

光突发交换网络中多等级业务的非等概率输出问题的研究

侯 睿 孙军强 丁攀峰

(华中科技大学光电子工程系 武汉 430074)

摘 要 在光突发交换网络的核心路由器中,多等级业务会由于选择路由的不同而采用不同的概率选择输出端口进行输出。本文首先指出了以前基于单业务等概率输出研究的不足,然后对这种多业务非等概率输出问题进行了研究,并且给出了计算机数值模拟分析过程和结果,对于以后实际光突发交换网络的设计有一定的理论指导意义。

关键词 光突发交换网络,多等级业务,非等概率输出

Study of the Unequal Outputting Probability Issue for Multi-Classes Traffic in Optical Burst Switching Network

HOU Rui SUN Jun-Qiang DING Pan-Feng

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract In the core router for optical burst switching network, multi-classes traffic will use differential probability to choose output port for transmission due to the choosing of different routing. The disadvantages of previous works which based on single class traffic and same choosing probability are presented in this paper at first, then, an analytical model based on multi-classes traffic and unequal choosing probability is proposed and some computer numerical simulation results are given out. It has significance for the designing of real optical burst switching network in the future.

Keywords Optical burst switching network, Multi-classes traffic, Unequal outputting probability

1 引言

光突发交换 OBS(Optical Burst Switching)网络被认为是一种可以充分利用 WDM 带宽资源以及更有效地支持多业务的新颖 IP over WDM 网络^[1]。在 OBS 网络中,边缘路由器根据基于有限时间^[2]或基于门限^[3]的组合封装机制将若干 IP 数据包封装成为一个个突发包,每个突发包里可以含有不同数目的 IP 数据包,并且为每个突发包生成一个控制包,其中含有这个突发包的地址等属性。根据 JET(Just Enough Time)等资源预留协议,先在控制包与突发包之间设定一个偏置时间,控制包先于突发包进入 OBS 网络,并且在每个核心路由器中进行光电转换以便为突发包完成资源预留等任务,突发包后于控制包进入 OBS 网络,在核心路由器中全光通过,这样就很大程度地提高了数据传输速率以及很好地实现了数据传输的透明性。因此可以说,OBS 网络是下一代光网络的发展趋势。

大多数研究 OBS 系统的模型都是以分析突发包在核心路由器输出端口发生的冲突现象为主的^[4,5],这也是个热点问题。当多个突发包去竞争一个输出信道时,就会发生冲突现象。目前为止,在研究冲突问题上,排队模型被认为是一种很有效的方法,根据不同的网络配置情况,可以利用不同的排队模型,如 $M/M/n/n$ 模型^[6], $M/M/n/\infty$ 模型^[7]和 $M/M/n/m(m>n)$ 模型^[8],其中 n 代表了输出信道的数目。但是正确使用排队模型必须以突发包的到达过程服从泊松(Poisson)分布为前提,但是很多情况下,突发包的到达过程并不服从泊松过程^[4,5],这样,排队模型就不再适用。对于到达过程不服从泊松过程的情况,有学者利用了一种“激活-空闲”模型来

进行描述^[4,5,9],在这种模型里,对于一条数据传输信道而言,突发包的传输时间间隔称为“激活”状态,相邻两个突发包之间的时间间隔称为“空闲”状态。

从以前利用“激活-空闲”模型分析突发包冲突问题的研究成果来看,存在有两个局限性:第一就是只是考虑 OBS 网络中存在一种等级业务的突发包^[4,5]。事实上,在实际的 OBS 网络中,存在有不同种类和优先等级的各种业务,例如,有高优先等级的视频和语音等业务,也有相对优先级较低的电子邮件等业务。这样,IP 数据包的等级就都不一样,因而突发包也就存在有不同的优先等级。第二就是在考虑突发包输出的时候,都是假设所有突发包都以相同的概率选择输出端口进行输出,即等概率输出^[4,5,9]。但是实际上,在给出特定的目的路由器前提下,突发包在选择输出端口进行输出的时候,也会由于每个端口所通向的路径不同而选择输出端口的概率不同。如图 1 所示,图中核心路由器具有 n 个输出端口,假设在给定了某一个目的路由器 A 的前提下,输出端口 1 对应了一条最短的路径,而输出端口 n 对应了一条最长的路径,这样,通向路由器 A 的突发包在选择输出端口输出的时候,就会优先选择端口 1,而只有当短路径链路中承载的负荷很重或是出现故障的情况下,交叉连接控制单元才会将突发包转移到其它端口进行输出,这样的情况说明了:对于具有相同目的路由器 A 的突发包在选择输出端口时,会以较大的概率选择输出端口 1,而以较小的概率选择输出端口 n 。这样,前文所述的等概率输出模型就不再适用。

本文将对这种多等级业务突发包的非等概率输出问题进行分析,得出不同等级突发包的阻塞率情况。在这里需要说明的是:短路径和长路径是针对于特定的目的路由器而言,对

侯 睿 博士研究生,主要从事光网络技术等方面的研究。孙军强 教授,博士生导师,主要从事各种光通信技术方面的研究。丁攀峰 博士研究生,主要从事各种光通信技术方面的研究。

路由器 A 而言,输出端口 1 对应于短路径而输出端口 n 对应于长路径,但是很可能当选择其它目的路由器时,情况就正好相反了,因此短路径和长路径具有相对性。在以下的讨论中,我们假设只给定一个特定的目的路由器。

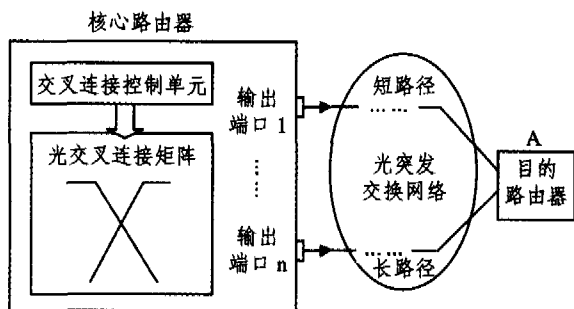


图1 核心路由器结构以及针对特定的目的路由器,不同输出端口对应不同长度路径的示意图

2 分析模型

为简便起见,在这里我们假设核心路由器具有两个输出端口,分别为 No. 1 端口和 No. 2 端口, No. 1 端口对应于短路径, No. 2 端口对应于长路径。我们同样假设在 OBS 网络中存在有两个等级的业务,分别是 Class1 业务和 Class2 业务, Class1 业务的优先级要高于 Class2 业务的优先级。我们采用“激活-空闲”来描述突发包的到达过程, Class1 突发包和 Class2 突发包的“激活”状态时间间隔服从复指数分布,均值分别为 $1/\mu_1$ 和 $1/\mu_2$, 并且设定服务率 $\mu_1 > \mu_2$, 两个等级突发包的“空闲”状态时间间隔同样服从复指数分布,均值皆为 $1/\lambda$ 。为简便起见以及不失一般性,在讨论中,假设核心路由器不配备光缓存以及全光波长转换设备,每个输出端口配备一根光纤,每根光纤中仅容纳一个波长信道。

这里,我们利用具有四个状态的马尔可夫(Markov)链来分析这样的 OBS 系统^[10]。四个状态可以表示为 $State_{ij}(i, j=0, 1)$, 其中 $i(i=0, 1)$ 和 $j(j=0, 1)$ 分别代表了在 No. 1 输出端口和 No. 2 输出端口正在输出的突发包的数目。如果用 $P_{i,j}$ 来表示这个马氏链中的稳态概率的话,那么稳态方程可以写为:

对于状态 $State_{00}$, 有

$$\lambda P_{0,0} = \mu_2 P_{0,1} + \mu_1 P_{1,0} \quad (1)$$

对于状态 $State_{01}$, 有

$$(\lambda + \mu_2) P_{0,1} = \mu_1 P_{1,1} + (1 - \varphi) \lambda P_{0,0} \quad (2)$$

对于状态 $State_{10}$, 有

$$(\lambda + \mu_1) P_{1,0} = \mu_1 P_{1,1} + \varphi \lambda P_{0,0} \quad (3)$$

对于状态 $State_{11}$, 有

$$(\mu_1 + \mu_2) P_{1,1} = \lambda P_{0,1} + \lambda P_{1,0} \quad (4)$$

其中 φ 为突发包选择 No. 1 输出端口的选择概率。利用正则性条件可得:

$$\sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 P_{i,j} = 1 \quad (5)$$

如果在某个时刻,所有的输出信道都被占用,那么新到达的突发包就将被阻塞,根据 Markov 链,总的阻塞率可以由 P_0 表示为:

$$P_0 = \frac{\rho^2}{1 + 2\rho} \frac{1 + \alpha}{\alpha} [1 + (1 + \alpha)\rho - (1 - \alpha)\varphi] P_{0,0} \quad (6)$$

其中 $\alpha = \mu_2/\mu_1$ 为 Class1 业务和 Class2 业务的服务率之比, $\rho = \lambda/\mu$ 为总的网络负荷, μ 为两个等级突发包总的服务率,可

以表示为:

$$\mu = \sum_{k=1}^2 \mu_k \quad (7)$$

考虑到在发生冲突的时候,高优先等级突发包和低优先等级突发包的阻塞率是不相同的,下面就来计算 Class1 突发包和 Class2 突发包的阻塞率。为方便起见,定义 $F(\beta, x)$ 为突发包的阻塞率公式, β 表示不同的负荷大小, x 表示了用 Markov 模型得出的阻塞率公式中的其它参数。于是,首先可以得出 Class1 突发包的阻塞率:

$$F_1 = F(\beta_1, x) \quad (8)$$

其中 $\beta_1 = \lambda/\mu_1$ 为 Class1 突发包的负荷大小。同样,可以写出 Class1 突发包和 Class2 突发包总的阻塞率为:

$$F_{1,2} = F(\rho, x) \quad (9)$$

这样,利用式(8)和式(9)就可以得出 Class2 突发包的阻塞率如式(10)所示:

$$F_2 = 2(F_{1,2} - F_1/2) \quad (10)$$

一般而言,如果 OBS 网络中存在 n 个优先等级的突发包,并且优先顺序从 Class1 到 Classn 依次降低,那么对于某一个优先等级的突发包 Classi,可以由下式计算其阻塞率^[11]:

$$F_i = (1/\lambda_i) \left(\sum_{m=1}^i \lambda_m \right) (F_{1,2,\dots,i} - \eta_{1,2,\dots,i-1} F_{1,2,\dots,i-1}) \quad (i=2, 3, \dots, n) \quad (11)$$

$$F_{1,2,\dots,i} = F(x, \sum_{m=1}^i \rho_m) \quad (12)$$

$$\eta_{1,2,\dots,i-1} = \left(\sum_{m=1}^{i-1} \lambda_m \right) / \left(\sum_{m=1}^i \lambda_m \right) \quad (13)$$

其中 $1/\lambda_i$ 是 Classi 突发包的“空闲”时间间隔的均值。

3 计算机数值模拟结果及讨论

在这部分,对多级业务突发包的非等概率输出研究模型进行了计算机数值模拟分析。这里,假设 Class1 突发包和 Class2 突发包的“激活”状态均值分别为 100 和 10。当突发包准备从输出端口进行输出时,它们以 0.8 的概率选择 No. 1 输出端口,以 0.2 的概率选择 No. 2 输出端口。

图 2 所示为在非等概率输出情况下,针对于不同的单信道负荷以及不同的 Class1 突发包和 Class2 突发包的 α 之比,突发包的总体阻塞率情况。

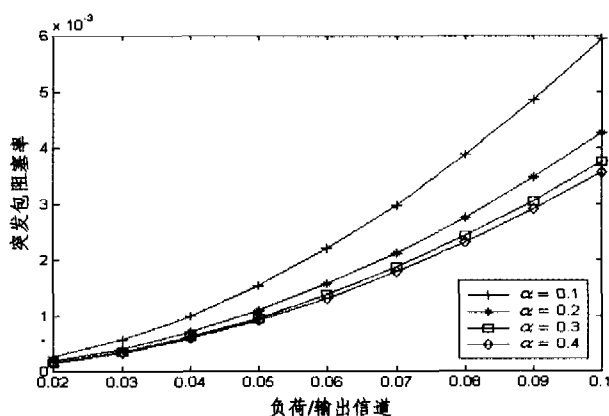


图2 在非等概率输出情况下,突发包阻塞率情况

从图中可以看到,随着单信道负荷的不断增大,突发包的阻塞率也随之增大,当单信道负荷增大 5 倍的时候,平均阻塞率就会增大约 23.7 倍。还可以看到,对应于相同的单信道负荷, α 越大,则突发包的阻塞率就越低,但是相邻 α 比率所对应的突发包阻塞率的差值会逐渐减小。如果定义 $\psi_{i,j} = (P_{i,j} - P_{i,j-1}) / (P_{i,j} + P_{i,j-1})$

$-P_j)/P_i \times 100\%$ 为 α 分别为 i 和 j 时的平均突发包阻塞率的减小率,那么, $\psi_{0.1,0.2}$, $\psi_{0.2,0.3}$ 和 $\psi_{0.3,0.4}$ 的值分别约为 29.1%, 11.9% 和 4.9%。这可以解释为,由于定义了 Class1 突发包的“激活”状态的时间间隔均值小于 Class2 突发包在“激活”状态时间间隔的均值,那么在给定单信道负荷的前提下, Class2 突发包的数量就会减小,这样,总体的突发包阻塞率就会减小。这个结论对于 OBS 网络设计工作者在考虑选择各种数量业务的比率以及控制网络负荷有一定的理论参考意义。

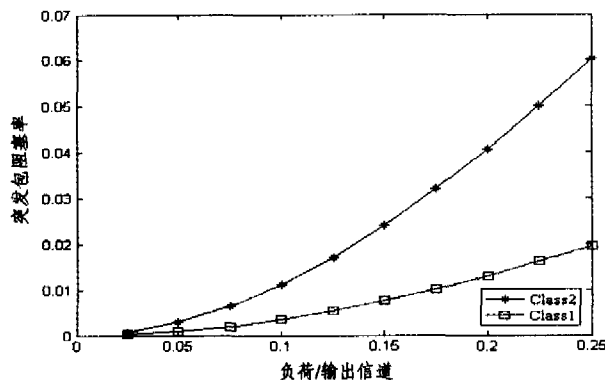


图3 在非等概率输出情况下,两个等级突发包的阻塞率情况

图3所示为给定 α 等于 0.5 的前提下,对应于不同的单信道负荷, Class1 突发包和 Class2 突发包的阻塞率情况。

从图中可以明显看到,高优先等级的 Class1 突发包比低优先等级的 Class2 突发包具有较低的阻塞率。这是由于在 JET 协议下,高优先等级的突发包比低优先等级突发包具有较长的偏置时间,这样,高优先等级突发包就有着比低优先等级突发包更多的机会预留到带宽资源。图中所示 Class1 突发包的平均阻塞率比 Class2 突发包的平均阻塞率要低大约 68.7%,这样, OBS 网络的 QoS 就可以得到很好的保证。

图4所示为在给定 $\alpha=0.5$ 的前提下,改变突发包选择从 No. 1 端口输出的概率,对应于不同的单信道负荷,突发包的阻塞率情况。

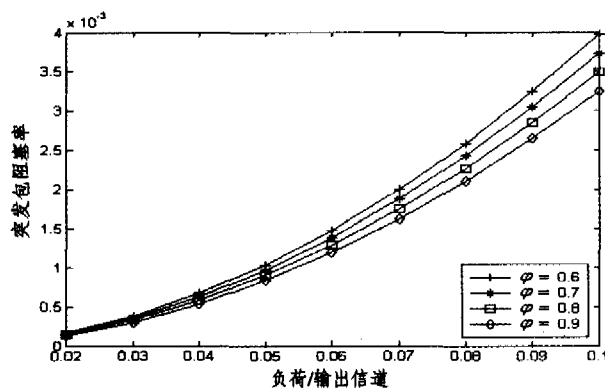


图4 对应于不同的选择输出端口概率,突发包的阻塞率情况

从图中可以明显看到,对应于不同的选择 No. 1 端口的概率,突发包的阻塞率是不相同的。在给定相同的单信道负

荷前提下,选择概率越大,突发包的阻塞率就越小。如果定义 $\gamma_{i,j} = (P_i - P_j)/P_i \times 100\%$ 为选择概率为 i 和 j 时对应的突发包的阻塞率的减小率,那么 $\gamma_{0.6,0.7}$, $\gamma_{0.7,0.8}$ 和 $\gamma_{0.8,0.9}$ 的值分别约为 6.4%, 6.9% 和 7.5%,并且 $\gamma_{0.6,0.9}$ 可以达到大约 19.4%。因此仅仅考虑突发包以相同的概率选择输出端口进行输出的观点具有一定的片面性。在实际当中,突发包选择输出端口的概率基本上是不会相同的,可以看到,选择概率每变动 0.1,突发包的阻塞率就会产生较大的不同,研究这种非等概率输出情况,对网络设计工作者设定输出选择概率奠定了一定的理论基础。

结论 本文提出了突发包在核心路由器的输出端口进行非等概率输出问题,给出了理论分析模型,并且分析了不同优先级突发包的阻塞率情况。比较以前的仅仅研究单等级业务等概率输出模型来说,更具有实际性和普遍性,这对于以后实际 OBS 网络的设计具有较强的理论指导意义。

参考文献

- 1 Qiao C. Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration. IEEE Communication Magazine, 2000, 38 (9): 104~114
- 2 Ge A, Callegati F, Tamil S L. On optical burst switching and self-similar traffic. IEEE Communication Letters, 2000, 4 (3): 98~100
- 3 Vokkarane M V, Haridoss K, Jue P J. Threshold-based burst assembly policies for QoS support in optical burst-switched networks. Proceeding SPIE Optical Networking and Communications Conference (OptiComm2002), Boston, July, 2002, 4874: 125~136
- 4 Zukerman M, Wong M W E, Rosberg Z, Lee M G, Vu L H. On teletraffic applications to OBS. IEEE Communications Letters, 2002, 8 (2): 116~118
- 5 Zukerman M, Wong M W E, Rosberg Z, Lee M G, Vu L H. Teletraffic modeling of optical burst switching. In: Proc. of the 5th Intl. Conf. on Transparent Optical Networks (ICTON 2003), Warsaw, Poland, July 2003, 1: 82~86
- 6 Dolzer K, Gauger C, Spath J, Bodamer S. Evaluation of reservation mechanisms in optical burst switching networks. International Journal of Electronics Communications, 2001, 55 (1): 1~8
- 7 Neuts M, Rosberg Z, Vu L H, White J, Zukerman M. Performance analysis of optical composite burst switching. IEEE Communications Letters, 2002, 6 (8): 346~348
- 8 Yoo M, Qiao C, Dixit S. QoS performance of optical burst switching in IP-Over-WDM network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18 (10): 2062~2071
- 9 Detti A, Eramo V, Listanti M. Performance Evaluation of A New Technique for IP Support in A WDM Optical Network; Optical Composite Burst Switching (OCBS). IEEE Journal of Lightwave Technology, 2002, 20 (2): 154~165
- 10 Kleinrock L. Queueing Systems, Theory, New York: Wiley-Interscience, 1975, 1
- 11 Vu L H, Zukerman M. Blocking probability for priority classes in optical burst switching networks. IEEE Communications Letters, 2002, 6 (5): 214~216