维普资讯 http://www.cqvip.com

因特网拥塞控制的公平性研究综述

曾振平[1,2] 汪秉文[1]

(华中科技大学控制科学与工程系 武汉 430074)[1] (南京理工大学自动化学院 南京 210094)[2]

摘 要 将网络拥塞控制的公平性研究划分为在同质流网络中的公平性和在异质流网络中的公平性两个方面,公平性研究在两类网络中均有重大的意义。依此划分,分别介绍了近年来拥塞控制公平性研究的重要进展。同质流网络中公平性研究主要是围绕解决 TCP 流的 RTT 歧视这一问题而展开和深入的;异质流网络中公平性研究主要是围绕保护正当行为流的问题而不断推进的,目前的研究热点是对用户公平的 AQM 算法。最后对拥塞控制公平性研究领域未来有价值的研究问题给出了预测,并阐述了对这几个问题的理解。

关键词 公平性,拥塞控制,同质流网络,异质流网络,RTT 歧视,主动队列管理,用户公平

Survey on Fairness Research of Internet Congestion Control

ZENG Zhen-Ping[1,2] WANG Bin-Wen[1]

(Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)[1]

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)[2]

Abstract Divide the fairness research of network congestion control into two subareas: homogeneous flow network and heterogeneous flow network, in both of which the fairness problem is of great importance. According to classification, the important recent advances in each subarea are introduced. The central problem in homogeneous flow network is the removal of round-trip-time bias, while the reasearches in heterogeneous flow network are carried out mainly to protect normal flows from the misbehavior ones. The hot spot in this field is the user-fair AQM algorithms. In the end prediction on some future interesting directions are given, togethor with some authors' insights into them.

Keywords Fairness, Congestion control, Homogeneous flow network, Heterogeneous flow network, RTT Bias, Active queue management, Fairness to users

1 引言

网络拥塞控制对维持目前因特网的稳定运行有着重要的意义,而且是建设下一代高速互联网的技术瓶颈之一,因此一直是网络研究中的重要内容,而公平性研究又是其中的重要组成部分。

因特网拥塞控制研究早已从初期的流量控制、TCP 协议改进的源端算法发展到网络中间节点功能增强机制,即中间节点算法,其中一个很重要的原因就是由于单纯的源端算法是无法解决公平性问题的(因为涉及各个流的不同状态,而在每个源端是看不到其它源端的状态的),所以目前新的源端算法都有采取分布式形式的趋势。分布式算法的一个缺点是其公平性(及其它性能)的实现需要用户的合作,但有时这一点无法得到保证。因此在源端算法中,也越来越多地借助中间节点的反馈信息以实现公平性。源端算法与中间节点算法的融合是今后的必然趋势。

中间节点算法大致可分为调度算法和主动队列管理(AQM)方法,其中的调度算法,由于出口队列数与网络规模(节点数)相关,要保持大量的各流状态信息。因此,一方面在公平性上比 AQM 有着先天的优势,另一方面普遍较为复杂,扩展性较差,所以相关研究比较少。而 AQM 方法在公平性上比源端算法有本质的优越性,比调度算法又有本质的劣势性,这种中间状态使得 AQM 方法的公平性研究有很大的研究潜力。

网络拥塞控制的公平性研究有两个主要的方面:一是在同质流网络(即所有协议流有相同或类似的端到端拥塞控制机制)中,考察平衡态时的带宽分配的情况,可称为同质流网络的公平性。这一方面的研究通常可以放到对偶理论模型的框架下来进行。二是在有非响应流或恶意竞争(带宽)流存在的网络环境中,考察中间节点算法对正当行为流的保护,可称为异质流网络的公平性。

公平的带宽分配在同质流网络中能够提高网络资源的使用效率。比如 TCP 网络中,RTT 歧视现象就是公平性研究主要针对并要消除的。我们通常考察的网络,如因特网,其拓扑结构都不可能是均匀的,因此网络中的链路必然存在 RTT 差异,而 TCP 的 RTT 歧视性质就会使网络流量逐渐集中于短(RTT)链路上,路由器上路由表也会逐渐倾向于短路由。这样,延迟较大的链路,如果不是几何拓扑上的瓶颈,就会逐渐被荒废,造成网络资源的浪费;而另一方面,在某些非几何拓扑的瓶颈上的短链路,也产生拥塞现象,降低网络的使用效率。

公平的带宽分配在异质流网络中的作用更为关键,一个简单的例子是我们熟知的拒绝服务(DoS,Deny of Service)攻击。如果中间节点算法不能保护正当行为的流,那么网络将

*)国家自然科学基金项目(60773190)。**曾振平** 博士后,主要研究方向:因特网拥塞控制及其公平性研究、最优控制、智能预测控制;**汪秉文** 教授,博导,主要研究方向:计算机集成技术与网络控制、系统集成优化与决策。

维普资讯 http://www.cqvip.com

变得完全不可用。所以，确保公平性也是维护网络安全和增强网络稳定性的要求。

以下本文就分别对在同质流网络和异质流网络两个环境中，近年来拥塞控制的公平性研究所取得的进展进行介绍。

2 同质流网络的公平性

同质流网络的公平性研究是源于TCP的流量模型研究。这一时期的研究其实只是考察、分析各种流量控制协议(主要是TCP及其各种版本)在平衡态下的带宽分配公平性，而没有考虑对公平性进行调节和控制。这一时期的一个主要研究成果是对TCP协议流的RTT歧视现象的揭示。

随着中间节点算法的提出，人们意识到中间节点算法能够对带宽分配的公平性进行调控。比如调度算法，通过对各流采取不尽相同的丢包策略，可以影响最终的带宽分配。因此，学者们开始从系统(源端算法与中间节点算法相互作用)的角度来研究拥塞控制中的公平性问题，这就与对偶模型理论的提出、建立和发展产生了紧密的关系。

2.1 对偶模型理论

FP Kelly等[1,2]最早将运筹学中规划问题的一些数学概念和方法引入到网络拥塞控制问题中来，把TCP源端的速率控制算法和AQM等中间节点的丢包策略算法，分别看作是求解具有公平且适当的效用函数(Utility Function)的最优速率分配问题的原始(Primal)问题提法和对偶(Dual)问题提法，并用“影子价格”来作为拥塞的度量，从而建立起一种新的具有比例公平性(Proportional Fairness)的拥塞控制问题的理论分析框架，而在此之前常用的流体流动模型[3]则显然对公平性考虑不够。比例公平性是指各流的带宽分配与它们的路由“价格”成反比，在考虑各数据流分别为各自的使用者提供不同的使用效能(即效用函数)的情况下，这种比例公平性还应该是加权的，而权系数就是由效用函数决定的。

S. H. Low在F. P. Kelly的研究基础上提出了完整的对偶优化理论模型[4]，然后S. H. Low和他的研究小组又在此理论基础上提出一种具体的拥塞控制算法FAST TCP[5]。FAST TCP考虑将时延与明确的丢包信息结合在一起，来细致描述拥塞状况。其拥塞窗口调整方案为：在正常的网络状态下(相应于传统TCP的拥塞避免阶段)，按固定时间间隔检测RTT时间并计算平均队列延迟和当前最小RTT时间，然后按一个非线性的递增函数调整拥塞窗口的大小。由于拥塞反馈信息与RTT相关，因而能够有效抑制RTT歧视现象。不过，L. Tan等[6]曾经指出，FAST TCP的RTT估计算法有一点缺陷，会导致某些后加入的流获得超出合理范围的带宽，而这一问题可以通过区分服务(Diffserv)对每个流的仅第一个分组进行优先权标记的方法来解决。

对偶模型理论为拥塞控制研究提供了一种较为细致的系统模型，它在控制理论、数学规划、博弈论和随机分析中都属于比较普遍的研究对象，因而可以用多种数学方法来对其进行研究，因此这一理论的提出对拥塞控制研究领域有着重大的影响。

J. Mo和J. Walrand采用通过效用函数来调整带宽分配的方法，提出了一类效用函数，可使得带宽分配具有所谓的加权α公平性[7]。这是对比例公平性的一种拓展：当$\alpha=0$时，就是不考虑公平性而获得尽量大的带宽总和；当$\alpha=1$时，就是加权比例公平；当$\alpha=\infty$时，就是最大-最小公平。

拥塞控制的源端算法可与对偶模型理论中的原始算法相对应。若以二项式拥塞控制算法[8]作为源端算法的一般描述，则通过适当地选择窗口控制算法中的两个比例系数α、β和两个指数k、l，可以消除RTT歧视[9,10]。若同时考虑与延迟稳定性及随机稳定性的耦合情况，则T. Kelly按分段函数来确定这些参数的方法[11]显得更有意义。

中间节点算法中的AQM算法可与对偶模型理论中的对偶算法相对应。F. P. Kelly提出一类公平对偶算法[12]，可使带宽分配具有加权α公平性。

HPPD[13]和FI-RED[14]是两种很类似的AQM算法，它们都是从降低分组被丢弃后需要重发的代价的角度，对已经在网络中经过较多转发节点的分组在丢弃概率上给予一定程度的保护。因为IP分组中有TTL(Time to Live)域指示经过的转发节点数，因此实现起来比较容易。在同一网络中，RTT时间大的流经过的转发节点也很可能更多，因此这两种算法都有助于减轻RTT歧视。

对偶模型理论中的源端算法虽然可以不是TCP的窗口控制算法，而是其他的端到端的拥塞控制机制，但是并不要求端节点提供新的特殊的信息数据。也就是说，保持在当前因特网的TCP/IP框架下，不对端节点的功能做出新的要求，不改变协议数据报的数据结构。而有些学者则认为，应该对TCP协议进行完全的改造，否则拥塞问题始终无法得到完善解决，并研究和提出了另一类拥塞控制方案，其中以XCP为代表。

2.2 XCP及相近算法

ECN(显式拥塞通告)是目前已经得到一定程度推广的一种新协议，它在TCP和IP的分组中添加新的字段。在发生拥塞时，用标记字段的操作来代替实际丢包。这种改造是较小的，而XCP对TCP的改造就很大了。

XCP[15]的分组报头需要增加当前的Cwnd(拥塞窗口)、RTT估计(H-rtt)和feedback(H-feedback)三个域，发送端使用H-feedback域请求希望得到的拥塞窗口调整的变化量，中间节点修改Feedback域的值。当一个新的ACK到达时，若反馈值为正，则发送端增大Cwnd；若为负，则减小。同时，XCP在中间节点引入效率控制器(Efficiency Controller，EC)和公平控制器(Fairness Controller，FC)来进行解耦控制。EC先根据可用的空闲带宽、负载队列长度和平均RTT估计值计算Feedback的值，再交给FC，FC直接由各分组中的Cwnd和H-rtt字段按AIMD算法分配Feedback值。由于分组中已有专门的域携带相应信息，因此中间节点根本无需区分各数据流。试验表明，XCP可以达到很高的链路利用率、极低的排队时延和几乎接近于零的丢包率，而且具有较好的公平性。

XCP看起来是一种比较理想的拥塞控制方法了，但是它最大的问题在于实施代价。为此Y. Zhang等[16]对XCP做了实现并进行了试验研究，指出了XCP在实现上和在实际运行中存在的一些问题，如在浮点数运算性能低的平台上，XCP的性能也受到较大影响、对环境参数(如TCP/IP的设置参数)敏感、链路共享引起的链路容量估计偏差、非拥塞状态下会有丢包现象等。除此之外，还要考虑从TCP向XCP过渡过程中与TCP及现有路由器的兼容问题。

徐建等[17]提出的用户公平的活动队列管理算法(UFQ，User Fair Queuing)与XCP类似，但是是对IP协议进行较小改造且更偏重于公平性的改善的一种拥塞控制算法。UFQ的目标是在各种网络环境中都能为所有的用户提供满意度一

维普资讯 http://www.cqvip.com

致的服务，采用在网络边缘标记用户所属数据报的期望服务满意度 u，在网络核心根据数据报的满意度高低，结合当前数据报流经节点的拥塞程度，来决定数据报的丢弃或标记，从而获得不同用户一致满意的服务。与之类似的还有章淼等[18]较早提出的显示公平控制(EFC, Explicit Fairness Control)算法，其主要思想是在 TCP 的分组报头中增加一个"速率标签"来携带目前的发送速率，网关可以使用报头中的这个信息对各流的分组区别对待。

Y. Xia 等[19]在 XCP 的基础上提出 VCP(Variable-structure congestion Control Protocol)，他们认为 XCP 处理拥塞问题的效果很好，但需要借助中间节点反馈的信息，太细化，因而需要太多的比特数来传递，而实际上 IP 协议的数据报中已经不能提供如此多的位置来携带这些信息了。所以 VCP 尝试用尽可能少的比特数携带足够的拥塞反馈信息给端系统，也就是在 ECN 与 XCP 之间寻找一种折衷。可惜的是，VCP 与 XCP 相比，除了向稳态收敛的速度明显变慢之外，也牺牲了一定的公平性。

3 异质流网络的公平性

随着因特网的不断发展，许多新的基于非 TCP 协议的应用不断涌现，特别是在多媒体实时传输和 P2P 文件共享领域内，有一些的新协议数据流是非响应(Unresponsive)的，它们没有端到端的反馈机制；或者是行为不端的，比如只是侦测链路可用带宽并尽量地占用它们而不对拥塞做出响应。这就使得它们在传统的流量控制策略下与 TCP 流竞争有限网络带宽时处于不平等的强势地位，由此产生不公平现象。在这些情况下，前述的同质流网络中调整公平性的一些方法都显得无能为力了，因为它们需要各流都具有端到端的拥塞控制机制。因此，异质流网络的公平性研究日益成为拥塞控制研究中的热点，而它们的实现一般都要通过中间节点算法。

这里先做一点概念说明。我们把有端到端的拥塞控制机制的流称为正当行为流，或普通流，或合作流；把没有端到端反馈机制的流称为非响应流；把有端到端反馈机制但并不对拥塞信号做出响应的流称为行为不端(Malicious Behavior)流，或贪婪流，或非合作(Uncooperative)流，或恶性竞争流。在下面介绍的研究中，有些可以将非响应流和非合作流统一处理，而有些则不行。

最早的经典的 AQM 算法是 RED 算法，但它对非响应流和非合作流是没有任何特殊处理的，因此公平性不好。后来较早在公平性上对 RED 做出改进的是 FRED[20](Flow RED)，但借鉴的却是调度算法的思想，根据各流在当前队列缓存中所占比例来决定是否丢包，因此还是要求有单流信息，可扩展性差。

此后学者们将研究重点转移到不需单流信息的公平 AQM 算法，先后提出的一些有影响力的算法包括：RED-PD[21]，SFB[22](Stochastic Fair BLUE)，CHOKe[23]，SAC[24](Self Adjustable CHOKe)，BLACK[25]，ESD[26]，WARD[27]和 DCN[28]等，这些算法以下将作为对流公平的 AQM 算法分别简要介绍。

与上述算法对应的是对用户公平的 AQM 算法。用户在接入因特网时，很有可能在 ISP(因特网接入服务商)处就选择了不同的 QoS 服务种类，比如不同的接入带宽。然而按照上述 AQM 算法，网络中的路由器将以对"流"公平的原则来分配带宽，这就将把 ISP 提供给用户的区分服务给抹杀了，造成用户间在付出-收益上的不公平。在异质流网络中，为解决不同 QoS 要求的用户之间的公平性问题，有必要在边界路由器上实施不同于核心路由器的中间节点拥塞控制算法，以实现接入控制(Admission Control)。这方面的研究以下将作为对用户公平的 AQM 算法来介绍。

3.1 对流公平的 AQM 算法

RED-PD 是 RED 的一种改进，它根据 RED 的丢包记录来判断是否是过度竞争性或非响应的流。它的判定有两个参数：一是保留最近的 M 次丢包记录；二是如果某个流在这 M 次记录中出现 K 次，则认定其为恶性竞争流，并对它先进行惩罚性丢包，然后再对其他流按 RED 规则处理。RED-PD 对参数仍有一定的依赖性，拥塞的响应时间也较长，而且 Web 流的丢包率较高[26]。

SFB 是在 Blue 算法基础上，利用多级哈希散列的 Bloom 滤波器，找出恶性竞争流。SFB 算法对于鉴别出的恶性竞争流所采取的处理方式，只是设置一个速率上限。但实际应用中，这个上限值也是不容易设置好的，因为这个上限应该是对其它流公平的，这对于路由器来说可能是未知的。在高带宽流的数目增加时，SFB 的性能会下降[21]。

CHOKe 算法是不鉴别恶性竞争流而能实现近似公平的 AQM 算法。在 CHOKe 中，每次当一个分组到达路由器时，随机地从当前的队列缓存中取出一个分组与刚到达的分组进行比较。若该分组与刚到达的分组来自同一个流，则同时对这两个分组进行丢弃；反之，则对取出分组不作任何修改，放回队列中，再按 RED 算法处理。

CHOKe 算法提出后，以其简单有效、易于实施的优点引起了学者们的关注。但是当流数增加时，其有效性也会下降。为此，Y. Jiang 等提出了 SAC，主要针对 CHOKe 算法中参数不易设置的现象，动态地调整参数，能够适应更广泛的网络状况。

汤德佑等提出的早期选择性丢包(ESD, Early Selective Drop)是一种独立于 RED 算法系列的 AQM 算法。在公平性的处理上，ESD 引入记录活跃连接状态信息的虚队列，并在虚队列上假轮转，以检测发送速率大的连接；区分非响应性连接和响应性连接，挑选丢包的候选连接，拥塞时优先丢弃候选连接在队列头部的数据包。ESD 能有效降低 Web 流和 RTT 较大连接的丢包率，提高连接占用带宽的公平性。

BLACK 算法通过在队列中进行包采样来估计"大"的数据流的队列缓存占用率，并据此对恶性竞争流进行惩罚性丢包。

WARD 算法是最近提出的一种"无状态"的近似公平 AQM 算法。它通过给队列位置赋以不同的权值的方式，使各流的实际速率与理想(公平状态)速率的差值异化，从而判断是否应该丢包。

根据因特网中实际存在的一个规律，即短效流的数量占网络数据流的 80%以上，而长效流的传输数据量占网络总数据量的 80%左右，L. Le 等提出 DCN(Differential Congestion Notification)算法，仅对长效流通告拥塞，保护短效流。DCN 保持少量的流信息，以较小的代价换取满意的公平性、更高的链路利用率和较低的丢包率。

另外，Z. Zhao 等[29]提出一种对通过路由器的非响应流所占比例的估计方法，首先检测队列长度与丢包率的关系，看是否符合经典的 TCP 吞吐率模型。若不符，则按此规律推导大致的非响应流的比例。不过，当前因特网环境非常复杂，光

维普资讯 http://www.cqvip.com

是TCP自身就有多个版本，还有TCP友好协议和为适应高带宽时延积网络而使用的TCP改进协议，因此这种方法的适用范围是会有一定局限性的。

3.2 对用户公平的AQM算法

这类算法的一个雏形是CSFQ[30]算法。虽然它没有提出对用户公平的概念，但是它首先提出了在边界路由器上实施与核心路由器上不同的拥塞控制算法。这一做法的目的是为了减少核心路由器上维持的单流状态信息，降低算法复杂性。这种思想对实现接入控制起了很大的启发作用。

刘刚等[31]提出基于用户的公平性概念，并依此提出一种RED算法的改进，M-RED，其实现手段是用接入带宽来对RED的分组丢弃概率进行修正，但他们仅将此概念及算法用于接入服务的边际路由器，而没有考虑如何在网络中的核心路由器上保证对用户的公平。

邓晓衡等[32]针对TCP Vegas、TCPW等基于测量进行拥塞控制的改进协议仍然具有RTT歧视特性的状况，从确保不同QoS要求的用户之间的公平性角度出发，提出按缓冲区加权的分组丢弃方法CRED(Capability Based RED)。然而CRED是有缺陷的，主要是在不拥塞或拥塞程度较低的状态下，非响应流或贪婪流有较大可能占据较大带宽和缓冲区比例，因而进入拥塞程度高的状态时也就会得到"优待"，这不是我们期望的结果。

AS Tam等[33]提出一种TCP友好的接入控制，在边界路由器上实现对非合作流的速率限制。这种算法虽然实现的是接入控制，但是它没有考虑用户的效用函数，因此所实现的用户公平其实与对流的公平是一致的。

在前面的对偶模型理论介绍中我们提到，比例公平的系数是由用户的效用函数决定的，因此要实现对用户的公平，就要考察他们不同的效用函数。

K. Chandrayana等[34]提出在边界路由器上实现的QoS接入控制，用户的QoS要求由他们的效用函数来表达。而对非合作流的用户，则将其效用函数重新映射到一定合理范围内的效用函数，从而防止他们对网络的冲击。

X. Fan等[35]在文[34]的基础上，用在对偶模型理论中计算出来的合作流的公平带宽份额来检验非合作流，并采用控制理论中双回路反馈技术，实现在边界路由器上对非合作流带宽份额的控制，加快了系统响应和向稳态的收敛速度。

另外，前面提到的UFQ算法在实现上属于类XCP方法，但其设计思想也是对用户公平的，虽然它不是一种AQM算法。

总结和展望 分析以上的研究现状，我们可以看出，同质流网络中公平性研究主要是围绕解决TCP流的RTT歧视这一问题而展开和深入的；异质流网络中公平性研究主要是围绕保护正当行为流的问题而不断推进的，其中的热点是实现对用户公平的AQM算法，难点是如何在维持较少的流状态信息的条件下提供较高的公平性。

以下是我们认为今后有意义的几个研究方向及对其的理解：

(1) 在异质流网络中的带宽分配上，UDP或非响应流对TCP流的影响机理

网络模型的研究是拥塞控制的基础工作，仍有待深入。在机理模型方面，对TCP协议流的模型已经有比较深入的研究[36,3,4]，而UDP协议流或其他非响应流相对简单，应该是开环的随机过程模型。但是关于TCP、UDP流共存时，UDP流对TCP流的影响的机理还未见到相关研究。而这对于AQM算法实现带宽分配的公平性将是很有意义的基础工作。

(2) 基于用户公平的AQM

在边界路由器上实现接入控制之后，在核心路由器上还需要实现什么功能？已有的研究没有回答这个问题。在文[35]的仿真中，虽然有多瓶颈的网络拓扑，但是其中的路由器其实都是边界路由器，而没有核心路由器。如果在核心路由器上发生了拥塞，而采用的还是对流公平的AQM算法，那么依然会产生抹杀QoS的作用，这是值得深入研究的。

(3) 公平性的评价

一方面是多种"新"AQM算法的公平性比较研究，如SAC、DCN、ESD和WARD。因为它们被提出时都是只与经典的AQM算法做比较研究，而这些算法之间的性能比较，还没有相关的研究。另一方面与(2)中的研究相关，如何评价一种算法对用户的公平性呢？对偶模型理论可能是一个好的研究框架和起点。

(4) 异质流网络中的公平AQM算法的参数设置问题以及智能算法在其中的应用

参数设置问题，对这些算法都是关键性的，比如RED-PD算法中的M和K、SFB算法的速率上限、SAC对CHOKe的修正也是参数问题。另一方面，模式识别和信号处理技术中的一些智能算法在这些参数确定问题以及恶性竞争流的鉴别问题上应该还能发挥更大的作用。BLACK算法的一次改进[37]就是在对流数目的估计上采用了新的估计算法。因此，采用智能算法对异质流网络中现有的公平AQM算法进行改进，也会是一个有前景的研究方向。

参 考 文 献

1 Kelly F P. Charging and Rate Control for Elastic Traffic [EB/OL]. http://www.statslab.cam.ac.uk/~frank/elastic.html, 1997
2 Kelly F P, Maulloo A, Tan D. Rate Control in Communication Networks: Shadow Prices, Proportional Fairness and Stability [EB/OL]. http://www.statslab.cam.ac.uk/~frank/rate.html, 1998
3 Misra V, Gong WB, Towsley D. Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows with an application to RED. In: Proceedings of ACM SIGCOMM 2000, Stockholm, Sweden: ACM Press, 2000. 151~160
4 Low S H. A duality model of TCP and queue management algorithms. In: Proc. of ITC Specialist Seminar on IP Traffic Measurement, Modelling and Management, Monterey, CA, 2000. [Online] Available: http://netlab.caltech.edu
5 Cheng Jin, Wei D X, Low S H. FAST TCP: motivation, architecture, algorithms, performance. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Hong Kong, 2004, vol 4. 2490~2501
6 Tan Liansheng, Yuan Cao, Zukerman M. FAST TCP: fairness and queuing issues. IEEE Communications Letters, 2005, 9 (8): 762~764
7 Mo J, Walrand J. Fair end-to-end window-based congestion control. IEEE/ACM Trans Networking, 2000, 8 (5): 556~567
8 Bansal D, Balakrishnan H. Binomial congestion control algorithms, In: Proc. IEEE INFOCOM2001. Anchorage, AK: IEEE Communications Society, Apr. 2001: 631~640
9 Floyd S, Jacobson V. On traffic phase effects in packet-switched gateways. Internetworking: Research and Experience, 1992, 3 (3): 115~156
10 Gibbens RJ, FP Kelly. Resource pricing and the evolution of congestion control. Automatica, 1999, 35 (10): 1969~1985
11 Kelly T. On engineering a stable and scalable TCP variant: [Technical Report]. CUED/F-INFENG/TR. 435. Cambridge University Engineering Department, June 2002
12 Kelly F P. Fairness and Stability of End-to-end Congestion Control [EB/OL]. http://www.statslab.cam.ac.uk/~frank/PAPERS/fse2ecc.html, 2003
13 Zhou X, Ippoliti D, Boult T. A hop-count probabilistic packet dropper. In: Proc. of IEEE International Conference on Communications 2006. Istanbul, Turkey: IEEE Soceity, 2006. vol 1: 116~121
14 Ohsaki H, Eguchi T, Murata M. AQM mechanism for improving fairness among TCP connections in tandem networks. In: Pro-

维普资讯 http://www.cqvip.com

ceedings of the 2006 Symposium on Applications and the Internet (SAINT'06). Phoenix, Arizona, USA: IEEE Computer Soceity, 2006
15 Katabi D, Handley M, Rohrs C. Congestion control for high bandwidth-delay product networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2002, 32 (4): 89～102
16 Zhang Y, Henderson T R. An implementation and experimental study of the explicit control protocol (XCP). In: Proceedings IEEE INFOCOM 2005. Miami, CA, USA: IEEE Soceity, 2005. vol 2: 1037～1048
17 徐建,李善平. 用户公平的活动队列管理. 电子学报,2004,32(3):435～440
18 章淼,吴建平,徐恪. 一种改善 TCP 公平性的算法. 清华大学学报(自然科学版),2003,43(9):1280～1283
19 Xia Y, Subramanian L, et al. One more bit is enough. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2005, 35 (4): 37～48
20 Lin D, R Morris. Dynamics of random early detection. In: Proceedings of ACM SIGCOMM 1997. Cannes, France: ACM Press, 1997. 127～137
21 Mahajan R, Floyd S, Wetherall D. Controlling High-Bandwidth Flows at the Congested Router: [Technical Report]. TR-01-001. AT&T Center for Internet Research at ICSI (ACIRI), April 2001
22 Feng W, Kandlur D, Saha D, et al. Stochastic fair Blue: A queue management algorithm for enforcing fairness. In: Proc. IEEE INFOCOM 2001. Anchorage, Alaska: IEEE Communications Society, 2001. 1520～1529
23 Pan R, Prabhakar B, Psounis K. CHOKe: A stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation. In: Proc. of IEEE INFOCOM'2000. Tel Aviv, Israel: IEEE Communications Society, 2000, vol 2. 942～951
24 Jiang Y, Hamdi M, Liu J. Self adjustable CHOKe: an active queue management algorithm for congestion control and fair bandwidth allocation. In: Proc. ISCC'03. IEEE, 2003: 1018～1025
25 Chatranon G, Labrador M A, Banerjee S. BLACK: detection and preferential dropping of high bandwidth unresponsive flows. In: Proc. of ICC '03. IEEE. 2003, vol 1: 664～668
26 汤德佑,骆嘉伟,张大方,等. 一种提高稳定性和公平性的主动队列管理机制. 计算机研究与发展,2005,42(7):1136～1142
27 Ho C Y, Chan Y C, Chen Y C. A TCP-friendly stateless AQM scheme for fair bandwidth allocation. In: Proceedings of the Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services (ICAS/ICNS 2005). IEEE Computer Society, 2005. 14～19
28 Le L, Aikat J, Jeffay K, et al. Differential congestion notification: Taming the elephants. In: Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols, ICNP 2004. Berlin, Germany, October, 2004. 118～128
29 Zhao Z, Darbha S, Reddy A L N. A Method for estimating the proportion of non-responsive traffic at a router. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004, 12 (4): 708～718
30 Stoica I, Shenker S, Zhang H. Core-stateless fair queuing: achieving approximately fair bandwidth allocations in high speed networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1998, 28 (4): 118～130
31 刘刚,张德运,刘晶. 基于用户公平的随机早期检测算法改进. 微电子学与计算机,2004,21(6):119～122
32 邓晓衡,陈志刚,王建新,等. 基于测量的 TCP 拥塞控制的公平性研究. 小型微型计算机系统,2004,25(11):1894～1898
33 Tam A S, Chiu D M, Lui J C S, et al. A case for TCP-friendly admission control. In: Proc. of 14th IEEE International Workshop on Quality of Service, 2006 (IWQoS'06). New Haven, CT, USA: IEEE Soceity, 2006. 229～238
34 Chandrayana K, Kalyanaraman S. Uncooperative congestion control. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2004, 32 (1): 258～269
35 Fan X, Chandrayana K, Arcak M, et al. A two-time-scale design for edge-based detection and rectification of uncooperative flows. IEEE/ACM Trans Networking, 2006, 14 (6): 1313～1322
36 Padhye J, Firoiu V, Towsley D, et al. Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1998, 28 (4): 303～314
37 Chatranon G, Labrador M A, Banerjee S. Fairness of AQM schemes for TCP-friendly traffic. In: Proceedings of IEEE Globecom 2004. Dallas, Texas: IEEE Communications Society, 2004, vol 2. 725～731

(上接第 8 页)

表 2 自然语言查询系统测试统计结果

评价参数	测试结果
准确率	95.6%
误识率	0.28%
未识率	4.12%
处理时间	0.13 秒/问题
自由度	98.1%

(4) 多媒体智能教学

AUIS 系统提供了共享多媒体资源的智能教学服务平台。图 10 所示为领域专家为某一多媒体视频资源提供知识命题的过程。在该系统中,专家可以任意地通过人机界面对所选多媒体资源增减时间断点,添删任何难度及分值的问题。用户则可以在该系统下观看并回答多媒体资源中的各类问题,从而检测自身对于知识的掌握程度。

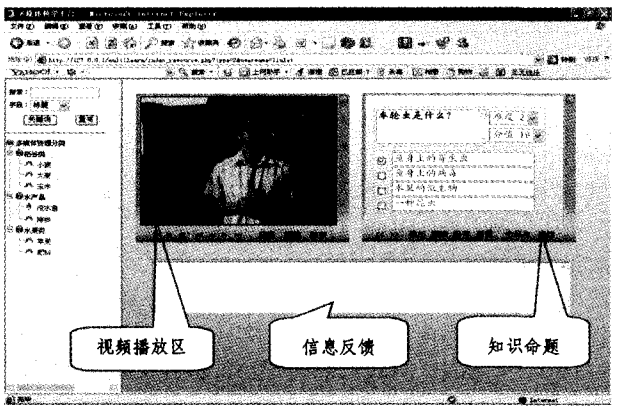

图 10 AUIS 系统中领域专家命题过程

结论和未来工作 本文介绍了一种信息共享联盟模型——UIS,有效地实现了分布异构数据的标准化和信息共享,同时也实现了共享资源的多模式信息检索,提高了网络资源的有效利用率。该模型具有诸多优点,包括信息共享的协调和自主,信息检索的高效、准确和多样,模型所具有的可扩展性和可移植性等等。当然,该模型仍然存在着一些不足之处,有待于进一步完善。例如,模型是建立在复杂的网络环境之中,因此数据通信的机制、协议以及系统的异常控制都决定了整个模型能否稳定执行。这些机制和协议还有待于在实践中进一步完善和规范。

由于网络环境的复杂性和资源的多样性,UIS 模型实现的需求也将随之不同。因此,应该结合实际的调研结果,使 UIS 模型不断完善,适应更加复杂的需求,具有更好的鲁棒性和健壮性。

参 考 文 献

1 郑宇飞,刘磊,丰强泽,曹存根. 农村科技信息共享服务系统的设计和实现. 计算机科学,2005,32(8):1～6
2 陈良玉,等. 农村科技信息共享技术与实践. 北京:中国农业科学技术出版社,2004
3 杜青林. 中国农业和农村经济结构战略性调整. 北京:中国农业出版社,2003
4 彭常. 关于信息传输"最后一公里"的研究. 见:中国科协首届学术年会论文集. 中国科学技术出版社,1999
5 温国泉. 谈谈我国现阶段农业信息化服务的发展模式. 科技情报开发与经济,2002,12(5):33～34,36
6 谢能付. 基于语义网的知识融合和同步研究:[博士论文]. 北京:中国科学院计算技术研究所,2006
7 张维明,等. 语义信息模型及应用. 北京:电子工业出版社,2002
8 史忠植. 高级人工智能. 北京:科学出版社,1998
9 史忠植. 智能主体及其应用. 北京:科学出版社,2001
10 冯东辉,曹存根. 知识界面在 NKI 中的应用. 计算机工程与应用,2001
11 丰强泽. 人知交互中用户隐式知识需求分析研究:[博士论文]. 北京:中国科学院计算技术研究所,2006
12 Feng Q, Cao C, Si J, et al. A Uniform Human Knowledge Interface to the Multi-Domain Knowledge Bases in the National Knowledge Infrastructure. ES2002, 2002. 163～176