

数据通信

数据传输

IP网络

广域网

20

74-76

## 基于速率的综合数据通信策略\*

A Rate-Based Integrated Data Communication Policy

单 懿 龚文华

TN919.1

TP393.2

(国防科技大学自动控制系 长沙410073)

**Abstract** It is valuable to provide various services on a unique packet-switched network. Rate-based scheduling policies can be well applied for guaranteed service, but it is not appropriate for mixed flow by guaranteed QoS traffic and best-effort traffic. Dynamic Virtual Rate scheduling policy is based on VC scheduling, that can service for best-effort traffic as well as possible while providing the same performance as VC scheduling for guaranteed QoS traffic.

**Keywords** Best-effort traffic, Dynamic virtual rate scheduling, VC scheduling

## 1 引言

IP网络是当前网络主流技术之一,并且在广域通信网的研究中也得到日益重视,因而研究IP网络对综合数据传输的支持非常必要。IP网络提供的数据传输业务有三类:保证质量服务(Guaranteed QoS)、预期质量服务(Predicted QoS)和尽力服务(Best-effort)。IP网络属于包交换网络,虽然已有的在包交换网络上提供实时数据传输的讨论基本是针对ATM网络的,但是其思想仍然适用于IP网络,只是包调度策略的调度对象——数据包由等长的ATM信元变成了不等长的IP包,并且IP网络使用RSVP协议实现资源预约和准入控制,现有的包调度策略的研究,因研究目的的限制,对尽力服务缺乏重视,普遍将实时连接数据提高到最高的优先级,因而在这些调度算法,尽力服务极易因实时连接的违规行为而降低性能。对ATM网络这不是严重的问题,但是IP网络中尽力服务是其中最重要的服务(至少在现在和不远的将来),WWW、E-mail等Internet/Intranet应用都使用尽力服务,因而IP网络的综合数据传输虽然也必须保证实时连接的时延要求,但是同时不能忽略尽力服务的响应性能,更不能因实时连接的违规行为牺牲尽力服务性能,因而我们针对IP网络的特点,结合VC调度策略的思想,提出了动态虚速率调度策略,在保证实时连接具有在VC调度下同样的时延上界的同时,充分利用链路中未预约

带宽容量优化包交换网络对尽力转发数据的服务性能,能较好地应用于正在发展中的宽带IP交换网络。

## 2 实时通信和虚时钟VC调度策略

网络上的数据通信量具有很强的随机性,不同的网络应用的数据通信量也具有不同的统计性规律,所以建立具有普遍意义的统计性数据通信模型是非常困难的,但是在实时通信的研究中,关键目标是在最坏情况的时延上界,因而通过引入了通信量约束函数的概念,忽略通信量的随机特征,采用确定性的方法来研究。

**定义1** 将连接 $i$ 在 $[\tau, \tau+t]$ 时刻内到达的通信量记为 $A_i(\tau, \tau+t)$ ,如果存在函数 $A_i^*(t)$ ,使得

$$A_i(\tau, \tau+t) \leq A_i^*(t), \forall t, \tau \quad (1)$$

并且对于所有 $A_i^*(t) \in \{A_i^* | A_i(\tau, \tau+t) \leq A_i^*(t), \forall t, \tau\}$ ,有:

$$A_i^*(t) \leq A_i^*(t), \forall t, \tau \quad (2)$$

则称 $A_i^*(t)$ 为连接 $i$ 的通信量约束函数。

从定义1可以看出 $A_i^*(t)$ 是连接 $i$ 的通信量的最小包络线,连接 $i$ 的任一时间片内到达的数据量都不会超出通信量约束函数。

目前常见的确定性通信量模型有峰值速率模型、 $(r, l)$ -模型、 $(\sigma, \rho)$ -模型、D-BIND模型、 $(\bar{\sigma}, \bar{\rho})$ -模型等,其中 $(\sigma, \rho)$ -模型是漏桶监控机制的通信量模型,实现如下:漏桶令牌容量为 $\sigma$ ,令牌到达速率为 $\rho$ ,只有当

\* )本文得到国防科技预先研究项目的资助。单 懿 博士生,主要研究方向:实时计算机网络、高速包交换网络、网络的性能管理。龚文华 系主任,博导,主要研究方向:实时计算机网络、高速包交换网络、FDDI网络、CIMS。

漏桶内存有令牌时,才允许数据进入网络,并消耗掉漏桶内相应数目的令牌,因而 $(\sigma, \rho)$ -模型的通信量约束函数为:

$$A_i^*(t) = \sigma + \rho t, \rho \geq 0 \quad (3)$$

由(3)式可见,最大突发量为 $\sigma$ ,通信量平均速率为 $\rho$ ,并且突发性参数 $\sigma$ 与速率参数 $\rho$ ,能够描述包括突发数据应用在内的各数据通信量,ATM网络的流量控制机制和Internet集成服务流量控制中都使用了漏桶监控机制,因此 $(\sigma, \rho)$ -模型具有普遍的使用意义,在本文的讨论中也将采用此模型刻画连接的通信量。

包交换网络中的各个包交换节点实施包调度策略,因而称为包调度服务器。实时包调度策略实施的必要条件是包交换网络必须是稳定的,只有在稳定的前提下,才能确定实时连接集合的可调度性。

**定义2** 如果调度服务器的所有忙周期都是有限的,则该服务器是稳定的。如果连续性服务器当前有连接 $i, (i=1, \dots, k)$ ,并且每个连接的通信量符合 $(\sigma_i, \rho_i)$ -模型,服务器的发送速率为 $C$ ,则当

$$\sum_{i=1}^k \rho_i \leq C \quad (4)$$

此服务器是稳定的,如果包交换网络所有的调度服务器都是稳定的,则此网络也是稳定的。

(4)式有些文献表述为 $\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^k A_i^*(t)/Ct \leq 1$ ,仅仅形式不一样,其含义是一致的。

**定义3** 如果调度服务器 $m$ 是稳定的,存在连接集合 $I(m), \forall i \in I(m)$ 的通信要求为 $(A_i^*, d_i)$ ,其中 $A_i^*$ 为通信量约束函数, $d_i$ 为连接要求的时延上界,服务器的调度时延为 $\bar{d}_m$ ,则当 $\bar{d}_m \leq d_i$ 时,称此连接集合 $I(m)$ 对此网络是可调度的。

虚时钟VC(Virtual Clock)调度策略具有准入测试简单、信道利用率高、时延上界小、连接间相互隔离等特性,采用同样思路的还有Leave-in-Time调度、Time-shift公平调度等基于速率的包调度策略。VC调度模拟TDM系统,连接间相互隔离,每个连接分配固定的带宽,采用统计复用技术,每个到达包赋予虚拟完成时间,虚拟完成时间是包如果在TDM系统中的完成时间,按照虚拟完成时间增加的顺序发送数据包。在 $N$ 个服务器串联组成的网络中,如果连接 $i$ 的到达通信量满足 $(\sigma_i, \rho_i)$ -模型,每个服务器分配给连接 $i$ 的带宽不少于 $\rho_i$ ,服务器 $l$ 的发送速率为 $C_l$ ,通过服务器的最大包长度为 $L_{l,i}$ ,包交换网络是稳定的,那么连接的网络延迟满足:

$$D_{l,i} \leq \sigma_i / \rho_i + \sum_{j=1}^l (L_{j,i} / C_j + L_{j,i} / \rho_i) - L_{l,i} / \rho_i \quad (5)$$

根据式(5)给出的连接时延上界,结合定义3可以实现实时连接的准入控制,确定可调度连接集合。

VC调度服务器能够使所有实时连接分别得到较小的时延上界,并且允许连接按比例地使用空闲带宽容量,但是,尽力服务的通信(无论有连接的还是无连接的)都不预约带宽,所以无法计算虚拟完成时间而被认为虚拟完成时间为 $\infty$ ,则只有当服务器内没有积压的实时连接数据包可服务时,才会服务尽力转发数据包,如果所有实时连接都严格遵守 $(\sigma, \rho)$ -模型,尽力转发数据能够得到合理的服务,但是当实时连接产生的通信量超出了 $(\sigma, \rho)$ -模型的约束,实时连接的违规通信量将会抢占本应服务于尽力转发数据的带宽,降低了尽力服务的性能。为了解决这个困难,有的文献提出了将网络中数据通信分级,划分固定的带宽为各级通信服务,这种方案虽然能够保证尽力转发数据的服务,但是固定的带宽划分降低了带宽的利用率,灵活性和扩展性都很差,不是理想的解决方案。

### 3 动态虚速率调度策略

通过上节的讨论可以看出,VC调度策略不能保证尽力服务的根本原因是VC调度算法根据包的虚拟完成时间递增的顺序服务积压数据包,而尽力转发数据包由于没有预约带宽,无法计算它的虚拟完成时间,服务器将它的虚拟完成时间作为 $\infty$ 处理,导致了对它的服务将迟于任何积压中的实时连接的数据包(即使它已经等待很久,且积压的实时连接数据包是违规通信量)。

因此,我们提出了动态虚速率调度策略,其中心思想就是给尽力服务赋予一个虚拟服务速率 $\rho_k$ ,使用 $\rho_k$ 计算尽力转发数据包的虚拟完成时间 $F_{k,i}$ ,采用类似于VC调度的包调度原则对实时连接数据包和尽力转发数据包不加区分地统一调度。

我们认为包交换网络应当首先满足实时连接预约的带宽 $\rho_i$ 和承诺的连接时延 $d_i$ ,在保证实时连接的协议带宽之外,信道仍有空闲,则应首先响应尽力转发数据通信的要求,此外仍有空余,才可用于服务实时连接的违规流量;也就是说在保证协议性能的基础上,使尽力服务获得尽可能好的服务质量。在这个指导原则下,我们令 $\rho_k = C - \sum_{i=1}^m \rho_i$ ,其中 $C$ 为服务器发送速率, $i$ 为实时连接, $\rho_i$ 为实时连接的预约带宽,由此可见 $\rho_k$ 的值取决于交换节点内当前存在的实时连接的预约带宽,并随着连接的接入、断开而变化。具体算法如下:

1)假如连接 $i$ 的预约带宽为 $\rho_i$ ,第 $k$ 个数据包长度为 $L_{k,i}$ ,到达时间为 $t_{k,i}$ ,交换节点的输出信道容量为 $C$ ,则它的虚拟完成时间为 $F_{k,i}$ ,那么

$$\begin{cases} F_{1,k} = t_{1,k} + \frac{L_{k,1}}{\rho_1} \\ F_{k,k} = \max\{t_{k,k}, F_{k-1,k}\} + \frac{L_{k,k}}{\rho_k}, k > 1 \end{cases} \quad (6)$$

2) 对所有尽力转发通信, 令  $\rho_k = C - \sum_{i=1}^{k-1} \rho_i$ , 第  $k$  个到达数据包的长度为  $L_{k,k}$ , 到达时间为  $t_{k,k}$ , 则它的虚拟完成时间为  $F_{k,k}$ , 那么

$$\begin{cases} F_{k,k} = t_{k,k} + \frac{L_{k,k}}{\rho_k} \\ F_{k,k} = \max\{t_{k,k}, F_{k-1,k}\} + \frac{L_{k,k}}{\rho_k}, k > 1 \end{cases} \quad (7)$$

3) 当节点中有新的连接接入或断开, 重新计算  $\rho_k = C - \sum_{i=1}^k \rho_i$ , 令当前尽力转发数据包队列中的首包为第一个到达包, 根据变化后的  $\rho_k$ , 重新计算  $F_{k,k}$ 。

4) 按照数据虚拟完成时间的递增的顺序服务所有的数据包, 其中包括尽力转发数据包。

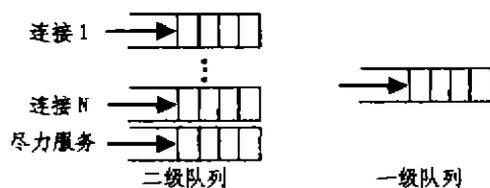


图1

在此策略中, 我们采用双级队列排序, 如图1, 一级队列为系统的公共等待队列, 所有连接和尽力服务通信在服务器中未服务的最先到达包存放在公共等待队列, 它们按照虚拟完成时间升序排列, 这样的包的排序复杂度降为  $O(\log_2(N+1))$ ; 二级队列为各实时连接和尽力服务到达包队列, 它按照 FIFO 方式组织, 调度服务器选择公共等待队列中虚拟完成时间最小的包发送, 如果包对应的二级队列中仍有包, 计算它的首包的虚拟完成时间后, 插入公共等待队列中。

上面的讨论可以得出调度服务器始终满足  $\rho_k + \sum_{i=1}^k \rho_i \leq C$ , 符合定义2的条件, 因而服务器及网络是稳定的。动态虚速率调度策略基于 VC 调度策略, 所以算法同样具有连接间的隔离特性, 尽力转发数据服务速率的变化不影响实时连接, 并且实时连接在 VC 调度策略下的时延上界的推导和可调度测试对此策略也适用, 同时通过虚拟服务速率提高了信道的利用率, 达到

了前述的综合数据通信的目的。

**结束语** 本文提出的虚动态速率策略能够较好地解决在宽带包交换网络中, 高效、合理、准确地向端用户提供各类数据服务, 并且具有和 VC 调度策略同等的算法复杂度和时延上界。但是, 仍然存在以下两点不足:

1) 此调度策略采用的虚拟服务速率的计算是基于当前连接的预约带宽, 当某些实时连接的实际通信量小于预约带宽时, 尽力服务和其它实时连接的违规通信量按比例地分享已预约但未使用的空闲带宽。

2) 由于此调度策略是基于 VC 调度策略, 因而也具有了 VC 调度策略的不公平性, 并且实时连接可能受到尽力服务的惩罚, 这是我们不希望的。

针对 VC 调度策略的不公平性, Cobb 博士、孙利民博士都分别提出了解决方案, 在今后的工作中, 我们将继续发展虚拟服务速率的思想, 借鉴已有的消除 VC 调度策略的不公平性的思路解决上述不足, 并且将此思想应用到可预期服务中, 彻底解决包交换网络中综合通信服务。

#### 参考文献

- 1 Cruz R L. A Calculus for Network Delay, Part I. Network Elements in Isolation. IEEE/ACM Trans. On Information Theory, 1991, 37(1): 114~131
- 2 Zhang L. Virtual Clock: A New Traffic Control Algorithm for Packet Switching Networks. ACM Trans. Computer System, 1991, 9(2): 101~124
- 3 Clark D D, et al. Supporting Real-Time Applications in Integrated Services Packet Network: Architecture and Mechanism. In SIGCOMM Symp. On Communications Architecture and Protocols (ACM, Baltimore, MD, Aug.) 1992, 14~26
- 4 Liebeherr J, Wrege Dallas E., Ferrari Domenico. Exact Admission Control for Networks with a Bounded Delay Service. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1996, 4(6)
- 5 Aras C M, et al. Real-time Communication in Packet-Switched Networks. Proc. of the IEEE, 1994, 82(1): 122~138
- 6 孙利民. 有界延迟实时服务网络的研究. [工学博士论文]. 国防科技大学计算机学院, 1998
- 7 Cobb J A, et al. Time-Shift Scheduling-Fair Scheduling of Flows in High-Speed Networks. IEEE/ACM Trans. On Networking, 1998, 6(3): 274~284