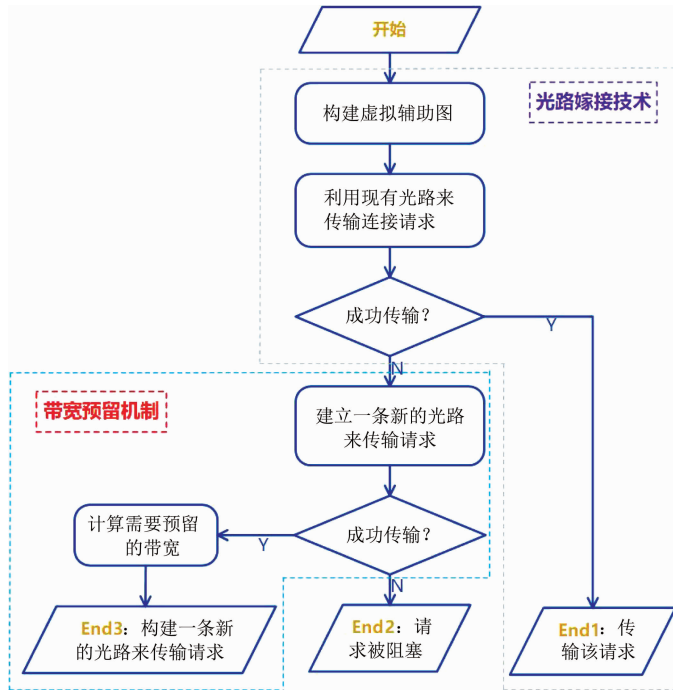


图 2 我们所提出的业务整合策略流程图

图 3 给出了一个基于提出的业务整合策略进行光路请求配置的例子.图 3(a)展示了一个五节点网络和一个待配置的光路连接请求 $r_x(A, E, 4)$,需要从 S 源节点 A 传输到 D 目的节点 E,并占用 4 个 FSs 的带宽.我们假设在这个五节点网络中,最大预留的带宽设置为 5 FSs.每个光收发机的最大传输能力将占用 10 个 FSs,即为 $C_{TP}=10$.我们将每个 SD 对中所有的正在传输的光路列在表 1 中.然后,选择每个 SD 对中剩余可用预留频谱 $rs(lp)$ 最高的那条光路.如果 $rs(lp)$ 大于待配置连接请求 r_x 的带宽要求 b ,则我们将其标记为红色,并将此光路虚拟化为虚拟辅助图中的虚拟链路.图 3(b)展示了针对该连接请求 r_x 所构建的虚拟辅助图.如图 3(b)所示,在该虚拟辅助图中,可以用来传输这个业务请求的最短路径为 $A \rightarrow B \rightarrow E$.也就是说,通过光路嫁接机制,采用两条正在传输的光路 $lp1$ 和 $lp9$ 进行光路嫁接.这样可以在不激活新的光收发机的情况下,完成了对该连接请求 r_x 的光路配置.

3 动态仿真设计与分析

3.1 仿真条件与参数

在仿真部分,我们进行了大量的仿真来评估我们所提出的业务整合策略,在优化配置 CD-ROADM 上的优越性,并给出上/下路光收发机模块及光收发器的具体配置方案.如图 4 所示,仿真采用的两个网络拓扑模型分别是 14 节点的 NSFNET 网络和 21 节点的 USNET 网络.我们假设,在每一个 CD-ROADM 节点中,上/下路光收发机模块数目为 C.在分配光收发机资源时,采用 first-fit 方式,首先考虑第一个收发机模块中的光收发机,若请求的光谱资源在这个光收发机模块中发生冲突,则再考虑下一个光收发机模块中的收发机资源.同时,我们假设,EON 中的一个 FS 的网格粒度 g 为

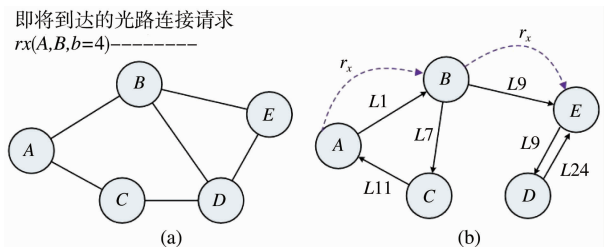


图 3 基于提出的业务整合策略的光路请求配置

12.5 GHz. 每根光纤链路所支持的频谱 FS 总数 $T = 360$. 通过仿真,我们可以通过研究网络性能与光收发机模块及其中收发机配置规模之间的关系,使得所优化配置的 CD-ROADM 结构,不仅具有与完全无竞争的 CDC-ROADM 相近的网络性能,还可以降低节点硬件成本,节约能源消耗.

表 1 网络中现存光路的预留带宽

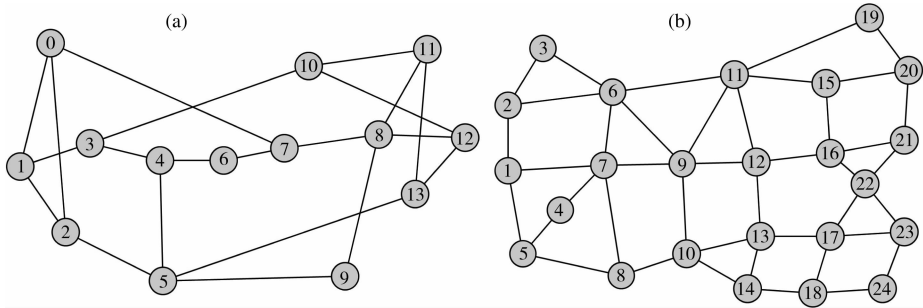
SD	lp	$rs(lp)$	SD	lp	$rs(lp)$
(A,B)	L1	5	(C,D)	L13	2
	L2	1	(C,E)	L14	1
(A,C)	L3	2	(D,A)	L15	3
(A,D)	L4	3	(D,B)	L17	3
(A,E)	L5	1	(D,C)	L18	1
(B,A)	L6	2	(D,E)	L19	5
(B,C)	L7	5	(E,A)	L20	2
(B,D)	L8	2	(E,B)	L21	3
(B,E)	L9	5	(E,C)	L22	1
(C,A)	L11	4	(E,D)	L23	1
(C,B)	L12	3		L24	4

在动态业务模型中,所有的光路连接请求也可以被建模为 $r(s,d,b)$, 其中 s 和 d 表示为连接请求的源节点和目的节点, b 表示为请求的带宽需求,它通过 FS 的数量来表示. 现有光路表示为 $lp(s,d,b,rs(lp))$, 其中 $rs(lp)$ 表示预留带宽中 FS 的数目. B 为保护带宽消耗的 FS 个数, 设置为 $B = 2$. 在动态仿真中,光路请求按照泊松过程到达,平均到达速率为 λ , 每个连接请求的持续传输时间将服从平均值为 $1/\mu$ 时间单位的负指数分布. 因此,网络中的业务负载可以表示为 $Load = \lambda/\mu$, 以 Erlang 为单位. 我们假设,连接请求的平均到达时间间隔 $1/\lambda$ 是 1 个时间单位. 通过调节不同的平均持续时间,以实现不同的流量负载. 本仿真中,最大允许预留带宽 M 取值范围为 $[1, 3, 5, 7, 9]$. 我们假设,光路请求的带宽有三种取值:

1、4 和 10 个 FSs, 分别对应着 T_{10} 、 T_{40} 和 T_{100} 三种不同的光收发机,它们配置数量的比例为 $10 : 4 : 1$. 仿真图中的每个数据点都基于平均运行超过 10^6 个光路连接请求的结果. 为了衡量网络性能,我们不同流量负载下的带宽阻塞比 BBR (Bandwidth Blocking Ratio) 为

$$BBR = \frac{\sum_{r(s,d) \in R_{\text{blocked}}} b_{(s,d)}}{\sum_{r(s,d) \in R} b_{(s,d)}}, \quad (1)$$

其中 R 为光路连接请求的集合, R_{blocked} 为被阻塞的光路连接请求的集合.



注:(a)NSFNET; (b)USNET.

图 4 两个大规模网络拓扑图

3.2 仿真结果与分析

图 5 展示了在 14 个节点的 NSFNET 中,CD-ROADM 中配置不同收发机模块数量 C 的情况下,网络阻塞性能随着不同负载变化的仿真结果. 我们发现,当最大允许的预留带宽不小于 5 ($M = 5, 7, 9$) 时,CD-ROADM 节点中配置一个收发机模块 ($C = 1$) 就和配置无穷多个收发机模块 (即 $C = \text{Con}$) 的网络性能几乎没有差别,可以消除节点内部收发机模块竞争. 而当最大允许的预留带宽 $M = 1, 3$ 时,两者之间存在较小的差异;但当 $C = 2$ 时,也可以消除节点内部收发机模块竞争. 这是因为当预留带宽 M 较大时,更多的连接请求可以通过光路嫁接机制,被整合到现有的光路上,从而更好地利用光收发机模块的资源;相反,当预留带宽 M 较小时,业务整合的效率将明显降低.

根据上面的仿真结果,为了消除节点内部收发机模块竞争,我们假设每一个 CD-ROADM 节点中配置 2 个收发机模块 (即 $C = 2$). 最大预留带宽设置为 5 (即 $M = 5$). 在下面的仿真中,我们将研究光收发机资源限制对网络性能的影响. 注意,在这里每个节点内部光收发机数量是指光发射机和光接收机数量的总和.

图 6 显示了每一个 CD-ROADM 节点中配置不同数目的光收发机对网络性能的影响. 如图 6 (a)所示, 在 14

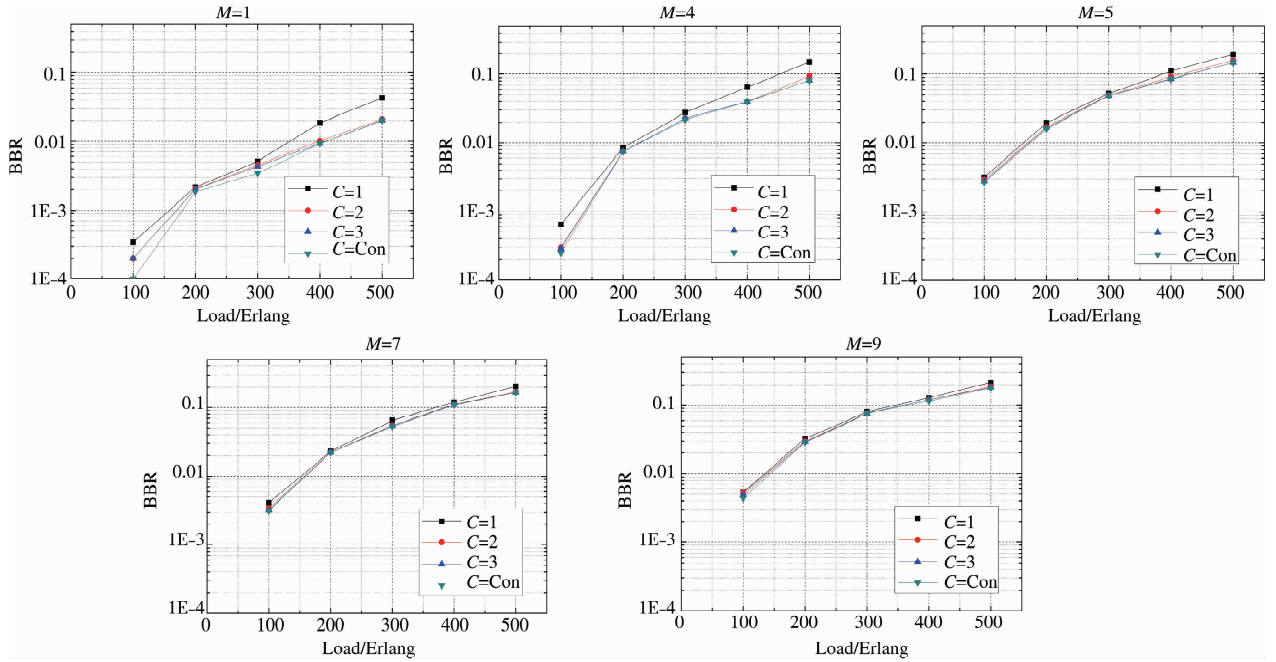
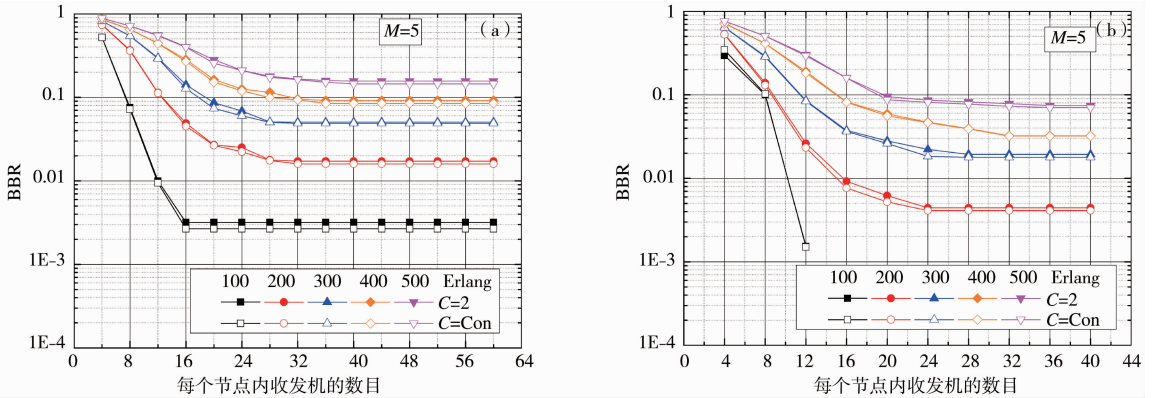


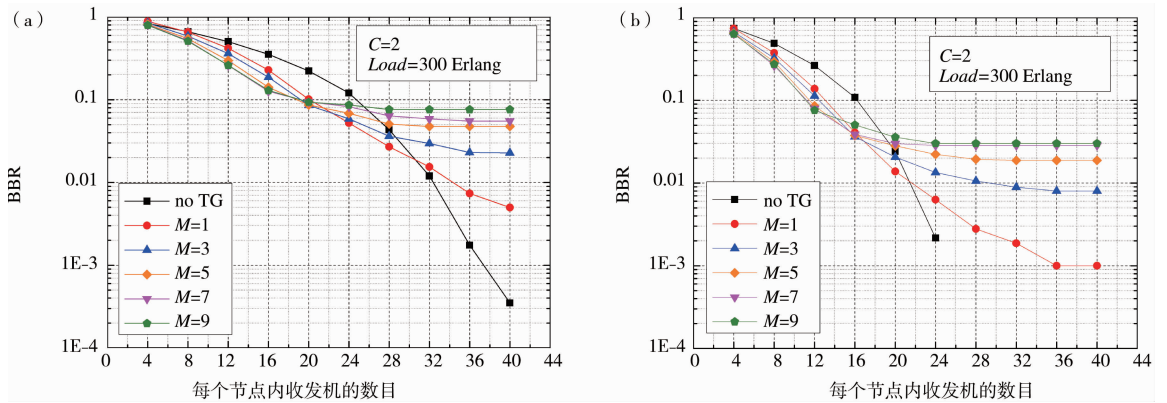
图 5 不同收发机模块数目和预留带宽情况下网络阻塞性能与业务负载之间的关系

个节点的 NSFNET 中, 首先比较 $C = 2$ 和 $C = \text{Con}$ 的结果, 我们发现 $C = 2$, 即 2 个收发机模块足以消除节点内部收发机模块竞争. 另外, 随着每个节点中配置的光收发机数量的增加, 光路阻塞性能得到了显著的改善, 这是因为此时网络中业务阻塞的主要原因是由光收发机资源竞争造成的. 但是, 当光收发机数量达到



注: (a) 在 14 节点 NSFNET 中的结果; (b) 在 24 节点 USNET 中的结果.

图 6 不同收发机数目配置情况下网络的阻塞性能



注: (a) 在 14 节点 NSFNET 中的结果; (b) 在 24 节点 USNET 中的结果.

图 7 不同预留带宽策略下网络的阻塞性能

某一点时,网络阻塞性能的改善达到饱和,即使配置的光收发机数量进一步增加,网络性能也没有得到进一步的改善.这是因为当光收发机数量达到这一点时,节点内部光收发机资源竞争因素也被消除了,此时网络中业务阻塞的主要原因是由网络层次上路由资源竞争造成的.同时,我们也发现,随着网络业务负载的增加,需要更多数量的光收发机来实现节点内部光收发机资源无竞争特性.在图 6 (b)中,由于网络容量较大,24 节点 USNET 的阻塞性能普遍优于 14 节点 NSFNET 的情况.这是因为 24 节点 USNET 中较为丰富的网络层次上路由资源,带来了网络阻塞性能的改善.

在图 7 中,我们进一步研究了提出的业务整合策略中不同的预留带宽值 M 对网络阻塞性能的影响.在该仿真中,业务负载固定为 300 Erlang,每个 CD-ROADM 配置了 2 个收发机模块(即 $C = 2$).在图 7 (a)中,在 14 个节点的 NSFNET 中,当光收发机较少时(小于 20),预留带宽 M 值越大,网络阻塞性能越好;当光收发器资源较多时(大于 24),预留带宽 M 值越大,网络阻塞性能反而越差.这是因为当光收发机资源较为紧张时,通过光路嫁接方式配置业务请求,可以大大降低对光收发机的需求,提高网络业务的接受率.此时,预留带宽 M 值成为了重要的指标参数, M 值越大,业务请求被整合到已有光路中的机会就会越多,反之亦然.另一方面,随着光收发器资源变得较多时,业务请求可以通过新建光路的方式得到配置,此时预留带宽 M 值越大,意味着更多的光谱资源有可能被浪费.因此,我们需要在光收发机资源竞争和链路频谱资源竞争之间寻求最优权衡.具体地说,就是在不同的光收发机资源的情况下,最优地选取预留带宽 M 值.同样的结论也可以在图 7 (b)中得到,所不同的是,24 节点 USNET 由于网络容量较大,阻塞性能优于 14 节点 NSFNET.

4 结论

本文提出了一种利用光谱预留和光路嫁接机制的业务整合算法,依次采用光路嫁接或者新建光路的方式,为新的连接请求配置光路资源,该算法可以有效地提高光收发机资源利用率,充分利用光收发机的容量.通过仿真,我们评估了所提出的业务整合策略在不同网络拓扑中,对光收发机模块及光收发机配置产生的影响,优化了 CD-ROADM 的配置,不仅可以实现节点内部无阻塞,还可以提高网络资源利用率,降低节点硬件成本和能耗.

参 考 文 献

- [1] 王瑞国,叶雅玲,卜湛.一种基于网络嵌入的社区发现方法[J].聊城大学学报(自然科学版),2019,32(4):72-80.
- [2] Gerstel, Jino, Lord, et al. Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer? [J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(2): s12-s20.
- [3] Way W I. Optimum architecture for $M \times N$ multicast Switch-Based colorless, directionless, contentionless, and Flexible-Grid ROADMs[C]. //Optical Fiber Communication Conference and Exposition, IEEE, 2012.
- [4] Li Y, Gao L, Shen G, et al. Impact of ROADMs colorless, directionless, and contentionless (CDC) features on optical network performance [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2012, 4(11): B58-B67.
- [5] Gringeri S, Basch B, Shukla V, et al. Flexible architectures for optical transport nodes and networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(7): 40-50.
- [6] Homa J. ROADMs architectures and their enabling WSS technology[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(7): 150-154.
- [7] Wang D, Zhu M, Zhang J, et al. Evaluations for transponder utilizations of two active-standby banks in CD-ROADM optical networks with traffic grooming[J]. Photonic Network Communications, 2016, 32(2): 320-328.
- [8] Pavon-Marino P, Bueno-Delgado M V. Dimensioning the Add/Drop contention factor of directionless ROADMs[J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2011, 29(21): 3265-3274.
- [9] Pavonmarino P, Buenodelgado M V. Distributed online RWA considering add/drop contention in the nodes for directionless and colorless ROADMs[C]. //Optical Fiber Communication Conference & Exposition, IEEE, 2012.
- [10] Pavon-Marino P, Bueno-Delgado M V. Add/Drop contention-aware RWA with directionless ROADMs; the offline lightpath restoration case[J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2012, 4(9): 671-676.
- [11] Pavon-Marino P, Bueno-Delgado M V, Izquierdo-Zaragoza J L. Evaluating internal blocking in noncontentionless flex-grid ROADMs[J].

- IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2015, 7(3): A474-A481.
- [12] Strand J L. Integrated route selection, transponder placement, wavelength assignment, and restoration in an advanced ROADM architecture [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2012, 4(3): 282-290.
- [13] Xin C, Qiao C, Dixit S. Traffic grooming in mesh WDM optical networks-performance analysis[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(9): 1658-1669.
- [14] Zhang Y, Zheng X, Li Q, et al. Traffic grooming in spectrum-elastic optical path networks[C]. // Optical Fiber Communication Conference & Exposition, IEEE, 2011.
- [15] Zhang G, Leenheer M D, Mukherjee B. Optical traffic grooming in OFDM-based elastic optical networks[J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications & Networking, 2012, 4(11): B17-B25.
- [16] Eira, António, Pedro J, et al. Traffic grooming policies under switching constraints in next-generation transport networks[J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2017, 9(1): A125-A130.

Dimensioning of CD-ROADM in Elastic Optical Network

ZHANG Sheng-yu¹ LI Gui-xin¹ SUN Qing¹ ZHU Min²

(1. School of Electronic Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract The Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexers (ROADMs) have been widely deployed in the transparent optical core network to increase optical network dynamics and transparency. The next-generation ROADMs generally require three key features: colorlessness, directionless, and contentionless (CDC). However, the ideal CDC-ROADM structure brings about some shortages, such as higher transponder-bank (TP-bank) hardware cost, massive scale of ports in Wavelength-Selective Switches (WSSs), as well as higher power budget. In this paper, we propose a traffic grooming (TG) algorithm to optimize the provisioning of the CD-ROADM nodes in elastic optical network (EON), which is based on spectrum reservation scheme (SRS) and lightpath grafting approach (LGA). We also evaluate the network performance under different provisioning for the TP-banks and TPs in the elastic CD-ROADM networks. Simulation results show that our proposed TG algorithm can reduce the hardware cost and power consumption of the CD-ROADM node, and optimize the provisioning for the TP-banks and TPs in CD-ROADM, while achieving the optimal network performance.

Key words elastic optical network; reconfigurable optical add/drop multiplexers; traffic grooming; transponder