

波分复用光网中的一种新型波长分配算法

赵志勇, 邵子瑜, 李正斌, 王子宇, 徐安士

(北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871)

摘要: 目前网络承载业务的趋势是以 IP 为中心的数据业务, 从而促进了以 WDM 光网络向高速和宽带多波长的应用和普及, 为了进一步提高网络的性能并提高资源利用率, 出现了光网络控制面技术. 路由选择与波长分配问题是 WDM 光传输网络控制面中非常重要的问题之一. 目前实际应用最广泛的波长分配算法是 First Fit (FF) 算法. 本文基于 FF 算法, 研究动态业务下波分复用光网络在固定选路下的波长分配问题, 提出了一种新的波长分配启发式算法 (Joint First Fit). 计算机仿真试验表明, 与常用的 FF 算法相比, 该算法显著的降低了网络呼叫阻塞率, 有利于提高网络资源的利用率.

关键词: WDM 光网; 路由与波长分配; 动态波长分配

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 12-1722-04

A New Wavelength Assignment Algorithm for WDM Optical Network

ZHAO Zhiyong, SHAO Ziyu, LI Zhengbin, WANG Ziyu, XU Anshi

(National Key Lab of Optical Fiber Communication Systems and Networks, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: With the explosive growing of IP Data traffic, the carrier network is put forward to optical networks based on WDM technologies. And, accordingly several techniques have been proposed to improve the performance of the optical network, especially the control plane technology. Routing and Wavelength assignment (RWA) is one of the very important problems in WDM optical transmission network. Based on the conventional method named first fit (FF), a novel and heuristic algorithm called joint first fit (JFF) schemes is proposed for dynamic wavelength assignment in optical control plane of WDM network. Simulation results show that blocking probability can be significantly reduced and wavelength resource can be more efficiently used compared with First Fit (FF) algorithm.

Key words: WDM optical network; RWA; dynamic wavelength assignment

1 引言

波分复用技术 (WDM) 作为一种公认的最佳光纤扩容技术已被广泛应用在国际和国内长途骨干网上. 利用 WDM 技术, 一根光纤上可以以电子处理数据的极限速率并行传输多路信号, 这使充分利用光纤的巨大带宽成为可能. 在考虑到技术条件和网络建设成本的前提下, 设计出一个好的路由选择和波长分配 RWA^[1, 4, 6, 7, 8] (routing and wavelength assignment) 算法, 对减少网络的阻塞率 (blocking probability)、提高资源利用率 (resource utilization) 及网络抗毁能力 (survivability) 是有重要意义的. RWA 问题是一个 NP (nondeterministic polynomial time complete) 问题, 为了解决网络的优化和响应速度问题, 通常将 RWA 问题分为路由子问题和波长分配子问题, 即网络接收到客户端的连接请求后, 首先使用路由算法为连接请求选路, 然后再根据波长分配算法, 为所选路径分配波长. 虽然并不一定达到全局最优, 但是这种方法可以大大简化计算的复杂性, 并

能得到比较满意的结果. 例如基于最小跳数 (MNH) 的波长路由分配算法及其 Monto Calo 修正^[3], 为降低成本, 提高未来 WDM 全光通信网的容量提供了一种有效的网络设计方法.

在网络节点没有波长转换能力的波长分配方案中, 造成连接请求呼叫阻塞的原因: 一是呼叫连接路径上的链路中没有可用的波长; 另一种情况是虽然连接路径的每个链路中都有空闲的波长, 但这些空闲波长不连续, 光通道连接失败, 其主要原因是波长资源被分成了波长不同的空闲波长段. 为了快速的在网络中进行动态波长分配^[5, 8] (Dynamic Wavelength Assignment), 目前基本多采用启发式算法 (Heuristic Algorithm), 其目标就是在网络连接动态变化的情况下, 使得整网连接呼叫的阻塞率尽量的小. 网络的阻塞率是评价光网性能的一个非常重要的指标, 而波长分配算法正是以减小网络阻塞率为优化目标的.

当前主要的启发式算法主要有^[1, 2]: 随机分配算法、First Fit (FF) 算法、Least Used (LU)/SPREAD 算法、以及 Most Used

收稿日期: 20020715; 修订日期: 20030925

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60272023, No. 90104003); 博士点基金 (No. 20020002102); 863 项目 (No. 2001AA 122012, No. 2003AA 103410, No. 2003AA 122540).

(MU)/PACK 算法等.在上述这些算法中,最常用的是前两种.随机算法最简单,而 FF 算法只需要查找标号最小的空闲波长,不要求知道全网的状态信息,因此也比较简单.分析结果表明,综合考虑算法复杂性、对资源的要求程度、有效性,FF 的性能是比较优越的,所以我们决定采用这种波长分配算法作为比较其它算法性能优劣参照的基础.

我们在上述研究工作的基础上,根据光网络控制面对路由选择与波长分配要求简单、迅速、高效等特点,结合本实验室承担的基金和 863 项目,提出了一种新型的波长分配算法,可以有效的利用网络资源,从而有利于减小 WDM 全网的平均阻塞率,满足光网络控制面对上层业务快速提供链路的要求.

2 动态波长分配的 JointFirstFit (JFF) 算法

2.1 算法提出的背景

与随机分配算法相比,FirstFit 算法虽然进行了优化,但是 FirstFit 算法却不能根据网络的连接状况的变化合理的调节波长分配,所以有待改进.而 MostUsed 算法尽管能够根据网络中动态变化的连接状况来分配波长,但由于这种方法要用到整网的波长资源使用情况,因而它需要网络在进行波长分配时查询整个网络的波长资源使用情况,当网络拓扑规模较大时这是相当复杂的.基于动态业务变化情况来为连接请求分配波长,同时又尽量少知道全网的资源使用情况,是判断一个波长分配算法优劣的重要标准之一.而 JointFirstFit 算法正是符合上述要求的一种波长分配算法,它是在 FirstFit 算法基础上,加入了根据连接动态变化来选择分配波长的功能.

2.1.2 JFF 算法

在节点没有波长转换能力的网络中,受光通道波长连续性的限制,上游链路的波长使用情况会影响到本链路的波长使用情况,因而链路中的波长使用情况是相关的.因此,我们假设:¹ 光路节点处的 I/O 处理能力不受限制,即:节点处收发器数目足够多,不是引起光路建立请求被阻塞的原因;² 网络的阻塞只考虑波长分配的影响,即假设光路的路由为固定连接(预先定义);³ 已建立的光路连接不能被破坏;⁴ 网络中各节点没有波长转换器(由于采用波长转换器会增加设备成本,同时,它究竟能带来多大的效益往往与网络拓扑、网络规模、业务分布、波长数量、光路跳数有关,目前并无定论);⁵ 网络物理拓扑中各条链路的光纤数和波长数相等.

在 JointFirstFit 算法实现中,首先,要对光网络中链路的波长资源从 0 至 N-1(N 代表链路波长复用数)进行编号,并且编号规则在所有链路中都一致.当网络接收到客户申请,并按相应的路由协议计算出连接路由后,开始查询链路波长资源占用状况,对路由所经的链路进行波长资源分配.在查询过程中,使用变量 S 代表查询状态,初始值为 0.使用 W 代表波长编号(0 ≤ W ≤ N-1) W 初始值为-1. JointFirstFit 算法在链路波长资源查询过程中,也和 FirstFit 算法一样,是按照波长编号从最低编号的波长依次向编号高的波长方向进行.对于任意的 WDM 网络,在对某条光路建立请求按照固定路由算法选择一条路径之后(例如选取跳数最短的路径),执行本算

法即可完成波长的分配过程.算法运行具体步骤描述如下:

步骤 1 要对光网络中链路的波长资源从 0 至 N-1(N 代表链路波长复用数)进行编号,并且编号规则在所有链路中都一致.当网络接收到客户申请,按相应的路由协议计算出连接路由.

步骤 2 查询链路波长资源占用状况,对路由所经的链路进行波长资源分配.在查询过程中,使用变量 S 代表查询状态,初始值为 0.使用 W 代表波长编号(0 ≤ W ≤ N-1) W 初始值为-1.然后按照波长编号从最低编号的波长依次向编号高的波长方向进行.

步骤 3 若查询的波长已被占用,则 S 和 W 的值均保持不变,继续查询下一个波长.

步骤 4 当编号为 n(0 ≤ n ≤ N-1)波长空闲时,则查询 W 的值,如 W 的值为-1,则将 W 的值为 n,然后查询与该连接使用链路前后相邻的链路是否使用该波长,如果相邻的两个链路中只有一个链路使用了该波长,则将 S 值设为 1,然后继续查询下一个波长.如果相邻的两个链路均使用了该波长,则跳到第 7 步.

步骤 5 若波长 n 资源空闲,并且 W 的值不是-1,则检查查询与该连接使用链路前后相邻的链路是否使用该波长,若前后链路均没有使用该波长,继续查询下一个波长.如果相邻的两个链路中只有一个链路使用了该波长,则检查 S 值是否为 0,若为 0 则将其置为 1,继续查询下一个波长,否则保持 S 的值不变,继续查询下一个波长.如果相邻的两个链路均使用了该波长,则跳到第 7 步.

步骤 6 如果所有的波长均已查询完毕则进入第 7 步.

步骤 7 检查 W 得值,如果 W 的值等于-1,则控制中心通过信令通知发起呼叫请求的节点,呼叫被拒绝,如果 W 的值不为-1,则将 W 代表的波长分配给该连接申请.

步骤 8 算法停止.

通过上面的步骤可以看出,与 FirstFit 算法相比,JointFirstFit 算法的核心思想是尽可能的将当前的光通道与已有的光通道在同一个波长上首尾连接起来,形成一个更长的连接,使链路之间使用波长的相关性更大,从而增加链路中空闲波长的相关性,减少空闲波长的分段数,降低网络的阻塞率.

图 1 中给出一个 4 节点的线形网络,网络链路中的波长复用数为 2,波长编号为 W₀ 和 W₁,图中实线表示波长已被使用,虚线表示空闲的波长.网络中波长的使用状态如图 1(a)所示,节点 A 与节点 C 之间有一条光通道连接 P₂,占用波长 W₁,节点 A 与节点 B 之间有一条光通道连接 P₁,占用波长

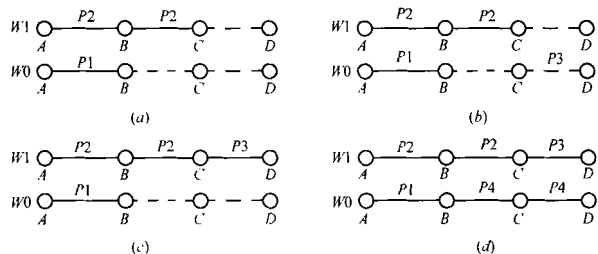


图 1 JointFirstFit 算法示意

W_0 . 这时网络接收到节点 C 到节点 D 的连接请求, 如果采用 **Firs2Fit** 算法, 网络为连接分配编号为 W_0 的波长, 如图 1(b) 所示. 而如果使用 **Join2Firs2Fit** 算法, 则网络会为连接分配编号为 W_1 的波长, 如图 1(c) 所示. 比较图 1(b) 与图 1(c) 可以看到, 虽然网络中节点 B 到节点 D 之间都有空闲波长, 但采用 **Firs2Fit** 算法的网络中链路 BC 与链路 CD 中的空闲波长不在同一个波长上, 空闲波长形成两段, 而在采用 **Join2Firs2Fit** 算法的网络中, 链路 BC 与链路 CD 中的空闲波长在同一个波长上, 空闲波长连续. 这时, 如果网络接收到节点 B 到节点 C 或节点 C 到节点 D 的连接请求, 在这两种情况中网络还能它们提供波长资源, 建立光通道, 但是如果网络接收到节点 B 到节点 D 的连接请求, 则图 1(c) 中的网络能够提供波长资源, 在波长 W_0 为连接建立光通道服务, 如图 1(d) 所示. 而图 1(b) 中的网络就不能为连接请求提供可用的光波资源, 呼叫即被拒绝.

3 仿真及其结果

3.1 仿真说明

使用的网络模型: (1) 网络拓扑结构采用环形网络结构, 网络负载是动态变化的; (2) 网络内所有节点间的链路都采用相同的 WDM 技术, 复用波长数 W 和光波的中心波长都相同; (3) 每个网络节点的连接呼叫请求均为相同分布的泊松事件, 每节点的到达率为 K ; (4) 每个呼叫的目的地址在网络剩余节点间平均分布; (5) 每个连接都占用一个波长资源; (6) 所有呼叫的持续时间均为等分布的负指数分布, 平均持续时间为 $1/L$, 因而网络每节点的负载 $Q = K/L$; (7) 当光通道所选路径上没有可用波长资源时, 呼叫被阻塞.

在网络运行过程中, 多个连接同时占用网络资源, 同时各个节点随机的接收到泊松分布的呼叫请求(可以证明, 泊松分布事件间的时间间隔呈负指数分布), 各连接请求之间是互相独立的. 仿真软件采用了 Linux 的多线程并行处理技术, 每一次呼叫都使用一个独立的线程进行模拟. 仿真软件使用全局变量 WS 来表示网络资源, 程序的主线程使用一个随机数发生器, 产生负指数分布的呼叫时间间隔, 然后主线程延迟该时间间隔后生成一个子线程, 模拟一个独立的呼叫. 然后主线程再使用随机数发生器产生呼叫的间隔时间, 进行呼叫产生的循环, 直到仿真的呼叫次数达到设定值. 最后计算阻塞率等参数并输出结果.

子线程由主线程产生后, 使用随机数生成器生成连接的起始节点和终结点, 其分布为在网络节点间均匀分布, 当起始节点和终结点确定后, 子线程查询网络资源变量 WS , 根据网络资源占用情况, 并按相应的波长分配协议进行波长分配. 然后, 子线程使用随机数发生器生成一个负指数分布的连接持续时间, 子线程延迟该时间后将波长资源释放并返回, 从而模拟了一个连接请求从连接建立到连接拆除的全过程. 仿真文件的流程图如图 2、图 3 所示.

仿真过程中, 每一个仿真点对应一个不同的业务繁忙程度(Erlang). 对于大多数仿真点, 每 200000 个业务请求计算一次阻塞率, 而对于阻塞率非常低的一些点, 则每 1000000 个业

务请求计算一次阻塞率. 仿真程序从网络空载开始执行, 因而仿真系统在到达稳定状态前要经历一个称为暂态期的过渡过程, 为保证统计分析结果的准确性, 必须除去暂态影响, 因而在统计之前先额外处理 1000 个连接请求作为仿真系统的/ 预热, 网络阻塞率的计算使用减去预热请求次数之后的连接请求数.

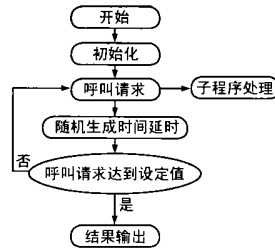


图 2 主程序流程图

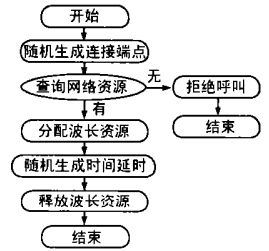


图 3 子程序处理流程图

3.1.2 结果分析

下面是单光纤, 波长数为分别 8 和 16 的 $5*5$ 格型环网的络仿真结果:

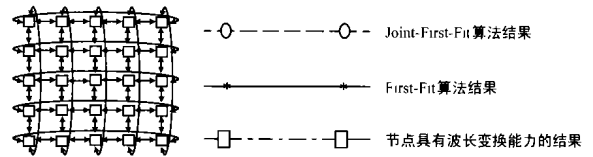


图 4 $5*5$ 格型环网

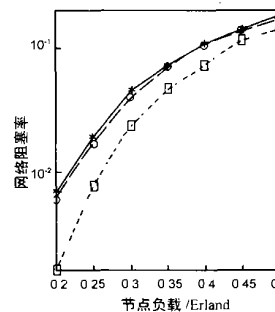


图 5 波长数为 8

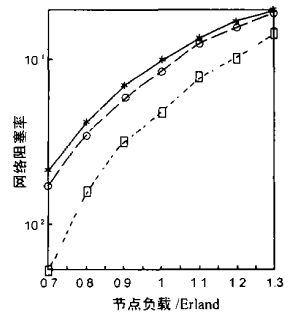


图 6 波长数为 16

从仿真结果可以看出, 虽然与节点具有完全波长转换能力的网络阻塞率相比, **Join2Firs2Fit** 算法的网络阻塞率仍较高, 但与 **Firs2Fit** 算法相比, **Join2Firs2Fit** 算法能明显的降低网络阻塞率. 定义 **Join2Firs2Fit** 算法的增益 $G_j =$ 采用 **Firs2Fit** 算法进行波长分配的网络阻塞率/ 采用 **Join2Firs2Fit** 算法进行波长分配的网络阻塞率. 仿真数据表明随着链路波长复用数的增加, **Join2Firs2Fit** 算法的增益也增加; 随着网络负载的增加, **Join2Firs2Fit** 算法的增益降低. 对于链路波长复用数为 16 的环网来说, 当网络节点负载为 1Erlang 时, **Firs2Fit** 算法的阻塞率 9.84%, 同等条件下 **Join2Firs2Fit** 算法的 8.47%, 从而可以算出 **Join2Firs2Fit** 算法的增益 $G_j = 9.84/8.47 = 1.16$.

4 结论

本文研究了动态业务下波分复用光网络在固定选路下的波长分配问题, 提出了一种新的波长分配启发式算法))

Join2Firs2Fit (JFF). 计算机仿真表明, 与常用的 FF 算法相比, 该算法显著的降低了网络呼叫阻塞率, 从而有利于提高网络资源的利用率.

参考文献:

- [1] Hui Zhang, et al. A review of routing and wavelength assignment for wavelength2routed optical WDM networks [J]. Optical Networks magazine, 2000, 1(1): 47- 60.
- [2] Ori Gerstel, et al. Dynamic wavelength allocation in all2optical ring networks [R]. IBM research center, May 1996.
- [3] 陈雯路, 张汉一, 郭奕理, 等. WDM 全光网优化及波长分配算法的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1998, 38(9): 43- 46.
- [4] R Ramaswami, et al. Optical Networks: A Practical Rerspective[M]. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, 1998.
- [5] S Subramanian, et al. All2optical networks with sparse wavelength con2version[J]. IEEE Transactions on Networking, 1996, 4(4): 544- 557.
- [6] Hao Qin, et al. Routing and wavelength assignment based on genetic al2gorithm [J]. IEEE Communications Letters, 2002, 6(10): 455- 457.
- [7] 徐世中, 李乐民, 王晟. 多光纤波分复用网动态路由和波长分配算法[J]. 电子学报, 2000, 28(7): 23- 27.

- [8] 万颖瑜, 陈国良, 许胤龙, 顾钧. 有固定波长转换器的全光环网波长分配算法[J]. 软件学报, 2002, 13(8): 1456- 1464.

作者简介:



赵志勇 男, 1972 年 6 月生于河北, 1995 年毕业于南开大学物理系, 现为北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室硕士研究生, 目前研究领域为光网络体系结构等.



邵子瑜 男, 1979 年 8 月生于江西省景德镇市, 北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室硕士研究生, 2001 年本科毕业于北京大学电子学系, 目前研究方向为光网络体系结构, 光分组交换与突发交换机制研究, 以及光纤放大器, 超长距离光纤传输系统.