

波长变换光网络的阻塞性能分析

李勇军, 李维民, 王洪刚

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:利用一个生灭(Birth - Death)过程来描述波长路由光网络中的波长使用概率, 用一个 $M/M/n/n$ 排队模型描述波分复用(WDM)网络, 基于链路独立性假设, 研究了理想全光波长变换器和基于半导体光放大四波混频波长变换器对 WDM 光网络的阻塞性能影响。

关键词:波分复用; 波长变换器; 四波混频

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2004)06 - 0047 - 04

随着人们对信息需求的不断增大, 传统的电路交换网络由于传输速率和带宽的瓶颈效应, 已经越来越不能适应这种高速增长的需求, 于是人们将目光瞄准于波分复用(WDM)技术^[1-3], 波分复用技术将一根光纤的带宽分为互不影响的多个信道, 每个信道分配一个波长, 因此, 可以利用光纤的巨大带宽, 它是下一代全光网的核心技术。在 WDM 全光网中, 由于信号的传输交换是以波长为粒度的, 故又称之为波长路由光网络(Wavelength Routing Optical Network)。

若波长路由光网络中没有波长变换器, 一个光路所经历的每个链路上都有一个相同空闲波长时, 这个光路才可以建立, 以此来满足一个呼叫, 称此为波长连续性限制(Wavelength - Continuity), 这种网络的波利用率较低, 而且当光路的跳数增加时, 阻塞概率将会变的很大, 这样就很难保证上层用户的 QoS (Quality of Service), 称这种光通道为直通道或波长通道。这种背景下波长变换器应用而生, 它可以把一个输入波长变换为所需的输出波长, 通过给网络的节点配置波长变换器, 可以大大提高波长的利用率, 改善网络的阻塞性能。当给网络每一节点配置一个理想的全光波长变换器时, 就相当于一个传统的电路交换网络, 此时, 只要每一链路上有闲置的波长资源就可以建立光路, 这样的波长通道称之为虚波长通道。本文将对几种波长变换器对网络阻塞性进行分析研究, 从数值和模拟两个角度分析波长变换器对光网络性能的影响。

1 波长变换器概念

图 1 所示的波长变换器为半导体光放大四波混频的变换器, 它可向除了自身以外对称的两个方向变换, 例如波长 λ_i 可变到 λ_{i+d} , d 为转换器的转换度(Conversion Degree), 它是衡量波长变换器波长转换能力的一个参量。这是一种受限范围波长变换器(Limited - Range Wavelength Converter)^[4], 还有一种此类变换器是基于半导体光放大交叉增益调制的, 它只能向短波长方向变换。理想的全光波长变换器可以把任意一个输入波长转换到任意一个输出波长上, 它是一种理想化的模型, 是实现透明全光网的关键器件之一。

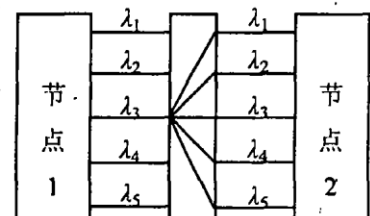


图 1 基于半导体光放大的四波混频 SOA - FWM 范围受限波长变换器

2 排队模型

用一个无向图 $G = (V, L)$ 来表示光网络的物理拓扑, 其中图的顶点集

收稿日期: 2004 - 05 - 01

收稿日期: 军队科研基金资助项目

作者简介: 李勇军(1979 -), 男, 陕西榆林人, 硕士生, 主要从事光网络的组网和优化设计研究。

V 表示网络节点,而图的边集 L 表示网络的光纤链路。然后依次对顶点用 $1, 2, \dots, N$ 进行编号,使用 l_{ij} 描述节点 i 和节点 j 的光纤链路。假定链路为具有两根光纤的双向链路,每根光纤有 W 个波长且分别负责不同方向的业务;每次呼叫按照预先安排的最短路径进行路由,如果该路由忙,则呼叫将被直接阻塞。设网络中的各个链路是彼此独立的,对于链路 l_{ij} ,每根光纤包含 W 个波长,呼叫到达服从泊松分布,到达速率为 λ_{ij} ,呼叫的持续时间服从指数分布,参数为 μ 。业务强度指的是呼叫持续时间内与在此时间内呼叫的到达数目,通常也用网络的业务量来表示,指的是网络在一个连接的持续时间内有多少个连接请求到达。可以用 $M/M/n/n$ 排队模型来描述此系统。图 2 是此模型的泊松过程转移图。

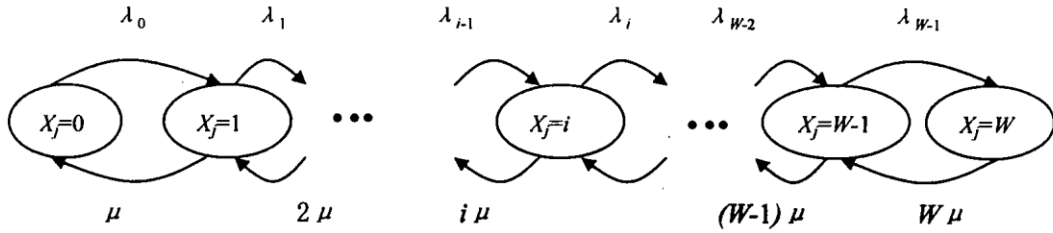


图 2 泊松过程状态转移图

当 $\begin{cases} \lambda_i = \lambda & i = 0, \dots, W-1 \\ \mu_i = i\mu & i = 1, \dots, W \end{cases}$ 时,该泊松过程是一个生灭过程,其稳态概率如下:

$$\pi_k = \frac{\lambda_0 \cdots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \cdots \mu_k} \pi_0 ; \quad \pi_0 = \left(1 + \sum_{k=1}^W \frac{\lambda_0 \cdots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \cdots \mu_k} \right)^{-1}$$

$$\pi_k = \left(\frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right) \pi_0 ; \quad \pi_0 = \left(1 + \frac{1}{(W-1)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right)^{-1}$$

这里 π_k 指的是当系统处于稳态时有 k 个服务器在忙的概率^[5]。

3 数学模型的建立

3.1 单路径阻塞概率的计算

首先定义模型中用到的一些符号, $\lambda_{i,j}$ 表示从 j 跳上以波长 λ_i 开始到末跳路径阻塞这一事件, $p(\lambda_{i,j})$ 是该路径阻塞的概率; $a(i)$ 是波长 λ_i 在范围受限波长变换器中的一组输出波长, $\lambda_{a(i),j+1}$ 表示在 $j+1$ 跳上以一组波长 $a(i)$ 开始到末跳路径阻塞这一事件, $p(\lambda_{a(i),j+1})$ 是从 j 跳上波长 λ_i 的一组转换输出波长 $a(i)$ 在 $j+1$ 跳上开始路径阻塞的概率。

以 j 跳开始的路径阻塞概率为

$$p\left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right) = p\left(\lambda_{w,j} \cap \left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right)\right) = p\left\{\left(\text{波长 } w \text{ 在 } j \text{ 跳上受阻} \cup \lambda_{a(w),j+1}\right) \cap \left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right)\right\} =$$

$$\pi_1 p\left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right) + (1 - \pi_1) p\left(\lambda_{a(w),j+1} \cap \left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right)\right)$$

$$P_B = p\left(\bigcap_{i=1}^w \lambda_{i,1}\right)$$

对 $\lambda_{a(i),j+1}$ 作不同的定义就可以分析不同类型的波长变换器,下面就是本文所研究的几种情况。

1) 波长变换器为 FWM 变换器时,表达式如下^[6]:

$$\lambda_{a(i),j+1} = \bigcap_{l=\max(1,i-d)}^{\min(w,i+d)} \lambda_{l,j+1}$$

$$P_B = p\left(\bigcap_{i=1}^w \lambda_{i,1}\right) = \pi_1 p\left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,1}\right) + (1 - \pi_1) p\left(\bigcap_{l=\max(1,w-d)}^{\min(w,w+d)} \lambda_{l,j+1} \cap \left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,j}\right)\right) =$$

$$\pi_1 p\left(\bigcap_{i=1}^{w-1} \lambda_{i,1}\right) + (1 - \pi_1) p\left(\bigcap_{l=\max(1,w-d)}^{\min(w,w+d)} \lambda_{l,j+1}\right)$$

2) 当波长变换器为理想的全光波长变换器时,表达式如下:

$$\lambda_{a(i),j+1} = \bigcap_{l=1}^w \lambda_{l,j+1}$$

3) 当没有波长变换器时,表达式如下:

$$\lambda_{a(i),j+1} = \lambda_{l,j+1}$$

3.2 网络阻塞概率的计算

- 1) 一个波长只能满足一个连接请求;
- 2) 呼叫请求的到达服从泊松分布;
- 3) 呼叫的持续时间服从负指数分布;
- 4) 每次连接请求的目的节点均匀分布于所有剩余的节点,换言之业务分布是均匀的;
- 5) 连接请求不排队,一旦阻塞就不再进入系统。

整个网络的阻塞概率为^[7]:
$$p = \frac{\sum_R \alpha_R P_{BR}}{\sum_R \alpha_R}$$
, α_R 是路由 R 上的呼叫到达率。

4 仿真计算及路由与波长分配(RWA)

为了分析方便,把 RWA 分为两个步骤来解决。首先,对一个给定的呼叫根据不同的路由标准,分配一个路由。其次,依据波长分配算法给先前建立的路由分配波长,这样就可以建立光路来完成此次服务。本文依据经典的 Dijkstra 最短路径算法,设每条链路的权值为 1,以最小跳数为标准进行路由选择。波长分配算法用 Random 法,即在空闲的波长集合中任意选择一个波长分配给光路。对如图 3 所示网络作理论分析和仿真,为了计算方便(不影响分析),假设给网络的每个节点上都配置波长变换器,网络的负载是均匀的,呼叫到达服从泊松分布,持续时间服从均值为 1 的指数分布^[8]。图 4 中每条链路上的波长数 W 均为 10,本文选取波转换度分别为 4、10 以及交叉增益调制 3 种不同的变换器,从理论上计算了他们的不同性能,图 4 是一个两跳路径上配置 3 种波长变换器和没有波长变换器时,此路径的阻塞概率随网络负载变化曲线图,可以看出理想的全光变换器能大大的降低阻塞概率,而且随着波长转换度的增大,其阻塞性能和理想全光波长变换器逐渐接近,当转换度到达一定值时,它与全光变换器几乎具有相同的性能。由于在实际中全光波长变换器是不存在的,因此四波混频的范围受限变换器发展潜力非常巨大。图 5 至图 7 是 ARPA-2 网络中配置不同变换器时,理论计算和和仿真结果对比示意图,当网络的负载逐渐增大时,二者得到了较好的吻合,这说明我们提出的数学模型能够比较精确的描述本文提出的这几种波长变换器的性能。

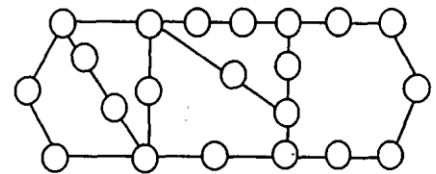


图 3 ARPA-2 网络拓扑图

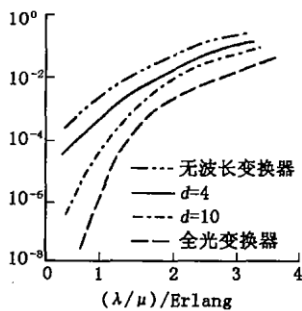


图 4 2 跳路径阻塞概率随负载变化曲线图

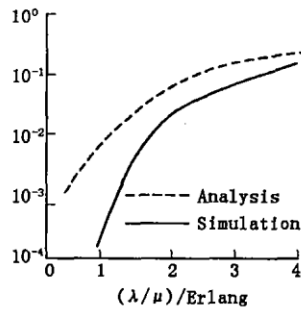


图 5 ARPA-2 转换度为 $d=4$ 时阻塞概率与负载关系图

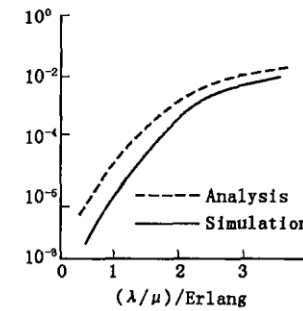


图 6 ARPA-2 网络配置全波长变换器时阻塞概率曲线图

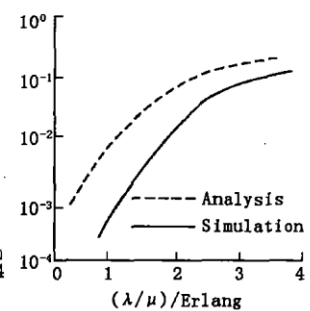


图 7 ARPA-2 网络无波长变换器时阻塞概率曲线图

参考文献:

[1] Barry R, Humblet P. Models of Blocking Probability in All - Optical Networks with And Without Wavelength Changers [J]. IEEE Journal on Selected Areas Communications, 1996, 14(5) : 858 - 867.

[2] JYH - CHENG CHEN , PARTRICK W DOWD. Performance Analysis of WDM Network with Wavelength Conversion [J]. IEEE proceeding of MASCOTS, 1996, 12 : 145 - 150.

[3] Venugopal K R, ShivaKumar M, Sreenivasa Kumar P. A Heuristic for Placement of Limited Range Wavelength Converters in All

- Optical Networks [J]. Computer Networks, 2002, 35 : 143 - 163.
- [4] Suresh Subramaniam, Murat Azizoglu, Arun K, Somani. On The Optimal Placement of Wavelength Converters in Wavelength - Routing Networks [J]. IEEE J Sel Areas Comm, 1999, 7(5) : 902 - 909.
- [5] 李维民, 黄海清, 姚 群. 一种光纤固定接头接续损耗特性研究 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版) 2003, 4(5) : 64 - 66.
- [6] Mehdi Asghari, Ian H White, Richard V Penty. Wavelength Conversion Using Semiconductor Optical Amplifiers [J]. Light-wave Technol, 1997, 15(7) : 1181 - 1190.
- [7] Gangxiang Shen, Sanjay K Bose, Tee Hiang, et al. Performance Analysis Under Dynamic Loading of Wavelength Continuous And Non - Continuous WDM Networks with Shortest - Path Routing. [J]. J Commun Syst, 2001, 14 : 407 - 418.
- [8] Jennifer Yates, Jonathan Lacey, David Everitt, et al. Limited - Range Wavelength Translation in All - Optical Network [J]. IEEE, 1996, 40(6) : 954 - 961.

(编辑: 门向生)

Analysis of the Blocking Performance in Optical Network with Wavelength Conversion

LI Yong - jun, LI Wei - min, WANG Hong - gang

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: The usage probability of wavelength in wavelength routing optical network is described by using a Birth - Death Process and the WDM network is described by a model of $M/M/n/n$. Based on the hypothesis of link independence, the effect of ideal all - optical wavelength converter and SOA - FWM wavelength converter on the blocking performance of wavelength routing optical network is analyzed.

Key words: WDM; wavelength converter; four - wave mixing

(上接第 46 页)

- [9] 刑藏菊, 王守觉, 邓浩江, 等. 一种基于极值中值的新型滤波算法 [J]. 中国图象图形学报, 2001, (6) : 533 - 536.
- [10] Piotr S. Fast Impulsive Noise Removal [J]. IEEE Transactions On Image Processing, 2001, 10(1) : 173 - 179.

(编辑: 姚树峰)

A New Impulsive Noise Removal Filtering Algorithm

ZHOU Rui - rui, BI Du - yan, MAO Bai - xin

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: A new filtering algorithm with the purpose of eliminating impulsive noise is presented. In order to keep the content of signals as much as possible when the noises are removed, the following approaches are developed in this paper. Noisy items are identified by inspection of their surrounding neighborhood, and afterwards their values are replaced with the most "conservative" ones out of their neighbors' value. If a pixel value is the extremum (max. or min.) of its neighborhood, it is a noise pixel, or else it is a signal pixel. Experiment results show that the new algorithm is good in performance to keep the content of image and remove noise, especially in the case of strong noise.

Key words: filtering; impulsive noise; noise elimination