

文章编号: 1001-2486(2007)06-0075-06

引入价格因素的网络资源分配模型与算法实现*

陈晓梅, 党 岗, 苏金树

(国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 引入价格因素, 针对网络资源分配提出 PE_EMRA 网络资源分配模型, 并给出算法实现。PE_EMRA 模型综合考虑带宽、缓冲等多种网络资源, 调节并限制各业务类流量, 使系统总效率最大化。该方法可有效提高资源利用率, 提供服务质量保证, 并具有配置灵活、实现代价小等特点。

关键词: 服务质量; 资源分配; 价格

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

A Price-based QoS Model and Algorithm for Network Resource Allocation

CHEN Xiao-mei, DANG Gang, SU Jin-shu

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: This paper proposes a pre-estimation based enhanced multidimensional resource allocation model (PE-EMRA) and its algorithm for network resource allocation. The PE-EMRA approach allocates both bandwidth and buffer resource for different traffic classes, balancing and limiting the arrival rate of traffic class and also maximizing the system utilization. The advantage of this approach is that it can maximize the system utilization and provide QoS guarantee while being flexible and easy to realize.

Key words: quality of service; resource allocation; price

在网络资源相对缺乏的情况下, 要实现具有服务质量保证的网络, 必须处理好资源的优化性、分布性、差异性和替代性^[1]。传统的网络资源分配方法, 如优先级调度、逐个流资源预约^[2]等方法不能很好地解决上述问题。把价格因素引入网络资源分配, 为这一领域的研究提供了崭新的思路。

1 相关工作

现有的引入价格因素解决网络资源最优分配问题的典型方法包括 PMP 策略^[3]、逐报文招标法^[4]、优化 QoS 降级法^[5]、Kelly 市场模型^[6]、PSP 拍卖与投标模型^[7]和 SRA 方法^[8]等。Jakka Sairamesh 等提出的 SRA 方法^[8]是一种基于经济均衡的资源优化分配算法, 并且在优化分配基础上提供服务质量保证准入控制。SRA 算法的优点在于: 它一方面提供很好的服务质量保证机制, 另一方面同时获得资源的最适度配置。资源分配是基于业务类进行的, 这种方式减少了系统维护开销, 使系统有较好的扩展性。但是 SRA 算法采用简单的准入控制方法, 每当有用户进入或退出、业务类流量发生变化时, 系统都要重新计算均衡配置, 并通过网络协议控制系统重新进行资源配置, 使得系统开销太大。现有各方法性能比较如表 1 所示。

本文基于 SRA 方法, 提出 PE_EMRA (Pre-estimation Based Enhanced Multidimensional Resource Allocation) 基于预先判断的资源分配模型与算法, 该方法具有如下特点:

- (1) 具有服务质量保证支持。算法在最大化资源利用率的基础上, 提供强服务质量保证。
- (2) 引入价格迭代求解前的预先判断机制, 降低算法复杂度, 避免了不必要的资源调度。
- (3) 提出服务价格的概念, 首次区分了均衡迭代中的资源价格和 ISP 服务提供商为得到服务愿付的

* 收稿日期: 2007-01-28

作者简介: 陈晓梅(1974—), 女, 副研究员, 博士生。

服务价格。

表 1 基于经济的资源分配方法性能比较(“-”表示文献未做讨论)

Tab.1 The performance comparison of methods of microeconomic-based resource allocation

资源分配方法	服务质量保证支持	优化性	灵活性	实现开销
PMP 方法	无	弱	无	小
逐报文摘标法	较强	较强	强	很大
优化 QoS 降级法	一般	一般	较弱	较小
Kelly 市场模型	无	强	-	-
PSP 拍卖与投标模型	弱	强	-	-
SRA 方法	强	强	较强	较大

2 PE_EMRA 模型

PE_EMRA 模型研究如何确定带宽资源和缓冲资源的均衡价格,获得均衡资源配置,使在给定业务类流量、业务类服务价格、总拥有带宽资源、缓冲资源条件下,各业务类的丢失率在预算约束下最小,系统总需求等于总供给。

假设各业务类服从 M/M/1/B 排队规律,不同业务类对服务质量的需求各不相同,对给定资源的满意程度也不同,经济领域中用效用函数^[9]来表征这一特性,本文沿用这个术语。在网络系统中,用户偏好主要表现在对应用服务质量的满意程度上,而用户的服务质量性能由所分配的资源决定。以报文丢失率为例,根据排队论有关 M/M/1/B 系统的性质,缓冲队列长度为 b 时(即缓冲区满),后续到达的报文将丢失,报文丢失率为:

$$lost(l, b, \lambda) = \begin{cases} \frac{(1 - \lambda/l)(\lambda/l)^{b+1}}{1 - (\lambda/l)^{b+2}}, & \lambda \neq l \\ \frac{1}{b+2}, & \lambda = l \end{cases}$$

定义 1 业务类 i 的效用函数形式: $U_i(l_i, b_i, \lambda_i) = -lost(l_i, b_i, \lambda_i)$ 。

PE_EMRA 模型定义两种价格:服务价格和资源价格。

定义 2 业务类的“服务价格”是指单位业务量获得指定业务质量的单位时间服务所需支付的费用。

服务价格的有效期较长,可以是几小时、几周,甚至是几个月。服务价格的变化对市场供需起到调节引导作用。若某业务类拒绝率较高,表明该业务类的服务供给能力小于服务总需求,则 ISP 服务商可适当提高该业务类的服务价格,从而在竞争中获取更多资源,同时服务价格的上升提高了服务的门槛,使一些财力不足的用户权衡选择其他质量级别的服务,抑制用户需求,反之同理。服务价格的调整是一个长期的过程。

定义 3 “资源价格”产生在资源优化分配过程中,是在已知各业务类服务价格的基础上,为获得资源均衡优化分配而给出的平衡调节参数。

ISP 服务提供商的各业务类代理在购买资源时,所面对的资源价格的调整相比服务价格是一个瞬态参数,时间长度一般是几秒钟或几分钟。在获得均衡资源价格前,资源价格的中间状态不具有任何意义,不能用来指导资源分配。资源价格的调整遵循价格杠杆原理:当资源总需求大于总供给时,提高资源价格;当资源总需求小于总供给时,降低资源价格,最终达到均衡价格,获得均衡资源配置,使系统达到供需平衡。必须强调的是,从用户的观点来看,资源均衡价格本身并不具有实际物理意义,可以把它看作是一个算法调节参数。

参照微观经济学关于经济系统经济均衡与均衡配置^[9]的概念,根据网络资源分配实际情况,下面给出网络资源均衡与均衡配置的定义。

定义4 网络资源分配均衡与均衡配置:

已知某ISP带宽能力为 X ,系统业务类数目为 I ,业务类 i 的效用函数为 $U(l_i, b_i, \lambda_i)$,服务价格为 $serviceprice_i$,到达率为 λ_i 。如果当资源价格为 $\bar{p} = (\bar{pl}, \bar{pb})$,业务类 i 分配得的资源为 $\bar{x}_i = (\bar{l}_i, \bar{b}_i)$,资源配置方案为 $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_I)$ 时,满足下列条件:

(1)满足预算约束:对于任意 $i \in I, \bar{p}x_i \leq serviceprice_i \cdot \lambda_i$;

(2)偏好最大化:对于任意满足预算约束的资源配置方案 $x = (x_1, x_2, \dots, x_I)$,有 $u_i(x_i) \leq u_i(\bar{x}_i)$;

(3)用户总需求等于用户总供给:即 $\sum_{i=1}^n \bar{x}_i = X$;

则称网络分配系统达到经济均衡,其中 $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_I)$ 称为均衡配置, $\bar{p} = (\bar{pl}, \bar{pb})$ 称为均衡价格。

定义4表明,在均衡价格 $\bar{p} = (\bar{pl}, \bar{pb})$ 之下,均衡分配 $\bar{x}_i = (\bar{l}_i, \bar{b}_i)$ 是业务类 i 在其自身财力允许情况下最满意的选择,同时在均衡价格 \bar{p} 之下,市场的供给量与需求总量相等。

3 PE_EMRA 算法实现

系统总体资源的最优配置与系统实现开销是一对矛盾。SRA准入控制策略存在系统控制与计算开销过大的问题。每次均衡配置计算以及资源分配调整操作都是不小的系统开销。用户的加入、退出是很频繁的网络现象,若每次用户变化都要重新计算均衡配置并进行实际资源配置的调整,资源优化分配带来的好处就会被系统控制的巨大开销所抵消,甚至影响系统性能。多数情况下,用户请求加入或退出所产生的业务量变化,在原有资源配置下就可以满足服务质量要求,从服务质量需求的角度来说,无须调整资源分配。为了减少控制开销,获得相对稳定的资源分配,牺牲一定的资源分配最优性是有意义的。基于这个思想,本文提出基于预先判断的PE_EMRA算法。PE_EMRA算法分为两个模块:均衡配置和服务质量保证。

3.1 PE_EMRA 均衡配置

PE_EMRA均衡配置算法价格调整的基本思想是:引入低价和高价概念,低价使所有资源超额需求大于0,高价使所有资源超额需求小于0;资源的均衡价格必然存在于低价与高价之间,通过逼近法迅速找到最优解。算法具体描述如下:

/* PE_EMRA 均衡配置算法 */

Step 1 初始化系统参数。随机产生初始价格 $p^0 = (pl^0, pb^0)$,并通知各业务代理。

/* 确定初始高价与初始低价 */

Step 2 取当前价格 $p^0 = (pl^0, pb^0)$ 为高价 $p_{high}^0 = (pl^0, pb^0)$ 和低价 $p_{low}^0 = (pl^0, pb^0)$ 的初始值。

Step 3 将当前低价作为提议价格发送给各业务代理。各业务代理分别计算在给定资源价格下的最优需求量 x_i ,即求解条件极值 $Maximize U(x_i)$,满足 $0 \leq x_i \leq X, p \cdot x_i^T \leq weight_i$ 。

Step 4 计算带宽总超额需求 $Zl = (\sum_{i=1}^I l_i - L)/L$,缓冲总超额需求 $Zb = (\sum_{i=1}^I b_i - B)/B$ 。若 $Zl < 0$ 或 $Zb < 0$,则将超额需求小于0的资源当前低价减半,跳转Step 3。

Step 5 将当前高价作为提议价格发送给各业务代理。各业务代理分别计算在给定资源价格下的最优需求量 x_i ,即求解条件极值 $Maximize U(x_i)$,满足 $0 \leq x_i \leq X, p \cdot x_i^T \leq weight_i$ 。计算带宽总超额需求

$Zl = (\sum_{i=1}^I l_i - L)/L$,缓冲总超额需求 $Zb = (\sum_{i=1}^I b_i - B)/B$ 。

Step 6 若 $Zl > 0$ 或 $Zb > 0$,则将超额需求大于0的资源当前高价增倍,跳转Step 5。

/* 价格调整 */

Step 7 取带宽和缓冲各自高价和低价的算术平均值作为当前提议价格。各业务代理分别计算在给定资源价格下的最优需求量 x_i ,即求解条件极值 $Maximize U(x_i)$,满足 $0 \leq x_i \leq X, p \cdot x_i^T \leq weight_i$ 。

Step 8 计算带宽总超额需求 $Zl = (\sum_{i=1}^I l_i - L)/L$, 缓冲总超额需求 $Zb = (\sum_{i=1}^I b_i - B)/B$ 。

Step 9 若 $|Zl| \leq e$ 且 $|Zb| \leq e$ 且 Zl, Zb 均为负时, 跳转 Step 11。

Step 10 若 $Zl > 0$, 则取当前提议价格作为其低价; 若 $Zl < 0$ 且 $|Zl| > e$ 时, 取当前提议价格作为其高价。对缓冲资源采取同样步骤。跳转 Step 7。

Step 11 获得均衡价格 $\bar{p} = (\bar{pl}, \bar{pb})$ 和均衡资源配置 $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_I)$, 其中, $\bar{x}_i = (\bar{l}_i, \bar{b}_i)$ 。

算法结束。

3.2 PE_EMRA 服务质量保证

PE_EMRA 算法的服务质量保证设计的基本思路为: 当业务流量发生变化时, 首先判断如果接受该用户请求, 在资源配置方案不变的情况下, 该业务类所承诺的服务质量是否能得到满足。如果能够满足, 则系统无须重新计算均衡配置, 也不必进行资源分配的调整。如果新业务流的加入, 导致该业务类所承诺的服务质量不能得到满足, 则系统需根据新的用户预算以及流量调用 PE_EMRA 均衡配置算法, 重新计算均衡资源配置, 判断在新配置下, 服务质量是否能够达标。若能够满足所有业务类的服务质量要求, 则根据计算结果进行实际资源分配的调整; 否则拒绝该用户的申请。算法具体描述如下:

/* PE_EMRA 服务质量保证算法 */

Step 1 初始化系统参数。

Step 2 调用 PE_EMRA 均衡配置算法, 计算均衡资源配置, 获得均衡资源配置方案 (x_1, \dots, x_I) 。

Step 3 随机产生新用户请求, 业务请求量为 $add\lambda_k$, 其中 k 为用户申请的业务类别, 预算为 $serviceprice_k \cdot add\lambda_k$ 。

Step 4 把新用户请求流量 $add\lambda_k$ 加入相应业务类 λ_k 中, 其预算 $serviceprice_k \cdot add\lambda_k$ 也累计到相应业务类预算中。

Step 5 IF 在现有资源配置方案 (x_1, \dots, x_I) 不变的情况下, 新用户请求的加入不会导致任何业务类的服务质量违约

THEN (1) 接受该用户申请。

(2) 资源配置 (x_1, \dots, x_I) 保持不变。

ELSE (1) 调用 PE_EMRA 均衡配置算法, 重新计算均衡资源配置, 得 $(x_{new1}, \dots, x_{newI})$ 。

(2) IF 在新的均衡配置 $(x_{new1}, \dots, x_{newI})$ 下, 各业务类的服务质量都能够得到满足

THEN 接受用户申请, 采用新的资源配置 $(x_{new1}, \dots, x_{newI})$, 并重新配置资源。

ELSE 拒绝新用户请求, 维持原有资源配置。业务类到达率和预算返回原有状态。

算法结束。

与 SRA 算法相比较, PE_EMRA 算法能够获得较好的资源分配稳定性, 减少了调用资源优化分配算法的频率, 降低控制开销, 并且仍然提供业务类服务质量保证, 丢失率没有太大变化。

4 性能评价

假定某 ISP 提供三种业务类的服务: 业务类 A, 业务类 B, 业务类 C。ISP 总带宽资源为 300, 总缓冲资源为 30。ISP 制定各业务类服务价格, 设定业务类 A 的服务价格为 3, 业务类 B 为 4, 业务类 C 为 5。相应的业务类 A 的丢失率不得大于 0.1, 业务类 B 的丢失率不得大于 0.01, 业务类 C 的丢失率不得大于 0.001。其中业务类 C 的服务质量最高, 其服务价格也最高。

模拟随机产生 200 个用户请求, 所请求的业务类服从均匀分布, 业务量大小服从泊松分布, λ 均值为 10。算法设定业务流加入的概率略大于业务流退出的概率。假设业务类 A、B、C 的初始业务量均为 65。

图 1 描述业务类 A、B、C 分别在 SRA 算法和 PE_EMRA 算法下带宽资源以及缓冲资源分配的比

较,其中虚线是 SRA 算法结果,实线是 PE_EMRA 算法结果。图 1 直观说明:PE_EMRA 算法资源分配的稳定性要高于 SRA 算法,无论是带宽还是缓冲资源分配的变化频率均明显减少。

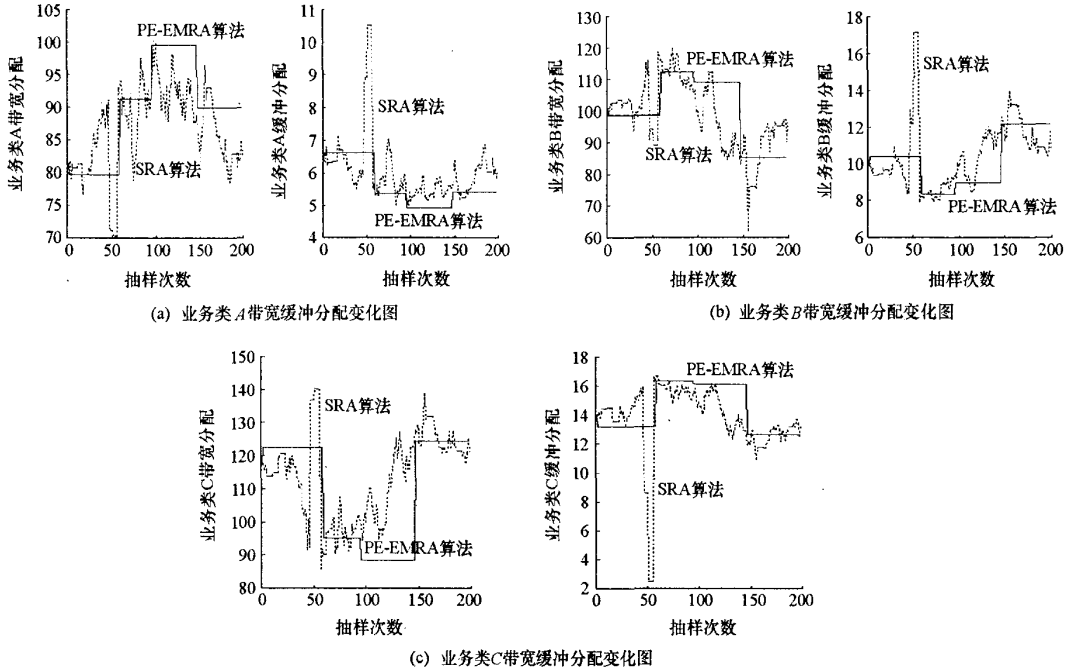


图 1 各业务类两种算法带宽缓冲分配变化图

Fig.1 The bandwidth and buffer allocation of three traffic class

图 2 描述各业务类 SRA 算法和 PE_EMRA 算法丢失率比较。图 2 直观说明:PE_EMRA 算法仍然能够提供服务质量保证,并且服务质量的性能并没有多少改变。

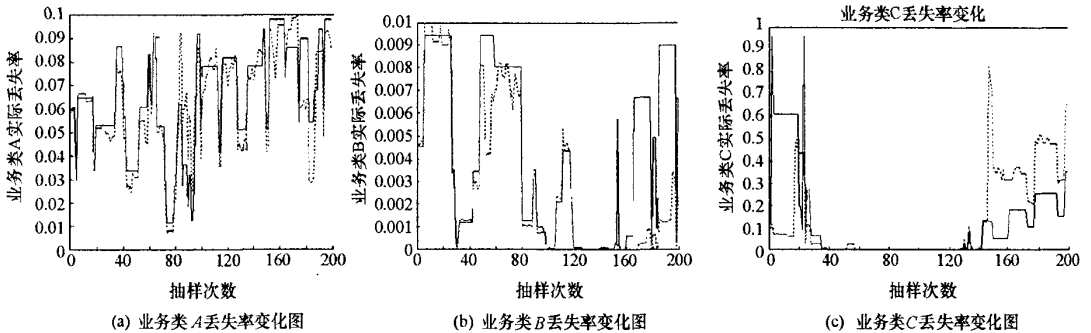


图 2 各业务类两种算法丢失率变化图

Fig.2 The loss rate of three Traffic class

用户随机加入/退出网络系统,SRA 算法要求每次都需调用资源分配优化算法进行最优化计算,并且更新资源配置。本次实验,200 次抽样样本,需 200 次调用资源分配迭代算法,其概率为 1。而 PE_EMRA 算法只需 47 次调用资源分配迭代算法,其计算概率为 23.5%。由此看出 PE_EMRA 算法大大降低了算法控制成本。对于相同的样本取值,SRA 算法拒绝用户请求的次数与 PE_EMRA 算法同样是 41 次。但是 PE_EMRA 算法实际调整资源分配的次数仅为 3 次。具体数据如表 2 所示。

表2 PE_EMRA 算法与 SRA 算法比较数据
Tab.2 The result comparison of PE_EMRA and SRA

比较项目	SRA 算法	PE_EMRA 算法
调用资源优化分配算法的次数	200 次	47 次
拒绝用户请求的次数	44 次	44 次
实际调整资源配置的次数	156 次	3 次

综上所述,与 SRA 算法相比较,PE_EMRA 算法在减少系统控制开销的同时,服务质量性能没有显著变化。基于预先判断策略的 PE_EMRA 算法优于 SRA 算法。

5 结束语

针对不同丢失率要求的业务类提出 PE_EMRA 模型与算法,为各应用类合理分配带宽和缓冲,提高整个资源的利用率。与相关算法比较,PE_EMRA 算法在提供强有力的服务质量保证的同时又最大化资源利用率,并且具有配置灵活、实现代价小等特点。在今后的研究中,我们将进一步研究服务价格、丢失率限制和资源分配之间的关系,并考虑在网络层具体实现 PE_EMRA 资源分配算法。

参考文献:

- [1] Odlyzko A. The Economics of the Internet: Utility, Utilization, Pricing, and Quality of Service [R]. DIMACS Technical Report 99-08, 1999.
- [2] Zhang L, Deering S, Estrin D, et al. RSVP: A New Resource Reservation Protocol[R]. IEEE Network, Sept. 1993.
- [3] Odlyzko A. Paris Metro Pricing: The Minimalist Differentiated Services Solution [EB/OL]. Available at <http://www.research.att.com/~amo>, 1999.
- [4] Varian H R, Mackie-mason J K. Pricing the Internet [C]//Public Access to the Internet, 1995:1-19.
- [5] Martin M. Declarative Scheduling for Optimally Graceful QoS Degradation[R]. Tohoku University, Tech. Rep.: CSE_TR 260-95, 1995.
- [6] Kelly F P. Charging and Rate Control for Elastic Traffic [J]. European Transactions on Telecommunications, 1997, 8(1):33-37.
- [7] Semret N. Market Mechanisms for Network Resource Sharing [D/OL]. PhD Thesis, Columbia University, <http://comet.columbia.edu/~nemo/work.html>, 1999.
- [8] Sairamesh J, Ferguson D F, Yemini Y. An Approach to Pricing, Optimal Allocation, and Quality of Service Provisioning in High-speed Packet Networks [C]//Proc. IEEE Infocom'2000, Boston, MA, Apr. 2000.
- [9] [美]哈尔·瓦里安. 微观经济学:高级教程(第三版)[M]. 周洪,等译.北京:经济科学出版社,1997.

(上接第 58 页)

参考文献:

- [1] Sandhu R S, Samarati P. Access Control: Principles and Practice[J]. IEEE Communications Magazine, 1994, 32.
- [2] Hu V C, Ferraiolo D F, Kuhn D R. Assessment of Access Control Systems[R]. Interagency Report 7316, Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8930, September 2006.
- [3] Pfleeger C P. Security in Computing. Second Edition[M]. Upper Saddle River: Prentice Hall, Inc., 1997.
- [4] Sandhu R S, Coynek E J. Role-based Access Control Models[J]. IEEE Computer, 1996, 29(2).
- [5] Ferraiolo D F. Proposed NIST Standard for Role-based Access Control[J]. ACM Transactions on Information and System Security, 2001, 4(3).
- [6] Ferraiolo D, Kuhn R. Role-based Access Control[C]//Proceedings of 15th National Computer Security Conference, 1992.
- [7] Barkley J. Implementing Role Based Access Control Using Object Technology[R]. First ACM Workshop on Role-based Access Control, 1995.
- [8] Barkley J. Comparing Simple Role Based Access Control Models and Access Control Lists[R]. Second ACM Workshop on Role-based Access Control, August 11, 1997.
- [9] Barkley J F. Supporting Relationships in Access Control Using Role Based Access Control [R]. Fourth ACM Workshop on Role-based Access Control, July 29, 1999.
- [10] Gallaher M P, O'Connor A C, Kropp B. The Economic Impact of Role-based Access Control[R]. RTI Project Number 07007.012, March 2002.

