

WDM 多粒度网络中的波带通道分配算法

宛丽宏¹,吕 薇¹,张 沛¹,顾晓仪¹,周锡增²

(1. 北京邮电大学 光通信中心,北京 100876;2. 台湾元智大学,台湾 桃园)

摘要:文章提出了一种波分复用(WDM)多粒度网络中的静态波带通道分配算法——平衡路由双向首次命中算法(BBFF,Balanced-routing-Bidirectional-First-fit)。该算法旨在减少全网多粒度全光域光交叉连接器(MG-PXC)的端口数,降低网络成本和控制复杂度。算法在路由选择阶段尽量保证全网负载平衡;在波长分配阶段采用改进了的首次命中(FF)算法,减少了因配置零散波长通道而无法建立波带通道的可能。仿真结果表明,BBFF 算法的两个特征,都有效地减少了 MG-PXC 的端口数,降低了网络成本。

关键词:波分复用多粒度网络;路由和波带通道分配;多粒度全光域光交叉连接器;网络成本
中图分类号:TN915 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8788(2006)01-0033-03

Waveband tunnel alloction algorithm in multigranular WDM network

WAN Li-hong¹, Lü Wei¹, ZHANG Pei¹, GU Wan-yi¹, ZHOU Xi-zeng²

(1. Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. Yuan Zhi University, Taiwan, China)

Abstract: In this paper, a new static routing and waveband tunnel allocation algorithm suitable for multigranular WDM network is proposed, which is called the balanced-routing and Bidirection-First-fit algorithm. This algorithm is aimed to minimize the total sum of port number over all MG-PXC nodes in the network, and reduce network cosk and control complexity. In the stage of selecting a route, this algorithm manages to keep the balance of link load of the whole network. In the stage of waveband tunnel allocation, it improves the FF algorithm to establish as many waveband passages as possible. The simulation results show that the two characteristics of BBFF reduce the number of wavelength ports needed greatly in the case of certain traffic volume. So much network cost is saved.

Key words: multigranular WDM network; routing and waveband tunnel allocation; MG-PXC; network cost

引入多粒度光交换技术,构建多粒度交换网络,已被广泛认为是降低波分复用(WDM)光网络交换传输控制复杂度和成本的一个较优方案^[1~3]。在 WDM 多粒度光网络中,光交叉连接设备的端口数是决定节点费用以及控制复杂度的重要因素(定性分析见下一节)。本文将从减少交换节点中的多粒度全光域光交叉连接器(MG-PXC)的端口数、降低全网成本的角度,研究 WDM 多粒度光网络中的波带通道分配算法。

关于多粒度交换的路由波长分配问题,现有文献中已提出了较多的启发式算法,例如随机匹配、首次命中、最大覆盖路径(MOR)等。然而,以减少 MG-PXC 端口数为目标的波带通道分配算法的研究目前处于开放状态,现有文献中提出的各种算法都有可改进的空间。其中,文献[4]提出的算法仅比较适用于均匀业务模型,文献[5~6]提出的算法都要求多粒度光交叉连接设备有波长变换功能,文献[7]提出了一种平衡路由和业务权重优先的波长/波带分配算法,虽考虑全面,但算法过于复杂。

本文着眼于实用性,提出了一种适用于非均匀

业务模型的静态启发式波带通道分配算法:平衡路由双向首次命中(BBFF)算法。该算法考虑了波长连续性的限制,另外,根据 PXC 的特性,在没有波长变换器的情况下,只有物理波带(多粒度交换技术中,波带是指一系列波长的组合。当这些波长是连续的时候,我们称之为物理波带,否则称之为逻辑波带^[1]。)才能作为一个整体进行交换,即在光交叉连接矩阵中只占用一个端口。因此,在本文提出的算法中,只考虑建立物理波带。此外,本文还分析了 MG-PXC 的费用模型,并结合该模型对算法的性能进行了模拟仿真。

1 MG-PXC 费用模型

近几年来,设备提供商主要开发了两种不同的交叉连接器:基于光电光(OEO)的光交叉连接器(OXC)和基于光光光(OOO)的 PXC。基于 OEO 的 OXC 价格昂贵且很难进行扩展。相反,PXC 费用相对较低,体积小,功耗和散热量较低,而且可扩展性强,与协议以及比特率无关。因此,未来 PXC 将会替代基于 OEO 的 OXC。在多粒度交换网络中,对传

收稿日期:2005-03-16
基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372096,90104003);北京邮电大学与台湾元智大学合作研究项目资助
作者简介:宛丽宏(1979-),女,河北高碑店人,硕士,主要研究方向为光网络路由波长分配问题和生存性问题。

统的 PXC 作了进一步改进。文献[2]提出了反馈式多粒度光交叉连接设备,此后大多仿真分析都采用了该结构^[4,6~7]。然而,文献[3]中又提出了新的串联式多粒度光交叉连接设备。我们研究的就是改进了的串联式 MG-PXC,其抽象结构如图 1 所示。

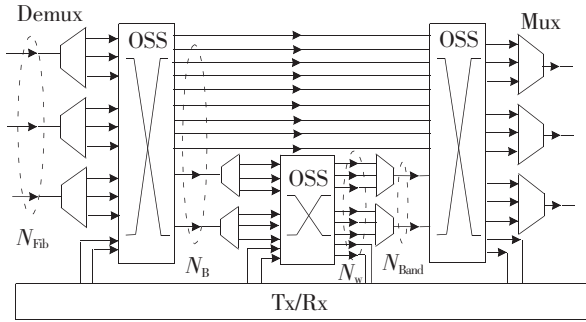


图 1 MG-PXC 结构示意图

根据图 1 所示的 MG-PXC 结构,我们可以得出它的费用模型:

$$C_{\text{PXC}} = C_{\text{T/R}} + (N_{\text{Fib}} + N_{\text{Band}}) \cdot (C_{\text{Mux}} + C_{\text{Demux}}) + 2C_{\text{OSS}}[N_{\text{B}}] + C_{\text{OSS}}[N_{\text{W}}], \quad (1)$$

式中, $C_{\text{T/R}}$ 表示本地上 / 下路业务适配器的费用; N_{Fib} 表示节点的输入光纤数; N_{Band} 表示需要解复用波长的波带数; C_{Mux} 和 C_{Demux} 分别表示一个光复用器和一个光解复用器的费用; C_{OSS} 表示一个光空分交换器(OSS)的费用, N_{B} 和 N_{W} 分别表示波带级和波长级光空分交换器的端口数。 C_{OSS} 是端口数的函数。

目前,纯光交叉矩阵的 PXC 仍然处于研发和现场实验阶段, OSS 是设备的核心。微电子机械(MEMS)开关这种新型的光开关已显示了巨大的发展潜力, MEMS 的每端口价格平均在 1 万美元左右(本文设为一个费用单位,表示为 C_0),而这是决定设备价格的主要因素。假设 PXC 的费用与其端口数成线性关系,即 $C_{\text{OSS}}[N] = kN$, 那么可以得出简化的 MG-PXC 费用模型:

$$C_{\text{MG-PXC}} = 2C_{\text{OSS}}[N_{\text{B}}] + C_{\text{OSS}}[N_{\text{W}}] = k(2N_{\text{B}} + N_{\text{W}}) \quad (\text{单位 } C_0). \quad (2)$$

2 BBFF 启发式波带通道分配算法

假设网络拓扑为有向图 $G(E, V)$, 其中, $E(e)$ 为单向链路集合; $V(v)$ 为节点集合。每条链路含 F 根光纤, 每根光纤中的波长数为 λ , 波带数为 B ; 每个波带中的波长数为 W_b , 即满足 $\lambda = BW_b$ 。 $\{s, d\}$ 表示有序节点对, 其中 $s, d \in V(v)$, $s \neq d$ 。网络中的业务请求是静态的单向波长业务, $T^{s,d}$ 表示所有从节点 s 到节点 d 的业务的集合, $t_{s,d}$ 表示该集合中的

波长业务数。链路 e 的负载为通过该链路的波长业务数总和, 用 l_e 表示。

BBFF 算法分选择路由和分配波长两个阶段。平衡路由算法的主要思路是: 尽量为业务选择跳数较少的路由, 同时均衡全网各链路上承载的业务流量, 以使全网所需波长数趋向最少。算法首先为网络中所有节点对 $\{s, d\}$ 预计算 K 条最短径, 构成该节点对的备选路由集 $R^{s,d} = \{r_0^{s,d}, r_1^{s,d}, \dots, r_{k-1}^{s,d}\}$, 其中, $r_0^{s,d} \leq r_1^{s,d} \leq \dots \leq r_{k-1}^{s,d}$ 。然后将不同节点对 $\{s, d\}$ 按照对应 $R^{s,d}$ 集合中的最短路 $r_0^{s,d}$ 的跳数降序排列, 逐一确定工作路由。为了更多地业务疏导到波带通道中, 并降低算法复杂度, 我们从 $R^{s,d}$ 中为 $\{s, d\}$ 间的所有业务请求只选择一条路由, 使全网链路的最大负载 $L = \max_{e \in E(e)}(l_e)$ 最小。

选定路由以后, 开始建立波带通道, 并为各业务分配波长。算法主要思路是: 优先为路由跳数较多的业务分配波长, 以更好地满足波长连续性要求; 优先为业务数较多的集合分配波长, 以建立更多的波带通道。此外, 本文提出的波带通道分配算法采用改进了的首次命中(FF)算法。在为业务配置波长/波带时, 首先将链路中的可用波长按物理顺序编号, 分配零散波长时, 采用从最小波长号开始的 FF 算法; 分配波带时, 采用从最大波长号开始的 FF 算法。这样, 减小了因配置波长级业务而无法建立物理波带的可能性, 利于减少链路中的总波长数。算法具体步骤如下:

步骤 1: 由平衡路由算法最后可得到全网最大链路负载 L , 计算得到网络每个单向链路光纤中所需的最少波长数 $\lambda_{\min}$, 即 $\lambda_{\min} = \lceil L/F \rceil$ 。

步骤 2: 定义业务集合 $T^{s,d}$ 的权重 $W_{s,d} = h_{s,d} \times t_{s,d}$, 其中 $h_{s,d}$ 表示该节点对间的工作路由 $r_{\text{work}}^{s,d}$ 的跳数, 将各业务集合按照其权重降序排列。

步骤 3: 依次为队列中的业务集合建波带通道, 配置波长。若 $t_{s,d} \geq W_b$, 则从编号最大的波长开始, 采用 FF 算法查找可用波带, 将可用波带中的波长依次配置业务, 并更新 $t_{s,d} = t_{s,d} - W_b$; 若 $t_{s,d} < W_b$, 则从编号最小的波长开始, 查找并配置可用波长, 更新 $t_{s,d} = t_{s,d} - 1$ 。

另外, 在步骤 3 中, 可设置调整因子 $\Delta\omega_b$ ($0 < \Delta\omega_b < W_b$), 放宽波带分配的界限。当业务集合中的业务量接近一个波带的容量即 $t_{s,d} \geq W_b - \Delta\omega_b$ 时, 就为该业务集合建一个波带通道, 波带中多余的波长信道空置。这样, 用一个波带交换端口代替了 $W_b - \Delta\omega_b$ 个波长交换端口, 减少了总端口数, 故

利于降低总成本。但随着 Δw_b 值的增大,波带中浪费的波长越来越多,成本将提高。

3 性能仿真及费用分析

本文在 14 节点的 NSFNET(美国国家科学基金会网)上对 BBFF 算法的性能进行了多方面的仿真。静态业务矩阵中 $t_{s,d}$ 值服从 $[1, nMax]$ 上的均匀分布。结合公式(2),我们量化分析了引入多粒度交换对降低全网费用的效果,费用降低量以 C_0 或 C_0 的倍数为单位。

图 2 显示了引入多粒度交换对全网节点费用的改善效果。其中,图 2(a)是在 $nMax=40, W_b=4$ 的情况下,全网各节点费用降低的情

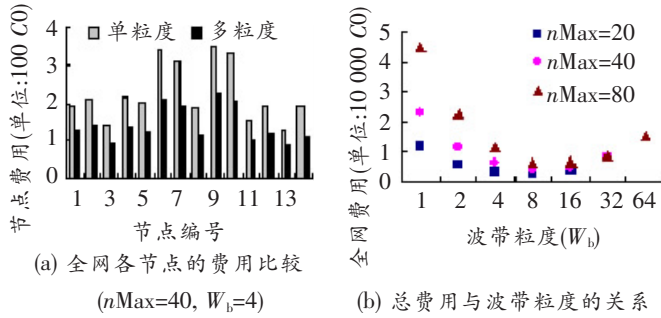


图 2 多粒度带来的费用改善效果

况。进一步计算可知,全网总费用一共降低约 37%。实际上,根据已商用化的设备的市场价格,以及 OSS 的模块化结构,MG-PXC 的费用与其端口数约呈指数关系,因此,采用多粒度交换所带来的节点费用降低程度将会更大。图 2(b)显示了全网费用随波带粒度调整的变化。由图可见,在不同的业务强度下,多粒度交换总能明显降低全网费用,即当 $W_b=1$ 时, MG-PXC 将退化为单粒度,全网费用总是最高的。但并非波带粒度越大,费用降低得越多。当波带粒度接近 $nMax$ 时,全网费用反而回升。因此,在一定业务强度下,能找到最佳波带粒度使全网 MG-PXC 的总费用最低。在本文设置的仿真环境中,3 种业务强度下的最佳波带粒度皆为 8。

BBFF 算法在选择路由和分配波长时,都充分考虑了如何减少 MG-PXC 的端口数,从而降低全网成本。图 3 显示了对这两个策略分别仿真的结果。其中,图 3(a)是在最大业务强度 $nMax=40$ 时,各种波带粒度情况下,平衡路由和双向 FF 所带来的

性能改善效果,改善程度用全网总费用的降低量表现。图 3(b)是在波带粒度 $W_b=8$ 时(这接近大部分业务强度下的最佳波带粒度),不同的业务强度情况下, BBFF 算法两个特性各自带来的性能改善。由图 3 可见,双向 FF 的波长分配策略所带来的性

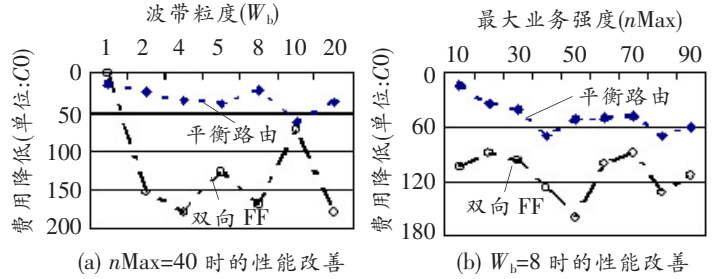


图 3 平衡路由和双向 FF 带来的算法性能改善效果

能改善效果更明显。这是因为在建立波带通道和分配波长时,若采用普通的 FF 算法,可能由于物理波带通道和波长通道的间隔分布,使得很多物理波带通道难以满足波长连续性要求,降低了将业务整合入物理波带通道的可能性。

如本文第 2 节末所述,适当放宽波带通道建立条件的限制,能够进一步降低 MG-PXC 的费用。随着调整因子 Δw_b 的增大,全网中的波带通道数量将增多,但是光纤中浪费的波长数也随之增加,因此不能无限制增大 Δw_b 。图 4 显示的是 $W_b=8$ 时的调整因子的变化对全网节点费用和单

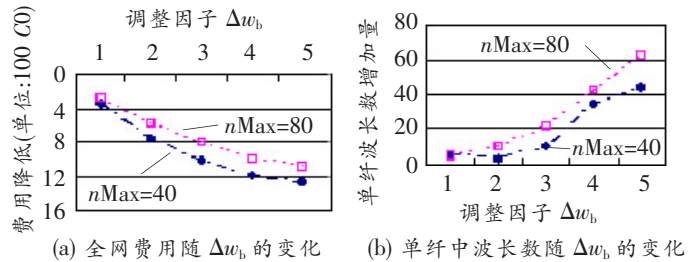


图 4 放宽波带分配限制的影响

纤波长数带来的变化情况。其中图 4(a)表明了在一定范围内全网费用随着 Δw_b 的增大而显著降低;图 4(b)表明在一定范围内单纤中所需波长数随 Δw_b 的增大明显增多。

4 结束语

多粒度交换的引入,能有效降低网络设备的成本,提高资源利用率。本文提出的 BBFF 算法,能在

(下转第 62 页)