

文章编号: 0258-7025(2005)07-0948-05

采用动态波长分插复用器的光突发 交换环网中的控制协议研究

唐建军¹, 纪越峰²

(¹中华通信设计院传输专业室, 北京 100027; ²北京邮电大学电信工程学院光通信中心, 北京 100876)

摘要 提出了一种光突发交换(OBS)环网控制协议——延迟光突发固定周期(DBFP)协议,它采用动态波长分插复用器(WADM),即采用波长可调发送可调接收(TTTR)机制,通过提前光突发控制分组(BCP),为光突发数据分组(BDP)预留资源,并利用固定长度的光纤延迟线(FDL)将突发数据包延迟固定的时间,以便等待所有已经预留的突发数据包发送完毕,从而完全避免突发数据包冲突问题。仿真结果表明,延迟光突发固定周期协议能完全避免突发数据包冲突,同时有效地实现了波长统计复用、按需分配和空间重用,波长重用效率高达 160%,从而提高链路利用率,特别适合于突发性的业务;并且延迟光突发固定周期协议所引入的时延为 1ms 左右,对业务的影响不大。

关键词 光通信; 动态波长分插复用器; 波长可调发送可调接收; 延迟光突发固定周期协议; 光突发交换环网
中图分类号 TN 915.1 文献标识码 A

Study of Control Protocol in Optical Burst Switching Ring Network with Dynamic Wavelength Add-Drop Multiplexer

TANG Jian-jun¹, JI Yue-feng²

(¹ Department of Transmission, China Communication System Co. Ltd., Beijing 100027, China
² Optical Communication Center, Beijing University of Post & Telecommunication, Beijing 100876, China)

Abstract A kind of optical burst switching (OBS) ring access control protocol—delay optical burst with a fixed period (DBFP) protocol is proposed, which uses dynamic wavelength add-drop multiplexer (WADM), i. e. uses wavelength tunable transmitters and tunable receivers (TTTR) mechanism. The wavelength resource is reserved by the control packet transmitted in advance. And every optical burst is delayed a fixed period with a fixed length fiber delay line (FDL) at every intermediate node to let all reserved bursts accomplish transmitting, in order to avoid colliding with reserved local access bursts. The result of simulation shows that DBFP protocol can statistically multiplex wavelength efficiently, can allocate wavelengths during in required period on demand, and can reuse wavelength at space domain, and that the wavelength reuse efficiency is up to 160%. Therefore, the proposed DBFP protocol enhances network performance and increases the link utilization, which adapts for bursty traffic, specially. Meanwhile, the delay introduced by DBFP protocol is small, for example, is about 1 ms for optical burst multiplex ring network with 10 nodes. So the delay is neglectable.

Key words optical communication; dynamic wavelength add-drop multiplexer; tunable transmitters and tunable receivers; delay optical burst with a fixed period protocol; optical burst switching ring

1 引 言

随着个人计算机和互联网的普及,数据业务与电子邮件通信的飞速发展给当今的通信网络提出了

革命性的要求。为此,人们提出了光分组交换(OBS),它可以有效地统计复用带宽资源,提高链路利用率。但鉴于目前光信号处理技术尚未足够成

收稿日期:2004-06-21; 收到修改稿日期:2004-12-30

基金项目:国家杰出青年科学基金(60325104),国家自然科学基金(90104017),国家 863 计划(2005AA122110),教育部科学技术研究重大项目(0215)和教育部高校博士点基金(20040013001)资助项目。

作者简介:唐建军(1977—),男,四川广安人,中华通信设计院传输专业室,博士,主要从事光通信技术及光交换网络的研究。E-mail: tangtjj@163.com

熟,因而光分组交换难以实现的实际情况(如光地址识别^[1]、快速光开关^[2]等),同时为了克服交换中的电子瓶颈问题和提高带宽利用率,人们提出光突发交换(OBS)技术^[3,4],它是光分组交换与波长路由的有效折衷,兼顾了它们的优点,同时避免了它们的不足^[5,6]。光突发交换缓解了光分组交换的同步问题、交换速率等技术难题,但同光分组交换一样有一个难以解决的问题:由于没有可用光随机存储器 and 成熟的波长变换器,多个突发争用同一个信道而导致分组冲突概率比较大,到目前为止,没有一个有效的解决方案。即使对于 8 波长的全波长变换的光突发交换系统,当接入负载为 0.4 时,其单跳冲突概率大于 1%^[7],多跳端到端的丢包率更大。

为此,人们将光突发交换的研究重点转向光突发交换环网(OBSR)^[8,9]。目前研究的光突发交换环,都是基于波长固定发送可调接收(FTTR)^[8,9]机制或可调发送固定接收(TTFR)机制,这两种方式都能实现波长资源统计复用,但都不能实现空间重用波长资源,而基于电路交换的、以静态方式分配的 LightRing 可重用波长资源,不适合于突发业务,因而没有充分利用带宽资源。为此,本文提出了一种光突发交换环控制协议——延迟光突发固定周期(DBFP)协议,采用基于波长可调发送可调接收(TTTR)机制,实现了波长重用、统计复用和按需分配。

2 光突发交换环体系结构

2.1 光突发交换环网结构

在光突发交换环网结构中,包括 N 个光突发交换环网节点,在源节点插入突发数据包,在目的地址取出突发数据包,即光突发分插复用,故将光突发交换环网节点称为光突发分插复用器(OBADM)。它们通过光纤链路首尾相连,构成了光突发交换环,其中链路可以是单向的,也可以是双向的,由一根或多根光纤组成,每根光纤中有多个波长。每条链路中,有一个或多个波长用作控制信道,用于承载突发控制包(BCP)和信令消息,其余信道全部用作数据信道,承载突发数据包。控制信道中的突发控制包在所经过的节点进行电处理,为其相应的突发数据包预留波长带宽资源,而数据信道中的突发数据包根据突发控制包事先预留的资源在中间节点完全透明传输,无需光域或电域的信息处理。为了讨论方便且不失一般性,假定采用单向链路,每条链路具有一根光纤,每根光纤有一个控制波长和 W 个数据波

长。由于本文提出的光突发交换环网结构具有统计复用功能,故称之为光突发复用环(OBMR),其网络结构如图 1 所示,其中每一个光分插复用器节点连接一个或多个子网,可以接入多种业务,如 IP 分组、语音、图像等。

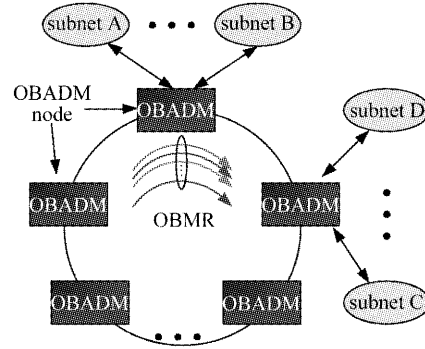


图 1 光突发交换环形拓扑网络结构图
Fig.1 OBS ring topology architecture

光突发复用环基于波分复用环,但与传统波分复用环有本质的区别。在光突发复用环中,在每个光分插复用器节点,只需分插复用所需要波长上的光突发分组,而不是整个波长。这样每个波长都可以在整个网络中有效地统计共享,从而提高了带宽利用率。由于采用基于波长可调发送可调接收技术,每个波长并不属于某个发送节点(如基于波长固定发送可调接收机制^[8,9])或某个接收节点(如基于波长可调发送固定接收机制),这样,波长资源就可以在整个网络中按需分配,且可以有效地空间重用。

2.2 光突发分插复用器节点结构

光突发分插复用器节点从与之相连的子网接入业务,将它们会聚成突发数据包,同时产生相应的突发控制包,通过控制信道提前预留波长资源,然后在

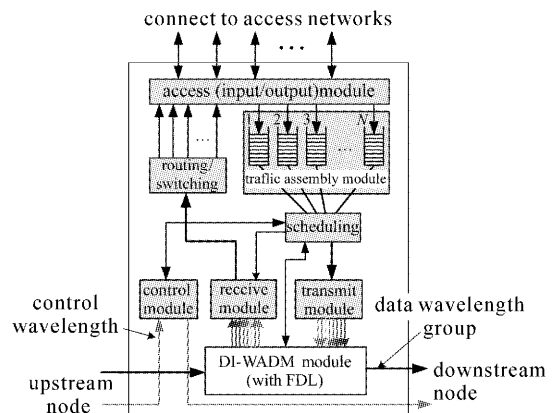


图 2 光突发分插复用器节点结构示意图
Fig.2 Architecture of OBADM node

经过一定的偏置时间之后,在事先预留的波长上发送突发数据包,并透明地传送到目的节点,而在中间节点只需一个固定的延时。为此,光突发分插复用器节点包括以下几个部分:输入/输出模块、业务会聚模块、路由模块、调度模块、接收模块、发送模块、控制模块和快速动态可调波长分插复用模块(WADM),如图 2 所示,其中快速可调光分插复用器将所有直通的光信号延时一个固定时间,无需可调延迟器和可调波长变换器等,结构要比光突发交换节点简单得多。

3 控制协议

在光突发复用环中,最为关键的是如何实现突发数据包(BDP)的上路和下路,且能够实现突发数据包的有效统计复用,同时还能够实现波长的空间重用,而不会发生突发数据包之间的冲突,即寻求一种有效的突发数据包接入控制机制。

在光突发复用环中,每个光分插复用器节点的业务包括两个方向的:上游节点的业务和本地接入的业务。充分利用环网这一优势,本文提出了一种基于波长可调发送可调接收控制协议——延迟光突发固定周期协议。其基本原理如下:

当本地有突发数据包等待发送时,查找出口是否有可用资源,若有,则发送波长预留的突发控制包,经过一段时间(偏置时间)后,不必等待确认消息(即单向预留),直接在所预留的波长上发送突发数据包。利用固定长度的光纤延迟线(FDL)(其延迟时间略大于最大长度的突发数据包持续时间加突发控制包处理时间),将经过光分插复用器节点的所有突发数据包延迟一个固定时间,让突发控制包得以处理并预留资源,同时确保在突发控制包到达某个节点之前已经在相应波长上的所有正在发送的和已经预留的突发数据包发送完毕,从而确保了该突发控制包相应的突发数据包不会与其他突发数据包发生冲突。

表 1 对于不同的节点数 N 构成逻辑全连接所需的最少波长数

Table 1 Required wavelengths for different number of nodes to construct logical full mesh network

Protocol \ N	4	8	16	32
LightRing	10	28	120	496
TFTR	4	8	16	32
TTFR	4	8	16	32
TTTR	1	1	1	1

以包含 5 个光分插复用器节点 A~E 的网络为例加以分析说明,如图 3 所示,图中 A,B,C,D,E 分别代表环链中的五个节点,A→E,B→E,C→A,D→B,E→B,分别表示几个业务流的突发数据包。在突发数据包发送之前,发送一个突发控制包,用于预留相应的波长资源,而突发数据包在每一个节点都经历一个固定时延,以避免突发数据包之间冲突发生。

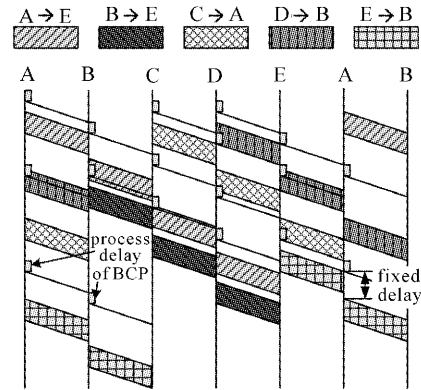


图 3 延迟光突发固定周期协议的时序调度示意图
Fig. 3 Delay optical burst with a fixed period protocol scheduling diagram

4 性能分析及仿真结果

将延迟光突发固定周期协议与现有的几种环网协议进行性能对比分析。考虑由 N 个节点构成的环网,并假定没有波长变换,若需要构成逻辑全连接的拓扑。对于光路交换的 LightRing,所需要的波长数 k 最少为

$$k = \sum_{i=1}^{N-1} i = N(N-1)/2, \quad (1)$$

对于基于波长固定发送可调接收或基于波长可调发送固定接收协议,所需要的波长数 k 为

$$k = N, \quad (2)$$

对于基于波长可调发送可调接收协议,所需要的最少波长数 k 为 1(当然,为了满足接入业务量的需求,灵活地增加波长数,可扩展性好)。对于不同的节点数 N ,所需的波长数如表 1 所示。从表 1 可以看出,构成逻辑全连接,基于波长可调发送可调接收协议所需的波长最少。

考虑波分复用器环网的节点数 N 为 4 和 8 两种情况,对于 LightRing,基于波长固定发送可调接收,基于波长可调发送固定接收和基于波长可调发送可调接收协议四种机制进行对比,每对节点对之间的最大吞吐量与可用波长数的曲线如图 4 所示。从图 4 可以明显看出,基于波长可调发送可调接收

机制的最大吞吐量远大于其他协议机制。

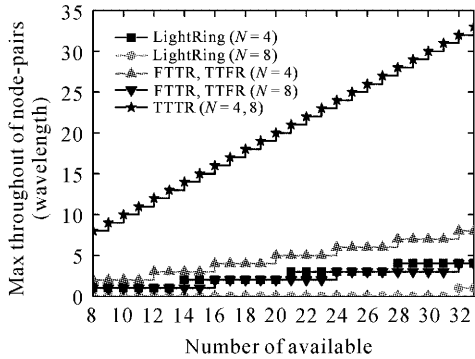


图 4 基于波长可调发送可调接收协议与基于波长固定发送可调接收、基于波长可调发送固定接收、LightRing机制的最大吞吐量对比图

Fig. 4 Throughput of node with TTTR and FTTR, TTFR, LightRing mechanism

从图 4 可以看出,对于 LightRing 环网,若节点数 N 为 8,则至少需要 28 个波长,才能确保每个节点对之间传送业务。于是,考虑 28 个波长的 8 节点波分复用器环,对于业务为均匀分布的恒定比特率 (CBR) 业务情况和非均匀分布的突发业务,节点对之间的最大吞吐量如表 2 所示。

表 2 8 节点 32 波分复用环网中节点对之间的最大吞吐量

Table 2 Throughput of node-pair in WDM ring network with 8 nodes and 32 wavelengths

Protocol	CBR traffic	Burst traffic
LightRing	1λ	1λ
FTTR	$\lambda/2$	4λ
TTFR	$\lambda/2$	4λ
TTTR	1λ	32λ

对于恒定比特率业务情况,基于波长可调发送可调接收机制的吞吐量为基于波长固定发送可调接收机制和基于波长可调发送固定接收机制的 2 倍,等于 LightRing;对于突发性业务,基于波长可调发送可调接收机制的最大吞吐量是基于波长固定发送可调接收和基于波长可调发送固定接收机制的 8 倍,是 LightRing 的 32 倍。

从表 1,表 2 和图 4 可以明显看出,基于波长可调发送可调接收机制比其他的组网方式的吞吐量大得多,资源利用率也高得多,特别是对于突发业务。充分证明了基于波长可调发送可调接收机制不但具有波长空间重用和有效地统计复用波长资源的功

能,还具有波长按需分配的功能,大大提高了链路利用率。

根据延迟光突发固定周期协议,组建了一个模拟试验平台,对时延、丢包率、链路利用率这三方面的性能进行研究。该平台中,包括 10 个模拟光分插复用器节点的单向光突发交换环,其中每条链路有 1 个控制波长 (2.5 Gb/s) 和 4 个数据波长 (10 Gb/s),链路长度为 40 km (即传输时延为 $200 \mu\text{s}$)。每个节点接入的突发包到达间隔服从指数分布,突发包大小服从 $10 \sim 990 \text{ kbit}$ 范围的均匀分布,突发的目的节点服从均匀分布。队列长度为 100 个包,每个突发包的最大等待时间为 8.0 ms,在每个节点光纤延迟线的延迟大于最大包持续时间 $990 \text{ kbit}/10 \text{ Gb/s}$ (即 $99 \mu\text{s}$),还考虑到控制分组的处理延时,这里取 $100 \mu\text{s}$ 。

延时与接入负载的关系曲线如图 5 所示,其中平均传输时延恒定,只与链路长度及跳数有关;延迟光突发固定周期协议所引入的光纤延迟线的时延也保持恒定,它只与每个节点的光纤延迟线长度和跳数有关,每增加一节点,总的时延将增加 $100 \mu\text{s}$;延迟光突发固定周期协议所引入的延时影响可以忽略。总时延 D_t 为

$$D_t = N \times 100 + D_1, \quad (3)$$

其中 D_1 为物理链路时延。对于节点数不太多的情况下 ($N < 20$),总的时延在几个毫秒内。当接入业务的流量增加时,可能波长资源暂不可用,而产生较大的等待时延,当负载再增加时,利用等待时间门限,限制了等待延时的进一步增加,避免超过业务所允许的时延。从图 5 中可以看出,当链路不太忙时 (小于 80%, 即接入负载小于 6.4 Gb/s,若接入负载过大,应该考虑升级),等待时间可以忽略,这时,突发所经历的总延时基本恒定,小于 2ms,时延抖动为几十微秒。

丢包率与链路利用率及接入负载的关系如图 6 所示。其中光突发的冲突概率始终为 0,在图 6 中

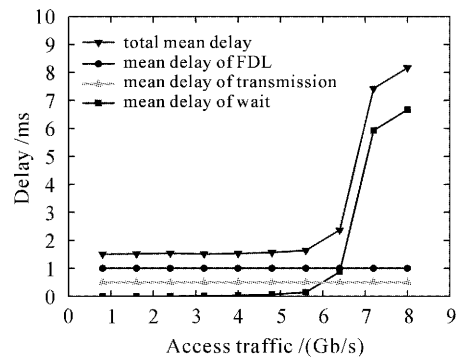


图 5 光突发所经历的各种时延与接入流量的关系
Fig. 5 Burst delay variety with different access load

没有显示。在延迟光突发固定周期协议中,存在其他两种类型的丢包,一种是突发包在入口节点(上路节点)等待时间过长而丢包,另一种是突发包在入口节点(上路节点)排队溢出而丢包。从图 6 中可以明显看出,当接入负载比较小(链路占用率小于 70%)的情况下,丢包率为零。当接入负载大到一定程度时,使得链路特别忙(链路占用率达到 80%以上,由于突发包之间存在不定长的间隙,不可能达到理论值 100%)时,由于暂时无法预留到资源而丢包(超时或队列溢出)。而这些丢包是由于接入流量过大,没有足够资源造成的。没有因为调度不合理造成的丢包。

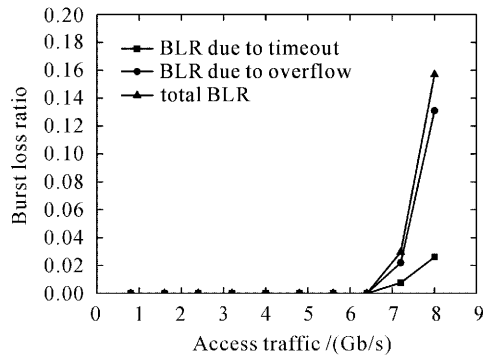


图 6 丢包率和链路利用率与接入负载的关系
Fig. 6 Burst loss rate and link utilization variety with different access load

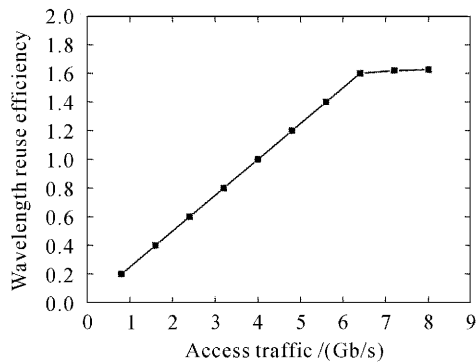


图 7 波长重用效率与接入负载的关系
Fig. 7 Wavelength reuse efficiency variety with different access load

考虑一下基于延迟光突发固定周期协议的系统波长重用效率 E , 即

$$E = \sum_i L_E / C_L, \quad (4)$$

其中 L_E 为节点 i 的接入到光突发复用环网中的有效负载, C_L 为链路容量, 仿真结果如图 7 所示, 其值大于 1 (平均波长重用效率为有效接入负载的 2 倍,

理论上限为 2), 表明延迟光突发固定周期协议有效地实现了波长重用, 同时也实现了波长的统计复用。

5 结 论

基于波长可调发送可调接收机制的光突发交换环接入控制协议——延迟光突发固定周期协议, 具有波长按需分配、资源统计复用和波长重用等特性, 提高了链路利用率。它通过提前的突发控制包预留技术和突发数据包固定延迟机制, 避免了突发数据包的冲突。而且光分插复用器不需可调延迟线和可调波长变换器等光器件, 相对光突发交换节点, 其结构简单得多。通过模拟仿真研究与评估, 表明延迟光突发固定周期协议可以避免光突发的冲突问题, 波长重用效率高达 160%, 且延时小, 对于 10 个节点的光突发复用环网, 延迟光突发固定周期协议所引入的突发时延为 1ms 左右, 对业务的影响可以忽略。

参 考 文 献

- Ji Yuefeng, Bai Lin, Xu Daxiong *et al.*. A study of address recognition by all-optical method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(1): 37~41
纪越峰, 柏琳, 徐大雄等. 全光地址识别机理的研究 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(1): 37~41
- Luo Duanbin, Yan Kun, She Weilong *et al.*. All optical switch with response time in millisecond magnitude based on azo-doped polymer films [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(1): 92~96
罗锻斌, 严岷, 余卫龙等. 毫秒有机聚合物薄膜全光开关 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(1): 92~96
- M. Yoo, C. Qiao. Just-enough-time (JET): A high speed protocol for bursty traffic in optical networks [C]. *IEEE/LEOS Conf. on Technologies for a Global Information Infrastructure*, 1997. 26~27
- Y. Xiong, M. Vandenhoute, H. C. Cankaya. Control architecture in optical burst-switched WDM networks [J]. *IEEE J. Sel. Areas in Communications*, 2000, **18**(10): 1838~1851
- Jianxin Wang, Qingji Zeng, Zhizhong Zhang *et al.*. A novel differentiated services supporting scheme for optical burst switched networks [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(7): 392~394
- Wei Li, Jun He, Yuan Li *et al.*. An efficient algorithm for optimal allocation of wavelength converters in wavelength routing optical network [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(8): 449~452
- C. M. Gauger. Performance of converter pools for contention resolution in optical burst switching [C]. *Proceedings of Optical Networking and Communication Conference (OptiComm) 2002*, Boston, MA, July-Aug. 2002
- L. Xu, H. G. Perros, G. N. Rouskas. A simulation study of access protocols for optical burst-switched ring networks [C]. *Proceedings of Networking 2002*, Springer, May 2002. 863~874
- A. Fumagalli, P. Krishnamoorthy. A low-latency and bandwidth-efficient distributed optical burst switching architecture for metro ring [C]. *Communications*, 2003. ICC '03. *IEEE International Conference on*, Vol. 2, 2003. 1340~1344