可控可信可扩展的新一代互联网*

林 闯+, 任丰原

(清华大学 计算机科学与技术系,北京 100084)

Controllable, Trustworthy and Scalable New Generation Internet

LIN Chuang+, REN Feng-Yuan

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62783596, E-mail: chlin@tsinghua.edu.cn, http://www.tsinghua.edu.cn

Received 2004-08-12; Accepted 2004-09-06

Lin C, Ren FY. Controllable, trustworthy and scalable new generation Internet. *Journal of Software*, 2004,15(12):1815~1821.

http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/1815.htm

Abstract: In the 21st century, Internet will be one of the most important infrastructures in information society. In this paper, the roadmap of Internet is reviewed, and the successful experience and failed lesson are summarized. From the point of view of application requirements, some essential attributes possessed by the new generation Internet are predicted and concluded, namely controllability, trustworthiness, and scalability, which are explained and discussed in detail. Finally, some thinking about methodology for study on the new generation Internet is introduced.

Key words: Internet; controllability; trustworthiness; scalability

摘 要: 互联网将成为 21 世纪信息社会最重要的基础设计之一.在回顾互联网发展历史的基础上,总结了它成功的经验和失败的教训.从应用需求的角度出发,预测和归纳了新一代互联网应该具备的基本特性,即可控性、可信性和可扩展性,并进行了详细的分析与阐述.最后,介绍了几点有关新一代互联网研究方法的思考.

关键词: 互联网;可控性;可信性;可扩展性

中图法分类号: TP393 **文献标识码**: A

众所周知,互联网是在美国较早的军用计算机网络 ARPANET 的基础上,经过不断发展变化而形成的一个国际性的计算机通信网络集合体.它集现代通信技术和现代计算机技术于一身,将各种各样的物理网络联合起来,构成一个整体,实现全球范围内广泛的信息交流和资源共享.

毋庸置疑,信息化、数字化、全球化、网络化应该是 21 世纪人类社会的重要特征.网络作为信息社会的主

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60273009, 90104002 (国家自然科学基金); the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2003CB314804 (国家重点基础研究发展规划(973)); NSFC&RGC under Grant No.60218003 (国家自然科学基金与香港研究资助局资助项目)

作者简介: **林闯**(1948－),男,辽宁沈阳人,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机网络,系统性能评价,随机 Petri 网,逻辑推演和推理系统;**任丰原**(1970－),男,博士,讲师,主要研究领域为网络流量的控制和管理,传感器网络和测控网络.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

要载体,它的重要性就如同铁路和高速公路的蓬勃发展给工业社会带来了广泛而深远的影响一样,必将成为 21 世纪全球最重要的基础设施之一.功能各异、形式多样的应用系统对数字信息的综合采集、存储、传输、处理和利用,最终通过无处不在的网络平台将全球范围的人类社会更紧密地联系起来,以不可抗拒之势影响和冲击人类社会政治、经济、军事、日常工作和生活的方方面面.信息与网络是 21 世纪衡量一个国家综合实力的重要标志之一.

基于这样的共识,新一代互联网络及其应用的研究引起了世界各国的普遍关注,相继启动了一系列的重大研究计划与项目,诸如美国的 NGI[1],Internet2[2],vBNS[3]和 Abilene[4],加拿大的 CA*Net4[5],欧盟的 GEANT[6]和亚太的 APAN[7].我们国家在计算机信息网络的基础理论和应用技术研究方面有较长的历史,特别是改革开放政策为我国信息基础设施建设带来了跳跃式的发展机遇,在电话(包括移动电话)、有线电视以及光纤传输系统和卫星通信系统等基础设施建设方面形成了较好的基础.根据中国互联网络信息中心 2004 年 2 月的统计[8]显示,我国上网计算机达 3 089 万台,上网用户数达 7 950 万,CN 下注册的域名数为 340 040 个,WWW 站点数约 595 550 个,国际线路总容量接近 28G.近十几年来,国家自然科学基金、863 计划和国家攻关计划等对互联网络及其安全的基础理论和应用技术的研究给予了大力支持,在网络与信息安全研究(例如:国家自然科学基金委的“网络与信息安全”研究计划)、高速互联网络研究(例如:国家自然科学基金委支持的 NSFCNET)、高速网络及核心路由器等关键设备的研制(例如:国家 863 计划支持的“高速信息示范网专项”)等方面达到了当时的国际先进水平,同时也培养出了一批研究队伍和学术带头人,为参与下一代互联网的研发奠定了良好的基础.

回顾互联网的发展,其雏形 ARPANET 是冷战时期美国国防部为验证分散指挥系统的构想而资助建立的实验网,随后其核心技术被 NSF 利用,搭建了服务于学术研究的 NSFNET.20 世纪 90 年代后期,随着现代计算机技术和现代通信技术的不断发展与融合,现代社会信息化方向的逐步发展,整个人类社会对资源共享需求的不断提高,各种各样网络应用的出现,商业机构开始介入互联网,它的用户不再仅仅局限于互相信赖且具有专业知识的学者和研究人员.一方面,异构用户的爆炸性增长形成了互联网前所未有的迅猛发展的内在动力,同时也为它的进一步发展提出了诸多挑战.仅就技术而言,最早的互联网设计者们依赖的假定条件随着技术的发展和商业元素的逐渐渗透,已经不能成立.

起初,互联网仅仅被用来作为文件共享的平台,但随着应用的深入,形式多样的应用层出不穷,人们在综合业务数字网络设计理念的指导下,一直在努力寻找一种统一的网络来以一定的服务质量(QoS)保证承载具有不同特性和技术要求的网络应用,曾经有一段时间,ATM 网络被普遍看好是理想的选择,但最终还是因为其复杂、低效、难以管理和控制而逐渐淡出市场.于是,人们将期望赋予了已成功运行多年,以数据业务为特长的 IP 网络,试图通过必要的扩展和改进,使以 TCP/IP 为技术核心的互联网能承载包括语音、视频、图像、数据等在内的多种业务.目前看来,这个方向的努力取得了一定的进展,VoIP 的推广应用是一个很好的例证.同时也证明了 IP 网络具有可改造升级,以满足新应用的潜力.但如何在存储转发的非面向连接模式下以较小的代价和开销支持多种多样的新业务依旧是一个富有挑战性的问题,譬如为无线网络提供很好的移动管理,无缝融合正在兴起的自组织网和传感器网络等,也就是说,新一代互联网可扩展性的技术内涵更加丰富,除规模可扩展以外,在功能、性能等方面也需要一定的可扩展性,并且这种可扩展性需要体系结构的支持,否则“打补丁”的设计方法最终将会使 IP 网络重蹈 ATM 网络的覆辙,变得臃肿低效,难以管理和控制.

此外,最初的互联网仅仅被当作一种研究工具在科研人员之间使用,由于用户相对单一,使用者之间完全可以通过默契建立良好的信任关系.但在商业化的进程中,利益的驱动,用户技术水平和道德素质参差不齐,互联网的安全性受到了越来越多的关注;恶意攻击时常发生;垃圾邮件、不健康资讯弥漫于网络的各个角落.于是,如何构建一个安全可信可控的网络成为人们关注和研究的焦点.

综合以上两方面的因素,从应用需求的角度出发,新一代互联网的研究应该充分体现可控可信可扩展的特点.

1 新一代互联网的研究内容

不难预见,在不久的将来,随着光和无线通信技术的发展,以及网格计算等革命性应用的研究进展,新一代

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

互联网将朝向“更大、更快、更及时、更方便、更安全、更可管理和更有效”的方向发展.“更大”指的是新一代互联网络将采用 IPv6 为基本网络层协议,从而彻底解决目前的互联网地址空间严重缺乏的问题,为新一代互联网络的进一步大规模发展奠定基础.“更快”是指与目前的互联网相比,新一代互联网络骨干逐渐向 T 比特过渡,用户端到端性能也有大幅度提升,至少达到 100Mbps 以上.“更及时” 是指新一代互联网络必须支持组播和面向服务质量的传输控制等功能,从而可以更及时地为用户提供各种实时多媒体信息.“更方便”指新一代互联网络必须能够支持更方便、快捷的接入方式,支持终端的无线接入和移动通信等.“更安全”是指新一代互联网络必须提供可信任的网络服务,包括网络对象识别和网络攻击防范等.“更可管理”是指新一代互联网络必须提供更方便、灵活的管理手段,对网络运行的各个方面实施全面、高效的管理.“更有效”指的是新一代互联网络必须提供合理的盈利模型,提供方便的计费手段,使网络更加有效地运行.简而言之,这些特征可以用可控、可信、可扩展来概括.可控保证了“更可管理”和“更有效”运行;可信是“更安全”的技术描述;而包括规模、性能、功能等多个维度的可扩展性能够实现“更大”、“更快”、“更及时”、“更方便”的技术要求.

1.1 可信性

目前互联网中普遍存在的脆弱性导致了它是不可被信任的,例如:路由系统无法验证数据包的来源是可信的;用户担心敏感信息或个人隐私泄露、关键应用的开发者和所有者担心互联网受攻击而影响应用系统的可用性,出了问题之后无法追查肇事者等.互联网的脆弱性(vulnerability)表现在设计、实现、运行管理的各个环节.就设计而言,存储转发“尽力而为”设计思想使得网络中间节点对传输数据包的来源不验证、不审计,导致地址假冒、垃圾信息泛滥,大量的入侵和攻击行为无法跟踪.其次,即便网络体系结构设计完美,主机软硬件系统在实现过程中的脆弱性却难以避免,并且网络运行与维护中各种安全漏洞以及安全机制与管理政策之间的不一致性普遍存在.

可信性(trustworthiness)比安全性更富有广泛的技术内涵,在一定程度上前者比后者更为重要.这是信息安全研究领域近来取得的一个新共识.可信的互联网络应该具有如下特性:(1) 实现传统意义上的安全性,即系统和信息的保密性(confidentiality)、完整性(integrity)、可用性(availability);(2) 真实性(authenticity),即用户身份、信息来源、信息内容的真实性;(3) 可审计性(accountability),即网络实体发起的任何行为都可追踪到实体本身;(4) 私密性(privacy),即用户的隐私是受到保护的,某些应用是可匿名的;(5) 抗毁性(survivability),在系统故障、恶意攻击的环境中,能够提供有效的服务;(6) 可控性(controllability),是指对违反网络安全政策(security policy)的行为具有控制能力.从理论上讲,根本上消除脆弱性、企图设计并实现一个绝对安全的互联网络是不切实际的.但新一代互联网络需要从体系结构上为可信性付出必要的努力,至少将安全完全建立在对用户绝对信任基础上的假设是不能够再成立的.

1.2 可控性

我们说新一代互联网应该是可控的,并不意味着现在的 Internet 完全不可控.凸现这一特性,是想强调它的充分可控性,即需要对网络资源和用户行为进行严格的约束和控制.从宏观角度分析,这种可控性有利于 QoS 保证和网络安全的实现.迄今为止,在 IP 网络上实现 QoS 的方案已经有了若干种,包括 IntServ[9],DiffServ[10],SCORE(stateless core)[11],DPS(dynamic packet state)[11]和 JoBS(joint of buffer management and scheduling)[12]等,但首先进入工程实践的却是基于 MPLS 的 QoS 方案,已经在局部范围内伴随 VPN 一起开始部署.MPLS 是面向连接的 ATM 技术在 IP 网络内扩展,通过在网络中间节点上维护一定的状态信息,保证了分组在网络中流动时的可控性,是电信网络的设计思想在互联网中的渗透与融合.虽然 IP 网络固有的尽力而为的业务模式和逐跳存储转发的分组传送方式简单灵活,无须在中间节点维护过多的状态信息,但由此带来的分组传输路径的不可控给 QoS 和 TE(traffic engineering)等的实现造成了障碍.如果利用适度的状态信息能够更好地控制和约束分组.业务流甚至是聚合流,使它们依照事先约定的服务等级协议(service level agreement,简称 SLA)运行,才有可能在 IP 网上实现真正的端到端的 QoS 保证.简而言之,需要维护一定的状态信息,施加必要的控制,使 IP 网络具有某种程度上的面向连接的特性.当然,不能像 IntServ 一样付出不可接受的实现代价,但似乎 DiffServ 的控制又过于简单,不能达到理想的技术指标,如何在控制的复杂度和要求的性能之间取得理想的平衡是一个值得研究的课题.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

但有一点可以肯定,目前互联网中实施的控制机制难以实现理想的 QoS 保证.显式拥塞通告(explicit congestion notification,简称 ECN)[13]和主动队列管理(active queue management,简称 AMQ)[14]机制是近来两个技术热点,它们最初都是想通过增加网络中间节点的控制处理能力来增强端到端的拥塞控制,因为多个版本的 TCP 流量控制机制表明:仅仅依靠改善端系统上的控制机制,很难优化互联网的拥塞控制效果,这种技术认识上的转变或许从一个角度折射出了新一代互联网需要更加充分的可控性的必然.

可控性同时有利于网络可信性的实现.如果我们能够在网络的关键点上严格控制和规范业务流,使其符合正常业务流的特性,则至少可以在很大程度上减小垃圾邮件的传播和诸如拒绝服务性攻击(DoS)之类的安全威胁. 目前的入侵检测系统(intrusion detection system,简称 IDS)可以通过流入分组流量的时空特性判别它的合法性,从而做出相应的控制措施.能否强化这种控制作用,将其进一步扩展到更大范围内,如网络接入点等?而且使这种控制由单向变为双向.直觉上,这种强化的控制措施会有利于维护一个可行的网络.如果说互联网发展至今,已经成了一个人造的复杂巨系统的话,那么它与同样复杂的人类社会应该有一定的可比性,为了使它稳定有序地运行,在不同层次上对它进行监视和控制则应该是必须的,为此而付出一定的代价也是必要的,这就如同我们生活的社会存在着维护正常秩序的各种职能部门一样,关键在于如何平衡付出的代价和所获利益之间的关系.单纯强调某一个方面都是不科学的.

1.3 可扩展性

互联网的“沙漏”模型(如图 1 所示)为它赋予了充分的扩展性,使其能够兼容并蓄各种形式的物理传输网络,承载各种各样的应用,为实现 Everything over IP over Everything 提供了技术条件,这是它的生命力所在,这种形式上的可扩展性对于实现各种网络的融合至关重要.此外,IPv4 向 IPv6 的过渡彻底解决了地址空间的不足,为新一代互联网的规模可扩展提供了技术条件.但就网络发展的现状和未来的需求而言,形式和规模上的可扩展是远远不够的,新一代互联网需要技术内涵更加丰富的可扩展性,除上述两个方面以外,它必须在功能和性能等多个层面上具备一定的可扩展性.

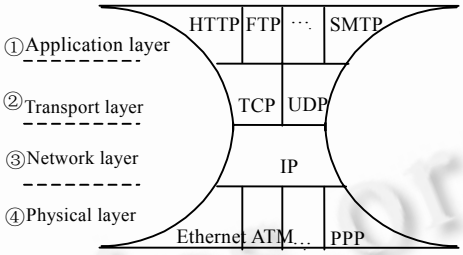

Fig.1 Sandglass model of network protocol

图 1 协议栈的沙漏模型

1.3.1 功能可扩展

所谓功能可扩展指的是对组播(multicast)、任意播(anycast)和移动(mobile)等应用的良好支持.实践证明,域内小规模组播的商业应用已经非常成功,但 WAN 上跨域间的组播技术依旧不够成熟,而组播又是众多交互式视、音频应用的支撑技术,新一代互联网需要解决这一技术瓶颈,方可进一步推动网络的发展.近来在覆盖(overlay)网概念下[15],在这个方向上吸引了众多研究者的关注.近 10 年来,移动通信迅速发展,中国的移动电话网用户已超过 2 亿.随着技术的发展,移动通信网不仅能够提供移动话音业务,还能够开展移动信息服务.第三代移动通信(3G)技术使移动终端能够接入 IP 网,人们在移动过程中能够保持网络连接,不间断地接受通信和信息服务.为了支持移动信息服务,新一代互联网必须为移动性提供更多、更方便的支持.

1.3.2 性能可扩展

所谓性能可扩展指的是新一代互联网需要稳定有效地工作在差异逐渐加大的异构配置和环境下.物理带宽迅猛提升使几千比特的拨号线路、数兆比特的专用线路和吉比特的光通路共存;往返时延(round trip time,简称 RTT)几十毫秒的 LAN,数百毫秒 WAN,甚至数秒的卫星链路也加剧了网络配置的异构性;无线链路与有线链

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

路有着相去甚远的误码特性;这些基本物理参数的较大差异对新一代互联网的高性能运行提出了挑战.最近成为研究热点的超高速网络中传输系统的性能优化问题即是一个很好的例证[16]:日内瓦的欧洲粒子离子物理研究所(CERN)与美国芝加哥的 StarLight 之间主干为 2.5Gbps 的高性能网络上的实验数据表明,传统的 TCP 传输控制机制不能有效地工作在超高速的网络环境下[17].因此,新一代互联网必须有能力提供异构环境下的性能可扩展性.

1.3.3 对自组织网络的支持

在军事、灾难拯救、空间探索等特殊领域,通过规划设计、线缆铺设、节点设备(包括交换机、路由器和基站等)调试与配置搭建网络搭的方法显得过于笨拙,甚至不合时宜,难以满足实际应用的需要,人们期望有一种快速而灵活的信息基础设施构建方法.于是,以 ad hoc[18]和无线传感器网络[19]为代表的自组织网络技术便应运而生,并迅速成为网络研究领域的热点,吸引了众多研究者的关注.自组织网络有可能使网络的研究与设计在概念和理念发生质的变化.传统的网络节点与终端系统的划分将被逐渐模糊和淡化,自组织网络中的任何设备将既是分组业务的生成者,也是分组业务的中继者.与传统网络相对稳定的拓扑结构相比,实时的动态变化是自组织网络最大的特点,由此而导致的维护网络连通性的路由技术更加难以实现.还有,自组织网络一般工作在人难以接近的恶劣环境下,能源无法再生或替换,这在传统的网络中是不存在的问题.因此,低功耗的网络协议(包括 MAC 协议、路由协议和相关的应用层协议)和系统的能量管理优化方案是自组织网络面临的新课题.此外,已有研究结果表明[20],无线传感器网络以数据为中心,而传统的无线网络(包括 ad hoc 自组织网络)则以数据传输为目的,因此,前者需要特殊的设计考虑.作为想要融合未来大多数异构网络,形成人类社会信息基础化设施的新一代互联网,为自组织网络预留必要的发展空间,是其可扩展性中应该得以体现的.

综合上述几个方面,新一代互联网需要具备技术内涵更加丰富的可扩展性.

2 对新一代互联网研究方法的一点思考

40 年来,Internet 取得了令人意想不到的发展,全世界已有近 6 亿人通过各种方式分享着丰富的信息资源,互联网的巨大成功是不争的事实.当然因为历史的原因,它不可避免地存在着这样那样的缺陷与不足,但无论如何也不能抹煞它的成功,很难想象能有第 2 种网络技术能像它一样在全世界范围内为人类构造一个相对健壮的信息共享和交换的平台,同时它的生命力还表现在对不同网络技术的融合吸纳上.曾经被绝大多数人一致看好的 BISDN 设计理念和它的支撑技术 ATM 在实践中遭到挫败,更多的人越来越相信只有基于 IP 的融合才是未来网络的发展方向,这种思想在国际电信联盟(ITU)制定的下一代网络(next generation network,简称 NGN)技术路线中也得到了充分反映.从根本上讲,互联网的研究带有更多的工程技术色彩,如果纯粹的理论研究提倡革命性的突破,那么工程技术应该是革新性的继承.我们不可能完全打破已有的,建造一个全新的.因此,在新一代互联网的研究中,我们必须在继承的基础上不断完善和创新,总结过去成功的经验,吸取失败的教训,更好地指导我们的研究实践.

一般而言,可以将网络的研究划分为 3 部分,即体系结构、协议标准和机制算法.体系结构的研究,更多的是实践经验的总结,即寻找“公理性”的认识. Internet 产生于 20 世纪 60 年代,直到 70 年代,体系结构才在反复实验验证之后得以确立.因为 Internet 在发展初期面对的主要挑战是网络的互通性、设备的异构性和管理的分布性等.最终,确定了无连接的分组交换结构(dumb network),采用存储转发的路由机制和尽力而为的服务模式,高层的功能被置于网络边缘.其中最后一点,Internet 的创始人之一 David Clark 将其总结为“边缘论(end-to-end argument)”的思想,即一种应用功能只有当其被置于通信系统的边缘时才能完全和正确地实现,因此将这种应用功能作为通信系统本身的性质是不可能的[21].当时提出这种论断的依据是,网络是不可靠的,最终检查功能是否正确执行只能在传输终端的应用层完成,而网络核心部分只进行最通用的数据传输而不实现特殊应用,这种设计考虑有不少优点,如降低了核心网络的复杂性,便于升级;提高了网络的通用性和灵活性,增加新应用时无须改变核心网络,提高了可靠性等.在我们研究新一代互联网的过程中,需要对“边缘论”有一个客观的认识.一方面,网络应用环境已大大改变,用户急剧增加且互不了解,Internet 已变成没有信用的世界,有必要在网络的核心部分增加认证、授权等控制机制使网络更可信,即实现我们所强调的可控性和可信性.在网络中间节点上增加

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

可控性和可信性,以及维护相应的状态信息,并非实现独立的应用功能,从根本上看,它并没有彻底违背“边缘论”的观点,算得上是一种挑战.另一方面,当我们在寻求新的网络体系结构时,“边缘论”所追求的灵活性和开放性依旧被证明是体系结构设计中必须遵从的“公理”.主动网络(active network)[22]和可编程网络(programmable network)[23]的兴起和快速消沉的事实是最好的例证.主动网络有着诱人的设计思想,为网络赋予了用户可控制的计算能力,可以使网络节点从比特流的“搬运工”变成了有处理能力的计算引擎,能够使网络应用软件的开发摆脱已有网络体系结构固有模式的制约,加速了新业务、新应用的开发和使用[24].但因为它对“边缘论”的思想有所违背,目前的研究实践证明它并不是一条可行的,或者说是理想的技术路线.上面有关“边缘论”的重新认识能否再一次告诉我们新一代互联网体系结构的研究中,我们需要的应该是继承性的创新,而非革命性的突破呢?通过反复的论证、实验和修正,经过一段时间,最终凝炼出新一代互联网体系结构中公理性的指导意见应该是一种可行的技术路线.

在协议标准方面,开放系统互联是我们在过去的网络研究中得到的最有价值的经验.开放性是任何系统保持旺盛生命力和能够持续发展的重要特性,因此,也将是新一代互联网发展过程中所应该遵循的一个原则.基于统一的网络通信协议标准是互联网开放性的体现.早期那种各大公司专用网络体系结构“群雄逐鹿”的局面逐步被 TCP/CP“一统天下”的形势取代,印证了开放系统互联是大势所趋.统一协议标准是维护互联网开放性的一项基本措施.在新一代互联网的研究中,我们需要积极参加有影响力的标准化组织(如 ITU-T,IEEE,ISO,特别是 IETF)的活动,提交有建设性的标准草案,参与广泛的学术交流与讨论,力争使我们研发的技术成为标准,从而影响、甚至主导新一代互联网的发展.对于这一点的重要性,国内的设备厂商和研究机构已经有了足够的认识,正在积极向该方向努力.

协议分层是我们在过去的网络研究中得到的另一个重要结论.分而治之是处理复杂对象的一种有效方法,使问题的解决得以极大简化.OSI 的 7 层模型和传统互联网的 4 层模型,都体现了这一思想,它们都属于平面型的协议模型.新一代的互联网是否需要像 B-ISDN 那样的立体型协议模型? 这是一个值得研究的问题.增强新一代互联网结点的控制能力,是否可以通过垂直的控制管理平面来实现(如图 2 所示)?最近,无线网络研究领域提出的层间联合设计思想也从一个侧面强调了采用立体型协议模型的必要性[25,26].

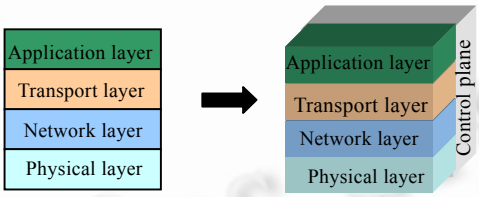

Fig.2 Possible evolution of protocol model

图 2 协议模型可能的演变

如果说体系结构的研究是在寻找“公理”,我们无法直接证明哪一种体系结构最为合理,只能在实践中不断总结完善.那么在机制算法的研究中,我们需要尽力寻找“定理”来保证所设计的机制与算法使网络依照我们预想的状态稳定运行,也就是说,网络机制与算法的研究需要理论的支持.互联网络发展至今,已成为一个庞大的非线性复杂巨系统.具体表现为:系统的规模和用户数量巨大且仍在不断增长,异构异质的网络融合发展;网络协议体系庞杂,垂直方向上呈现出多样化的层次结构,而水平方向上又以地域和功能为标准进一步形成分布且多级的架构;在业务性质上表现为多种业务的集成与综合,突发性日渐明显,且不同业务要求不同的服务质量保证;网络节点间、节点与数据分组间由于协议而产生的非线性作用以及用户之间的合作与竞争,使网络行为呈现出相当的复杂性并且难以预测.如何设计有效的机制与算法来管理和控制这个已经具备相当规模,并不断发展的大尺度复杂巨系统?至今在理论上和技术上依旧是一个困惑当前学术界的难题.传统互联网在此方面的研究,在方法上过分依赖于经验和直觉,没有充分强调理论分析的重要性,缺乏具有普适性结论和定律的归纳与描述.固然,互联网自身的复杂性使问题变得异常困难,但借助一定的成熟理论,或者发现新的方法,去透彻地认识和理解这个人工非线性复杂系统的动力学行为,并基于所得结论逐渐完善和优化控制机制与算法,使其向更高

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

效、更方便、更健壮的方向演进,应该是新一代互联网机制与算法研究的科学指导思想,这种趋势在新近发表的学术论文和研究成果中已日渐明显.

3 结 论

新一代互联网的研究是一个长远的目标.就已有的经验和认识来看,人们普遍认为基于传统的IP网络技术,逐渐发展融合包括计算机网络、电信网络和有线电视网络等的多种网络技术是其可能的发展方向.这个融合发展的过程将是漫长的,用户的应用需求将成为牵引它发展的内在动力.作为一门新生的学科,它也将在这个过程中逐渐得以丰富和完善,最终形成一个相对完整、系统的学科体系和研究方法.

References:

[1] Next Generation Internet. http://www.ngi.gov

[2] Internet2. http://www.internet2.edu, http://www.internet2.org

[3] VBNS. http://www.vbns.net

[4] Abilene. http://abilene.internet2.edu/

[5] ARDNOC. http://205.189.33.72/about/about.html

[6] GÉANT. http:// www.dante.net/geant/

[7] Asia –Pacific Advanced Network. http://www.apan.net/

[8] CNNIC. http://www.cnnic.net.cn/

[9] Braden R, Clark D, Shenker S. Integrated services in the internet architecture: An overview. RFC 1633, 1994.

[10] Braden R, Clark D, Carlson M, Davies E, Wang Z, Weiss W. An architecture for differentiated services. RFC 2475, 1998.

[11] Stoica I. Stateless core: A scalable approach for quality of service in the internet [Ph.D. Thesis]. Carnegie Mellon University, CMU-CS-00-176, 2000.

[12] Liebeherr J, Christion N. JoBS: Joint buffer management and scheduling for differentiated services. In: Proc. of the IWQoS 2001. 2001. 404~418.

[13] Ramakrishnan KK, Floyd S, Black D. The addition of explicit congestion notification (ECN) to IP. RFC3168, 2001.

[14] Braden B. Recommendations on queue management and congestion avoidance in the internet. RFC2309, 1998.

[15] Shi SL. Design of overlay networks for internet multicast [Ph.D. Thesis]. St. Louis: Washington University, 2002. http://www.arl.wustl.edu/~sherlia/thesis/

[16] Floyd S. High-Speed TCP for large congestion windows. RFC3649, 2003.

[17] DataTAG. http://datatag.web.cern.ch/datatag/networking.html

[18] Corson MS. Internet-Based mobile ad hoc networking. IEEE Internet Computing, 1999. 63~70.

[19] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless sensor network: A survey. Computer Networks, 2002,38:393~422.

[20] Estrin D, Govindan R, Heidemann J, Kumar S. Next century challenges: Scalable coordinate in sensor network. In: Proc. of the 5th ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. 1999. 263~270.

[21] Saltzer H, Reed DP, Clark D. End to end argument in system design. ACM Trans. on Computing System, 1984,2(4):277~288.

[22] Tennenhouse DL, Wetherall D. Towards an active network architecture. Computer Communication Review, 1996,26(2):21~28.

[23] Yemini Y, Silva S. Towards programmable networks. In: Proc. of the IFIP/IEEE Int'l Workshop on Distributed Systems: Operations and Management. 1996.

[24] Bhattacharjee S, Calvert KL, Zegura EW. Commentaries on 'Active Networking and End to End Argument'. IEEE Network, 1998, 12(3):66~71.

[25] Zhang J. Burst traffic meets fading: A cross-layer design perspective. In: Proc. of the 40th Allerton Conf. on Communications, Control, and Computing. 2002.

[26] Ulas CK, Iordanis K, Leandros T. A framework for cross-layer design of energy-efficient communication with QoS provisioning in multi-hop wireless networks. In: Proc. of the INFOCOM 2004. 2004.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn