

静态波长路由光网络中路由和波长分配算法的统计修正

叶亚斌, 张汉一, 秦 涛, 戴无惧, 奉飞飞, 霍晓莉, 郭奕理

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 本文采用统计的方法对以网络最小所需波长数为优化目标的路由和波长分配算法进行了修正. 数值模拟计算表明, 经过统计方法修正之后, 可以求得更接近波长下限的网络所需波长数. 另外本文还首次提出用统计的方法对路由和波长分配算法进行比较, 通过比较两个算法在经过统计修正之后求得的网络所需波长数的分布可以知道它们的优劣.

关键词: WDM 全光网; 路由和波长分配算法; 最小所需波长数; 统计方法

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)07-0961-04

Statistical Modification of Routing and Wavelength Assignment Algorithms in Static Wavelength-Routed Optical Network

YE Ya-bin, ZHANG Han-yi, QIN Tao, DAI Wu-ju, FENG Fei-fei, HUO Xiao-li, GUO Yi-li

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In this paper, a statistical method is proposed to modify the routing and wavelength assignment (RWA) algorithms whose optimum object is the minimum number of wavelength required (MNWR) in wavelength division multiplexing all optical network. With this statistical method, a smaller NWR can be acquired through numerical simulation. And, it is the first time that the statistical method is proposed to compare the performance of different RWA algorithms. Two RWA algorithms can be compared by contrasting the distribution of the NWRs obtained by each RWA algorithm.

Key words: WDM all optical network; routing and wavelength assignment algorithm; minimum number of wavelength required; statistical method

1 引言

波分复用(WDM)全光网以不同的波长作为传输信道,并按照波长路由的方式进行交换和网络重构,因此波长资源是网络中最重要资源.但是由于掺铒光纤放大器(EDFA)的增益带宽有限以及光纤中的非线性效应的限制,网络中能使用的波长数目是有限的.而且,随着波长数目的增加,网络节点所需器件的规模和本钱也会很快的增加,同时也增加了网络管理的难度.因此对于一个网络,如何合理的进行路由和波长分配以使网络中所需的波长数最小是一个很重要的课题^[1~4].已经证明WDM全光网中路由和波长分配(RWA)问题是一个NP完备问题^[5],因此只能用启发式算法进行求解.

路由和波长分配问题一般都分解成两个子问题即路由问题和波长分配问题分别进行求解^[1,3].例如在文献[1]中,先根据最小跳(MNH)原理给每个节点对建立初始路由,由于初始路由不是最优化的,需要重路由.重路由的准则是:对每一

个节点对考虑其备用路由,如果备用路由上的最拥塞链路所承载的信道数比初始路由上最拥塞链路所承载的信道数少,就用备用路由代替初始路由.重复这个过程直到网络性能没有任何改进.在确定路由之后,就进行波长分配.在分配波长时则是长度长(跳数多)的路由优先分配波长,分配波长时按照首次命中(First Fit)原则.在文献[3]中,则考虑了链路权重,即如果某个链路被分配了一个路由,那么该链路的权重就增加.在给每个节点对建立初始路由的时候是选链路权重最小(MLW)的路由.重路由的方法和文献[1]类似,分配波长的策略则等效于随机路由分配波长.通过上面的路由和波长分配之后,就可以得到一个网络所需波长数(NWR).但是,对于一个网络,如果对节点编号不一样,那么用上面这些路由和波长分配算法求得的网络所需波长数也不一样.这是因为对节点的考虑次序不同时,某些情况下预先占用的波长可能是以后几个节点分区重用的波长,所以用上面的路由和波长分配

算法得到的 NWR 并不一定是真正的网络最小所需波长数 (MNWR). 解决的办法就是考虑所有可能的网络编号下的路由和波长分配, 选择求得的 NWR 中最小值作为网络最小所需波长数, 但是这样计算量会非常大, 因为对于一个 N 节点的网络, 可能的节点编号是 $N!$ 种.

针对这一点, 我们提出一个统计修正的办法: 对一个给定的网络, 先按照路由和波长分配 (RWA) 算法求得一个 NWR, 再对这个网络的节点进行随机编号, 重新用 RWA 算法计算, 如此重复多次, 就可以得到一个 NWR 的统计分布, 其中最小值就是 MNWR. 从下面的计算可以看出, 和只进行一次网络编号计算的结果相比, 采用统计修正的方法之后, 可以求得更低的网络所需波长数.

另外, 我们还首次用统计方法对 RWA 算法进行了比较. 通常用于判断一个 RWA 算法好坏的判据是看其求得的 MNWR 是否等于或接近波长下限^[1~3,5], 但是如果两个算法求得的 MNWR 相同, 那么根据这个判据就无法判断哪个算法比较好. 但是除了这个判据之外, 我们认为还应该考虑 RWA 算法在用上面的统计方法修正之后求得 MNWR 的几率以及求得的 NWR 统计分布情况. 即使两个算法求得的 MNWR 相同, 但是其中一个算法求得 MNWR 几率较高, 或者求得的 NWR 分布更集中在接近 MNWR 的几个波长上, 那么就可以认为这个算法更好.

本文结构安排如下: 在第 2 节中给出了所研究的网络模型, 在第 3 节中对四个实际的网络进行了数值模拟, 第 4 节是本文所得出的结论.

2 网络模型

本文所研究的光网络拓扑模型是基于以下几点约定:

(1) 网络中包含 N 个节点和 L 个双向光纤. 每个节点包含一个终端节点和一个路由节点. 终端节点发射和接受光路 (实现上/下路的功能), 而路由节点则是把光路从源节点路由到终端节点 (实现交叉互连的功能).

(2) 任意直接相连的两个节点之间包含一对方向相反的单向光纤或一个双向的光纤, 这被称为一个物理链路 (link).

(3) 静态的波长路由选择.

(4) 任意两个节点之间的通信都占用且只占用一个波长信道.

(5) 均匀通信流量. 网络中任意两个节点之间都有双向的通信要求, 因此网络总的通信量为 $N \times (N - 1)$ 个光路.

(6) 不考虑波长转换, 因此要建立一个连接, 就要求路由所经过的链路上都有相同的空闲波长信道.

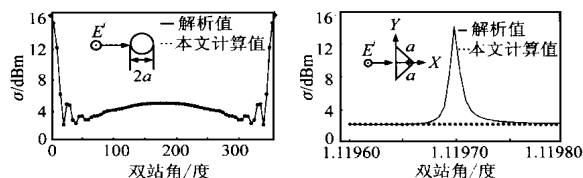


图 1 模拟计算所使用的四个网络: (a) ARPANet, $N = 20$, $L = 31$, $\lambda_L = 33$; (b) UKNet, $N = 21$, $L = 39$, $\lambda_L = 19$; (c) EON, $N = 20$, $L = 39$, $\lambda_L = 18$; (d) NSFNet, $N = 14$, $L = 21$, $\lambda_L = 13$

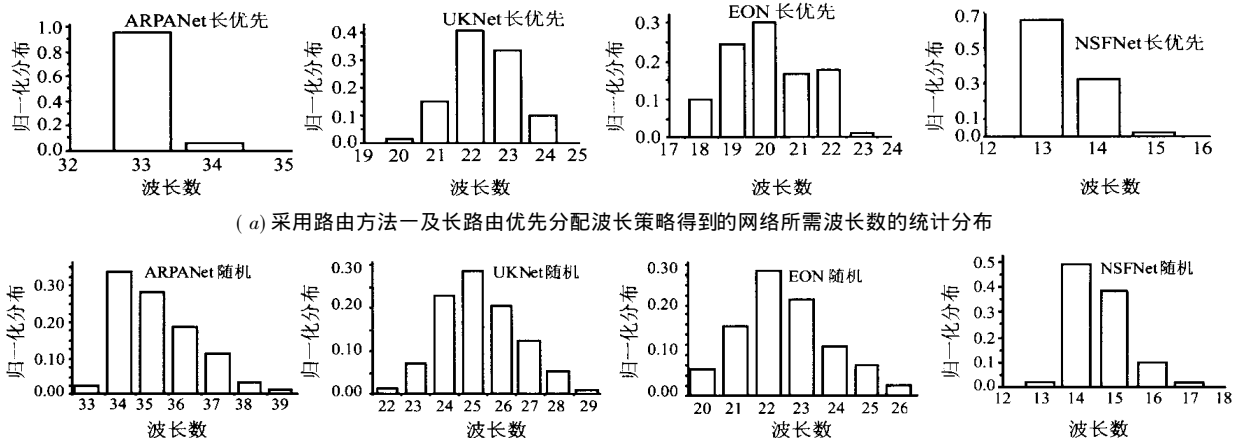
本文对四个实际的网络进行了数值模拟, 这四个网络分别是美国的 ARPANet、英国的 UKNet、欧洲的 EON 和美国自然科学基金网 NSFNet, 其网络拓扑如图 1 所示. 它们的波长下限 (λ_L) 分别为 33、19、18 和 13^[1].

3 数值模拟

我们用统计的方法对这四个网络进行了计算, 采用的算法是文献 [1] 中的路由 (在此称为路由方法一) 和波长分配算法, 重复的次数是 400 次. 表格 1 把用统计修正的方法得到的网络最小所需波长数 (MNWR) 和文献 [1] 中求得的 MNWR 进行了比较. 从表格 1 可以看出, 和文献 [1] 相比, ARPANet、UKNet 和 NSFNet 的最小所需波长数和文献 [1] 中相同. 但是对于 UKNet, 用统计的方法得到的 MNWR 为 20, 小于文献 [1] 中的 22. 这说明采用统计研究的方法是有效的, 它可以求得更接近网络波长下限的 MNWR.

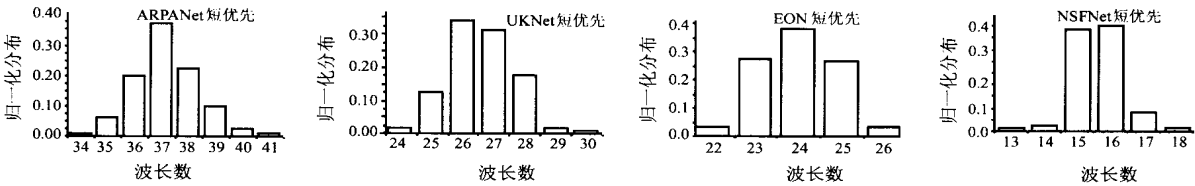
表 1 文献 [1] 和本文得到的 MNWR

	波长下限	文献 [1]	本文
ARPANet	33	33	33
UKNet	19	22	20
EON	18	18	18
NSFNet	13	13	13



(a) 采用路由方法一及长路由优先分配波长策略得到的网络所需波长数的统计分布

(b) 采用路由方法一及随机路由波长分配策略得到的网络所需波长数的统计分布



(c) 采用路由方法一及短路由优先波长分配策略得到的网络所需波长数的统计分布

图 2 采用路由方法一和三种路由选择分配波长策略得到的四个网络所需波长数的统计分布

图 2(a) 给出了采用路由方法一及长路由优先波长分配策略经过 400 次节点随机编号后计算得到的网络所需波长数的统计分布直方图。从图中可以明显看出网络节点编号不一样时,求得的网络所需波长数也不一样,这说明了采用统计方法进行修正的必要性。从图中可以看出,在 ARPANet、EON 和 NSFNet 这三个网络中,求得和波长下限相同的网络最小所需波长数的几率较高,分别为 95.4%、10% 和 65.2%,因此在文献[1]中只经过一次网络编号计算就得到了和波长下限相同的 MNWR。但是在 UKNet 网络中,求得最小所需波长数 20 的几率很低,只有 1%,而求得波长数为 22 的几率很高,有 40.9%,这就是为什么文献[1]只求得 22 而没有求得更低

表 2 采用路由方法一和三种路由选择分配波长策略得到的网络最小所需波长数

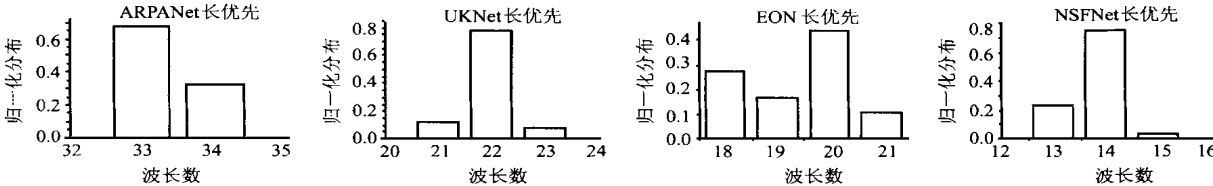
	长路由优先	随机	短路由优先
ARPANet	33	33	34
UKNet	20	22	24
EON	18	20	22
NSFNet	13	13	13

配波长策略的情况,本文还研究了随机路由和短路由优先分配波长(其中最短的光路优先分配波长)策略的情况。图 2(b) 和(c) 分别是采用随机路由和短路由优先分配波长策略经过 400 次节点随机编号后得到的网络所需波长数的统计分布直方图。表格 2 给出了三种分配波长策略下求得的网络 MNWR。

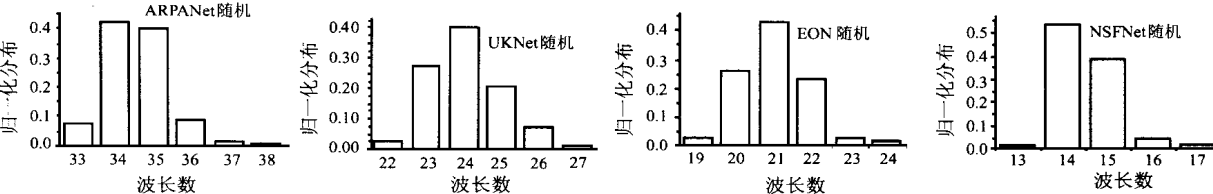
从表 2 可以很明显的看出长路由优先策略得到的网络 MNWR 最小或即使求得 MNWR 相同,从图 2 也可以看出长路由优先方法求得 MNWR 的几率最高。因此长路由优先策略性能最好,随机路由策略次之,短路由优先策略性能最差。这是因为路由长度越长(跳数越多),则路由所经过的链路上都有相同空闲波长的几率就越低。如果是短路由先分配波长,就会造成局部范围内的某些链路上的波长信道被大量占用,非常拥塞,而同时某些链路则非常空闲。这样再给长路由分配波长时,就会因为其所经过的一个或少数几个链路上没有空闲信道而被迫增加新的波长,造成波长利用率的降低,因此最后求得的 NMR 就比较大。

此外我们还把文献[3]中的路由算法(在此称为路由方法二)和上述三种路由选择分配波长方法相结合用统计的方法进行了计算。图 3 所示就是在经过 400 次运算后得到的四个网络所需波长数的分布:

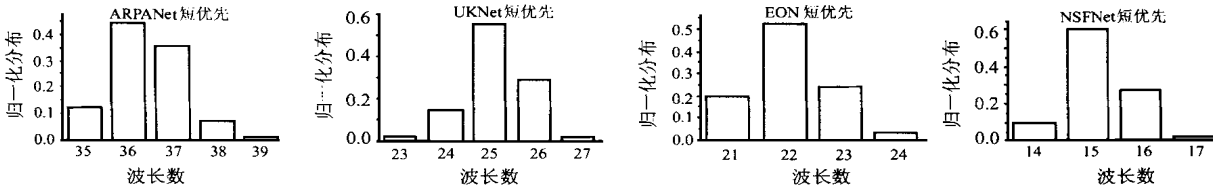
在文献[1]中确定路由之后,只研究了采用长路由优先分



(a) 采用路由方法二及长路由优先波长分配策略得到的所需波长数的统计分布



(b) 采用路由方法二及随机路由由波长分配策略得到的所需波长数的统计分布



(c) 采用路由方法二及短路由优先波长分配策略得到的所需波长数的统计分布

图 3 采用路由方法二和三种路由选择分配波长方法得到的四个网络所需波长数的分布

在表 3 中,比较了这两种路由方法所求得的最小所需波长数。从中可以看出,这两种方法在结合不同的路由选择分配波长策略时得到的网络最小所需波长数基本相同,因此单纯地比较网络最小所需波长数很难确定这两种路由方法哪个更好。但是如果我们研究一下在这两种路由方法下求得的网络所需波长数的统计分布就可以明显的看出它们的差异。表格 4 给出了我们用统计修正方法得到的两种路由方法和不同路由选择分配波长策略求得的四个网络所需波长数的分布。可以很明显的看出,用路由方法二时求得的网络所需波长数的分布比较集中,也就是说求得的波长数偏离最小所需波长数的情况要少,因此应该说路由方法二要优于方法一。这是因为在用方法二建立路由时考虑了链路权重,权重比较大的链路被下一个路由占用的几率就会降低,因此可以把网络负载分散到不同的链路上,建立路由更加优化,相应的在进行波长分配后得到的网络所需波长数的分布就比较集中。

表 3 两种路由算法和三种路由选择分配波长方法相结合得到的四个网络最小所需波长数

	长路由优先		随机		短路由优先	
	路由方法 1	路由方法 2	路由方法 1	路由方法 2	路由方法 1	路由方法 2
ARPANet	33	33	33	33	34	35
UKNet	20	21	22	22	24	24
EON	18	18	20	19	22	21
NSFNet	13	13	13	13	13	14

表 4 两种路由算法和三种路由选择分配波长方法相结合得到的四个网络所需波长数分布

	长路由优先		随机		短路由优先	
	路由方法 1	路由方法 2	路由方法 1	路由方法 2	路由方法 1	路由方法 2
ARPANet	33~ 34	33~ 34	33~ 39	33~ 38	34~ 40	35~ 39
UKNet	20~ 24	21~ 23	22~ 29	22~ 27	24~ 30	24~ 27
EON	18~ 23	18~ 21	20~ 26	19~ 24	22~ 26	21~ 24
NSFNet	13~ 15	13~ 15	13~ 17	13~ 17	13~ 18	14~ 17

4 结论

本文对静态路由光网络中以网络最小所需波长数为优化目标的路由和波长分配算法进行了研究。由于本文中所提到的路由和波长分配算法求得的网络所需波长数和网络的节点编号顺序有关,也就是说节点编号不一样时,求得的网络所需波长数也不一样,因此本文采用了统计研究的方法对这些算法进行了修正。模拟计算表明,采用这种统计方法修正之后可以得到等于或更接近网络波长下限的网络最小所需波长数,优于文献[1]中求得的结果。这种统计研究的方法同样也适用于其他的和节点编号有关的路由和波长分配算法。

本文还首次使用统计的方法对路由和波长分配算法进行了比较。虽然波长下限可以用作路由和波长分配算法比较的标准,但是在两个算法求得的网络最小所需波长数相同时,这个标准就无能为力了。但是通过比较它们求得的网络所需波长数的统计分布仍然可以比较出两种算法的优劣。如果一个算法求得最小所需波长数的几率比较高或求得的网络所需波长数的分布比较集中,那么这个算法就具有优势。通过比较可以看出,在建立路由时考虑网络中的链路权重,在分配波长时先给长度比较长的路由分配波长,求得的网络最小所需波长数比较小而且求得的几率也比较高。

参考文献:

[1] Stefano Baroni, Polina Bayvel. Wavelength requirements in arbitrarily connected wavelength routed optical networks [J]. J. Lightwave Tech., 1997, 15(2): 242- 251.

[2] Rajesh K Pankaj, Robert G Gallager. Wavelength requirements of all-optical networks [J]. IEEE/ ACM Trans. on Networking, 1995, 3(3): 269- 280.

[3] Naohide Nagatsu, Yoshiyuki Hamazumi, Kenichi Sato. Optical path accommodation designs applicable to large scale networks [J]. IEICE Trans. Commun., 1995, E78-B(4): 597- 607.

[4] 陈雯路, 张汉一, 潘仲琦, 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.

[5] Rajiv Ramaswami, Kumar N Sivarajan. Routing and wavelength assignment in all optical networks [J]. IEEE/ ACM Trans. on Networking, 1995, 3(5): 489- 500.

作者简介:



叶亚斌 男. 1975 年 1 月生于江苏泰兴. 1997 年 7 月毕业于清华大学电子工程系, 获学士学位, 同年 9 月在清华大学电子工程系直接攻读博士学位. 研究方向为 WDM 全光网中全光波长转换技术和资源优化配置.

张汉一 男. 清华大学教授, 博士生导师. 1942 年 3 月生, 1965 年毕业于清华大学无线电系. 获得国家及部委级奖励八项, 发表论文百余篇. 主要研究方向是 WDM 全光通信网系统及关键器件技术.