

光突发交换结点中一种新的波长转换器共享方式

姚明旻, 刘增基, 文爱军

(西安电子科技大学 综合业务网国家重点实验室 陕西 西安 710071)

摘要:提出了一种新的光突发交换网络中交换结点波长转换器共享方式,称为冲突部分转换。在这种方式中波长转换器仅被用于转换发生冲突的突发数据包部分,从而降低波长转换器的占用时间,提高其利用率。对该方式和原有基于完整突发转换的方式在不同共享结构和不同业务强度下进行了对比。仿真表明,无论采用每链路共享结构还是每结点共享结构,这种新型的波长转换器共享方式均优于传统的基于完整突发转换的共享方式,可以更多地节省波长转换器的数量。

关键词:光突发交换;波长转换器共享;冲突部分转换

中图分类号: TN929.11; TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2005)04-0528-04

A new scheme for sharing wavelength converters in optical burst switching nodes

YAO Ming-wu, LIU Zeng-ji, WEN Ai-jun

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: A new Wavelength Converters (WCs) sharing scheme for Optical Burst Switching nodes is proposed, which is called Convert-Only-the-Collided-Part (COCP). According to this scheme only the collided part of a burst is converted to another wavelength, so that the utility of WCs can be improved by reducing the time of occupation. Simulations are made to compare the COCP with available Convert-the-Whole-Burst (CWB) schemes in different sharing architectures carrying various service loads. Results show that the burst loss performance of the COCP scheme is better than that of conventional WC sharing schemes based on CWB, in both Share-per-Link (SPL) mode and Share-per-Node (SPN) mode, and therefore the number of required WCs can be greatly reduced.

Key Words: optical burst switching; wavelength converter sharing; convert-only-the-collided-part

为满足全球因特网的迅猛发展所带来的带宽渴求,光网络正在从目前的光传输、电交换方式向光传输、光交换的全光网络发展。在这样一个网络中,波长资源成为交换和连接中的重要资源。虽然 DWDM 技术的巨大进展使得可用波长数目已经达到每光纤 100 波长以上,但是由于交换或者交叉连接过程中存在波长一致性问题,无论是采用波长路由光网络 (WRON)、光分组交换网络 (OPS) 还是光突发交换网络 (OBS)^[1,2],在交换结点中无波长转换器、波长转换器如何配置以及是否支持共享等,均对全光网络的性能有重要的影响。

通过对 OBS 网络的分析,根据 OBS 中数据交换单位的特点,笔者提出了一种新的波长转换器共享方式:仅对突发中发生冲突的部分进行波长转换,称之为冲突部分转换 (COCP) 方式。仿真结果说明,这种新的波长转换器共享机制比传统的基于完整突发转换的共享机制性能要好。在相同丢失率要求下,可以节省波长转换器的数目,降低 OBS 交换结点的造价。

1 光突发交换和交换结点波长转换器共享结构

目前,光突发交换被认为是一种非常有希望的下一代光网络技术。在一个典型的 OBS 网络中,边缘结点负

责将来自大量用户的业务汇聚,并按照目的地址或者业务类型等进行分类,然后将分类后的用户业务组装成数据突发(DB)。根据 OBS 中被最多研究的 Just-Enough-Time 协议^[1],载有数据突发包目的地址、所用波长、突发长度、相对到达时刻(也称为偏移时间)和/或优先级等信息的突发控制分组(BCP)将在数据突发发送之前提前发送到专用的控制波长上。在 OBS 网络的核心结点(CN),从控制波长信道先行到达的突发控制分组将被光-电变换到电域进行处理,提取出的信息用于决定转发路由和保留后续突发数据到达时所需的波长和时间片。然后,突发控制分组接受必要的修改后被再次电-光变换到控制波长信道中传向下一跳结点。这样,当后续突发到达核心结点的时候,核心结点中的交换控制单元就可以适时地执行光交叉开关的切换操作。在有波长转换功能的结点中进行波长转换,或在有光纤延迟线(FDL)缓存的结点中选择是否延迟,从而使得数据突发无需经过电域的处理就可以被交换。数据突发和控制分组在波长和发送时间上分离,结合了目前电域的处理技术和光域的传输交换技术,从而避免了网络中的瓶颈,成为 OBS 网络的主要特点和优势。

作为一种基于“包”(OBS 中是数据突发)的交换技术,数据突发包在核心结点必然会由于到达波长和到达时刻的重叠而发生冲突,造成数据丢失。目前解决突发冲突问题的途径有 3 种,分别在时间域、空间域和波长域实现。在波长域,通过使用波长转换器(WC),将发生冲突的突发转换到同一输出光纤链路上的空闲波长上来解决冲突问题。如果交换结点没有或只配置了少量的波长转换器,一般使用光纤延迟线缓存或者偏射路由的方法来解决冲突。文献[3]中结合全网范围内的波长路由分配问题,进一步对偏射路由方法进行了优化。由于波长转换器技术的快速发展^[4,5]和 DWDM 技术提供的大量可用波长,波长转换被认为效果和前景好于其他方法。理论上,根据 Erlang B 公式,当服务员数目增加时,相同的系统业务强度下,业务损失率会呈指数减小。OBS 网络的另一个区别于 WRON 和 OPS 网的特点,就是交换的基本单元由大量用户数据包组成,例如 IP 数据分组或者 ATM 信元。在一种被称为突发分段(BS)^[2]的 OBS 协议中,这一特点被用来在突发冲突时丢弃部分突发数据,减小冲突所带来的数据损失。

为了进一步降低 OBS 核心结点的造价,研究了波长转换器共享结构及其突发丢失概率(BLP)。在共享结构中,结点中配置的可调谐、全范围波长转换器可以被多个波长共享而非指定使用。具有波长转换器共享功能的光交换结点的结构主要有两种^[6]:每链路共享(SPL)和每结点共享(SPN)。SPL 结构中,OBS 交换结点中的每一条输出链路作为共享一组波长转换器的基本单位,指定的某一组波长转换器(其数目一般少于链路中波长的数目)只能被某一条特定链路中的波长使用。而在 SPN 结构中,这种共享可以在整个结点范围内实现,任何一条链路中的任何一个波长上如果发生冲突,都可以利用结点中任何一个空闲的波长转换器转换到本链路上的空闲波长上。研究表明,这两种 WC 共享结构无论在同步还是在异步网络结构中,均能大量减少所需配置的 WC 数目,而且共享结构在同步网络中比异步网络中的效果好很多^[7]。

在多波长、大容量的 OBS 网络环境中,保持结点严格同步是非常困难的。由于异步网络会带来更高的带宽利用率并提高网络的可靠性和抗毁性,因此,研究异步网络下的 WC 共享结构更有意义。

2 冲突部分转换

在目前得到广泛研究的带波长转换的光交换结点中,如果发生冲突,整个交换和传输的基本单元就会被转换到其他的空闲波长上去,这个基本单元在 OPS 网络中是光分组,在 OBS 网络中是数据突发,在波长 WRON 中则是一条全光连接。因此,对波长转换器的占用直到整个数据单元的传输完成才中止。这种占用方式对 OPS 网络或者 WRON 来说是很难改变的,但是对于 OBS 网络,采用适当的措施来降低对波长转换器的占用时间,可提高在波长转换器数量不足情况下的数据吞吐率。

利用光数据突发是由大量的用户分组组成。在异步网络中发生冲突只影响突发中一部分数据分组的特点,文献[2]提出了突发分段(BS)的 OBS 协议。根据这一协议,在核心结点发生突发冲突之后,仅仅丢弃突发中由于时间重叠无法传输的部分,剩余的突发仍然作为有用的数据继续传输。虽然丢弃了部分数据,剩余突发中的绝大多数用户分组仍然是完整可用的,这样就降低了数据分组的实际丢失率。这说明对于 OBS 系统,可以允许对突发本身进行分段处理,增加了交换控制器的控制维度。

每链路共享(SPL)的 COCP 方式和每结点共享(SPN)的 COCP 方式在交换结点的结构和波长转换器的配置方式上与基于 CWB 的交换结点并无不同(详见[6])。不同之处仅仅在于对需要转换的数据突发的处理方式上。

假设突发到达每个波长上的时间间隔变量 T 呈负指数分布,均值为 $E(T) = 1/\lambda$,即输入突发流为泊松

流;突发的长度 L 也呈负指数分布,平均长度为 $E(L) = 1/\mu$,而且跟 T 相互独立.在普通的共享式突发转换策略中,一旦发生冲突,转换整个突发,每个被转换的突发占用突发转换器的平均时间与平均突发长度相等,都为 $E(L)$.假设在单波长上,突发前后相邻到达引起的冲突部分长度为 X (如图 1),则 X 的分布为

$$F_X(x) = P(X \leq x) = P(L - T \leq x) = \iint_{l \leq t+x} f_L(l) f_T(t) dl dt = \int_0^{+\infty} \int_0^{t+x} \mu \exp(-\mu l) dl \lambda \exp(-\lambda t) dt = 1 - (\lambda / (\mu + \lambda)) \exp(-\mu x) \quad (1)$$

因此重叠部分也呈负指数分布,从式(1)可得到冲突部分的平均长度为

$$E(X) = \lambda / (\mu + \lambda) \mu = (\rho / (1 + \rho)) E(L) \quad (2)$$

其中 $\rho = \lambda/\mu$ 是该波长上的业务强度.可见,如果只转换冲突部分,所需转换的长度,即波长转换器被占用的时间只有原来的 $\rho/(1 + \rho)$.

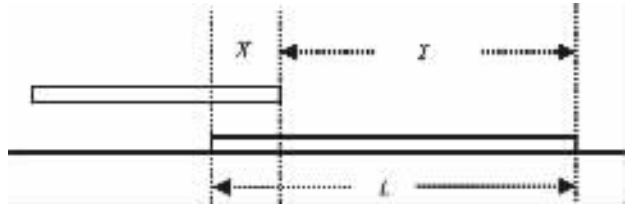


图 1 单波长上突发重叠部分的平均长度

在上面简要分析的基础上,给出冲突部分转换的波长转换器共享结构的工作过程.在支持 COCP 的交换结点中,来自于某输入链路上的突发在被确认转发到某条输出光纤链路上之前(路由和长度等信息被 BCP 携带已先行到达),首先检查与输入波长相同的输出波长是否已被预留或者占用.如果不是,表明没有冲突,就直接发送到原先的波长上.如果已被占用,交换控制单元则检查同一输出光纤链路上是否还有空闲波长.如果没有,该突发被丢弃.如果有,就将时间上跟前一突发相重叠的那部分突发长度转换到某一空闲波长上,而保留原先波长上没有冲突的部分.如果有空闲波长但是没有空闲的波长转换器,整个突发都被丢掉,这一点跟基于完整突发的方式一致.分段后转换过的部分作为一个新的突发来处理,单独赋予一个新 BCP.而 SPL 和 SPN 的区别仍和基于 CWB 的交换机制一样.

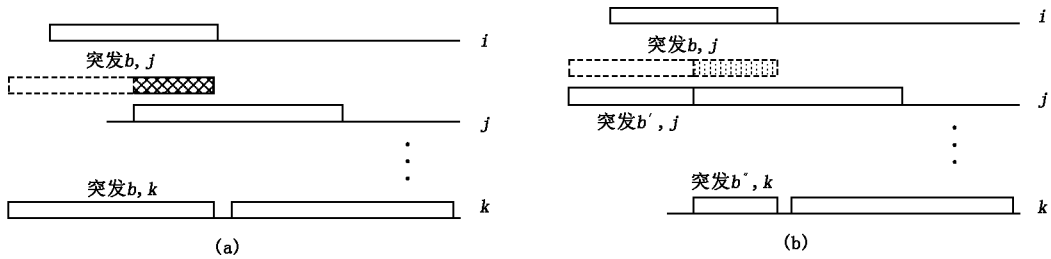


图 2 基于完整突发和冲突部分突发波长转换比较示意图

图 2 是 COCP 和 CWB 两种方式的转换比较示意图.其中(a)所示为 CWB 的情况,当突发 b 到达某输出端口的波长 j 时,与先前到达的突发发生冲突,其前部阴影区域为时间重叠造成冲突的部分.这时在交换控制器的调度控制下,利用波长转换器池中的空闲波长转换器,突发 b 被转换到同一端口波长 k 上进行传输.而在图 2(b)所示的冲突部分转换的情况中, b 中未受影响的部分继续在波长 j 中传输,成为突发 b' ,只有阴影区域所示的冲突部分才被转换到相应的时间窗口空闲的波长 k 上,成为突发 b'' . b'' 由一个新的 BCP 进行控制,其突发长度域、偏移时间和到达波长等信息根据原 BCP 中信息和得到的处理情况进行相应更改.图 2(b)清楚地表明,在接入相同业务量的情况下,COCP 对波长转换器的占用时间缩短,提高了波长转换器的利用率.

需要指出的是,在笔者所讨论的部分转换算法中,采用“先查找空闲波长再进行交换”的算法.在突发 b 到达波长 j 并发生冲突时,如果整条链路上都没有可用波长 b 将被整个丢弃.

3 仿真结果与分析

一般情况下,在具有完全波长转换能力的结点中可以使用 Erlang B 公式来分析异步情况下的突发丢失性能.对波长转换器共享的交换结点在异步情形下的性能分析以前一直缺乏,最近笔者在这方面对原有的完整突发转换方式进行了研究.但是对于这种新的 COCP 方式,理论分析是困难的,目前只能使用仿真来了解

它的性能. 笔者设计了仿真模型, 对 SPL 和 SPN 单结点分别进行了 CWB 转换方式和 COCP 转换方式的仿真实验. 每种共享结构下进行了两组仿真, 分别设置不同的每链路可用波长数. 仿真中到达数据突发流设为均匀的泊松流, 即到达间隔为负指数分布且突发来自任意波长的概率相等, 突发长度分布为负指数分布. 在骨干网中, 对核心结点的业务进行这样的假设是适当的, 并且被大多数相关研究所采用. SPL 中设置的波长数分别为 16 和 32, 仿真模型中共享波长转换器的数目从 0 开始, 每次仿真增加一个, 直到与链路中波长数目相等. 在 SPN 模型中, 设每个交换结点具有 4 个输出链路, 每条链路中具有相同的波长数, 分别设为 8 和 16, 因此波长转换器的数目从 0 递增到与结点中全部波长数目相等. 每组仿真都分别考查了业务强度为低、中、高 (ρ 分别为 0.25, 0.5 和 0.75) 时新共享算法的性能. 由于每增加一个波长转换器就要进行 3 次不同业务强度下的仿真, 运行时间很长(业务强度低时更是如此). 在仿真 SPN 方式下每链路 16 波长的情形时, 采用每次增加两个波长转换器的方法进行, 以减少仿真时间.

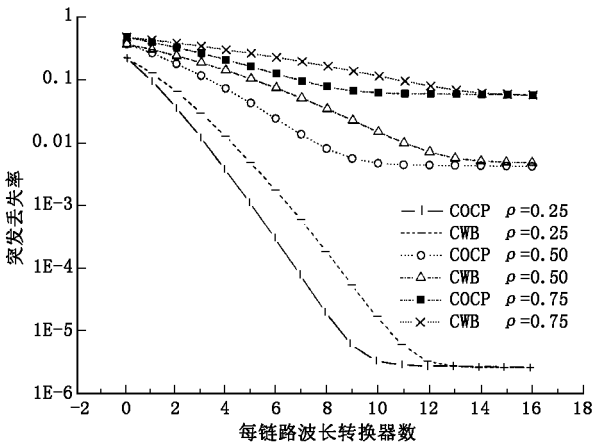


图 3 SPL 共享方式, 波长数目等于 16 的仿真结果

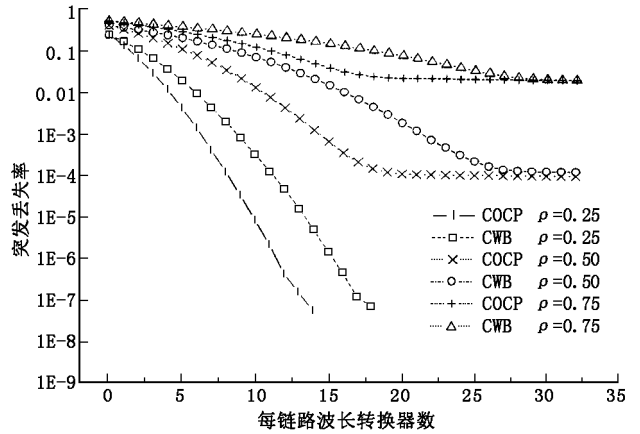


图 4 SPL 共享方式, 波长数目等于 32 的仿真结果

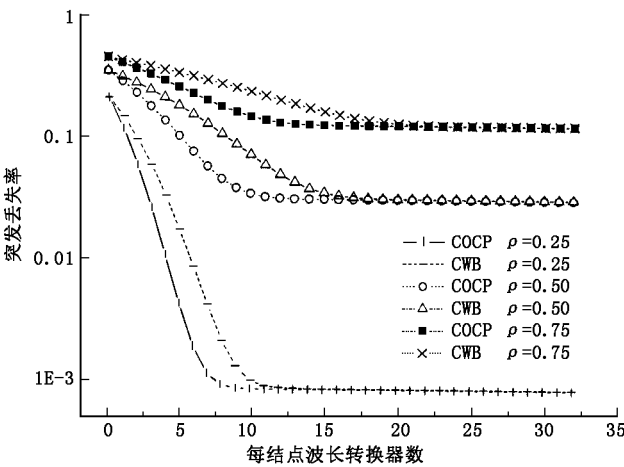


图 5 SPN 共享方式 4 链路, 每链路波长数目等于 8 的仿真结果

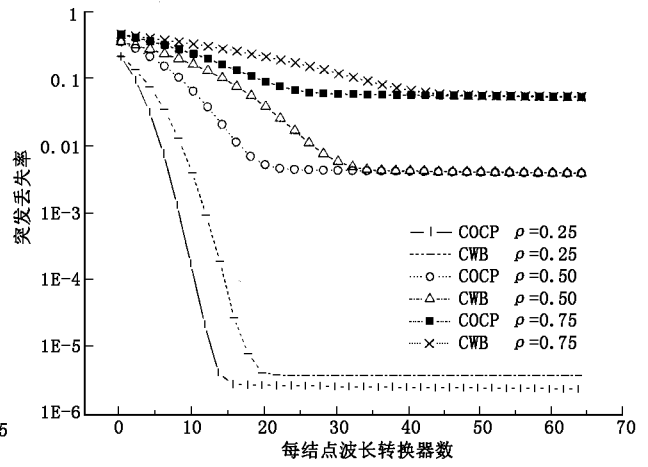


图 6 SPN 共享方式 4 链路, 每链路波长数目等于 16 的仿真结果

图 3 和图 4 给出了 SPL 结构下新转换方式和原转换方式在波长总数等于 16 和 32 时的比较曲线. 从图中可看出, 基于 COCP 的转换方式在不同业务强度下均优于原来的 CWB 方式. 随着波长转换器数目从零逐渐增加到与波长数相等, 基于 CWB 方式的突发丢失率从 $B(1, \rho)$ 一直降到 $B(W, W\rho)$, 其中 $B(k, A)$ 是 Erlang B 公式所给出的服务员 k 个、系统业务强度为 A 时的系统丢失率. 由于上述 COCP 采用的是“先查找空闲波长再进行波长转换”的方法, 理论上在无波长转换器时和满波长转换器时性能应该和 Erlang B 公式所给出的丢失率相同, 仿真结果也证实在这两种情形下丢失率与理论值非常接近.

从图 3, 图 4 可看到, 在一定的业务强度下(实际中网络经常处于轻度负荷), 突发丢失率降低到一定程度即不再下降, 因此采用波长转换器共享机制可以节省结点中所需的转换器数量, 降低结点造价. 而且,

