

针对 WWW 业务的光缓存优化设计*

葛振斌 潘勇 张民 叶培大

(北京邮电大学光通信中心,北京 100876)

摘要 研究了异步光分组网中的输出光缓存问题,与以往不同的是在处理光分组到达时间间隔时采用 Weibull 分布,以便更有效地描述互联网中的 WWW 业务流量类型.通过建立基于 Weibull 分布的排队模型,得到了排队模型中的丢包率的解析式,并根据数值解得出了光缓存系统的丢包率、系统实际利用率、服务窗口利用率以及平均排队时间随光纤延时线单位缓存时间变化的关系曲线.研究表明:在不同的业务强度和缓存深度下选取恰当的单位缓存时间,可以优化光缓存系统的性能.

关键词 光分组网;光缓存;Weibull 分布

中图分类号 TN929.11 **文献标识码**

0 引言

近几年来,由互联网所提供的 WWW (World Wide Web) 网络信息系统正在普及并给人们的生活带来深刻的影响^[1].随着互联网的广泛应用,整个通信网中的数据业务量正在逐渐超过语音业务量^[2],因此互联网所需的巨大数据量与光传输网所提供的巨大带宽成为发展光数据网的最佳结合点^[3].目前互连网上传输的大多是 IP 数据包,而在采用波分复用技术的光传输网中交换颗粒是较大的波长,由于光分组网中交换颗粒采用可以做到任意小的光分组,因此光分组网既能高效的利用光传输网的带宽资源又能灵活地在其上面承载诸如 IP、ATM 等数据业务,所以光分组交换技术 (OPS, Optical Packet switching) 能很好的支撑光数据网络的发展.最近几年,光分组交换技术的研究受到了广泛的关注并已经取得了很大的进展^[4].

光分组冲突解决方案是实现光分组网的关键技术之一^[5].光分组冲突是由光分组网中分组传输的随机性和突发性引起的,具体是指当多个光分组同时去往某一输出端时发生的网络资源竞争现象.它给光分组网带来不利影响,比如会引起光分组的顺序变化、丢失和时延等.近年来光分组冲突解决方案的研究取得了一些进展,但不外乎从时间、波长和空间等角度加以解决.

基于时间的冲突解决方案是光分组网中最常用的方案.由于现在尚未出现光随机存储器,所以利用由光纤延时线 (FDLs, Fiber Delay Lines) 组成的光缓存系统来解决光分组网中的冲突.为了优化光缓存系统中的 FDLs 配置,已有人做了不少工作^[6,7],但

A

大多采用 Poisson 分布来描述光分组的到达过程^[8].Poisson 分布能很好地描述普通电话网中的语音流量到达过程,但在描述光分组的到达过程时并不准确.最近的研究表明在互联网中大量的业务为 WWW 业务,而 WWW 数据包的达到时间间隔为 Weibull 分布^[1,9],因此研究光分组网中 Weibull 分布下的光缓存优化问题具有一定的实际意义.本文首先建立光缓存系统的排队模型,然后得出丢包率、系统利用率、平均等待时间与 FDLs 单位缓存时间的关系,最后对光缓存系统的性能进行优化.

1 系统描述与模型建立

本文考虑多个输入端和单一输出端的光缓存系统,光分组进入缓存系统满足先进先出的排队规则,系统由 B 段 FDLs 组成,FDLs 的单位缓存时间为 D ,因此系统最大的缓存时间为 $(B - 1)D$,也称为系统缓存深度.光缓存系统如图 1 所示.

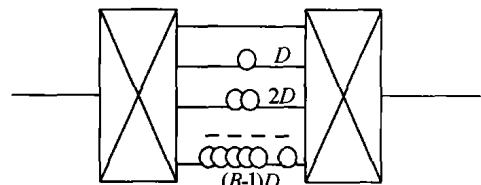


图 1 光缓存系统示意图

Fig. 1 The scheme of optical buffer system

光缓存系统的工作过程描述如下:设需要缓存的光分组队列时间为 L ,当 $L > (B - 1)D$ 时则该系统无法缓存那么大的光分组队列,因此它将被丢弃;当 $L < (B - 1)D$ 时,由于 FDLs 缓存时间只能取 D 的整数倍,所以该光分组队列被缓存的时间为 $\check{A} = [L/D]D$,其中 $[L/D]$ 表示大于或等于 L/D 的最小整数,因此光分组将会有附加时间长度为 $\delta = \check{A} - L$,相当于延长了系统服务时间,即增加了业务强度.

对于光缓存系统来说,单位缓存时间 D 的选取对排队性能至关重要,若是太大,则会使 δ 增加,这

* 北邮-中兴通讯光通信联合实验室主任基金资助
Tel: 010-62282205 Email: gejiazhuang@sohu.com
收稿日期: 2003-11-20

不利于光缓存的效率;若是 D 过小,则缓存系统很容易发生丢包的可能. 设光分组的达到过程与排队长度无关,并且到达光分组之间的长度也是独立,因此 δ 则服从 $0 \sim D$ 的均匀分布,其均值为 $D/2$.

下面分析几个排队模型的参数. 设网络中一个光分组的平均长度为 $\bar{\nu}$, 当有附加时间长度 δ 时有效光分组平均长度为 $\bar{\nu}_e$, π_q 为该光分组排队的概率, 则平均光分组长度与有效光分组长度的关系为

$$\bar{\nu}_e = (1 - \pi_q)\bar{\nu} + \pi_q(\bar{\nu} + \frac{D}{2}) = \bar{\nu} + \frac{\pi_q D}{2} \quad (1)$$

设 λ 为光分组的平均到达率, 则业务强度为 $\rho = \lambda\bar{\nu}$, 所以有效业务强度与业务强度的关系为

$$\rho_e = \lambda\bar{\nu}_e = \rho + \lambda \frac{\pi_q D}{2} \quad (2)$$

以 Weibull 分布到达过程来描述光分组到达的时间间隔, 光分组长度假设为负指数分布, 并假设当新的光分组到达时, 服务窗口正在工作但缓存系统内的光分组队列还没满, 则该光分组进入 FDLs 进行排队等候. 假设光分组的服务时间 μ_e 与其平均长度 $\bar{\nu}_e$ 成正比, 则 $\bar{\nu}_e = 1/\mu_e$, 因此每个新到的光分组在队列中等待的时间服从 Erlang 分布, 当队列中光分组长超过系统最大的缓存时间时, 将会发生光分组丢失的可能.

若新的光分组到达时发现系统中有 k 个光分组, 则 $k-1$ 个在排队, 1 个正在服务, 它们的总长满足 Erlang 分布, 超过系统最大的缓存时间的概率为^[8]

$$P_{Lk} = \int_{(B-1)D}^{\infty} \mu_e \frac{(\mu_e t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\mu_e t} dt = e^{-\mu_e(B-1)D} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{[\mu_e(B-1)D]^i}{i!} \quad (k > 0) \quad (3)$$

其中在 $k=0$ 时, $P_{Lk} = 0$

对于 Weibull 分布有^[9]

$$\Pr[T \geq t] = 1 - F(t) = \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad (\alpha, \beta > 0) \quad (4)$$

特别当 $\hat{a} = 1$ 时, Weibull 分布就变为负指数分布, 考虑 $\hat{a} = 1/2$ 的情况, 因此概率密度为

$$f(t) = \frac{\alpha}{2\sqrt{t}} e^{-\alpha t} \quad (5)$$

新的光分组到达时系统内有 k 个光分组的概率为^[10]

$$P_k = (1 - \sigma)^k \sigma \quad (6)$$

式(6)中 σ 满足 $\sigma = f_L(\mu_e - \mu_e \sigma)$, 式中 $f_L(s)$ 为 $f(t)$ 的 Laplace 变换, 则

$$f_L(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \frac{\alpha}{2\sqrt{t}} e^{-\alpha t} dt = \frac{\alpha \sqrt{\pi}}{2} \frac{1}{\sqrt{s}} e^{-\alpha^2/4s} \operatorname{erfc}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{s}}\right) \quad (7)$$

式(7)中补误差函数为 $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-z^2} dz$

所以新到光分组丢失概率 π_1 和排队的概率 π_q 分别为

$$\pi_1 = \sum_{k=0}^{\infty} P_k P_{Lk} \quad (8)$$

$$\pi_q = \sum_{k=1}^{\infty} P_k (1 - P_{Lk}) \quad (9)$$

因此联立式(1)、(2)、(8), 得到系统的方程组

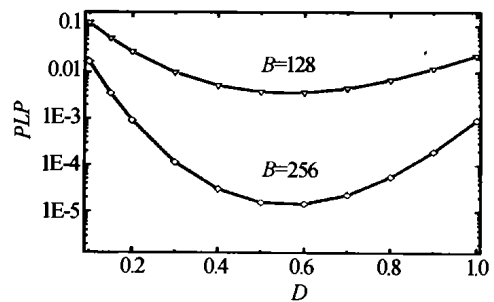
$$\begin{aligned} \rho_e &= \lambda\bar{\nu}_e \\ \bar{\nu}_e &= \bar{\nu} + \frac{\pi_q D}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\pi_q = \sum_{k=1}^{\infty} P_k (1 - P_{Lk})$$

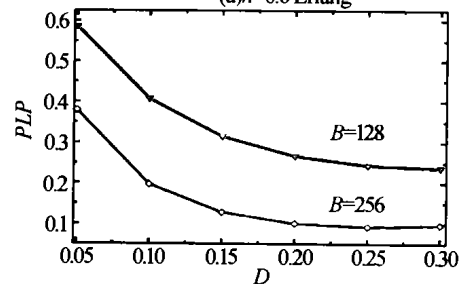
对该方程组运用迭代法进行求解. 先以第一个方程 $\rho_e = \rho$ 为初值, 然后利用第三个方程求出 π_q 值, 再利用第二个方程求出 $\bar{\nu}_e$ 值, 这样就得到新的 ρ_e 值, 再按照以上的步骤反复数次, 得到 ρ_e 收敛于一个固定的值, 因此可以求出系统各个量的值.

2 分析与讨论

下面研究光分组到达时间间隔具有 Weibull 分布的光缓存系统的排队性能. 图 2(a)、(b) 分别给出了在业务强度 $\tilde{n} = 0.6, 0.8$ Erlang 时, 最大缓存时间 $B = 128, 256$ 所对应的丢包率 (Packet Loss Possibility, 简称 PLP), 即 π_1 的值, 图中横坐标为缓存时间单元 D , 它相对于平均分组时间长度 $\bar{\nu}$ 已作了归一化处理.



(a) $\tilde{n}=0.6$ Erlang



(b) $\tilde{n}=0.8$ Erlang

图 2 Weibull 分布下不同的 \tilde{n} 和 B 系统所对应的 PLP 随 D 的变化曲线

Fig. 2 Packet loss possibility PLP as a function of D for the Weibull distribution with different \tilde{n} and B

从图2(a)可以看出, PLP 在 $B = 128, 256$ 时随着 D 的变化是先小后大, 在最佳单位缓存时间 $D_{opt} = 0.6$ 附近时存在最小的丢包率, 这与本文一开始所叙述的一致, 即 D 的选取不宜过大或过小, 因此选取最佳单位缓存时间可以优化光缓存系统的丢包率. 另外还可以看出在 $B = 256$ 时的 PLP 小于 $B = 128$ 时的值, 显然增加 B 可以降低 PLP. 在图2(b)中 $\rho = 0.8$ 厄朗, 当 D 的取值在 0 到 0.30 之间时, PLP 随着 D 的增大而减小, 但它的值比 $\bar{n} = 0.6$ Erlang 时小, 当 D 大于 0.30 时, 有效业务强度 ρ_e 接近或者大于 1 厄朗, 此时讨论系统的 PLP 则没有意义, 因此没有给出它们的变化曲线.

因为系统 PLP 的存在, 所以系统所对应的实际业务强度 \bar{n}_a 服务窗口的利用率 \bar{n}_s 与真实的业务强度 \bar{n} 是存在一定差异的, 图3则给出了在 $\bar{n} = 0.6$ Erlang, $B = 128$ 的情况下, 它们随着 D 的变化曲线.

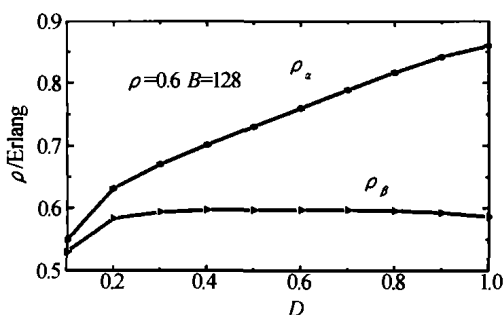


图3 实际业务强度 \bar{n}_a 与服务窗口的利用率 \bar{n}_s 随 D 值的变化曲线 ($\bar{n} = 0.6$ Erlang, $B = 128$)

Fig. 3 System throughput \bar{n}_a and the server utilization \bar{n}_s as a function of D

其中实际业务强度 $\rho_a = \rho(1 - \pi_1)$, 服务窗口的利用率 $\rho_s = \rho_c(1 - \pi_1)$. 从图3可以看出, 由于附加业务的存在, 使得服务窗口的利用率 \bar{n}_s 随着 D 的增大而增大, 并且大于 0.6. 因为缓存系统存在丢包率, 所以实际业务强度 \bar{n}_a 随着 D 的增大而小于 0.6 Erlang.

图4表示对于 Weibull 分布到达过程的光分组在 $\bar{n} = 0.6$ Erlang, $B = 128$ 的情况下平均等待时间

W 随着 D 变化的曲线, 其中 $W = \frac{\sigma}{\mu_c(1 - \sigma)}$ [10]

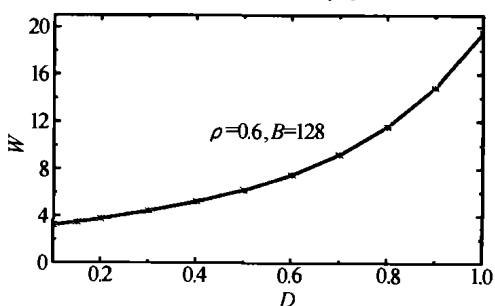


图4 平均等待时间 W 随 D 的变化曲线 ($\bar{n} = 0.6$ Erlang, $B = 128$)

Fig. 4 The average waiting time W as a function of D

从图4可以看出 W 随着 D 的增加而延长, 当 $D < 0.4$ 时, W 随 D 增加基本上是线性变化的, 但是当 $D > 0.4$ 时, W 的增大速率很大, 因此对于 W 而言, D 不宜取值过大.

3 结论

研究了光分组网中 Weibull 分布下的光缓存优化问题, 对于排队模型中的丢包率、实际业务强度、服务窗口业务强度以及平均等待时间根据其解析表达式求解, 得到它们与 D 的关系曲线. 从 PLP 随 D 变化曲线上可以看出: 在较小的业务强度情况下, 存在一个最佳单位缓存时间可以使系统的 PLP 最小; 在较大的业务强度情况下, 不能选择较大的 D 值, 否则使有效业务强度太大. 从实际业务强度、服务窗口业务强度以及平均等待时间的随 D 变化曲线可以看出: 不能选取较大的 D 值, 否则服务窗口业务强度与平均等待时间都会较大, 这时缓存系统的性能下降. 本文的结论是恰当的选择 D 值, 可以优化光缓存系统, 从而提高 WWW 业务下光分组网的性能.

参考文献

- Yeung K H, Szeto C W. On the model of WWW request arrivals. *Proceedings International Workshops on Parallel Processing*, 1999, 248 ~ 253
- Listanti M, Eramo V. Architectural and technological issues for future optical internet networks. *IEEE Comm Magazine*, 2000, 38(9): 82 ~ 92
- Colle D, Maeschalck S D, Develder C, et al. Data-centric optical networks and their survivability. *IEEE Journal on Selected Areas in Comm*, 2002, 20(1): 6 ~ 20
- Yao S, Mukherjee B. Advance in photonic packet switching: an overview. *IEEE Comm Magazine*, 2000, 38(2): 84 ~ 94
- Xu L, Perros H G, Rouskas G. Techniques for optical packet switching and optical burst switching. *IEEE Comm Magazine*, 2001, 39(1): 136 ~ 142
- 张帆, 张民, 伍剑, 等. 自相似业务下光缓存设计. *光子学报*, 2002, 31(4): 425 ~ 428
Zhang F, Zhang M, Wu J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(4): 425 ~ 428
- 张民, 张帆, 王建, 等. 有优先权的光突发交换中光缓存的性能分析. *光子学报*, 2002, 31(10): 1190 ~ 1194
Zhang M, Zhang F, Wang J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(10): 1190 ~ 1194
- Callegati F. Optical buffers for variable length packets. *IEEE Comm Letters*, 2000, 4(9): 292 ~ 294
- Deng S. Empirical model of WWW document arrivals at access link. *International Conference on Communications*,

ICC 96, IEEE, 1996, 3: 23 ~ 27

solutions. John Wiley & Sons, Inc. 1996. 25 ~ 26

10 Kleinrock L, Gail R. Queueing systems: problems and

Optimal Design of Optical Buffer for WWW Service

Ge Zhenbin, Pan Yong, Zhang Min, Ye Peida

Optical Communications Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Received date: 2003-11-20

Abstract The system performance of optical buffering is investigated based on fiber delay lines in asynchronous optical packet-switched networks. The queuing model here is different from other papers in that the interval of optical packet arrival is defined by Weibull distribution, which has been demonstrated to be a suitable traffic model for WWW service. Through numerical analysis, conclusions show that the system performance of optical buffering, such as packet loss possibility, the average waiting time, can be optimized by the proper design of the delay unit and the buffering depth for given traffic load.

Keywords Optical packet-switched networks; Optical buffer; Weibull distribution



Ge Zhenbin was born in 1977, in Pingyi, Shandong Province, China. He received his B. S. in physics from Liaocheng University in 1999 and M. S. in optics from Beijing Normal University in 2002. He is currently working as a Ph. D. candidate at Beijing University of Posts and Telecommunications. His interests are in the areas of optical switching and key technologies of optical packet-switched networks.

《光子学报》重要通知

为了加快稿件处理速度,促进期刊的电子化、网络化,本刊从 2005 年 1 月 1 日起一律采用网上及电子邮件方式投稿,作者承诺书请从网上下载,填写后通过邮局方式寄过来。

未曾给《光子学报》编辑部留过电子邮件地址的审稿专家,请尽快把你们的邮件地址发给本刊编辑部,以实行网上与电子邮件方式审稿。

本刊的主网站是: <http://www.photon.ac.cn>, 网站上有以下内容,敬请广大作者、读者、审稿专家及各方面人士留意:

《光子学报》征稿简则(2005 年 1 月 1 日版)

作者承诺书;作者投稿;作者查稿;专家审稿等内容

电话(传真): 029 - 88484246 Email: photon@opt.ac.cn

《光子学报》编辑部

2005 年 1 月 1 日