

# 带缓冲器的巴黎地铁定价策略

陈波<sup>1</sup>, 周亚平<sup>1</sup>, 陈继光<sup>1</sup>, 奚宏生<sup>2</sup>

(1. 中国科技大学 商学院; 2. 中国科技大学 自动化系, 安徽 合肥 230026)

**摘要** 本文在巴黎地铁定价(PMP(Paris Metro Pricing))的基础上研究了一种带有缓冲器的巴黎地铁定价策略。同样将网络分成几个逻辑上独立的不同部分,每一个部分制定不同的价格,各部分仅在价格上有区别。但是额外增加一个适合“中性消费者”需求的缓冲器,使得“中性消费者”可以先向缓冲器提交服务请求,而后由ISP网络提供商根据各部分的实际负载状况将其分配到合适的服务节点。最后通过仿真说明与巴黎地铁相比,带有缓冲器的巴黎地铁定价策略在网络拥塞控制与网络资源分配等方面有更高的效率。

**关键词** 网络定价;带有缓冲器的巴黎地铁定价策略;仿真;网络拥塞

中图分类号:F224.33 文章标识码:A 文章编号:1007-3221(2005)01-0086-04

## Paris Metro Pricing Scheme with Virtual Buffer

CHEN Bo<sup>1</sup>, ZHOU Ya-ping<sup>1</sup>, CHEN Ji-guang<sup>1</sup>, XI Hong-sheng<sup>2</sup>

(1. Business School of USTC; 2. Department of Automation of USTC, Hefei 230026, China)

**Abstract** Based on Paris Metro Pricing(PMP), this paper studies Paris Metro Pricing Scheme with buffer(PMPB). In the same way, the Internet is partitioned into several logically separate channels, each of which sets a different price and only differs in the prices paid for using them. A buffer which fits the demands of neutral-users is added, so a neutral-user can submit his request to the buffer first, and then ISP allocates the service request to the suitable service node. Compared with PMP scheme through simulation, PMPB is more effective in terms of congestion control and resource allocation.

**Key words** internet pricing; Paris Metro pricing with buffer; simulation; internet congestion

## 0 引言

随着互联网的日益普及、用户的急剧增加、业务类新型的不但拓宽及业务量的迅速增长,网络拥塞问题日益突出。信息技术的发展与网络控制技术的进步固然可以缓解这一问题,但是随着网络需求的急剧增长,单纯依靠技术手段已经越来越显得力不从心,这一点已被广大的经济学家、学者及网络工程师所认可,因为他们相信,与那些传统的技术方案相比,价格能够更直接地影响消费者的消费行为,从而能够成为一种有效的、切实可行的网络拥塞控制机制。

作为一个新兴的研究方向,近年来研究网络拥塞问题的学者与网络工程师提出了许多关于网络定价

收稿日期:2004-06-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60274012);安徽省自然科学基金资助项目(01042308)

作者简介:陈波(1980-),男,河南信阳人,博士研究生,从事决策分析与经济对策方面的研究;周亚平(1963-),男,江苏常州人,工学博士,副教授,从事排队网络性能指标灵敏度仿真估计及优化、决策分析与经济对策方面的研究;陈继光(1983-),男,安徽桐城人,硕士研究生,从事决策分析与经济对策方面的研究;奚宏生(1950-),男,上海市人,教授,博士生导师,自动化系常务副主任,长期从事鲁棒控制,离散事件动态系统及其控制等方面的研究。

的策略。Odlyzko<sup>[1]</sup>提出了单一计价(Flat-rate)的方法,ISP制定一个统一的费率(按时、按月),费用与消费者的使用量无关。这种定价策略方法简便,不需要太多的消费者的消费信息的优点,因而为目前大多数的ISP所采用<sup>[2]</sup>。但是这种方法由于不限制消费者的使用(如按月计费的方式,消费者只需要每月交纳固定的费用,就可以任意的使用ISP提供的网络资源),从而造成了网络资源的大量浪费。Odlyzko受80年代巴黎地铁定价方法的启发,在文[3]中提出了巴黎地铁定价(PMP)。Mackie et al.<sup>[4]</sup>提出了一种两项费用的定价策略,一项是消费者所需交纳的连接费,比如说每月;另一项是与消费者的使用量有关的使用费用。并且得出在这种定价策略下,均衡价格与均衡容量将最大化社会总福利。Cao et al.<sup>[5,6]</sup>与Richard<sup>[7]</sup>利用博弈论的知识分析了几种不同的定价策略,Cao从社会福利的角度得出合作博弈可以比[2]中的PMP得到更优的结果。Jorn et al.<sup>[8]</sup>还提出了优先权定价(Priority Pricing),将网络服务分成不同的优先级别,给不同级别的服务制定不同的价格,消费者可以根据自己的需要选择不同的服务。更多关于网络定价的策略可参考Falkner et al.<sup>[9]</sup>。

本文的结构如下:第一部分介绍PMP;第二部分介绍带有缓冲器的巴黎地铁定价策略;第三部分通过仿真来比较PMPB与PMP在网络拥塞控制与资源分配方面的差别。第四部分是对本文所提出的定价策略的讨论与展望。

## 1 巴黎地铁定价(PMP)

20年前巴黎地铁系统采用了一种十分简单的定价策略:首先将在质量与数量上完全相同的座位分成两类,第一类座位与第二类座位之间唯一的区别是第一类座位的票价是第二类座位票价的两倍。由于只有那些想有座位的乘客才会选择第一类座位,这样结果是第一类座位的负载就相对于第二类座位的负载就小一些。这种定价方法的一个很好的优点就是其具有自调节功能:当第一类座位的顾客较多时,则会有一部分顾客会选择第二类座位,因为他们得不到预期的服务质量。

PMP正是受到这种定价方法的启发所提出的,将一个网络分成几个逻辑上分离的通道,每一部分制定不同的价格。按照类似TCF(Transfer Control Protocol)与UDR(User Datagram Protocol)的协议传送数据包,每个通道平等地看待本通道内的每一个数据包,按照“尽力而为”(Best-effort)的原则传送。不同通道之间的唯一区别是通道之间的价格不同,由用户自己选择传送数据的通道,支付相应的费用。这样具有较高价格的通道流量就会较低,从而我们能够预期该部分能提供较高质量的服务,但该方法没有考虑实际需求问题,因而这种方法并不能保证各个部分的QoS。这样当某一部分的资源过载,而另一部分资源有大量闲置时,网络并不能将向资源过载提交服务的消费者转向另一部分。

许多网络工程师与研究者就提高网络的服务质量问题提出了许多种方案<sup>[4,10]</sup>等,虽然他们能够提供区分服务,但实施过于复杂,很难在实际中得到应用。而PMP则既可以满足用区分服务来提高网络的QoS,又不会使网络过于复杂,因而在研究中具有很重要的现实的意义。

## 2 PMPB、模型

在给出PMPB定价策略以前,我们首先做出如下的假设:

(1)消费者到达的时间间隔是相互独立的、服从负指数的分布,由大数定理可以保证这一点。即使其中有一部分到达后又转移出去,我们仍然可以用Poisson分布去近似逼近排队时间的分布<sup>[11]</sup>。

(2)假设信息包(packets)的大小是一随机变量,服从负指数分布,由于服务时间是与信息包的大小直接相关的,因而服务时间的分布也是一负指数分布。

基于对消费者类型的分析,我们将消费者分成以下四种类型:

(I)Price-sensitive 这种类型的消费者特别关注资源的价格,而不太关心所得到的服务质量,如Mail等。

(II)Quality-sensitive 这种类型的消费者特别关心所得到的服务质量,而不太关心资源的价格,因为其要求的服

( III )Price-neutral 这种类型的消费者关注资源的价格,但也关心所得到的服务质量,如 Downloading 等。

( IV )Quality-neutral 这种类型的消费者关注所得到的服务质量,但也关心资源的价格,如 Vedio 等。

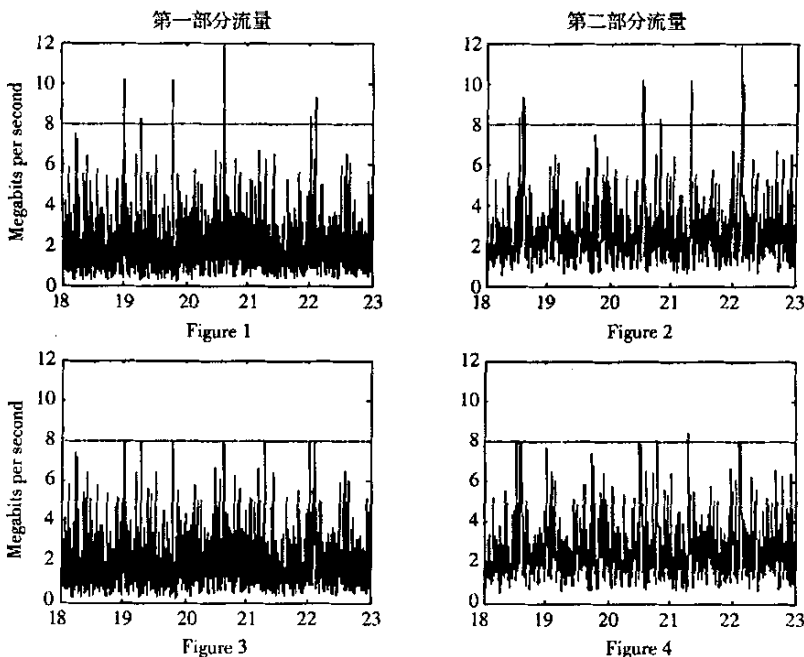
第 III 种类型的消费者与第 IV 种类型的消费者的区别即是其侧重点不同,也即是其既可以接受第 I 种类型的消费者所要求的服务,也可以接受第 II 种类型的消费者所要求的服务。我们称第 III、IV 种类型消费者为“中性消费者”。

按照 PMP 的方法,首先将一个网络(服务率为  $\mu$ )的带宽分成几个逻辑上分离的通道,每一部分制定不同的价格,这里我们仅将其分成两个部分,  $C_1, C_2$  且额外增设一个虚拟的部分,设置一个缓冲器  $C_3$ (当然,在原 PMP 的设计方案中也需要在每一个信道设置一个缓冲器),其相应的服务率分别为  $\mu_1$  与  $\mu_2$ ( $\mu_1 + \mu_2 = \mu$ ) 相应的价格设为  $P_1$  与  $P_2$ ,不失一般性设  $P_1 < P_2$ 。设第 I 种类型的消费者的到达率为  $\alpha$ ,第 II 种类型的消费者的到达率为  $\beta$ ,第 III 种类型的消费者的到达率为  $\alpha'$ ,第 IV 种类型的消费者的到达率为  $\beta'$ 。记  $\gamma = \beta + \beta' + \alpha + \alpha'$ ,由 [11] 可知,上面的各种到达均形成一个马氏过程。

从 PMP 定价策略我们可以看出,按照 PMP 设计的网络对于数据的传送是按照“尽力而为”(Best-effort)的原则传送。使用者选择某一价格的宽带通道传送数据后,就限制其只能在该通道得到服务,而不能进入其它的通道去要求服务。这样当某一价格高的部分出现过载时,选择该部分的消费者就不能得到其所预期的服务质量。如果当某一低价格的部分恰巧此时网络负载不足,那就会造成网络资源的浪费。如果网络能够调节资源过载部分的使用者进入资源欠载部分消费,这一方面可以降低资源过载部分的过载状况,另一方面又可以使网络资源得到充分的利用,带有缓冲器的巴黎地铁定价策略就是基于这种思想而提出的。与 PMP 同样是将网络分成几个逻辑上分离的不同部分,每一个部分制定不同的价格,各个部分仅仅在消费价格上有区别。在我们的模型中网络可以调节“中性消费者”的消费选择(这可以在消费者服务请求协议中表示,如 [12])。

### 3 模型仿真

下面我们给出一个仿真的例子来比较 PMPB 与 PMP 在网络拥塞控制中的区别。根据第二部分的知识,仿真中我们把宽带分成两个逻辑上分离的通道,两部分完全相同,两部分的 最大处理信息量均为 8-Megabits。参数取值分别为  $\alpha = 100, \alpha' = 20, \beta = 130, \beta' = 20, \mu_1 = \mu_2 = 180$ ,为简便起见,假设每位消费者每秒产生 1 万字节的流量,我们仿真了从 18~23 时间段内的网络流量图如下。



万方数据

## 4 讨论

从上面的两组仿真我们可以看出,在 PMPB 下,网络的拥塞状况得到了明显的改善,但是也并不是任意时刻的拥塞都是能消除的,如图 4 中在 21.12-21.20 之间的拥塞,这是由于此时网络的第一与第二通道的流量总和大于两通道的容量限制,但是可以看出在 PMPB 下的两通道的网络拥塞状况(图 3-4)比在 PMP 下的网络拥塞状况(图 1-2)有明显的改善。这样网络资源得到了更有效的利用,消费者得到了更好的服务,这也正是我们所期望得到的。

本文在 PMP 策略的基础上提出了一种改进的策略——PMPB,即某一通道出现网络拥塞时,PMPB 通过调节“中性消费者”的服务以部分缓解甚至消除了网络拥塞,在不影响第 I、II 种类型消费者效用的基础上提高了“中性消费者”的效用,进而提高了网络资源的有效利用,增加了社会总福利。由于 PMPB 设计原理与 PMP 相似,具有结构简单,不需要太多的技术支持,因而比 PMP 定价策略具有更现实的研究意义。

## 参考文献

- [1] Odlyzko Andrew. Internet Pricing and the History of Communications[J]. Computer Networks, 2001 (36):493-517.
- [2] Wang Jun, Li Kin F. Understanding Internet Pricing: an objective-oriented classification[C]. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2003 (2):703-708.
- [3] Odlyzko A. Paris Metro Pricing: the Minimalist Differentiated Services Solution[A]. Proceedings of the Seventh International Workshop on Quality of Service(IWQoS'99), IEEE[C]. 1999. 159-161.
- [4] Mason M, Varian R. Pricing Congestible Network Resources[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(7):1141-1149.
- [5] Cao X R, Shen Hong-Xia, Mילו Rodolfo, etc. Internet Pricing with a Game Theoretical Approach: Concepts and Examples[A]. IEEE Conference on Networking[C]. 2002, 10: 208-216.
- [6] Cao X R, Hong-Xia Shen. Internet Pricing: Comparison and Example[A]. Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control[C]. Sydney, Australia, 2000. 2284-2289.
- [7] La R J, Anantharam V. Network Pricing Using Game Theoretic Approach[A]. Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control[C]. 1999 (4):4008-4013.
- [8] Jorn Altmann, Hans Danen, Oliver, et al.. How to Market-Manage a QoS Network[A]. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[C]. 2002 (1):284-293.
- [9] Falkner M, Devetsikiotis M, Lambadaris I. An Overview of Pricing Concepts for Broadband IP Networks[J]. IEEE Communications Review, 2000, 3(2):2-13.
- [10] Kelly F. Tariffs and Effective Bandwidths in Multi-service Networks[A]. International Teletraffic Conference[C]. ITC '14, 1994. 401-410.
- [11] Kleinrock Leonard. Queuing Systems[M]. New-York: John Wiley & Sons, 1975. 90-100.
- [12] Cocchi R, Estrin D, et al.. A Study of Priority Pricing in Multiple Service Class Networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Aug 1991, 21(4):123-130.