

文章编号 1004-924X(2010)01-0248-09

光突发交换中的一种自适应汇聚策略

朱智俊¹, 乐孜纯²

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江工业大学 理学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:根据光突发交换(OBS)网络的特点,分析了在OBS网络边缘节点进行数据汇聚的一般原则,提出了一种OBS网络边缘节点的自适应汇聚策略。与以往的汇聚策略采用固定汇聚门限不同,本文设计的汇聚策略引入穿越计数器,通过测量网络业务流量,动态选择合适的汇聚门限,比较前后两次选择的汇聚门限类型修正门限步长。仿真结果表明,与现有的汇聚策略相比,提出的汇聚策略在不同的自相似参数和网络负载情况下丢包率分别降低了约69.07%和38.89%。设计和实现了试验网边缘节点的硬件架构,对汇聚、调度等功能进行了系统级的运行和测试,完成了系统预期的功能。结果表明,该汇聚策略不仅能够根据网络流量变化动态调整汇聚门限,而且十分适应具有突发性的业务量,在强自相似情况下丢包率较小。

关键词:光突发交换;汇聚策略;自适应调整;自相似业务;ON/OFF源

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A

Adaptive assembly strategy for optical burst switching networks

ZHU Zhi-jun¹, LE Zi-chun²

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. College of Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to improve the assembly performance of Optical Burst Switching (OBS) networks, an adaptive assembly strategy for the edge node of OBS was presented in this paper. To be different from the traditional assembly strategy with a fixed threshold system, the proposed strategy measured the network traffic flow and chose a suitable assembly threshold dynamically by introducing a cross counter. Moreover, the step length of the assembly threshold was modified by comparing the type of assembly threshold with the former one. Simulation results show that the strategy can reduce the burst loss probability by 69.07% and 38.89% as compared with the existing assembly strategy. The edge node hardware structure for a OBS testing bed was designed and realized, and the functions of assembly and schedule based on the hardware structure were tested, meanwhile, the prospective goal was achieved. Results show that the novel strategy not only can adjust the assembly threshold according to the traffic flow, but also can have lower burst loss probability under a strong self-similar case.

收稿日期:2009-03-19;修订日期:2009-04-23.

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(No. Y1080172)

Key words: optical burst switching; assembly strategy; self-tuning adjustment; self-similar traffic; ON/OFF source

1 引言

随着互联网的发展,对网络的交换速率和传输速率要求越来越高。波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术,特别是密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)技术可提供足够的带宽,由此,交换速率就成为制约网络速率的瓶颈。光突发交换(Optical Burst Switching, OBS)网络结构的提出正是为了在利用 WDM 技术带来的巨大带宽资源的同时来克服了电子交换速率的瓶颈^[1]。

在 OBS 网络中的边缘节点处,多个 IP (Internet Protocol) 数据包汇聚成一个大的突发数据(Data Burst, DB)。一旦满足汇聚条件,首先通过控制信道发送控制包(Burst Header Packet, BHP)。采用一定的资源预留协议,控制包在核心路由器为相应的突发数据包 DB 预留一定的带宽资源。控制包 BHP 发送以后,经过一定的偏置时间(offset-time),发送对应的突发数据包 DB。由于控制包 BHP 已经预留了相应的带宽资源(同时也配置好了核心路由器),突发数据包可以在全光路上传输。汇聚策略是 OBS 边缘节点的一个重要组成部分,它主要完成数据包分类、缓存和汇聚功能。汇聚模块对 OBS 网络输入业务流量变化、BDP(Burst Data Packet)丢包率和传输时延都具有重要的影响^[2,4-6]。

汇聚规则决定了 BDP 的产生条件。在文献中,汇聚规则可以分为基于时间门限汇聚规则和基于长度门限汇聚规则两类^[2]。而按照门限的性质划分,汇聚规则又可以分为:固定门限汇聚规则和自适应门限汇聚规则^[8-9]。现有的汇聚方式大多属于基于固定门限的汇聚策略,当网络的负载变化的时候,固定门限的汇聚策略容易造成 BDP 丢包率增加、传输时延加大等不良情况。由于网络业务流量具有自相似性和突发性,以往论文多

以泊松过程建立模型来进行仿真,本文采用多个具有 Pareto 分布的 ON/OFF 信号源叠加,产生具有突发性的自相似业务流^[1-2,10-11]。

本文给出了一种新型的汇聚策略设计方案,它采用自适应门限的汇聚规则,即能够根据网络流量自动调节汇聚门限。同时,汇聚策略引入了穿越计数器,通过计数器记录门限变化与历史门限的比较来调整汇聚门限的选取,使得汇聚门限更适合当前的网络流量特征。仿真研究表明:采用这种策略能够降低突发包的丢包率和汇聚时延,并且能更适应具有突发性的业务量。

2 OBS 边缘节点的基本结构及功能

汇聚模块和调度模块是 OBS 边缘节点的核心部分。边缘节点的发送部分把数据包(packet)组装成突发(burst)包,并按照 OBS 协议把它们发送到 OBS 网络中,其中用到的技术包括路由表查询,业务量分类,流量整形等。边缘节点的组装部分根据从端口通道输入的数据包的地址和服务等级(Quality of Service, QoS)要求把这些数据包整理到相应的突发缓冲堆里去。边缘节点的调度部分(scheduler)则根据突发数据包的类型和等级,按照满足特定要求的算法分配突发包的传输时隙和光通道。为了方便调度,往往需要跟踪各个输出光通道还未预定的时隙资源。图 1 给出一种 OBS 边缘节点的基本结构。

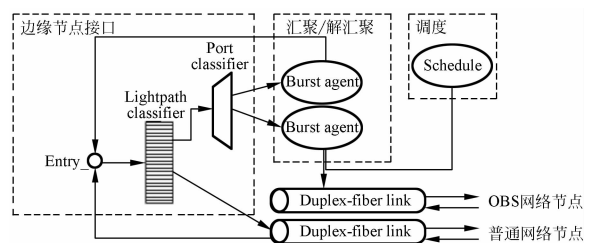


图 1 OBS 边缘节点的基本结构

Fig. 1 Structure of OBS edge node

3 汇聚策略中的基本规则

3.1 固定分组长度汇聚策略

固定分组个数汇聚策略的原理是:设置一个计数器,当第一个分组到达的时候开始计数,当计数到 K 的时候就形成一个突发包发送出去。该策略优点在于算法简单,在分组长度固定的情况下(如 Asynchronous Transfer Mode, ATM 信元或 IP 分组的大小固定),可以方便的计算出突发包的长度,有利于网络的性能。其缺点是:当前 IP 网络占据主要地位,而 IP 分组长度是变长的,如果采用这一策略,突发包的长度就很不规则,这对网络的性能不利。

3.2 固定汇聚时间汇聚策略

固定汇聚时间的汇聚策略原理与固定分组个数策略相似,在固定汇聚时间机制下,对不同的 QoS 要求,可以设置不同的汇聚时间 T 。当第一个分组到达的时候,时钟开始计时,计时到 T 的时候,不论突发包的大小,都形成一个突发包并发送出去。

这一策略的优点是:由于突发包的汇聚时间是一个常数,这样在边缘节点处的调度就很简单。其缺点在于:当网络的负载比较重的时候,突发包可能会很长;而当网络的负载比较轻的时候,突发包的长度又会很短。在 OBS 网络中,要求突发包的大小尽可能的相同,因而采用固定汇聚时间对网络的性能不利。下面给出固定汇聚时间策略的伪代码:

Burst_Assembly_FAP (virtual_queue_id)

```
- Step 1: While timer < TTh //和时间门限比较
_ Accept new arriving IP packet
_ Check timer
_ Go to Step 1.
- Step 2: Check burst_size
_ If burst_size < Bmin then
• pad it to Bmin
_ Generate optical burst and send it to the corresponding output port
_ Reset timer
_ Go to Step 1
```

3.3 最小突发长度最大突发汇聚时间汇聚策略

最小突发长度 B_{\min} 最大突发汇聚时间 T 汇

聚策略中,如果突发包在到达最大突发汇聚时间 T 前达到了最小突发长度 B_{\min} ,则形成一个突发包并发送出去;否则在最大突发汇聚时间 T 时,则形成一个突发包发送出去。经仿真:当网络处于低流量状态时,最小突发长度 B_{\min} 最大突发汇聚时间 T 汇聚策略接近于 FAP 策略;而在高流量状态下,它则接近于 FBL 策略。因此,混合门限汇聚规则仍然属于固定门限汇聚策略。下面给出最小突发长度 B_{\min} 最大突发汇聚时间 T 汇聚策略的伪代码:

Burst_Assembly_Hybrid (virtual_queue_id)

```
- Step 1: While timer < TTh //和时间门限比较
_ Accept new arriving IP packet
_ If burst_size  $\geq$  STh //和长度门限比较
Then
• Generate optical burst and send it to the corresponding output port
• Reset timer
• Go to Step 1
Else
• Go to Step 1
- Step 2: / * means timer expires * /
_ Check burst_size
_ If burst_size < Bmin then
• pad it to Bmin
_ Generate optical burst and send it to the corresponding output port
_ Reset timer
_ Go to Step 1
```

3.4 自适应突发汇聚策略

与固定汇聚策略相比,自适应突发汇聚策略可以根据网络的负载情况动态的调整突发汇聚门限。自适应汇聚策略的基本思想是根据计量器测量各相应队列的数据的到达速率来动态改变汇聚门限。

4 本文设计的自适应汇聚策略

汇聚策略对输入的业务量具有一定的整形作用,对此已经有大量的文献进行了研究。但长度以及时间门限的选取是一件非常困难的事情,由于网络流量分布的突发性(自相似性),固定长度门限或者固定时间门限都是不适用的,即使是

混合门限也存在这个问题。为了更大地降低丢包率,本文对原有的汇聚策略进行了改进。

4.1 新型自适应汇聚策略 CBAAP 描述

预先设定长度门限的最大值 L_H 和最小值 L_L ,时间门限的最大值 T_H 和最小值 T_L ,穿越计数上限值 n_{max} ,取长度门限的初始值为 $L = \frac{L_H + L_L}{2}$,时间门限的初始值为 $L_p = \frac{L_H - L_L}{m}$,取长度门限的改变步长为 $T_p = \frac{T_H - T_L}{m}$,时间门限的改变步长为,算法步骤如下:

T 有效状态:

(1) 当一个分组到达边缘节点,计时器开始计时。

(2) 若汇聚时间到达汇聚门限值 T ,或者汇聚时间小于汇聚门限值 T 但突发数据包长度到达长度门限 L ,汇聚结束发送突发包。

(3) 与上一次突发包汇聚的到达门限比较,若两次汇聚到达的门限相同,即均为汇聚时间到达汇聚门限值 T 或者均为突发数据包长度到达长度门限 L ,穿越计数器值 n 加一个步长;若两次汇聚到达的门限不同,穿越计数器值 n 清零。

(4) 穿越计数值 n 与设定的上限值 n_{max} 比较,若 $n < n_{max}$,保持当前的 T 和 L 值不变;若 $n \geq n_{max}$,则清零并判断:

①. 若汇聚时间到达汇聚时间门限值 T ,且 $T < T_H$,则将汇聚时间门限值设为 $T + T_p$

②. 若汇聚时间到达汇聚时间门限值 T ,且 $T = T_H, L > L_L$,则将汇聚长度门限值设为 $L - L_p$

③. 若汇聚时间到达汇聚时间门限值 T ,且 $T = T_H, L = L_L$,保持当前的 T 和 L 值不变。

④. 若突发数据包长度到达长度门限 L ,且 $L < L_H$,则将汇聚长度门限值设为 $L + L_p$

⑤. 若突发数据包长度到达长度门限 L ,且 $L = L_H, T > T_L$,则将汇聚时间门限值设为 $T - T_p$

⑥. 若突发数据包长度到达长度门限 L ,且 $L = L_H, T = T_L$,则进入 T 无效状态。

(5) 计时器清零。

T 无效状态:

(1) 当一个分组到达边缘节点,计时器开始计时。

(2) 突发数据包长度大于长度门限 L ,汇聚结束发送突发包。

(3) 与上一次突发包汇聚完成时的情况进行比较,若两次汇聚到达长度门限 L 的时间均大于 T_L ,则穿越计数器值 n 加一个步长;若不是,穿越计数器值 n 清零。

(4) 穿越计数值 n 与设定的上限值 n_{max} 比较,若 $n < n_{max}$,保持当前状态不变;若 $n \geq n_{max}$,则返回 T 有效状态,并令汇聚时间门限值 $T = T_L$ 。

(5) 计时器清零。

4.2 新型自适应汇聚策略 CBAAP 流程及性能评价

图 2 为新型的自适应汇聚策略的流程图。总体说来,处于 T 无效状态时新策略相当于 FBL 策略,处于 T 有效状态时新策略则会根据输入业务流的情况自适应的调整门限值的设置。

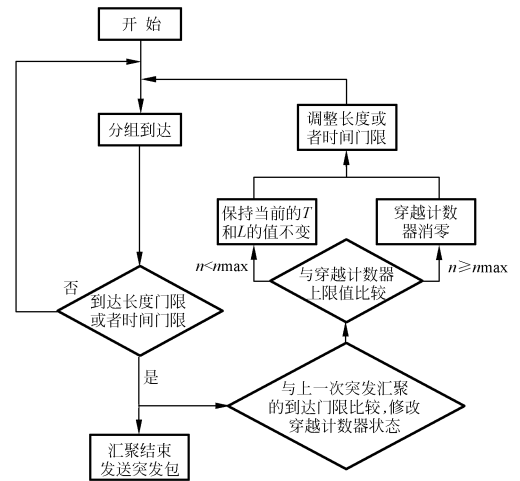


图 2 新型的自适应汇聚策略流程图

Fig. 2 Flow chart of a novel adaptive assembly strategy

与单一采用 BDP 长度或者汇聚时延作为自适应调整参数的思路不同,本文采用比较前后两次选择的汇聚门限类型和穿越计数器作为自适应调节参数。这样的优点是可以选择更适合当前网络流量的汇聚门限并且可根据门限步长调整汇聚门限的值,以更适应具有突发性的业务需求。

5 自相似业务流量模型

传统的流量模型已不能很好地描述实际的网络特征,大量的研究表明:大部分的计算机

和电信系统都显现重尾分布. 重尾分布的 ON/OFF 模型能够很好地解释计算机网络业务流量的自相似性的形成机理. 对 Web 上和 I/O 模式下的文件大小的测量发现, 它们都是服从重尾分布. 于是采用具有长相关特性的自相似模型来描述网络流量. ON/OFF 模型叠加大量的 ON/OFF 源, 每个源有两个状态, 即 ON 和 OFF. 在 ON 状态, 以连续速率发送数据包, 在 OFF 状态, 不发送数据包. 每个发生源 ON 或 OFF 的时长独立地符合重尾分布 (Heavy-tailed distribution) 图 3 给出了 ON/OFF 源叠加模型产生自相似业务流的方法. 图 4 为 $N=20$ 个 Pareto 源进行叠加, 仿真时间为 100 s, 产生 29 986 个数据样本点的业务流时间序列图.

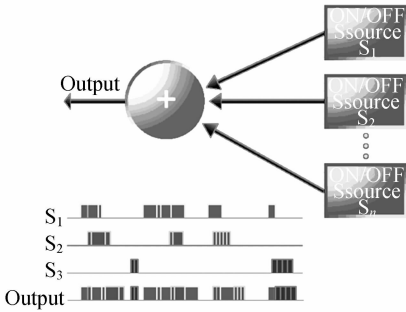


图 3 ON/OFF 网络流量模型

Fig. 3 ON/OFF traffic flow module

Pareto 分布具有以下概率密度函数, 其中 a 是重尾分布的形状参数, b 是位置参数, 对应自相似业务, a 需介于 1 和 2 之间.

$$P(x) = \frac{ab^a}{x^{a+1}}, \quad x \geq b, \quad (1)$$

参数 H (Hurst 参数) 是自相似模型的惟一参数, 他描述了时间序列的自相似程度. H 参数的取值范围为 $(0.5 < H < 1)$, H 越接近 1, 自相似程度越高. 当 $1 < a < 2$ 时, 无穷多的这种 ON/OFF 源叠加便生成 Hurst 参数 $H = (3 - a) / 2$ 的自相似业务量. 在一定范围内, a 越小分布衰减越慢, 自相似性增强.

$$H = \frac{3 - \alpha_{\min}}{2}, \quad (2)$$

其中: α_{\min} 为 ON 和 OFF 的分布参数中 α 参数较小的一个.

业务到达率由突发和空闲期间包的发送速率决定:

$$\lambda = \frac{E_{on}}{E_{on} + E_{off}}. \quad (3)$$

从图 4 可直观的看出叠加产生的业务流具有自相似性.

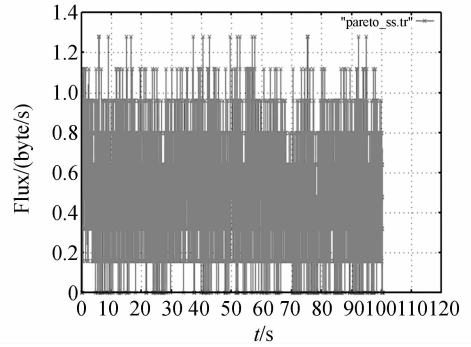


图 4 Pareto 叠加的业务流时间序列图

Fig. 4 Sequence plot from Pareto aggregation

6 仿真结果

取长度门限的最大值 L_H 为 50 倍输入包长, 长度门限的最小值 L_L 为 20 倍输入包长, 时间门限的最大值 T_H 为 8 ms, 时间门限的最小值 T_L 为 4 ms, 长度门限的改变步长设为 3 倍的输入包长, 时间门限的改变步长设为 1 ms.

6.1 仿真拓扑

本文设计了一个简单的仿真场景模拟 OBS 过程, 图 3 中圆形、方形和六边形节点分别代表普通节点、边缘节点和核心节点. 普通节点的 ip 数据包在边缘节点进行汇聚, 汇聚后的突发数据包在 OBS 网络中传输. 调度和路由部分分别采用 LAUC-VF (Latest Available Unscheduled Channel With Void Filling) 最近可用优先插空策略和偏射路由策略.

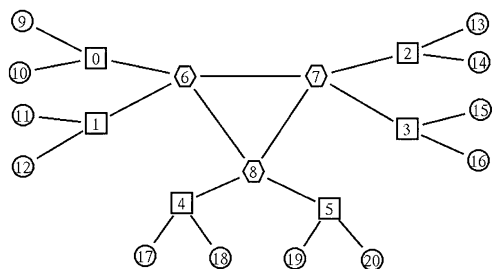


图 5 仿真网络拓扑

Fig. 5 Simulation network

设置 3 个核心节点,6 个边缘节点和 12 个普通节点;每条链路上的可用的波长数为 8 条,其中 2 个波长为控制信道,6 个波长为数据信道,单波长的带宽为 50 MB;最大的突发包长度为 15 000 Bytes,链路的传输时延为 2 ms,偏置时间为 50 μ s,对突发控制分组的处理时间为 2 μ s。

6.2 汇聚时间门限性能分析

本文首先仿真的是引入穿越计数器后,汇聚时间门限的比较结果。图 6 为仿真结果,其中 CBAAP 是新型自适应汇聚策略(Cross-counter Balance Adaptive Assembly Period)的缩写。仿真结果表明:FAP 具有固定的汇聚时间门限,MBMAP 的汇聚门限变化范围较小,因为突发包在到达最大突发汇聚时间 T 前达到了最小突发长度 B_{min} ,则形成一个突发包并发送出去。当网络处于低流量状态时,最小突发长度 B_{min} 最大突发汇聚时间 T 汇聚策略接近于 FAP 策略;而在高流量状态下,它则接近于 FAS 策略。因此,混合门限汇聚规则仍然属于固定门限汇聚策略。与此相比,本文设计的新型自适应汇聚策略的汇聚门限具有较大的范围,可根据网络业务流量变化调整时间门限。

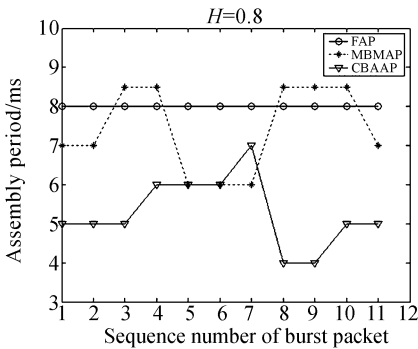


图 6 汇聚时间门限变化比较结果

Fig. 6 Simulation results of assembly period among FAP, MBMAP and CBAAP

6.3 汇聚长度门限性能分析

图 7 为汇聚长度门限的比较结果,仿真结果表明:FBL 具有固定的汇聚长度门限,MBMAP 的汇聚长度门限变化幅度较大。与此相比,本文设计的带有穿越计数器的汇聚策略能将汇聚长度门限控制在一个较小的变化范围。这样便于调度策略对汇聚产生的突发包进行调度分配。

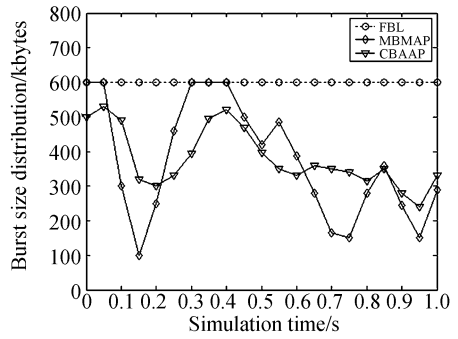


图 7 汇聚长度门限变化比较结果

Fig. 7 Simulation results of assembly length threshold among FAP, MBMAP and CBAAP

6.4 突发包丢包率性能分析

设置业务流的 H 参数为 0.8,比较穿越计数上限值设置为 3 和穿越计数上限值设置为 5 的自适应策略和三种经典汇聚策略在链路负载不同时的丢包率,结果如图 8 所示。

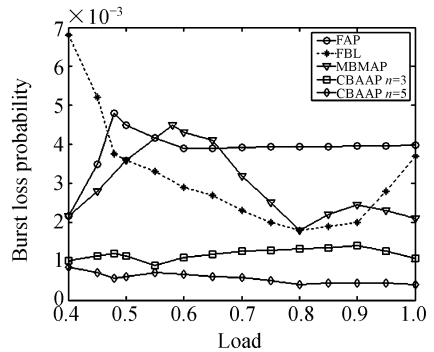


图 8 固定自相似参数不同链路负载下各种汇聚策略的丢包率比较结果

Fig. 8 Simulation results of burst loss probability among FAP, FBL, MBMAP and CBAAP with fixed H and variational load

可见,穿越计数上限值设置为 3 和 5 的丢包率都要小于 MSMAP 策略,而且输入负载增加时丢包率不呈现明显的变化。穿越计数上限设为 5 时,丢包率更小,新型汇聚策略丢包率与 MBMAP 策略相比平均降低了 69.07%。

设置链路负载为 0.8,改变输入业务流的 H 参数再次进行以上仿真,得到结果如图 9 所示。

可见这种新型的自适应汇聚策略在输入业务流自相似较强的情况下丢包率较小,穿越计数器上限值设置越大,丢包率降低得越明显,丢包率与 MBMAP 策略相比平均降低了 38.89%。

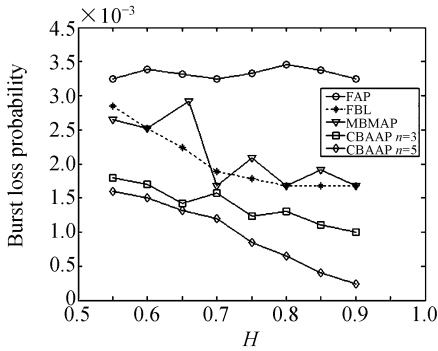


图 9 固定链路负载不同自相似参数下各种汇聚策略的丢包率比较结果

Fig. 9 Simulation results of burst loss probability among FAP, FBL, MBMAP and CBAAP with fixed load and variational H

7 实验结果与分析

边缘节点采用现有的功能接近高速专用芯片实现。系统采用 Altera 公司出品的 CycloneII 系列^[12]芯片 EF2C20Q240C8。千兆以太网的物理层接入芯片—8EI00 是标准的千兆以太网物理层芯片。SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory)—现代 HY57V561620C, 3.3 V 工作电压, 最大突发长度 256, 最高速率可达 13 MHz。

边缘节点的资源占用情况如表。经过编译, 边缘节点能够在 8 条信道上完成边缘节点的功能在 FPGA 中总共占用逻辑单元 LE13 824, 占芯片的 73%; 总共占用 128 423 bit 存储单元, 占总存储单元的 53%; 共用管脚 54 个, 占总管脚的 38%, 资源占用情况良好。编译之后各个模块的时钟速率分别为: 汇聚模块 118 MHz, 调度模块 97 MHz, 路由模块 104 MHz, 完全能够满足芯片 50 MHz 时钟频率的要求。

表 1 使用资源(logic cells)情况(EP2C20Q240C8)

Tab.1 Resource occupation of logic cells(EP2C20Q240C8)

LE	pins	memory bits
13 824/73%	54/38%	128 423/53%

联合汇聚模块、调度模块以及路由模块测试整个边缘节点的汇聚功能。考虑示波器的性能原

因, 在对输出口进行真实波形观察时 FPGA (Field-Programmable Gate Array) 使用 32 分频的时钟, 每个时钟的长度为 $0.64 \mu\text{s}$ 。

7.1 硬件实现

数据经过物理层芯片进入汇聚组装的 FPGA, 该 FPGA 将 IP 数据根据其目的边缘节点和 QoS 的不同分别汇聚成不同的突发包, 并存入 SDRAM 中, 当突发包汇聚完毕后, 向负责调度的 FPGA 发送消息, 并进入调度队列。调度成功后, 负责调度的 FPGA 将通过控制信道, 为突发数据包预约信道资源。当突发包到达偏置时间后, 负责调度的 FPGA 向负责汇聚的 FPGA 发送消息, 并从 SDRAM 中将突发数据包读出, 通过 S2064 的一个通路发送到数据信道上。

实验产生的 BHP 和 BDP 输出波形如图 10 和图 11 所示。

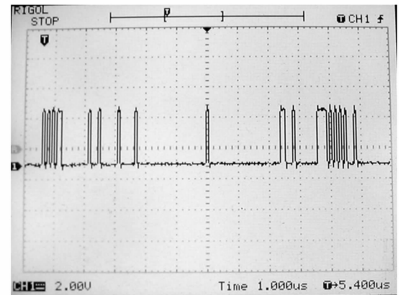


图 10 BHP 输出波形测试

Fig. 10 Result of oscillograph test for BHP reservation

在图 10 中 BHP 信道获得了内容为“0xAB, 0x00, 0x11, 0x01, 0x02, 0x00000010, 0x00000062, 0x00, 0xF551”的 BHP。

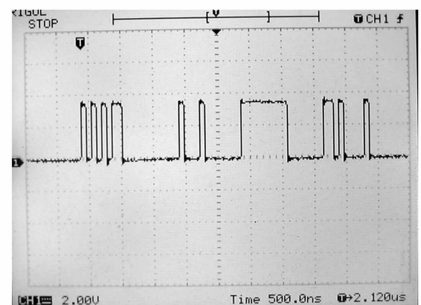


图 11 BDP 输出波形测试

Fig. 11 Result of oscillograph test for BHP

在图 11 中 BDP 信道获得了内容为“0xAB, 0x00, 0x11, 0x01, 0xFF, 0x01, 0xA1”的 BDP。

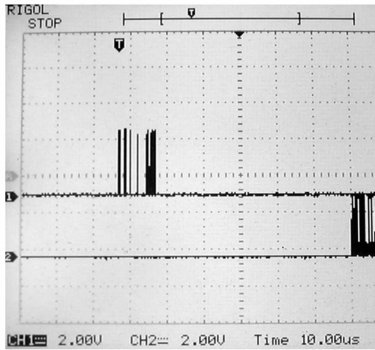


图 12 JET 控制协议波形测试

Fig. 12 Result of oscillograph test for JET protocol

最后协同汇聚模块、调度模块和路由模块,测试基于 JET(Just Enough Time)控制协议下的突发数据包的汇聚情况。边缘节点最终通过 JET 控制协议完成 BCP 与 BDP 发送,示波器测得结果如图所示。通道 1 为 BHP 信道,通道 2 为

BDP 信道。偏置时间采用 $0x0064$ 个时钟周期,转换后为 $64 \mu\text{s}$ 。在图中 BDP 和 BHP 相差 6 格,即 $60 \mu\text{s}$ 左右,和理论的偏置时间相同。

8 结 论

本文设计的具有穿越计数器的自适应汇聚策略能够根据网络业务量的变化,动态选择更适合的汇聚门限,因此能有效降低网络时延,并且能够选择相对稳定的汇聚长度门限,以便于调度策略对汇聚产生的突发包进行调度分配。仿真结果显示,文中提出的自适应汇聚策略在网络丢包率方面要优于原有的汇聚策略,而且这种汇聚策略能更好地适应自相似的业务量。本文设计的自适应汇聚策略在不同的自相似参数和网络负载情况下,丢包率分别平均降低了 69.07% 和 38.89%。设计和实现了试验网边缘节点的硬件架构,在此基础上对汇聚,调度等功能进行了系统级的运行和测试,完成了系统预期的功能。

参考文献:

- [1] CHUNMING Q, MYUNGSIK Y. Optical burst switching (OBS) a new paradigm for an optical internet[J]. *Journal of High Speed Networks*, 1999,8(1):69-84.
- [2] KANTARCIA B, OKTUGA S F, ATMACA T. Performance of OBS techniques under self-similar traffic based on various burst assembly techniques [J]. *Comput. Commun.*, 2007,30:315-325B.
- [3] LEE S. Packet-based burst queue modeling at an edge in optical-burst switched networks [J]. *Comput. Commun.*, 2006,29:634-641.
- [4] JIN M, OLIVER W, YANG W. Provision of differentiated performance in optical burst switching networks based on burst assembly processes [J]. *Comput. Commun.*, 2007,30:3449-3459.
- [5] CHRISTODOULOPOULOS K, VARVARIGOS E, VLACHOS K. A new burst assembly scheme based on the average packet delay and its performance for TCP traffic [J]. *Optical Switching and Networking*, 2007,4(3):200-212.
- [6] WANG R Y, WU D P, LONG K P, et al. A novel optical burst assembly technique based on a dynamic threshold mechanism to support scalable QoS [J]. *Photon. Netw. Commun.*, 2003,6(2):161-168.
- [7] REVIRIEGO P, HERNÁNDEZ J A, ARACIL J. Analysis of average burst-assembly delay and applications in proportional service differentiation [J]. *Photon. Netw. Commun.*, 2007, 14: 183-197.
- [8] 汪纪锋,蒋玉莲,夏汉铸. OBS 网络中的自适应汇聚算法[J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2005,28(5): 90-93.
WANG J F, JIANG Y L, XIA H ZH. An adaptive data burst assembly algorithm in OBS networks[J]. *Journal of Chongqing University(Natural-Science Edition)*, 2005,28(5):90-93. (In Chinese)
- [9] 程红霞,张玉兴,吴援明. 改进的 OBS 长度自适应门限组装算法[J]. *电子科技大学学报*, 2006,35(3): 302-304.
CHENG H X, ZHANG Y X, WU Y M. A modified OBS adaptive assembly algorithm based on length threshold[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2006, 35(3): 302-304. (in Chinese)
- [10] 李彦君,洪小斌,余建国,等. 光突发交换网中流量特性分析与汇聚机制研究[J]. *光通信研究*, 2004, 1(5):1-6.

LI Y J, HONG X B, YU J G, *et al.*. Study of traffic characteristics and the burst assembly mechanism in OBS networks [J]. *Study on Optical Communications*, 2004, 1(5):1-6. (in Chinese)

- [11] 李彦君, 洪小斌, 郭宏翔, 等. 光突发交换网中的智能组包研究[J]. 电子学报, 2005, 33(11): 2040-2043.

LI Y J, HONG X B, GUO H X, *et al.*. Study on intelligent burst assembly mechanism in optical

burst switch networks[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(11):2040-2043. (in Chinese)

- [12] 朱振华, 乐孜纯, 付明磊. 基于 FPGA 的 OBS 边缘节点总线控制硬件设计[J]. 电讯技术, 2008, 48(11): 87-91.

ZHU ZH H, LE Z CH, FU M L. Hardware design of bus control module in OBS edge node based on FPGA [J]. *Telecommunication Engineering*, 2008, 48(11):87-91. (in Chinese)

作者简介:



朱智俊(1984—),男,博士研究生,主要从事光突发交换网络中汇聚、调度与路由技术及其算法方面的研究。E-mail: zhuladuona@163.com

导师简介:



乐孜纯(1965—),女,教授,博士生导师,主要从事光纤通信网络组网技术与光电子器件等方面的研究。E-mail: lzc@zjut.edu.cn

● 下期预告

采用立体视觉的子孔径拼接测量工件定位

张鹏飞, 赵 宏, 周 翔, 李进军

(西安交通大学 机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

为了实现大口径光学元件的子孔径拼接干涉测量,提出了采用立体视觉进行光学元件位姿测量的方法,建立了基于双目视觉的子孔径拼接测量系统,对该系统的数学模型、测量原理以及基于四元数法的位姿变换矩阵求取方法进行了研究。首先,介绍了圆形子孔径拼接干涉测量的原理,并基于齐次坐标变换分析了其对工件定位的要求,接着引入了立体视觉辅助测量系统,建立了其通用测量模型,利用双目视觉获取不同子孔径测量时与工件刚性连接的特征点的三维全局坐标,在完成全部子孔径测量后利用四元数法求取各子孔径相对于全局坐标系的转换矩阵,然后利用优化拼接算法将各子孔径数据统一到全局坐标系下,完成大口径光学元件的全局测量。最后利用该系统实现了对口径为 150 mm 平面和 100 mm 球面的检测。实验结果证明,在本系统中,立体视觉系统平移定位精度优于 0.1 mm,转动测量精度优于 0.01°,能够给优化拼接算法提供一个有效的初始值,该方法能够快速给出各子孔径间的相对坐标变换且不产生误差累积,方法简单实用,稳定可靠。