

一种多级别 OBS 中评估阻塞概率的精确模型

宁兴强^{1,2}, 李维民¹, 张丽娟¹, 王怀军¹

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军 93926 部队, 和田 848000)

摘要:提出了一种应用于多级别光突发交换(OBS)网络中评估每一种级别业务的阻塞概率的分析模型。该模型可以评估 OBS 网络中任意突发长度分布和任意偏置时间情形下的阻塞概率,也包括每一级别的平均突发长度不同的 OBS 系统。这样的 OBS 系统并不遵从守恒律,因此,不能应用已知的 OBS 模型进行分析。对一个两级别的 OBS 系统,业务负载为 10^{-3} ,高优先级与低优先级业务的比率为 1:5 时,本模型可以为每一级别精确预测阻塞概率。假定守恒条件下,已知的分析模型所给出的预测结果比仿真结果低将近 75%。

关键词:光突发交换;阻塞概率;精确模型;光网络

中图分类号: TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0052-03

光突发交换(OBS, optical burst switching)技术被认为是下一代互联网的最有希望的基础技术之一,已成为目前光网络技术中的研究热点问题^[1-2]。多级别 OBS 系统中计算每一级别的阻塞概率的分析模型有很多种。文献[3]提出一种很好的计算多级别之间的隔离度的递归模型,文献[4]中提出了一种不需要级别隔离的更普遍模型,文献[5,6]还提出了有光缓存的 OBS 系统模型。目前,所有先前提出的 OBS 模型假定保持守恒律(如 OBS 系统就是一种工作守恒)。若 OBS 系统保持守恒律,所有的阻塞率不受指派给它的级别和 QoS 偏置时间的大小的影响。然而,许多实际的业务导致了 OBS 系统并不是一个守恒系统^[4]。例如,一个有两个级别的 OBS 网络可以尽力承载低级别的业务和实时的高级别业务。由于尽力而为业务对延迟不敏感,超长的低级别突发可以减小控制头和交换代价。然而,为了严格符合所承载的实时业务的延迟需要,高级别突发就会明显变的更短。显然,低级别突发长于或短于高级别突发并不符合守恒律,目前已知的模型也无法描述。本文参考文献[2-5,7]提出了一种能够评估多级别 OBS 系统阻塞概率的模型。该模型适用于具有任意突发长度分布和偏置时间的非守恒和守恒系统。

1 突发阻塞处理模型

由于 OBS 采用预先资源预留,一个突发可以被其他的突发以很多方式阻塞。例如,当一个突发与竞争突发发生头部交迭,或是尾部,或是两者都有,如图 1 所示, T_i 是给定级别 i 控制头的到达时间, L_i 是级别 i 的突发长度, ω_i 是级别 i 的控制分组与突发之间的偏置时间(包括头长度,假设偏置时间的处理时间远小于 QoS 偏置时间,可以忽略)。于是总结出给定级别 i 的突发被级别 j 的突发阻塞的所有可能情况,即如下所有事件都发生:①级别 j 的突发控制头到达先于级别 i 的突发;②级别 j 的突发到达的开始时间先于级别 i 的突发的结束时间;③级别 j 的突发到达的结束时间晚于级别 i 的开始时间。

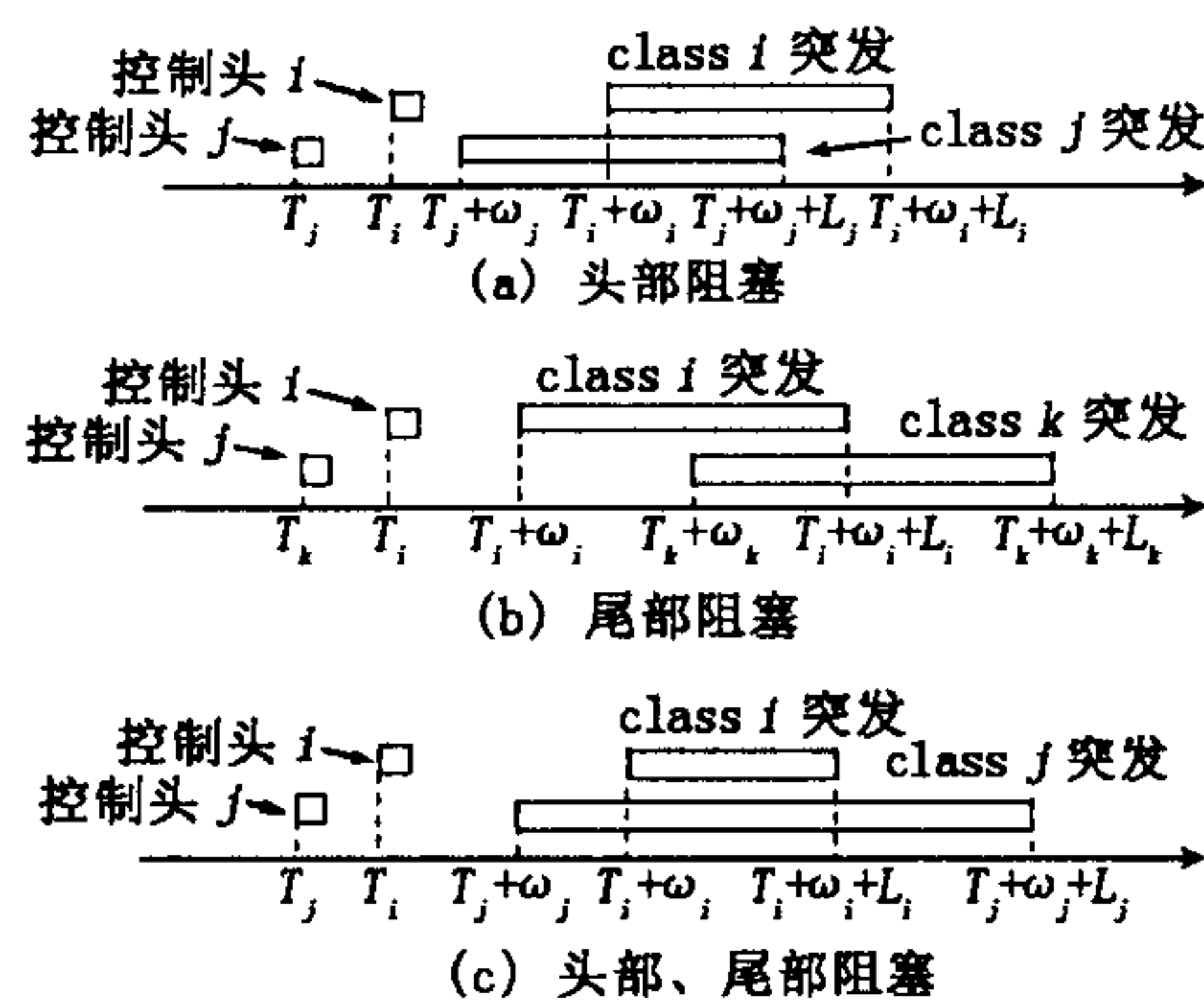


图 1 级别 i 突发阻塞几种不同类型图

若 B_{ij} 为 3 个事件的交集, 级别 i 与级别 j 之间的偏置时间差为 $\delta_{ij} = \omega_i - \omega_j$, 则有:

$$\begin{aligned} P[B_{ij}] &= P[(T_j < T_i) \cap (T_j + \omega_j < T_i + \omega_i + L_i) \cap (T_j + \omega_j + L_j > T_i + \omega_i)] = \\ &P[(T_j - T_i < 0) \cap (T_j - T_i < \delta_{ij} + L_i) \cap (T_j - T_i > \delta_{ij} - L_j)] = \\ &P[(T_j - T_i) \in (\delta_{ij} - L_j, \min(0, L_i + \delta_{ij}))] \end{aligned} \quad (1)$$

若级别 j 突发到达服从泊松分布, 由无记忆特性^[8]则有:

$$\begin{aligned} P[\overline{B_{ij}}] &= P[\tau_j > \min(0, L_i + \delta_{ij}) - (\delta_{ij} - L_j)] = \\ &\begin{cases} \int_0^{-\delta_{ij}} P[\tau_j > L_j + l_i] f_{L_i}(l_i) dl_i + P[\tau_j > L_j - \delta_{ij}] (1 - F_{L_i})(-\delta_{ij}) & \delta_{ij} < 0 \\ P[\tau_j > L_j - \delta_{ij}] & \delta_{ij} \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $\overline{B_{ij}}$ 为 B_{ij} 的补集, $f_{L_i}(l)$ 和 $F_{L_i}(l)$ 分别为级别 i 的突发长度的概率密度和分布函数, τ_j 为级别 j 的间隔时间。 $P[\tau_j > L_j + l_j]$ 和 $P[\tau_j > L_j - \delta_{ij}]$ 可通过有关概率计算公式求得。

2 多级别阻塞模型

为了不失一般性, 假设网络有 N 个不同的业务优先级级别 $(1, \dots, N)$, 且有 $\delta_{ij} > 0 (i < j)$, 级别 1 为最高优先级, 级别 2 次之, 依此类推。当控制分组到达时, 它试图预留一个带宽时隙以传送相应的突发数据。此时隙称为突发的预留窗口 (Reservation Window, RW)。如果一个或更多的突发在一个控制分组的预留窗口中交迭, 该突发就会发生阻塞。这样有:

$$P_{bi} = 1 - P[\text{级别 } i \text{ 的控制分组发现其 PW 为空}] \quad (3)$$

若控制分组发现它的预留窗口为空, 那么 RW 中没有先前到达的突发, 或者 RW 中有一个或多个达到, 由于先前到达的突发的缘故, 所有这些突发都会发生阻塞。若定义 $a_i^{(k)}$ 为突发 k (任意级别的组合) 在级别 i 的预留窗口中到达, 于是有:

$$\begin{aligned} P_{bi} &= 1 - (P[a_i^{(0)}] + \sum_{k=1}^{\infty} P[a_i^{(k)} \cap \text{所有 } k \text{ 个级别的突发发生阻塞}]) = \\ &1 - P[a_i^{(0)}] - \sum_{k=1}^{\infty} (P[k \text{ 个突发发生阻塞} / a_i^{(k)}] \cdot P[a_i^{(k)}]) \end{aligned} \quad (4)$$

由于 $P_{bi} \ll 1$, 阻塞事件几乎不相关, 于是有 $P[k \text{ 个突发发生阻塞} / a_i^{(k)}] \ll P[a_i^{(0)}]$, 由式(4)近似得:

$$P_{bi} \cong 1 - P[a_i^{(0)}] = 1 - P[\bigcap_{j=1}^{i-1} \overline{B_{ij}} \bigcap_{j=1}^N \overline{B_{ij}}] \quad (5)$$

上式中, 两个子集分别对应于高优先级业务的阻塞 ($j < i$) 和低优先级业务的阻塞 ($j \geq i$)。

从式(2)可知, 当 $i \leq j$ 或当 $\delta_{ij} \geq 0$, 所有的 $\overline{B_{ij}}$ 独立。当 $\delta_{ij} < 0$ 时, $\overline{B_{ij}}$ 依赖于 L_i , 而不要求必须独立。然而, 通过数字验证大范围的突发长度 $\overline{B_{ij}}$ 和偏置时间的独立的可能性, 可以得出这样的独立性非常小, 于是近似地认为式(5)中的第一个交集是独立的, 则有:

$$P_{bi} = 1 - \prod_{j=1}^{i-1} P[\overline{B_{ij}}] \prod_{j=1}^N P[\overline{B_{ij}}] \quad (6)$$

将式(2)代入式(6)可得:

$$\begin{aligned} P_{bi} &= 1 - \prod_{j=1}^{i-1} \left(\int_0^{-\delta_{ij}} P[\tau_j > L_j + l_i] f_{L_i}(l_i) dl_i + [1 - F_{L_i}(-\delta_{ij})] P[\tau_j > L_j - \delta_{ij}] \right) \times \\ &\prod_{j=1}^N P[\tau_j > L_j - \delta_{ij}] \end{aligned} \quad (7)$$

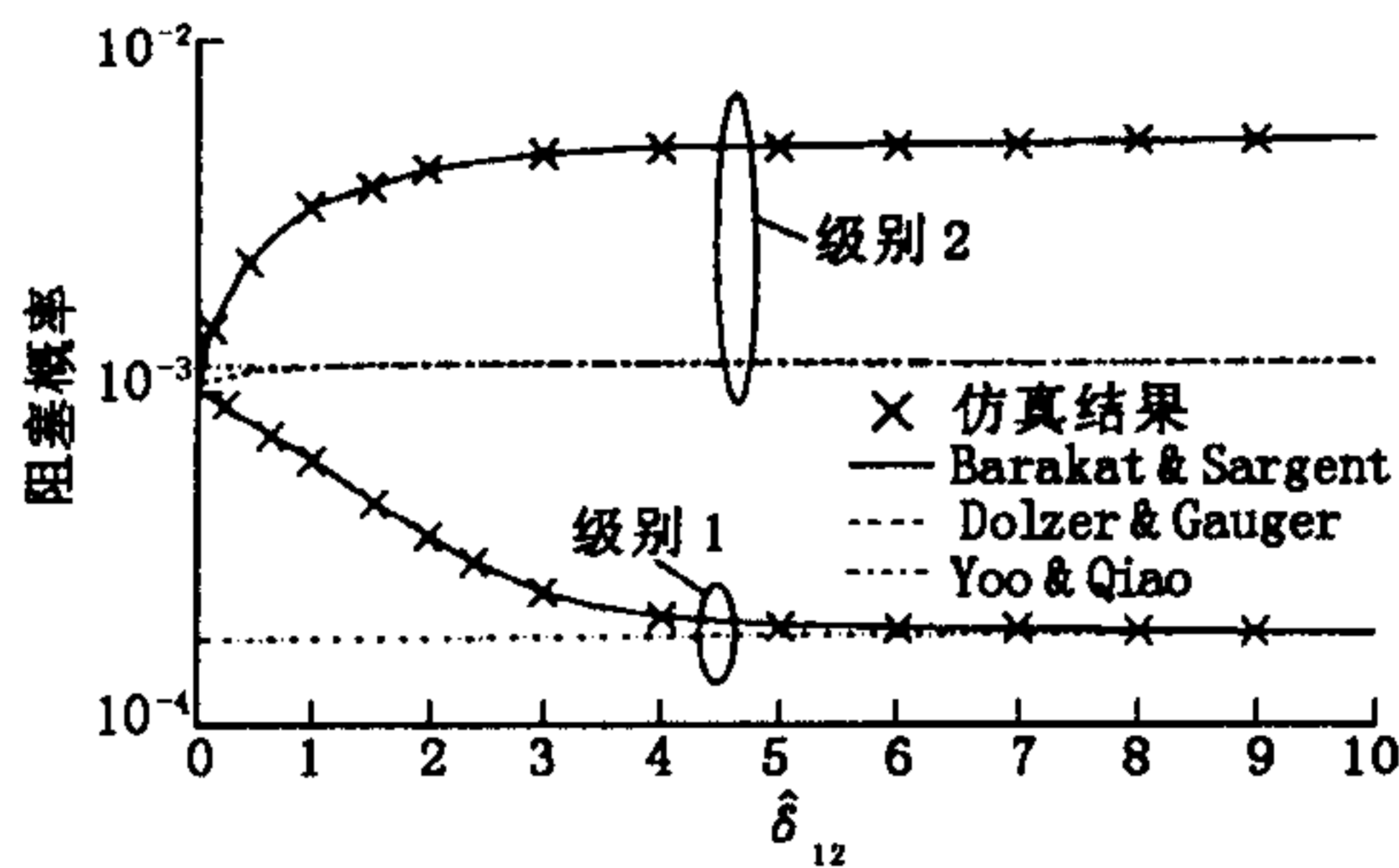
这就是 N 个级别中级别 i 的平均阻塞概率表达式, 每一级别都有任意突发长度分布和偏置时间。

3 精确模型与仿真

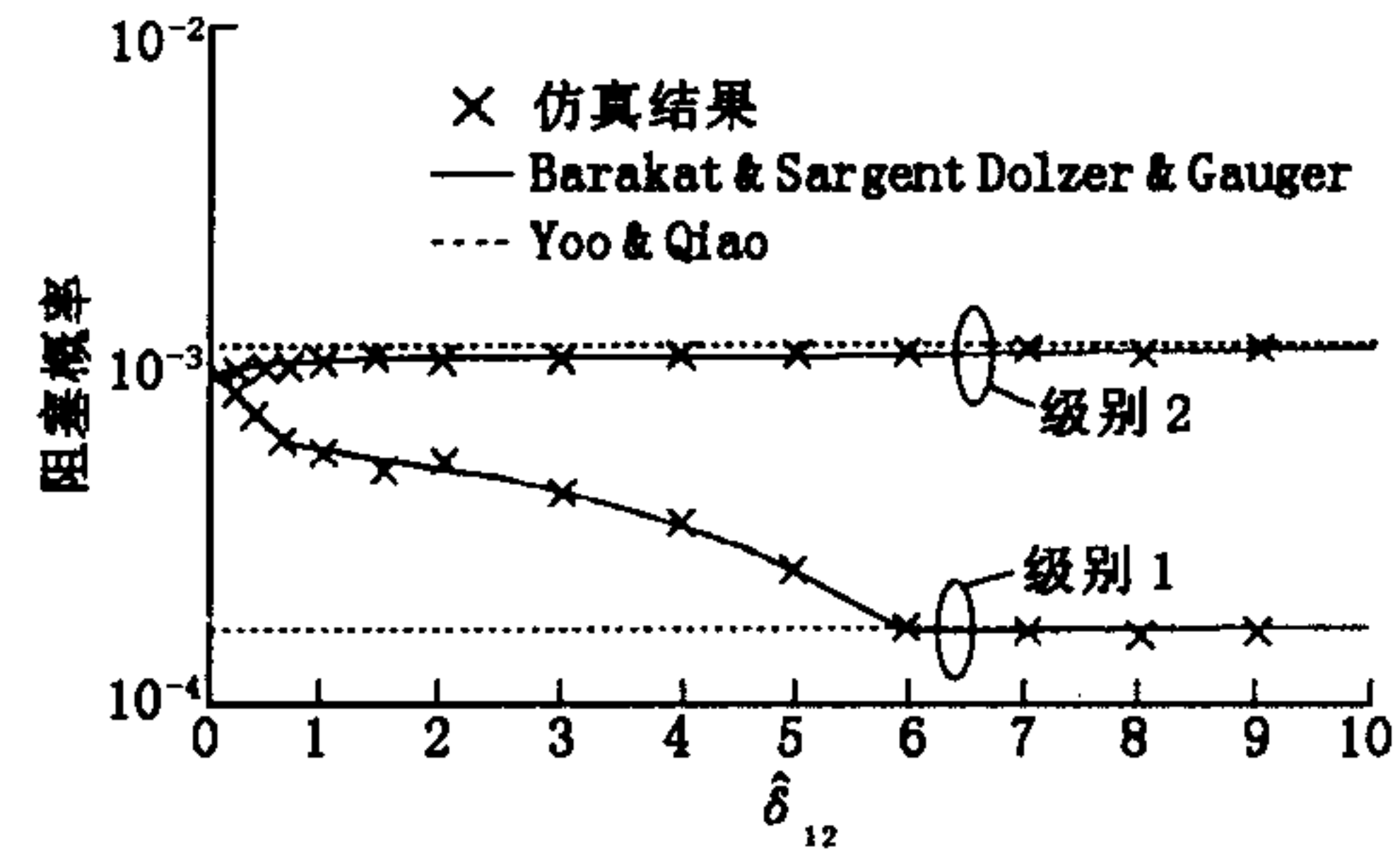
为了验证分析模型的精确性, 建立一个两个级别的 OBS 节点。仿真过程中产生 10 000 000 个突发, 突发到达服从泊松分布, 全部业务负载 (级别 1 与级别 2 的总和) 为 10^{-3} 爱尔兰, 级别 1 (高优先级) 与级别 2 的比率为 1:5。在图 2 中给出了不同突发长度分布下每个级别的阻塞概率, 级别 1 有不同的 QoS 偏置时间, 而级别

2 的 QoS 偏置时间为零。横坐标显示了规范化的 QoS 偏置时间差异, $\hat{\sigma}_{12} = \sigma_{12}/L_2$ 为级别 1 和级别 2 的偏置时间差与级别 2 的平均突发长度的比率。

模型中没有假定系统为守恒系统。为了证明模型的精确性, 仿真过程中低级别和高级别的长度是不同的。突发长度服从指数分布, 低优先级的平均突发长度是高优先级的 25 倍, 仿真结果如图 2(a) 所示。



(a) 突发长度服从指数分布图



(b) 突发长度服从一般分布图

图 2 两级别 OBS 节点的阻塞概率随 $\hat{\delta}_{12}$ 的变化图

当 $\hat{\delta}_{12}$ 为零, 两个级别都有相同的阻塞概率。随着 $\hat{\delta}_{12}$ 增大, 级别 1 与级别 2 逐渐分离, 级别 1 的阻塞概率减小而级别 2 的阻塞概率则变大。由于突发长度为指数分布, 即没有最大的突发长度, 因此并不能达到完全分离。然而, 从仿真的参数看, 两个级别的隔离度 $\hat{\delta}_{12} > 7$ 。

本文所提出的模型的曲线与相应的仿真结果特别接近两个级别的所有 $\hat{\delta}_{12}$ 变化值。正如所预见的一样, 文献[3, 4] 中的模型假定系统是守恒的, 所预测的阻塞概率比精确值小; 它预测的级别 2 的阻塞概率比仿真结果低大约 75%。由于文献[3] 中的模型假设级别 1 与级别 2 是分离的, 它计算出来的 $\hat{\delta}_{12}$ 值较小情形下的级别 1 的阻塞概率也不精确。

4 结论

本文提出了一个用于计算具有任意突发长度分布和任意偏置时间的多级别 OBS 系统的阻塞概率的分析模型。该模型适用于守恒和非守恒系统。通过仿真, 可以得出, 此模型在计算非守恒系统中每一等级的平均阻塞概率比先前提出的模型有更高的精确性, 在守恒系统中同样有很高的精确性。

参考文献:

- [1] Yoo M, Qiao C, Dixit S. Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next - generation Optical Internet [J]. IEEE Commun, 2001, 39: 98 - 104.
- [2] Vu H L, Zukerman M. Blocking Probability for Priority Classes in Optical Burst Switching Networks [J]. IEEE Commun, Lett, 2002, 6: 214 - 216.
- [3] Yoo M, Qiao C. Supporting Multiple Classes of Services in IP Over WDM Networks [A]. Proc. GLOBECOM99 [C]. 1999: 1023 - 1027.
- [4] Dolzer K, Gauger C. On Burst Assembly in Optical Burst Switching Networks - A Performance Evaluation of Just - Enough - Time [A]. Proc. 17th Int. Teletraffic Congress [C]. 2001, 149 - 160.
- [5] Qiao M Y C, Dixit S. QoS Performance of Optical Burst Switching in IP - over - WDM Networks [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2000, 18: 2062 - 2071.
- [6] 宁兴强, 李维民, 王怀军. OBS 节点的偏射路由性能分析 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(6): 45 - 48.
- [7] Barakat N, Sargent E H. An Accurate Model for Evaluating Blocking Probabilities in Multi - Class OBS Systems [J]. IEEE Commun, 2004, 8(2): 119 - 121.
- [8] 孟玉珂. 排队论基础及应用 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1989.

(编辑: 门向生)

(下转第 91 页)