

## 宽带实时 VBR 业务与尽力而为业务复用系统的性能研究

黄生叶 史恒

(湖南大学计算机与通信学院 长沙 410082)

**摘要:** 该文以宽带实时 VBR 业务与尽力而为业务复用系统且对实时业务采取完全共享接纳策略为背景,以系统平均剩余容量、实时业务丢包率和尽力而为业务平均延时为主要研究对象,通过对多业务排队模型深入分析,导出了几个主要性能指标的计算公式,得出了实时 VBR 业务丢包率随呼叫级负荷增加并非单调增加的新结论。仿真验证了公式的正确性。

**关键词:** 综合业务; On/Off; 剩余容量; 丢包率; 延时

**中图分类号:** TN915

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2008)12-3009-04

## Performance Study on Multiplex System of Broad Band Real-Time VBR Service and Best Effort Service

Huang Sheng-ye Shi Heng

(College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** Based on the broad band multiplex system which provides real time VBR services with a complete sharing policy and best effort service, this paper focuses its attention on the average residual capacity, packet loss probability of real time services and average delay of best effort service. Through comprehensive analysis of the multi-service queuing, this paper educes computation formulas of the main performance indexes and arrives at a new conclusion that the packet loss probability is not a monotonic function of the call level load. Simulation results prove that the formulas are correct.

**Key words:** Integrated service; On/Off; Residual capacity; Packet loss probability; Delay

### 1 引言

宽带通信网络需要承载多种有不同带宽需求的实时业务及尽力而为业务。由于带宽的紧缺性,实时业务通常经压缩后再通过网络传输而成为可变比特率(Variable Bit Rate, VBR)业务。若将 VBR 业务与尽力而为业务混合传输在分组级复用信道,可以使系统资源得到充分利用并提高尽力而为业务的传输效率。

文献[1]基于 MMRC(Macrodiversity with Maximal Ratio Combining)蜂窝结构,提出了一种简单精确的模型来分析多小区 CDMA 综合业务系统性能,文献[2,3]研究了一类双门限预留算法,能够为语音及数据提供不同的服务保证,信道也能得到较为充分的利用。但它们的研究没有考虑分组级丢包率和延时的计算。文献[4]对多业务源排队系统的 IP 数据包排队时延进行分析得出了一些新的 QoS 定量解析式。但实时业务种类单一,不适用于综合业务系统。文献[5]对提供多速率恒定比特率和尽力而为业务的宽带综合业务系统中尽力而为业务的延时性能进行了研究。其局限性在于

未考虑各实时业务的速率可变性。

本文研究多速率实时 VBR 业务与尽力而为业务复用系统的性能。该系统中实时业务的分组优先传送,利用传输实时 VBR 业务的瞬间剩余容量来传输尽力而为业务。分析了 VBR 业务的丢包率,通过用 M/M/1 排队系统求得尽力而为业务的平均延时。对所提出方法的有效性通过仿真予以验证。

### 2 丢包率和平均剩余容量的计算

本文研究的系统满足下述条件:支持多种不同峰值速率的实时VBR业务和尽力而为数据业务。实时业务到达为 Poisson过程,呼叫持续时间的概率密度函数的Laplace变换为有理式,呼叫接纳采取完全共享策略,分组不进行缓存;尽力而为业务数据包到达过程亦为泊松过程,包长符合负指数分布,其缓存足够大。队列调度时优先转发各类实时VBR业务的分组,利用系统的瞬间剩余容量来传输尽力而为业务。

准确描述实时VBR业务信息速率的统计特征相当困难,且它会大大增加排队分析的复杂性<sup>[6]</sup>。On/Off模型体现了VBR业务的基本特征又能使其分析不至太复杂<sup>[7]</sup>,因此本文采用此种模型作为实时VBR业务模型。为了使不同VBR流复用系统容量,可以让能接纳的各在线连接信息速率峰值之和

2007-06-04 收到, 2007-12-19 改回

湖南省自然科学基金(06JJ20030: 宽带无线通信网中呼叫接纳控制的多目标优化策略研究)资助课题

超过实际系统容量, 这个峰值之和容许门限看成系统虚容量<sup>[7]</sup>。当接纳的连接处于On状态即有信元发送时才占用物理信道, 因此虚容量可大于物理信道容量。若虚容量等于物理容量, 则接纳的呼叫不会丢失分组。后文中虚、实容量均用信道数表示。

设系统共有  $k$  类实时VBR业务, 其到达为彼此独立的Poisson过程, 虚信道数为  $N$ , 物理信道数  $C$  ( $C \leq N$ ), 在线连接数向量为  $\mathbf{n} = (n_1, \dots, n_k)$ , 在线连接数的概率分布  $P(\mathbf{n})$ , 处于On态的连接数向量  $\mathbf{n}' = (n'_1, \dots, n'_k)$ , 不同类单个业务处于On状态时以峰值速率产生信元需占用的信道数构成向量  $\mathbf{b} = (b_1, \dots, b_k)$ 。第  $i$  ( $1 \leq i \leq k$ ) 类业务连接处于On状态的概率为  $P_{on_i}$ , 连接请求的到达速率记为  $\lambda_i$ , 服务速率记为  $\mu_i$ , 负荷记为  $a_i$ 。

完全共享策略下在线连接数概率分布  $P(\mathbf{n})$  符合乘积分布, 其计算公式<sup>[8]</sup>为

$$P(\mathbf{n}) = \prod_{i=1}^k \frac{a_i^{n_i}}{n_i!} / G(\boldsymbol{\Omega}), \quad \mathbf{n} \in \boldsymbol{\Omega} \quad (1)$$

其中  $G(\boldsymbol{\Omega}) = \sum_{\mathbf{n} \in \boldsymbol{\Omega}} \left( \prod_{i=1}^k \frac{a_i^{n_i}}{n_i!} \right)$ ,  $a_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ ,  $\boldsymbol{\Omega} = \{\mathbf{n} : 0 \leq \mathbf{n} \cdot \mathbf{b}$

$\leq N, b_i \leq b_{i+1}, i = 1, \dots, k-1\}$ 。该公式适用前提是: 资源完全共享, 顾客到达为Poisson过程, 服务时间分布的Laplace变换为有理函数, 一个服务装置一次只能为一个顾客服务, 为同一顾客服务的所有服务装置同时开始并同时结束服务。

每类VBR业务的连接处于On状态的概率  $P_{on_i}$  可以通过对VBR信号源的发包情况进行统计得到。由于信源的独立性, 同类业务的  $n_i$  个在线连接的信源中有  $n'_i$  个处于On状态的概率应服从Bernoulli分布, 因此系统平均剩余容量  $C_0$  及实时VBR业务的丢包率  $P_{loss}$  可写成:

$$C_0 = \sum_{\mathbf{n} \in \boldsymbol{\Omega}} \left\{ P(\mathbf{n}) \left[ \sum_{\mathbf{n}' \cdot \mathbf{b} < C} \left( \prod_{i=1}^k C_{n'_i}^{n'_i} P_{on_i}^{n'_i} (1 - P_{on_i})^{n_i - n'_i} (C - \mathbf{n}' \cdot \mathbf{b}) \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$P_{loss} = \frac{\sum_{\mathbf{n} \cdot \mathbf{b} \geq C} \left\{ P(\mathbf{n}) \left[ \sum_{\mathbf{n}' \cdot \mathbf{b} \geq C} \left( \prod_{i=1}^k C_{n'_i}^{n'_i} P_{on_i}^{n'_i} (1 - P_{on_i})^{n_i - n'_i} (\mathbf{n}' \cdot \mathbf{b} - C) \right) \right] \right\}}{\sum_{\mathbf{n} \in \boldsymbol{\Omega}} \left\{ P(\mathbf{n}) \left( \sum_{i=1}^k n_i b_i P_{on_i} \right) \right\}} \quad (3)$$

将式(1)代入式(2), 式(3)即得到平均剩余容量及丢包率的计算公式。

### 3 平均延时的计算

对于一个服务速率固定, 队列缓存容量无限大, 数据包的长度服从负指数分布的排队系统, 可以把它当成一个服务能力为信道数乘以单信道处理能力的单服务装置系统, 用M/M/1模型对其性能进行研究。多速率实时业务背景下的尽力而为业务的可用容量是随机可变的, 但只要该随机容量对

包长呈指数分布的大量包的服务时间仍呈指数分布, 则可将此系统看作M/M/1系统<sup>[9]</sup>, 其服务装置数为一, 服务能力为  $C_0$ , 队列容量无限大。

设尽力而为业务的包到达服从参数为  $\lambda$  的Poisson分布, 服务时间服从参数为  $\mu$  (平均服务速率) 的负指数分布, 数据包的平均长度为  $L$ 。目前一些网络仿真工具对IP数据包的平均长度设为1kbyte<sup>[10]</sup>, 信道的实际处理能力为一个信道每秒处理64kbit即8kbyte。若将每个信道一秒处理的数据量设为1个单位, 那么数据包的平均长度  $L$  为0.125, 于是有

$$\mu = C_0/L = C_0/0.125 \quad (4)$$

为了保证系统能够达到稳态,  $\lambda$  需满足  $\lambda < C_0/L$ 。

由M/M/1排队模型可知, 数据包的平均服务时间:

$$t_1 = 1/\mu \quad (5)$$

数据包的平均等待时间:

$$t_2 = \lambda/[\mu(\mu - \lambda)] \quad (6)$$

数据包的平均时延:

$$t = t_1 + t_2 = 1/(\mu - \lambda) \quad (7)$$

将式(4)代入式(7), 得到:

$$t = L/(C_0 - \lambda L) = 1/(8C_0 - \lambda) \quad (8)$$

### 4 模拟仿真

仿真系统设有3类业务, 第1类, 第2类为实时VBR业务, 第3类是尽力而为业务。当两类实时业务请求连接时系统检查是否有足够的剩余虚信道, 如果有则占用并建立连接, 否则拒绝建立连接且对系统没有影响(即阻塞即清除)。已建立连接的两类业务信源为On态的连接数分别服从参数为  $P_{on_1}$ ,  $P_{on_2}$  的Bernoulli分布且互相独立。任一时刻, 实时业务数据包按需占用物理信道并可抢占前一时段分配给尽力而为业务使用的信道, 后者未处理的部分将在缓存队列等待直至有空闲信道可以传输。若各实时业务瞬时信息速率之和超过物理容量则按相同比例丢弃分组。对于尽力而为业务, 尽量利用全部空闲物理信道传输数据包, 每个包经过符合指数分布的随机服务时间后离开。队列调度采用FIFO策略。

排队系统采用固定时间步长的仿真方法。为了使结果比较准确, 时间步长应取得足够小以保证在一个时间步(时隙)内到达的顾客数远小于1, 这里将一单位时间(一秒)划分为1000个时隙。采用离散时间模型, 顾客到达和离去事件都发生在某单位时隙开始时刻。

设两类实时业务的平均服务时间为30s, 第3类数据业务平均服务时间0.125s, 到达率25/s。取  $N = 200$ ,  $a_1 = 150$ ,  $a_2 = 50$ ,  $b_1 = 1$ ,  $b_2 = 3$ ,  $P_{on_1} = 0.35$ ,  $P_{on_2} = 0.43$ ,  $C$  分别取 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 仿真多次并取平均值后, 用Matlab绘图来分别展示平均剩余容量、平均延时、丢包率的理论值与仿真值的比较, 如图1、图2、图3所示。

从图1-图3可见, 仿真曲线与理论曲线都基本吻合。为了直接展示其相对误差, 选取每个图中前6对点的数据进行

表1 理论值与仿真值的相对误差(%)

$C$	80	85	90	95	100	105
$ C_0 - C'_0 /C_0$	4.69568	3.36080	4.07658	4.20414	3.15509	4.81544
$ P_{\text{loss}} - P'_{\text{loss}} /P_{\text{loss}}$	3.01322	3.22061	1.13334	2.30029	3.78005	4.63075
$ t - t' /t$	5.95120	3.51692	4.52487	5.40670	4.67111	5.24815

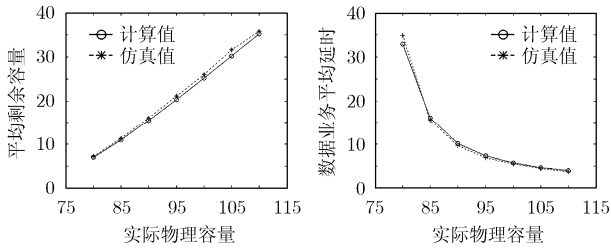


图1 平均剩余容量与物理容量的关系

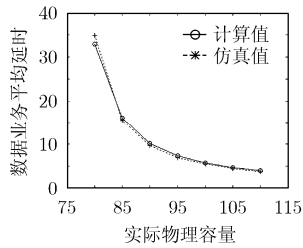


图2 平均延时与物理容量的关系

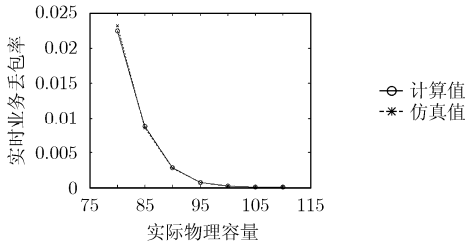


图3 丢包率与物理容量的关系

计算, 结果如表1所示。

考虑到伪随机序列导致的仿真误差, 可以认为计算公式是正确的。

从图3可知, 实时业务的丢包率随物理容量的增加而单调下降。为了研究丢包率与负荷的关系, 同样设  $N = 200$ ,  $C = 100$ ,  $b_1 = 1$ ,  $b_2 = 3$ ,  $P_{\text{on}_1} = 0.35$ ,  $P_{\text{on}_2} = 0.43$ , 将  $a_1$  取 100,  $a_2$  取 30, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 时的丢包率以及  $a_2$  取 50,  $a_1$  取 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 150, 180, 200 时的丢包率分别按式(3)进行了计算并仿真, 结果如图4、图5所示:

可以看出, 在所计算的负荷范围内, 随着占用带宽大的第2类业务负荷增大, 丢包率也单调增加; 当占用带宽小的第1类业务负荷增大, 丢包率先增后减, 变化非单调。出现

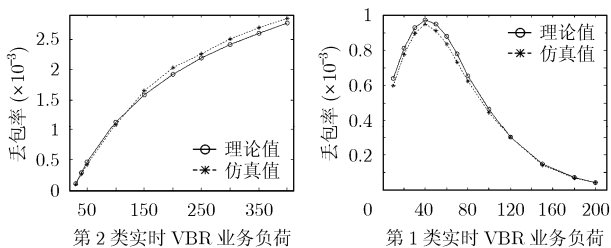


图4 丢包率与第2类实时业务负荷的关系

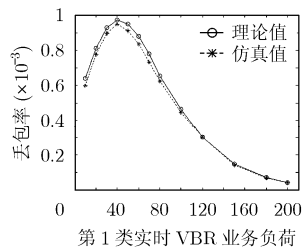


图5 丢包率与第1类实时业务负荷的关系

这种现象的原因是: 占用带宽大的业务在线连接数对系统的影响比较大, 被接纳的每个该类连接处于On态时多个信道将同时被占, 这类负荷越大, 其在系统中在线连接数就越大, 同时性的发包也越多, 丢包也多。而占用带宽小的第1类业务负荷增加时, 若系统总负荷不是很重, 该类负荷的增加导致其在线连接数增加而几乎不影响第2类业务, 因而丢包率增加; 当负荷增大到某值后, 受接纳控制的影响, 增加第1类负荷将导致第2类业务在线连接数明显减小, 占用带宽小的业务在线连接数占压倒性多数, 占用带宽大的业务对系统的影响变小, 而占用带宽小的业务各连接各自独立地发包, 多数连接同时发包的概率很小, 因此丢包率随该类负荷增加反而下降。这种非单调性使得实时VBR业务的呼叫接纳控制问题变得更为复杂。

### 5 结束语

本文通过对实时VBR业务混合尽力而为业务的综合业务系统进行研究, 给出了资源完全共享策略下系统平均剩余容量、实时业务丢包率和尽力而为业务平均延时的计算公式, 通过系统仿真验证了其正确性。分析了系统负荷的变化对丢包率的影响, 得出了丢包率并非随负荷增加而单调增加的新结论。这对研究、改善宽带综合业务系统性能具有一定的参考作用。进一步的研究将考虑实时VBR业务信息速率变化的精确统计特性对系统性能的影响。

### 参考文献

- [1] Kim Y and Stuber L. Performance analysis of macrodiversity voice/data CDMA systems [J]. *IEEE Trans. on Commun.*, 2006, 5(8): 2111-2118.
- [2] Li Y, Li B, and Zhang Z S, *et al.* Performance analysis of a dual-threshold reservation (DTR) scheme for voice/data integrated mobile wireless networks [A]. 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2000) [C], Chicago, Illinois, USA, Sept. 2003, Vol.1: 258-262.
- [3] Wu Hailiang, Li Lizhong, and Li Bin, *et al.* On handoff performance for an integrated voice/data cellular system [A]. The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC'2002) [C], Lisbon, Portugal, Sept. 2002, Vol.5: 2180-2184.
- [4] 刘晏兵, 孙世新, 唐红. 基于IP突发信源模型数据包的定量计算研究[J]. *电子学报*, 2003, 31(12A): 2187-2189.

- Liu Yan-bing, Sun Shi-xin, and Tang Hong. Based on the IP packet generation characteristics for single source under and on/ off source model [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2003, 31(12A): 2187-2189.
- [5] 张鹏飞, 黄生叶, 赵海琳. 宽带综合业务网络中尽力而为业务性能研究[J]. *计算机工程*, 2007, 33(9): 126-127.
- Zhang Peng-fei, Huang Sheng-ye, and Zhao Hai-lin. Study on queuing system performance of best effort service in broad band integrated service network [J]. *Computer Engineering*, 2007, 33(9): 126-127.
- [6] Tseng Y H, Wu E H, and Chen G H. Scene-change aware dynamic bandwidth allocation for real-time VBR video transmission over IEEE 802.15.3 wireless home networks. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2007, 9(3): 642-654.
- [7] Lei Huang and Kuo C C J. Joint connection-level and packet-level quality-of-service support for VBR traffic in wireless multimedia networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, 23(6): 1167-1177.
- [8] Kaufman J S. Blocking in a shared resource environment [J]. *IEEE Trans. on Commun.*, 1981, 29(10): 1474-1481.
- [9] 李建东. 信息网络理论基础[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2001年6月: 57-62.
- Li Jian-dong. Basic Theory of Information Networks [M]. Xi'an: Xidian University Press, June 2001: 57-62.
- [10] 黄生叶, 叶梧, 冯穗力. 基于准独立近似的巨型资源共享系统呼叫阻塞概率的快速算法[J]. *通信学报*, 2002, 23(11): 122-128.
- Huang Sheng-ye, Ye Wu, and Feng Sui-li. A fast algorithm based on quasi-independent approximation for calculating the call blocking probabilities in a huge shared resource system [J]. *Journal of China Institute of Communications*, 2002, 23(11): 122-128.
- 黄生叶: 男, 1966年生, 博士, 副教授, 主要研究方向为网络流量优化控制.
- 史恒: 女, 1983年生, 硕士生, 研究方向为无线通信与网络技术.