

一种 OBS 网络绝对区分服务实现机制

袁 巍, 刘 威, 程文青

(华中科技大学湖北省智能互联网技术重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘 要: 该文提出了一种用于 OBS 网络的绝对区分服务实现机制 PSPJET. 该机制结合使用额外偏移时间和 Burst 抢占/ Burst 主动分段丢弃技术, 既能确保保证业务的数据丢失率不高于要求的最大丢失率, 还能有效降低非保证业务的数据丢失率, 提高网络性能. 和现有的 APJET 机制相比, PSPJET 机制对高业务强度的承受能力更好, 还具有无需使用光缓存的优点.

关键词: OBS; 绝对区分服务; 额外偏移时间; Burst 抢占

中图分类号: TP393.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 01-0051-06

An Absolute DiffServ Scheme for OBS Networks

YUAN Wei, LIU Wei, CHENG Wenqing

(Hubei Provincial Key Laboratory of Smart, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: This paper presented an absolute diffserv scheme called PSPJET for OBS networks. The scheme combines the extra offset time and Burst Preemption/Burst active segment dropping. This scheme can ensure that the data loss rate of the guaranteed traffic will not exceed a maximum and the data loss rate of the non-guaranteed traffic is kept to minimum. Compared with the APJET scheme, this scheme can endure higher traffic intensity and needs no optical buffers.

Key words: optical burst switching (OBS); absolute diffserv; extra offset time; burst preemption

1 引言

光突发交换(optical burst switching, OBS)^[1]作为一种新的光交换技术, 具备了波长路由和光分组交换的优点, 具有很好的应用前景. 在 OBS 网络中, 出口地址(和服务质量参数)相同的多个 IP 分组被汇聚成一个数据突发(Burst), 并作为一个整体在网络中传输. OBS 的一个重要特点是 Burst 的数据信息(data burst, DB)和控制信息(burst header packet, BHP)分开传输. 这方便了光核心路由器对控制信息的电处理, 也为实现数据信息的端到端全光透明传输奠定了基础.

作为一种底层的数据传输平台, OBS 网络需要承载各类上层应用. 这些应用往往会有不同的服务质量要求. 因此, 在 OBS 网络中支持区分服务(differentiated services, DiffServ)是一个非常重要的研究课题. 区分服务模式通常可以分为两种: 相对区分服务和绝对区分服务^[2,3]. 对于支持相对区分服务的 OBS 网络来说, 它不会对网络中每一种优先级数据突发的服务质量作定量的保证, 而只能保证为高优先级数据突发提供高于或

者不低于低优先级数据突发的服务质量. 而支持绝对区分服务的 OBS 网络则能够为它所保证服务质量的业务(文中称为保证业务)提供一个服务质量的定量保证, 即使得保证业务的数据丢失率不会高于其设定的最大值.

对于某些数据丢失敏感的关键应用, OBS 网络需要保证其端到端数据丢失率不超过某个上限值. 研究较深入的相对区分服务实现机制^[4-12]对此无能为力, 而绝对区分服务实现机制能满足这一要求. 因此, 绝对区分服务研究^[13,14]虽起步较晚, 但正在成为一个新的研究热点. 本文提出了一种 OBS 网络绝对区分服务机制 PSPJET(Supporting Preemption and Segment PJET). 它结合使用额外偏移时间(Extra Offset Time)^[14]和 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术^[11,15], 能有效实现绝对区分服务, 并能显著降低非保证业务的数据丢失率. 此外, 它还具有无需使用光缓存的优点.

2 相关工作

OBS 网络区分服务研究主要关注网络的数据丢失性能^[13]. 在 OBS 网络中实现区分服务功能的方法主要

有两类: 使用额外偏移时间实现区分服务^[4, 14]和使用核心节点的数据信道调度机制来实现区分服务^[5~11]. 这两类方法均要求边缘节点使用分类汇聚机制. 此外, 文[12]提出了一种使用混合汇聚机制结合分段丢弃实现区分服务的新方法, 构思巧妙, 但不属于以上两类方法.

在 OBS 网络中支持绝对区分服务对于那些数据丢失敏感的关键应用十分重要, 该课题正成为 OBS 网络研究的新热点. 文[13]和文[14]是 OBS 网络绝对区分服务研究的代表作. 文[13]首次提出了在 OBS 网络中绝对区分服务的实现框架和节点最大数据丢失率 P^{MAX} 的计算方法. 文[13]提出的绝对区分服务机制结合使用了早期随机标记和动态波长分组技术, 属于使用数据信道调度机制实现区分服务的一类方法. 文[14]提出的 APJET (Absolute Prioritized Just Enough Time) 机制则主要通过使用额外偏移时间来实现区分服务. APJET 的基本思想是根据保证业务的数据丢失情况, 在核心节点上决定是否赋予保证业务额外偏移时间. 赋予额外偏移时间的方法是利用光缓存对 DB 进行延迟. APJET 的突出优点是相比 PJET^[4], 它的总数据丢失率较低.

3 PSPJET 机制的基本原理

本文提出的 PSPJET 机制结合使用了额外偏移时间和 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术, 它属于上述两类实现区分服务的结合. 额外偏移时间用于确保保证业务获取高质量转发服务, 而 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术则用于在保证业务数据丢失率满足要求的前提下提高非保证业务的转发服务质量. 本节接下来将简要介绍 OBS 网络绝对区分服务实现的基本思路和 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术, 然后详细阐述 PSPJET 机制的细节.

3.1 OBS 网络绝对区分服务概述

绝对区分服务机制能够为保证业务提供一个服务质量的定量保证, 即使得保证业务的数据丢失率不会高于其设定的最大值 (称为网络最大数据丢失率 P^{NET}). 为了支持绝对区分服务, 需要在 OBS 网络中使用接纳控制 (Admission Control) 机制^[2, 13], 如图 1 所示.

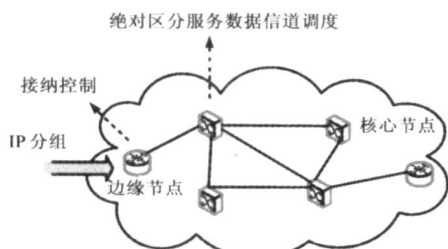


图 1 绝对区分服务 OBS 网络

在 OBS 网络中, 接纳控制可以在入口边缘节点上实现. 在网络内部, 核心节点采用具有绝对区分服务功能的数据信道调度机制, 以确保保证业务的服务质量. 一般认为, 各个节点逐跳地实施这种支持绝对区分服务的 PHB (per hop behavior), 就可以确保端到端的绝对区分服务^[13].

欲使保证业务的端到端数据丢失率不高于 P^{NET} , 可通过在路径的中间节点上确保保证业务的数据丢失率不高于某个最大值 P^{MAX} 来实现^[13]. P^{NET} 和 P^{MAX} 的关系请见公式 (1), 公式中假设路径的节点数为 H .

$$1 - P^{\text{NET}} = (1 - P^{\text{MAX}})^H \quad (1)$$

由式 (1), P^{MAX} 的值可按以下公式计算^[13]:

$$P^{\text{MAX}} = 1 - e^{\ln(1 - P^{\text{NET}})/H} \quad (2)$$

3.2 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术

在 PSPJET 机制中, 对保证业务的数据突发赋予额外偏移时间, 以降低其信道资源竞争失败的概率, 从而显著降低数据丢失率. 额外偏移时间的取值要足够大, 以使得保证业务和非保证业务之间的隔离度^[4] R 十分接近 1. 假定非保证业务数据突发的长度均值为 L . 计算表明, 在不使用光缓存时, 当额外偏移时间不低于 $5L$ 时, 隔离度不小于 0.9932, 基本满足要求. 由于篇幅限制, 有关额外偏移时间的概念和原理不再赘述, 请参见文[4, 14].

在进行数据信道调度时, 若无可用输出信道, 通常的做法是丢弃整个数据突发. 为降低数据丢失率, 可使用 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术^[11, 15]. 在 PSPJET 机制中使用 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术的动机是: 在保证业务数据丢失率不高于 P^{MAX} 的前提下, 尽量降低非保证业务的数据丢失率, 以使得总数据丢失率降低.

在 PSPJET 机制中, 非保证业务数据突发与已经分配信道资源的保证业务数据突发发生冲突时, 通常丢弃保证业务 DB 的冲突部分数据, 即非保证业务数据突发对保证业务数据突发实施抢占, 如图 2 中 (1)(2)(3) 所示.

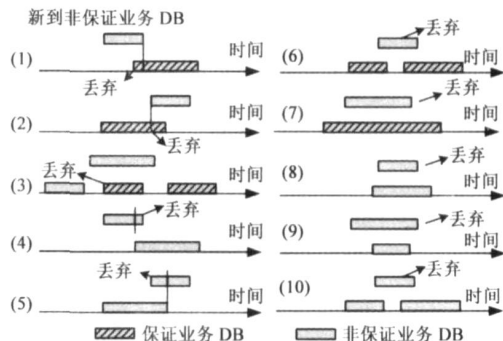


图 2 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术示意图

在 PSPJET 机制中, 非保证业务数据突发与非保证业务数据突发发生冲突时, 主动丢弃新到的非保证业务 DB 的冲突部分数据, 此即为 Burst 主动分段丢弃技术, 如图 2 中(4)(5)所示。

在 PSPJET 机制中使用以上技术有以下 4 个原则:

(1) 保证业务不使用 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术, 非保证业务则可以使用。

(2) 非保证业务数据突发可以抢占保证业务数据突发; 在没有抢占发生时, 方可使用主动分段丢弃技术。也就是说, 优先考虑使用 Burst 抢占技术。

(3) 当可以在多个信道上实施抢占时, 选择冲突部分长度最小的数据突发进行抢占; 当可以在多个信道上实施主动分段丢弃时, 选择冲突部分长度最小的方案。

(4) 如果非保证业务数据突发在同一个信道上同时和多个数据突发发生冲突, 不使用抢占或者主动分段丢弃技术, 比如图 3 中(6)(10)等情况。此外, 在如图 3 中(7)(8)(9)的情况下, 也不进行抢占或者主动分段丢弃操作。

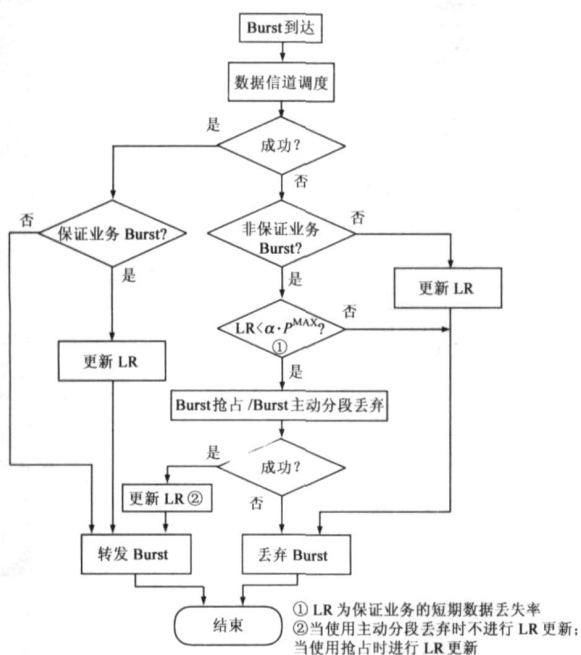


图 3 PSPJET 机制的数据信道调度算法流程

需要指出的是, 在使用 Burst 抢占技术时, 需使用控制分组通知下游节点抢占的发生, 以释放为已经丢弃的数据预留的资源^[15]。

3.3 接纳控制方法

PSPJET 机制的接纳控制方法如下:

(1) 利用 P^{NET} 计算出 P^{MAX} , 并估算保证业务在节点上可能达到的数据丢失率的上限值 P^{EMAX} 。

(2) 如果 $P^{\text{EMAX}} \leq P^{\text{MAX}}$, 接受保证业务; 否则, 拒绝

该业务。

保证业务在节点(的输出链路)上的数据丢失率上限值在不使用光缓存时取得。此时, 隔离度接近为 1 的系统可近似视为 $M/M/k/k$ 排队系统^[4], 其中 k 为输出链路上的信道数量。利用爱尔朗-B 公式可以得到:

$$P^{\text{EMAX}} = B(k, \rho) = 1/k! * \gamma^k \setminus \left(\sum_{m=0}^k 1/m! * r^m \right) \quad (3)$$

其中 $\gamma = \rho * k$, ρ 为保证业务的业务强度。

文[13]和文[14]都对接纳控制进行了讨论*, 文[14]的接纳控制方法同样可以用于 PSPJET 机制。

3.4 PSPJET 机制的数据信道调度

在 PSPJET 机制中, 核心节点为保证业务维护在输出链路上的短期数据丢失率, 并使用自适应因子 α ($0 < \alpha \leq 1$)。PSPJET 机制的数据信道调度方法如下:

(1) 当短期数据丢失率不低于 $\alpha * P^{\text{MAX}}$ 时, 对到达的非保证业务数据突发进行普通的数据信道调度。如果调度失败, 丢弃数据突发。

(2) 当短期数据丢失率低于 $\alpha * P^{\text{MAX}}$ 时, 对到达的非保证业务数据突发先进行普通的数据信道调度。如果调度失败, 再实施 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术。

(3) 对于保证业务数据突发, 总是使用普通的数据信道调度机制。

(4) 为适应业务的突发性和业务强度变化, 对 α 进行自适应调整, 即根据短期数据丢失率的变化趋势, 增大或减少 α 的值。

图 3 示出了 PSPJET 机制的流程。为简单起见, 图中没有画出自适应因子的调整过程。

短期数据丢失率表示在一定的观测窗口内在输出链路上保证业务的数据丢失率, 其计算方式和 α 调整方式描述如下:

(1) 令变量 count、recv_sum 和 drop_sum 分别表示节点的输出链路上当前观测窗口内接收的保证业务数据突发个数、比特数和丢弃的保证业务数据突发比特数, 且均赋初值为 0。

(2) 当输出链路上收到保证业务数据突发时, count 增加 1, recv_sum 增加该数据突发的长度值(比特数)。如果该数据突发被丢弃, drop_sum 增加该数据突发的长度值(比特数)。

(3) 当节点收到非保证业务数据突发, 并发生抢占时, drop_sum 增加冲突部分长度值(比特数)。

(4) 短期数据丢失率 = drop_sum / recv_sum。

(5) 当 count 达到设定的窗口大小 N 时, 若当前的

* 文[13]的接纳控制方法其公式和本文的公式一样, 但其推导过程、前提和意义不同。

短期数据丢失率超过 P^{MAX} , 则 α 减少一个微小量(比如 0.2); 若当前的短期数据丢失率远远小于 P^{MAX} , 则 α 增加一个微小量. α 调整必须使得 α 不超过 $(0, 1]$ 的范围. 调整 α 后, 令 $\text{count} = \text{recv_sum} = \text{drop_sum} = 0$. 重新开始新一轮的统计.

4 计算机仿真

文[14]提出的 APJET 机制使用额外偏移时间以实现绝对区分服务, 和本文提出的 PSPJET 机制有一定相似性. 文[14]通过仿真证明了 APJET 性能好于文[13]中的方法. 我们对 PJET 机制、PSPJET 机制和 APJET 机制进行了计算机仿真.

4.1 单跳网络仿真

仿真过程中假定:

(1) 核心节点链路有 4 个波长.

(2) 数据突发的长度和到达间隔时间均满足 $H = 0.6$ 的 Pareto 分布.

(3) 保证业务(1类)和非保证业务(0类)的业务量之比约为 7.3. 隔离度 $R > 0.996$. 忽略基本偏移时间的影响^[14].

(4) $P^{\text{MAX}} = P^{\text{NET}} = 0.05$.

为了充分体现网络业务的自相似性, 仿真中数据突发的长度和到达间隔时间均服从 Pareto 分布^[16]. 文[14]指出: 计算 P^{EMAX} 的方法在数据突发到达率服从泊松分布, 间隔时间服从指数分布时很适合; 在 Pareto 业务流的情况下, 需要考虑计算值与真实值的误差, 降低所能承受的业务强度范围. 通过计算获知: 在保证业务的业务强度 ρ_1 小于 0.5 时, P^{EMAX} 远低于 0.05, 这符合文[14]的考虑, 因此可以接受 P^{NET} 为 0.05.

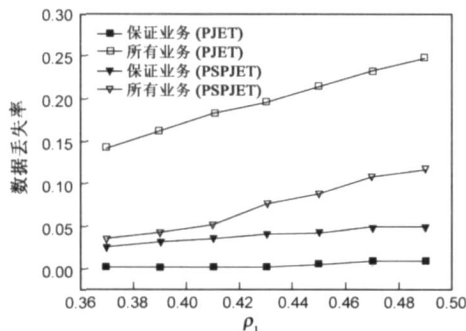


图 4 PSPJET VS. PJET

我们对 PSPJET 和 PJET 机制进行了仿真, 结果如图 4 所示, 图中横坐标是保证业务的业务强度. 从图中可以看出, PJET 和 PSPJET 都使得保证业务的丢失率不高于 P^{NET} , 但 PJET 协议的总数据丢失率远大于 PSPJET. 这是因为, PJET 协议在实现区分服务时, 不能提供对非保证业务的转发质量的保护. 而 PSPJET 由于使用了 Burst 抢占/Burst 主动分段丢弃技术, 它能在一定程度上

降低非保证业务的数据丢失率, 从而使得总数据丢失率明显降低.

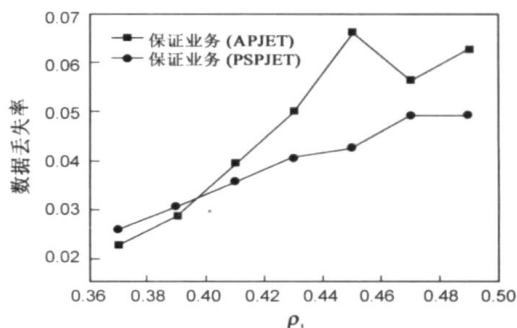


图 5 PSPJET VS. APJET(1)

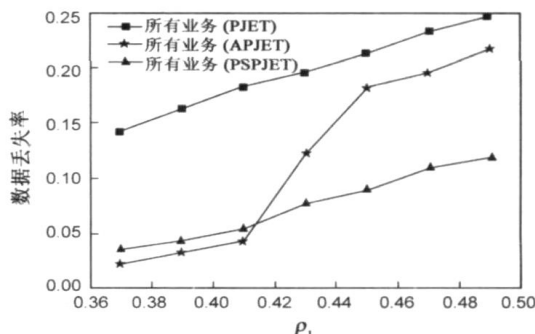


图 6 PSPJET VS. APJET(2)

图 5 和图 6 是 APJET 机制和 PSPJET 机制的仿真结果. 图 5 比较了两者的保证业务数据丢失率. 从图中可以看出, 当业务强度较大时, APJET 并不能确保保证业务数据丢失率不高于 P^{NET} , 且曲线出现上下波动. PSPJET 的数据丢失率没有出现明显的上下波动, 这表明它能更好地适应业务的突发性. 而且, 即使在强度较大时 (0.48 左右), PSPJET 依然能够确保保证业务的数据丢失率不高于 P^{NET} , 这说明 PSPJET 对高强度的承受能力更强. 由于采用了 α 调整机制, PSPJET 可以在保证业务强度较高时依然能获得需要的服务质量. 图 6 则比较了 APJET 机制和 PSPJET 机制的总数据丢失率. 为便于比较, 图中还给出了 PJET 的总数据丢失率. 可以看到, APJET 机制和 PSPJET 机制都具有总数据丢失率较低的优点. 在业务强度较低时, APJET 机制的总数据丢失率略低于 PSPJET 机制, 但业务强度较高时, PSPJET 机制的总数据丢失率更低.

4.2 多跳网络仿真

我们还在多跳网络环境中对 PSPJET 机制和 APJET 机制进行了仿真, 仿真网络拓扑如图 7 所示. 图中 E_1 、 E_2 和 E_3 均为入口边缘节点, E_4 为出口边缘节点. 仿真中, 假定 $P^{\text{NET}} = 0.05$, 计算可知 $P^{\text{MAX}} \approx 0.025$.

图 8 给出了保证业务数据丢失率的仿真结果. 从图可以看出, APJET 机制并不能很好地控制保证业务的数据丢失率不高于 P^{NET} , 而 PSPJET 则能在更大的业务强

度范围内确保保证业务的数据丢失率不高于 P^{NET} .

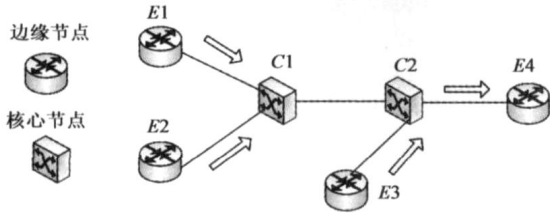


图 7 多跳仿真拓扑

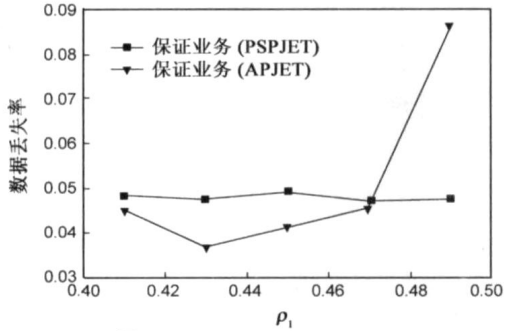


图 8 PSPJET VS. APJET(3)

图 9 给出了所有业务总数据丢失率的仿真结果。为便于比较, 图中还给出了 PJET 的仿真结果。从图中可以看出, APJET 机制和 PSPJET 机制都具有总数据丢失率低的优点。在业务强度较低时, APJET 机制的总数据丢失率比 PSPJET 机制低; 随着业务强度的增大, APJET 机制的总数据丢失率上升较快, 超过了 PSPJET 机制。而且, PSPJET 机制的总数据丢失率比 PJET 更低, 而且能较好地适应业务突发性, 并能承受较高的业务强度。

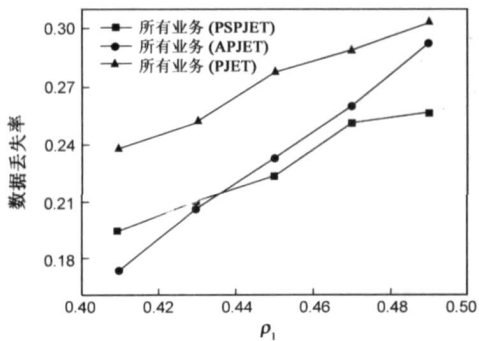


图 9 PSPJET VS. APJET (4)

5 性能比较与评价

文[14]指出 APJET 性能好于文[13]中的方法, 但 APJET 机制的缺点是:

(1) 难以真正确保保证业务的数据丢失率不超过 P^{MAX} 。这有两个原因。首先, APJET 使用数据突发的个数而不是比特数来计算保证业务的短期数据丢失率(文[14]使用了 Token Counting 算法, 其效果相当于计算短期数据丢失率), 这与真实的数据丢失率有一定误差。考虑到被丢弃的 DB 往往具有相对较大的长度, 按照

APJET 的方法计算得到的短期数据丢失率可能比真实值偏低。其次, APJET 机制在保证业务的短期数据丢失率超过 P^{MAX} 时才使用额外偏移时间, 以遏制保证业务数据丢失率的增大趋势。这种方法具有滞后性, 当业务强度较大或者突发性较强时效果并不好。

(2) 用于多跳网络环境效果并不好。APJET 机制中, 数据突发一旦被赋予额外偏移时间, 在所有的下游节点上就很难失去或者再获得额外偏移时间。而额外偏移时间是调控保证业务和非保证业务数据丢失率相互关系的唯一杠杆。已经赋予了额外偏移时间的数据突发在所有下游节点通常将继续保持额外偏移时间, 这使得 APJET 机制基本失去了这种调控杠杆。

(3) 额外偏移时间生成的成本较高。通常, 额外偏移时间的产生方法有两种: 汇聚时生成和在核心节点上使用光缓存生成。APJET 使用第二种方式, 它无法避免使用光缓存, 而且由于额外偏移时间通常较大, 它需要的光缓存比 PJET^[4]更多。

相比之下, PSPJET 机制具有以下优点:

(1) 与 APJET 类似, 相对于 PJET, PSPJET 的总数据丢失率较低。

(2) 由于使用了参数自适应调整, PSPJET 机制可以承受更高的业务强度, 对突发业务的适应能力更强。

(3) 额外偏移时间在边缘节点生成, PSPJET 机制不使用光缓存, 大大降低了网络建设成本。

6 结论

本文提出了一种在 OBS 网络中实现绝对区分服务的 PSPJET 机制。该机制结合使用额外偏移时间和 Burst 抢占/ Burst 主动分段丢弃技术, 在实现绝对区分服务的同时还能降低网络中数据丢失率。和同类机制 APJET 相比, PSPJET 机制能更好地适应业务突发性, 并能承受更高的业务强度。计算机仿真证明了它的优点。

参考文献:

- [1] Y Xiong, H C Cankaya. Control architecture in optical burst switched WDM network[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(10): 1838-1851.
- [2] C Dovrolis, P Ramanathan. A case for relative differentiated services and the proportional differentiation model[J]. IEEE Network, 1999, 13(5): 26-34.
- [3] 林闯, 单志广, 任丰原. 计算机网络的服务质量(QoS)[M]. 清华大学出版, 2004.
- [4] M Yoo, C Qiao, S Dixit. Optical burst switching for service differentiation in the next generation optical internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(2): 98-104.
- [5] C Yang, M Hamdi, D H K Tsang. Proportional QoS over OBS

- networks[A]. In Proc. IEEE GLOBECOM' 01[C]. San Antonio, USA: IEEE Computer Society Press, 2001. 3 1510– 1514.
- [6] D Q Liu, M T Liu. Differentiated services and scheduling scheme in optical burst switched WDM networks[A]. In Proc IEEE ICON' 02[C]. Singapore: IEEE Computer Society Press, 2002. 23– 27.
- [7] M Yang, S Q Zheng, D Verchere. A QoS supporting scheduling algorithm for optical burst switching DWDM networks[A]. In Proc. IEEE GLOBECOM' 01[C]. San Antonio, USA: IEEE Computer Society Press, 2001. 1. 86– 91.
- [8] 阳小龙, 张敏, 李乐民. BM-VF SBD: 一种支持 QoS 的光突发交换数据信道调度算法[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(10): 1534– 1539.
- [9] Y H Luo, S Wang. An FDL-based QoS scheduling algorithm in OBS networks[A]. In Proc. IEEE ICCAS' 05[C]. Hong Kong, China: IEEE Computer Society Press, 2005. 1. 639– 642.
- [10] A Kaheel, H Alnuweiri. A strict priority scheme for quality of service provisioning in optical burst switching networks[A]. In Proc IEEE ISCC' 03[C]. Turkey: IEEE Computer Society Press, 2003. 1. 16– 21.
- [11] H C Cankaya, S Charcranoon, T S El Bawab. A preemptive scheduling technique for OBS networks with service differentiation[A]. In Proc. IEEE GLOBECOM' 03[C]. San Francisco, USA: IEEE Computer Society Press, 2003. 5. 2704– 2708.
- [12] 张治中, 雒江涛, 曾庆济, 等. 光突发交换中支持区分业务的混合封装和改进的头部丢弃策略(英文)[J]. 光子学报, 2004, 33(10): 1200– 1203.
- [13] Q Zhang, V M Vokkarane, J P Jue, B Chen. Absolute QoS differentiation in optical burst switched networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(9): 1781– 1795.
- [14] J T Kian, L J Thng, L H Long. Absolute priority just enough time scheme for absolute quality of service in optical burst switching networks[J]. Journal of Optical networking, 2004, 3(8): 573– 588.
- [15] V A Vokkarane, J P Jue, S Sitarman. Burst segmentation: an approach for reducing packet loss in optical burst switched networks[A]. In Proc. IEEE ICC' 02[C]. New York, USA: IEEE Computer Society Press, 2002. 5. 2673– 2677.
- [16] A Ge, F Callegati, L S Tamil. On optical burst switching and self similar traffic[J]. IEEE Communications Letters, 2000, 4(3): 98– 100.

作者简介:



袁 巍 男, 1978 年 1 月出生于湖北省, 通信与信息系统专业博士, 现为华中科技大学电信系讲师. 主要研究方向为光通信网络和无线网络. E-mail: yuanwei@ hust. edu. cn

刘 威 男, 1977 年 5 月出生于湖北省, 通信与信息系统专业博士, 现为华中科技大学电信系副教授. 主要研究方向为无线网络和 RFID. E-mail: liuwei@ hust. edu. cn

程文青 女, 1964 年 9 月出生于吉林省, 通信与信息系统专业博士, 现为华中科技大学电信系教授、博导. 主要研究方向为高速通信网络、网络教育和传感器网络.