

计算机网络的发展现状及网络体系结构涵义分析^{*})

杨 鹏 顾冠群

(东南大学计算机科学与工程学院 南京 210096)

(东南大学计算机网络和信息集成教育部重点实验室 南京 210096)

摘 要 自身存在种种缺陷与不足的传统网络体系结构,已不再适宜用来指导现今互联网向下一代网络的演进。有必要在正确认识当前计算机网络发展现状和重新审视网络体系结构涵义的基础上,展开对满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构的研究。为此,本文专门对以互联网为代表的计算机网络所面临的发展现状以及近年来计算机网络演进与发展的主要趋势进行了总结和分析,并重点对网络体系结构的涵义进行了全方位、多角度的深入剖析。主张在综合考虑网络体系结构的普适性、特指性、抽象性和过程性等特征的基础上,运用发展的眼光和系统的观点来全面认识和把握其本质,并提出了合理的“网络体系结构认知框架”。本文研究结论对新一代网络体系结构的研究具有重要的参考价值和指导意义。

关键词 计算机网络,互联网,网络体系结构,网络体系结构认知框架

Current State of the Art in Computer Networks and Connotation Analysis of Network Architecture

YANG Peng GU Guan-Qun

(School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

(Key Laboratory of Computer Network and Information Integration (Southeast University), Ministry of Education, Nanjing 210096)

Abstract Traditional network architecture with pitfalls and deficiencies would be better not chosen to guide the evolution of current Internet to next generation network any more. It is urgent to research new generation network architecture that sufficing new requirements after well-estimating current state of the art in computer networks and reflecting the essence of network architecture. This paper analyzes the current status as well as the evolution and development trends of computer networks represented by Internet, and specifically it presents an in-depth anatomy of the essence of network architecture from multiple perspectives. In order to get complete recognition and understanding of the essence of network architecture, it demonstrates the necessity to synthetically consider the characteristics of network architecture such as generality, individuality, abstractiveness, and proceduralness from both systematic and evolutionary perspectives. Correspondingly, this paper suggests a rational Cognitive Framework for Network Architecture, and results in this research are provided as valuable reference and guidance for further research on new generation network architecture.

Keywords Computer Inetworks, Internet, Network architecture, Cognitive framework for network architecture

计算机网络在短短几十年之间经历了一个从无到有、从简单到复杂的飞速发展过程,特别是作为计算机网络典型代表的互联网,已经呈现出一种遍布全球的、开放集成的、可承载多种网络应用的异构网络互联格局,并且对于世界各国的政治、经济、科技和文化等诸方面都产生了巨大的影响。然而近年来,随着互联网商业化趋势的进一步加剧、新兴网络技术的大量涌现、互联网应用的飞速发展、各种新的应用需求的不断提出,现行互联网及其体系结构所存在的一些缺陷也开始变得日益明显和突出^[1],如服务质量难以保证、服务不能灵活定制、网络透明性逐渐丧失、网络安全缺乏保障、软/硬件实现越来越复杂、扭斗(tussle)现象^[2]日渐凸现和激化等。种种迹象表明,现阶段以互联网为代表的计算机网络在表现出从未有过的兴盛和繁荣的同时,其相应体系结构也表现出从未有过的脆弱和不足。正确认识当前计算机网络的现状,深刻洞悉计算机网络发展的趋势,全方位重新审视计算机网络体系结构的涵义,对于研究和建立满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构,具有重要的参考价值和指导意义。因此,本文对以互联网为代表的计算机网络所面临的发展现状以及近年来计算机网络研究的主要发展趋势进行了总结和分析,并重点对“网络体系结构”这个虽然重要但至今仍然未被严格

定义的概念进行了全方位、多角度的深入剖析。

1 当前计算机网络所面临的主要问题

考虑到今天的互联网不仅具有规模巨大、用户众多、影响深远和应用基本成功等诸多优点,而且它也是目前唯一的一个可供参考的、覆盖全球的、成功运行的、现实的计算机网络,因此本文对于当前计算机网络所面临现状的讨论主要以互联网作为研究对象(同时也兼顾考虑了 OSI/RM 等较具代表性的网络体系结构参考模型)。如果从 Klerrock 在 1961 年首次发表论及“分组交换”理论的博士论文^[3]算起,互联网已经走过了 40 余年的研究、建设和发展历程。互联网之所以能够取得成功,除了在其发展过程中所采取的一系列重大决策的正确与及时,以及其管理机构的相对健全和运营机制的比较合理等非技术因素以外,一个非常重要的原因就是得益于其体系结构的支持:灵活的分组交换技术、简单的分层模型和开放的协议标准等。这些特点较好地适应了在互联网发展初期主要以传递离散型正文数据为基础的各种简单应用的需求,因而有效地支持和促进了 E-mail、Telnet、FTP 等传统互联网应用类型的快速发展和广泛普及。然而,自从 20 世纪 90 年代初 WWW 技术的出现,以及美国 NSF 解除互联网上的商

^{*} 国家重点基础研究发展 973 计划资助项目(2003CB314801)、国家自然科学基金资助项目(90604003)。杨 鹏 博士,讲师,研究方向为新一代网络体系结构;顾冠群 教授,博导,中国工程院院士,研究领域为计算机网络。

业限制以后,互联网便进入了应用与服务的蓬勃发展阶段,而传统网络体系结构的缺陷与不足也随之逐渐显露出来。

1.1 缺乏高效的资源控制能力已成为互联网性能的瓶颈

现有的互联网体系结构在 20 世纪 70、80 年代就已基本建立和大体成型,主要采用的是以“统计复用”(statistical multiplexing)和“存储-转发”(store and forward)为基础的分组交换技术,网络本身只提供“尽力而为”的数据传输服务,而把差错处理、拥塞控制等复杂功能放到网络端系统上去实现。在网络资源的控制和管理方面,传统互联网体系结构并没有引起高度重视,也没有建立起在全网范围内实施高效资源控制的可行方案和技术,因此它能够为上层应用提供的服务质量支持相当有限,也非常简单。然而,近年来由于人们日益增长的多样化应用需求的驱动,在线点播、视频会议、远程教育等实时多媒体应用迅速发展,这就要求网络必须能够为这些实时多媒体应用系统提供在带宽、时延、抖动和差错等方面的 QoS 保证,这时传统互联网就显得越来越难以胜任。尽管人们先后提出了 IntServ 模型、DiffServ 模型、流量工程(Traffic Engineering)等服务质量保证方案,并且展开了关于资源预留、接纳控制、拥塞控制、流量整形、QoS 路由、主动队列管理 AQM 等多种服务质量实现机制的研究,然而这些在理论上看似非常完美、在试验床上运行良好的方案,在互联网广域范围内的实际部署却并没有像人们所预期的那样完全取得成功,离真正解决传统互联网因缺乏高效资源控制能力而导致的服务质量问题尚有差距。

1.2 互联网薄弱的服务定制能力已不能满足用户的需求

传统的计算机网络研究比较偏重于将计算机网络视为能够满足互连、互通和互操作的通信基础设施,研究的重点大多是围绕网络系统的连接、传输等相关的功能展开。但是,随着互联网自身发展步伐的逐渐加快,互联网在人类社会中所扮演的角色也正在逐渐发生改变,它已经超越了传统计算机网络单纯作为通信基础设施的原初意义,而变成了支撑人类社会全面信息化的一个重要载体。但现在互联网所能提供的少数几种固定不变的服务,已经不能满足人们日益增长的多样化应用和服务需求,人们迫切希望互联网能够按照他们的个性化需求快速、灵活、高效、动态地提供各种网络服务。但是,传统的互联网体系结构本身却存在着许多缺点和不足,比如:协议栈比较固定、应用和服务模式相对单一、难以根据用户的需求进行动态变化等,因而已经不能适应在商业化运营环境中的互联网发展要求。针对传统互联网体系结构在服务定制方面所存在的种种缺陷与不足,近年来研究人员们虽然已经开展了主动网^[4]、可编程网^[5]、Grid、Web Services 等相关研究工作,但仍然还存在很多问题尚待解决。

1.3 在互联网无信用的环境中提供用户管理越来越困难

早期的互联网(即 ARPANET)是一个具有浓厚军方背景的科研性质的网络,其建设者和使用者多是一些高校或科研机构中受过良好教育的科研人员,彼此之间比较容易在信任关系、安全制度等方面达成共识和默契。因此在 DARPA 关于互联网的早期设计目标^[6]中几乎没有考虑到关于用户管理的问题,也没有制定出合理的全局性网络安全保障方案。但是,随着网络规模的不断扩大、用户人数的不断增多和应用领域的广泛普及,互联网的安全薄弱和信任缺失问题也日益彰显。在无信用约束且没有安全保障的现今互联网环境中,各种各样的问题(如垃圾邮件、网络病毒、不良信息等)都开始暴露无遗,严重影响和干扰了网络的正常运行。事实上,这些

问题都与传统互联网体系结构本身所普遍存在的种种脆弱性有关。当互联网所仰赖的信任假设不再成立时,互联网在为人们带来越来越多便利的同时,也不可避免地面临着越来越大的安全性考验。尽管当前提出了 RSA、DES、MD5、SHA 等各种密码算法和加密技术,IPSec、SSL/TSL、S-HTTP 等网络安全协议,以及防火墙、入侵检测(IDS)等网络安全检测和防御技术,但它们并没有为互联网中日益凸现的安全问题带来根本性的解决。如何在当前信用普遍丧失的互联网中重构完整的网络安全体系,以及如何建立起传统互联网中所欠缺的完备的用户管理体系,从而为网络安全、网络计费、个人移动管理等提供良好的支持,是当前计算机网络研究所面临的巨大挑战。

2 近年来计算机网络演进与发展的主要趋势

网络三大难题(即资源控制、服务定制和用户管理)的长期困扰以及扭斗现象的日渐凸现,一直是近年来互联网在演进与发展之路上极不和谐的伴音。文[1]的研究表明,传统的网络体系结构参考模型(包括 OSI/RM 和 TCP/IP)基本成型于上个世纪 70、80 年代,而由 WWW 技术所引发的计算机网络应用热潮却开始于上个世纪 90 年代,这必然导致传统网络体系结构在设计时所考虑的情况与具体的应用环境之间存在不一致性,这种不一致性恰恰是导致今天的互联网面临种种困境和挑战的根源所在。于是,研究人员在千方百计弥补传统网络体系结构的缺陷与不足的同时,也开始展望和着手研究一些新型网络体系结构。纵观近年来国际和国内网络研究界在改造传统网络体系结构和探索新型网络体系结构这两方面所做的种种努力,这些研究工作实质上已经反映出了当前关于互联网演进与发展的两个崭新趋势。

2.1 传统互联网中过于简单的网络核心功能应该得到适当增强

随着分组交换技术基础地位的确立及 TCP/IP 协议的设计成功和广泛实现,早期互联网便基本上奠定了“核心简单,边缘智能”的体系结构格局。尤其是 20 世纪 80 年代初“端到端原则”(End-to-End Argument)^[7]的提出,进一步强化了“互联网的核心应该尽量保持简单,而把复杂的处理都放到端系统上去实现”的观念。但是,随着 20 世纪 90 年代初以来各种网络应用和服务的蓬勃发展,传统互联网中核心网络功能过于简单的缺陷也开始逐渐引起人们的关注,近年来的许多研究工作实质上都在围绕这一问题而展开。比如在 InterServ/RSVP 模型中增设了确保服务(guaranteed service)和负载受控服务(controlled-load service)两种 QoS 保证服务,它们都需要在网络中间结点引入接纳控制、分组调度、流量整形等更多复杂的处理机制;主动网的研究则将移动代码、主动控制和动态计算等技术引入到了核心网络中,大大增加了路由器、交换机等网络中间结点的计算能力和可编程能力;本世纪初 Clark 等人展开了关于端到端原则的重新反思^[8],并提出了 Knowledge Plane^[9]的概念,不但将更多的管理和控制功能纳入到了互联网中,而且指明未来的互联网应该具有更多的智能认知能力。

然而,应该引起注意的是,试图仅仅通过改造核心网络来直接满足所有网络上层应用需求的做法,已被实践证明并不可行。由于应用的需求多种多样、千变万化,因此网络中不太可能存在“one-size-fit-all”的技术^[10]。另外,还应该注意到,如果所采取的措施不恰当或眼光不够长远,则不但不太可能解决眼前所遇到的问题,而且可能妨碍到网络将来的发展,进而影响到整个互联网演进过程的持续性和连贯性。例如近年来针对中间盒(middlebox)问题所展开的诸多讨论^[11]就表

明:在今天的互联网中大量涌现出来的中介设备,虽然在一定程度上暂时缓解了传统互联网体系结构在功能和性能方面的某些紧张状况,但同时随之而来引发了许多新的问题和矛盾。

2.2 从服务角度来研究下一代网络为互联网带来新的发展契机

像互联网这样规模十分庞大的分布式系统,将不可避免地面临异构性、开放性、安全性、并发性、可缩放性等方面的诸多挑战,因此从位于核心网络之上且分布于网络边缘的互联网端系统入手,致力于研究互联网如何为用户提供各种各样的服务,以及如何用这些服务来支持和开发各种特定网络应用的分布计算技术,便逐渐成为了互联网研究中的一个重要分支和领域。在过去的二三十年中,逐步发展起来了诸如进程间通信、远程调用、分布式命名、分布式文件系统、容错和备份、分布式事务处理等一系列与分布式系统有关的理论和技术^[12],从而大大增强了互联网的服务能力和丰富了互联网的服务类型。从早期互联网在端系统所提供的最基本的网络传输服务(如 Socket 和 XTI 这类网络 API),到其后应运而生的中间件(middleware)技术(其早期代表是 RPC 和 DCE),再到 20 世纪 80 年代后期开始出现的分布对象计算 DOC(Distributed Object Computing)技术(其主流有 CORBA、COM/DCOM、Java RMI 等),它们不但使互联网的服务类型、服务方式得到了充分扩展,而且使互联网的服务提供、服务定制和服务集成能力也得到了显著增强。

随着分布计算领域研究的逐渐深入以及相关支持技术的日趋成熟,网络研究人员继续沿着从网络端系统入手来增强互联网服务提供能力的思路,将研究视野和研究方法进行了更加充分地拓展,相关研究工作基本上涵盖了近年来计算机网络领域一些重要的研究热点,包括覆盖网(Overlay Networks)^[13]、Grid、Web Services 等。比如:覆盖网主要采取以 Overlay 组网的方式,由网络端系统在下层核心网络之上构建一个能够提供各种特定服务的虚拟网络;网格试图将地理上分布的大量有用资源(包括各种计算资源、通信资源、信息资源等)通过互联网进行高效整合,并以网络服务的方式透明地提供给网络用户使用;而 Web Services 则关注了互联网的服务本质,着力研究通过标准的网络协议和数据格式来描述、发布、定位和调用网络服务等。上述这些研究工作实际上已经表明,现代计算机网络研究的重点正在从通信向服务进行跃迁,从服务角度来研究下一代网络已经为互联网带来了新的发展契机。

3 全方位重新认识计算机网络体系结构的涵义

前面对于计算机网络发展现状的分析以及文[1]的研究表明:基本上沿袭了传统网络体系结构旧制的现行网络体系结构,与已经发生改变的应用环境之间的矛盾正变得越来越尖锐和激化。当前计算机网络发展所面临的严峻现实,迫使我们不得不回过头来更加深刻地反思计算机网络体系结构的本质和内涵,以期研究和建立满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构提供参考、借鉴和指导。然而,尽管“网络体系结构”是在计算机网络及其相关研究领域几乎随处可见的高频用词,但这一名词至今仍然没有一个普遍认可的严格定义。人们往往出于各种不同的研究目的和表述需要,将名词“网络体系结构”或抽象或具体、或理性或感性、或宽泛或窄化地广泛应用于涉及到计算机网络的各种不同场合。

那么,究竟应该怎样系统、完整、全面地理解和把握网络体系结构这个虽然重要但至今仍未被严格定义的概念呢?事实上,研究界历来对此存有各种不同的看法,例如:McCabe 认为网络体系结构是设计和构造一个网络的艺术^[14],Tanen-

baum 认为网络体系结构是分层和协议的集合^[15],Peterson 等人认为网络体系结构是指导网络设计与实现的通用蓝图^[16],而 Clark 等人则认为网络体系结构是指导网络技术设计(尤其是协议、机制和算法的设计)的一组抽象设计原则^[17]等。其中,Tanenbaum 的观点比较被广大的计算机网络研究人员所认同,一方面是因为 OSI/RM 的设计思想和 TCP/IP 参考模型的协议实现对研究人员产生了根深蒂固的巨大影响,另一方面是因为谈论分层和协议这种“有形”的概念较容易被人们所接受。但是,我们认为,如果仅将网络体系结构理解为分层和协议的集合,一方面可能让人陷入到过于繁琐的技术细节当中(结果往往是只见树木,难见森林),另一方面也不太可能看到单纯采用严格的结构分层原则所带来的种种弊端(事实上结构分层原则仅仅是传统网络体系结构的众多设计原则之一,并且它本身正在面临诸多挑战^[1]).因此,不能够不加修改地将严格的结构分层原则直接应用于新一代网络体系结构的设计当中)。综合考虑计算机网络的发展历史和现状,本文认为对“网络体系结构”这一名词的全面理解和正确把握,必须注意到网络体系结构概念的如下六个方面涵义。

3.1 网络体系结构具有统领所有计算机网络研究的普适性

人们研究和建设计算机网络时,尽管可能在具体需求目标和侧重点上存在一些差异,但基本上都是为了突破地理上的限制,通过多机联网实现远程通信和资源共享等。同时,尽管各种计算机网络在通信介质、拓扑结构、布网范围、协议标准、设备类型等诸方面都千差万别,但是计算机网络必然存在许多共性,比如它们一般都会涉及到通信线路的复用方式、交换与路由技术、传输过程中的查错与纠错、流量的控制以及拥塞的处理、网络资源的管理与分配、总体结构的层次划分等概念。

传统网络体系结构的一个重要研究领域就是致力于研究关于计算机网络的这些带普遍性和共性的内容^[14,16,17],由此而建立起了对于整个计算机网络的研究和建设都具有普适性的一套系统、科学的理论方法,以及一系列切实、可行的工程技术方法。为叙述方便,我们将传统网络体系结构的这部分研究工作称为通用网络体系结构研究。概括起来,通用网络体系结构研究主要包括以下几方面的内容^[1,17](字母 A 代表 aspect):A1)关于网络系统构成要素及功能的研究;A2)关于网络中命名、编址和路由的研究;A3)关于网络协议设计和构造方法的研究;A4)关于网络系统中的状态和功能部署位置的研究;A5)关于资源的管理、控制和分配的研究;A6)关于网络的功能、性能和管理的研究等。

3.2 网络体系结构具有针对某一特定计算机网络的特异性

当然,网络体系结构也并不是一个完全空泛的概念,因为任何网络体系结构最终必然要落实到某一个具体的网络系统,才能使其具有现实的指导意义。由于各种特定计算机网络系统在需求目标和侧重点上的差异性,使得某一特定计算机网络系统所对应的具体网络体系结构,必然会在具有通用网络体系结构研究共性的同时,又具有其自身鲜明的特殊性(即个性),也即是说网络体系结构通常具有专门针对它所考虑的特定制计算机网络的特异性。

总的来讲,对于具体网络系统的网络体系结构而言,其主要研究任务就是要将人们关于通用网络体系结构研究所得的一些普适性原理、技术和方法,运用到具有特定需求目标的某种具体网络系统的相关研究中来,从而最终形成专门针对这一具体网络系统的特定网络体系结构。比如,在计算机网络的发展历程中,已经产生过许多不同类型的网络体系结构,如 IBM 提出的系统网络体系结构 SNA、DEC 提出的数据网

络体系结构 DNA、ISO 提出的开放系统互连 OSI 参考模型、以及互联网所采用的 TCP/IP 参考模型等。所有这些网络体系结构在研究背景、总体结构、层次划分、构成元素、组网形式、通信协议等方面都存在或多或少的差异。

3.3 网络体系结构具有区别于网络具体实现技术的抽象性

由于网络体系结构是对某种网络系统的所有相关研究内容的总体概括,因此较之于各种具体的网络实现技术而言,它更加具有概念上的抽象性和广延性。这一点在 OSI 网络体系结构中得到了充分体现,它所采用的通用七层模型和一系列抽象建模概念,已广泛用于指导各种网络协议算法、网络操作系统等具体实现技术的设计和开发。可见,网络体系结构是在一个较高的角度上全面联系某一特定网络系统的研究和建设中方方面面内容的经纬,它将所有这些内容全面、系统、有机地组织在一起,从而使针对这一特定网络系统的所有相关研究形成一个统一的整体。

另外,从目前计算机网络研究领域对于名词“网络体系结构”的使用情况来看,在观念和指向上还存在着涵盖范围大小的差异,比如既有涵盖范围极广、几乎包罗整个网络系统的“OSI 网络体系结构”、“互联网体系结构”,也有涵盖范围相对较小或仅关注整个网络系统的某些方面内容的“DiffServ 体系结构”^[18]、“互联网安全体系结构”^[19]等。现实中人们对于网络体系结构在观念和指向上的差异性,可以从宏观和微观两个层次全面把握。宏观意义上的网络体系结构,是指针对某一特定网络系统的体系结构需求目标而提出的一系列具有指导意义的抽象设计原则及网络总体结构规约,一般它们比

具体的网络实现技术更抽象、更通用和更长效。而微观意义上的网络体系结构,则比较注重特定网络系统的某些部分或某些方面,它一般从子系统的整体入手,规定其中各个组成部分以及各部分之间的逻辑关系等。关于特定具体网络系统完整意义上的网络体系结构,必然是其宏观网络体系结构和微观网络体系结构的统一。

3.4 网络体系结构具有从需求目标开始前后连贯的过程性

传统上人们对于某一具体网络系统的网络体系结构的理解,往往是站在一个相对静止的时间点(比如说,在制定该网络体系结构的相关规范和标准的时候,或者认识主体在对该网络体系结构进行认识的当时)上,并且主要是从该网络体系结构已制定的规范、已采用的技术和已实现的协议等少数几个方面去认识。换言之,通常人们总是习惯于(自觉或不自觉地)把某一特定网络体系结构视为是由许多业已制定的相关技术规范 and 协议标准等所组成的文档集合。与这种惯常理解方式所不同的是,本文特别强调网络体系结构是一个过程性的概念。因为针对某一特定网络体系结构的相应规范和标准,其制定并非朝夕之功,它们一定是在某一特定的历史背景之下,出于对某些特定需求目标的考虑,然后在某些设计原则的指导之下逐步制定的。而这些规范和标准的实施同样也是一个过程,并且实施的过程必然会产生一系列具体的技术、方法以及相应的网络体系结构特征,这些内容也理应成为这一网络系统的体系结构的重要组成部分。同时,制定和实施了某些规范和标准以后,相应网络系统的体系结构还必然会继续不断地向前发展。

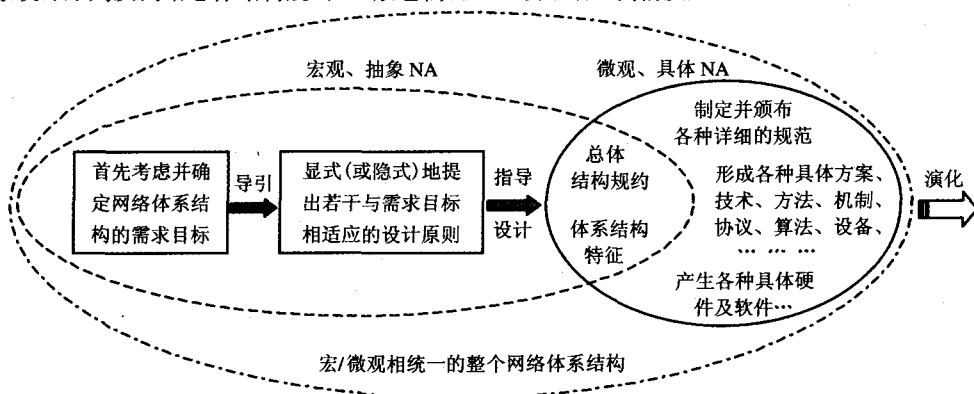


图 1 网络体系结构认知框架

因此,我们认为任何具体网络系统的网络体系结构都是一个过程性的、持续渐进发展的概念,对这一概念的全面认识和正确理解也应该站在纵观其整个发展历史的立场上。为此,我们提出了一个全面把握网络体系结构概念的“网络体系结构认知框架”,见图 1。“网络体系结构认知框架”揭示了这样的事实:任一特定具体网络系统都将首先考虑并确定其特定的需求目标,然后由这些需求目标导出若干与之相适应的网络体系结构设计原则(此即宏观意义上的网络体系结构),最后在这些网络体系结构设计原则的指导之下进行具体的网络体系结构设计、实现以及演化发展(通常,制定和颁布相应的网络体系结构规范和技术标准等就在这一阶段)等。“网络体系结构认知框架”实际上反映出网络体系结构是一个从需求目标开始的、过程前后连贯的、各个认知阶段之间存在紧密逻辑关系的、各相关内容要素之间存在内在有机联系的系统概念。传统上对于某一具体网络系统的网络体系结构的认识,多数情况下只是“网络体系结构认知框架”所反映的过程中的一环。

3.5 网络体系结构是一个时刻处在不断演化中的发展概念

回顾计算机网络的发展历史,在不同的发展阶段,网络体系结构研究所关注的重点并不完全相同。在计算机网络发展的最初阶段,网络体系结构的研究目标是实现具有同构系统兼容能力、易于同构系统互连的自封闭网络系统。但由于这类网络体系结构难以实现各种异构网络系统之间的互连,所以制约了计算机网络的进一步发展。为解决异构网络系统的互连问题,Kahn 在 20 世纪 70 年代初提出了“open-architecture networking”思想^[20],之后 ISO 又专门针对异构计算机网络的互连问题制定了 OSI/RM。但这一阶段的网络体系结构研究,基本上仍然视计算机网络为一种通信基础设施,而对于互连网络系统面向应用和服务的特性则关注不够。20 世纪 90 年代以后,各种新兴网络应用和服务大量涌现并蓬勃发展,计算机网络的发展便进入了面向应用和服务的崭新阶段。与此同时,传统网络体系结构对计算机网络发展的不适应性也便开始逐渐显现,集中地表现为扭斗困境和网络 3 大

难题。于是,在这一发展阶段的网络体系结构研究中,人们更多地关注了计算机网络的应用和服务需求,开始注意到应该站到全球信息基础设施的高度来看待和研究互联网。

可见,网络体系结构并不是一个一经建立就一成不变的静态概念,而是一个时刻处在不断演化中的动态发展概念,这主要是因为计算机网络所处的环境、所面临的矛盾都在时刻不停地发展变化,因而相应的网络体系结构研究也必然要适应这种变化和反映这种变化。比如互联网中的信任问题就是很好的例子(见 1.3 节),今天信任、安全和用户管理等问题已成为新时期互联网体系结构研究的主要关注内容^[2,8]。所以,对于网络体系结构的理解和分析必须具有发展的眼光,才可能对计算机网络的现状形成全面深刻的认识,从而发现传统计算机网络体系结构的局限性,并找到合理可行的解决办法。

3.6 网络体系结构是一个具有丰富内涵和外延的系统概念

作为一门涉及内容多、涵盖领域广、知识跨度大的新兴学科,计算机网络与其他多门学科之间存在紧密的相关性、依赖性和交叉性,而网络体系结构是包罗和统领计算机网络研究方方面面内容的重要概念。随着计算机网络的飞速发展,与网络体系结构相关的研究现已延伸和拓展到了经济学、物理学、生物学、系统科学、社会科学等多种学科和领域,网络体系结构已经成为一个具有丰富内涵和外延的系统概念,如图 2(改自文[14])所示。尤其是今天的互联网已演变成一个覆盖全球的巨型人造系统,对互联网各种表现现象及相应内在本质规律的深刻认识、对描述网络系统的一些传统理论模型合理性的重新审视、对新的更能准确反映计算机网络系统本质的理论及模型的探索等,已经成为了近年来与网络体系结构相关研究领域中的新的热点。

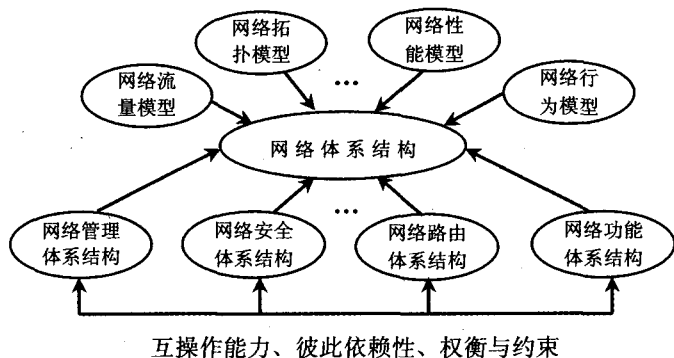


图 2 网络体系结构概念具有丰富的内涵和外延

比如,就计算机网络流量模型理论而言,近年来研究人员在探求网络流量特征及其突发性本质时发现,网络的流量特征与网络的性能、拥塞控制机制以及资源分配机制有着密切的关系^[21],Poisson 模型并不能真实反映计算机网络的流量特性,以太网流量^[22]、广域网流量^[23]、视频流^[24]、Web 流量^[25]等都具有统计自相似性(self-similar nature)。再者,近年来人们展开了关于网络拓扑模型、网络性能模型、网络行为模型等的研究,包括复杂网络系统建模、网络成长性分析、网络性能模型的建模、网络行为的仿真、网络稳定性分析等。例如,为描述像互联网这类超大规模复杂系统,Carlson 和 Doyle 等人提出了 HOT(Highly Optimized Tolerance)^[26]模型;而最近关于复杂网络(complex network)^[27,28]的研究表明,看似无序发展的互联网,实则由其背后深刻的网络动力学规律所支配,具有无尺度(scale-free)特征的互联网同时表现出具有健壮性和脆弱性的双重特性^[29]。上述这些研究课题真实地反映出网络体系结构概念丰富而深刻的系统性,其中每一课题

的研究进展都可能促进整个网络体系结构研究的发展。因此,必须将网络体系结构各个部分/方面的研究综合起来,以发展的眼光和系统的观点来看待,既不能囿于传统网络体系结构研究的思路、观点和方法,也不能完全撇开数十年来人们在传统网络体系结构研究中所取得的若干重要成果和所积累的大量宝贵经验,只有各课题不断地彼此借鉴和相互促进,才能共同促成整个网络体系结构研究持续、协调、稳定地向前发展。

结束语 本文首先对当前以互联网为代表的计算机网络所面临的发展现状进行了总结和分析,然后通过综述近年来研究界在改造传统网络体系结构和探索新型网络体系结构等方面所做的一些研究努力,对近年来以互联网为代表的计算机网络的演进与发展趋势进行了概括。另外,考虑到目前人们对网络体系结构这一重要概念还存在一些含混、模糊和片面的认识,因此本文重点对网络体系结构的涵义进行了全方位、多角度地深入剖析。

MIT 的 Clark(网络体系结构研究权威、端到端原则的主要提出者)一直主张从哲学(Philosophy)的角度,借助于哲学的思辨和抽象来研究网络体系结构,并专门为此撰写了一系列文章^[7,6,30,17,8,2,9,31],强调从设计原则(principle)的高度来抽象地理解网络体系结构^[17]。类似的研究观点也反映在 Lampson^[32]、Carpenter^[33]、Braden^[34]、Bush^[35]、Floyd^[36]、Kemp^[11]等的研究中。我们认为,由于网络体系结构既具有统领所有计算机网络研究的普适性,又具有区别于网络具体实现技术的抽象性,因此从探寻抽象哲理和设计原则的角度来理解和研究网络体系结构确实有其合理的一面;但是,体系结构设计原则并不是网络体系结构研究的全部,因为网络体系结构不但是一个时刻处在不断演化中的发展概念,而且是一个具有丰富内涵和外延的系统概念,它在具有普适性和抽象性的同时,还具有针对某一特定计算机网络的特指性,和从需求目标开始前后连贯的过程性。为此,本文专门提出了一个全面把握网络体系结构概念的“网络体系结构认知框架”,强调对任何一个具体网络系统的网络体系结构的研究,都应该遵循“从网络系统的需求目标、到体系结构设计原则、再到具体的网络系统实现”的认知路线。本文的研究结论为计算机网络体系结构的研究提供了系统、全面的方法学指导,相关研究方法已经被应用于指导我们关于新一代网络体系结构的研究,且已产生了较好的实际效果。

参考文献

- 1 杨鹏,刘业. 互联网体系结构剖析. 计算机科学, 2006, 33(6): 15~20
- 2 Clark D, Wroclawski J, Sollins D, et al. Tussle in Cyberspace: defining tomorrow's Internet. In: Proc. of ACM SIGCOMM'02, 2002
- 3 Kleinrock L. Information flow in large communication nets. [Ph D Thesis Proposal]. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, May 1961
- 4 Tennenhouse D L, Smith J M, Sincoske W D, et al. A survey of active network research. IEEE Communications Magazine, 1997, 35(1): 80~85
- 5 Campbell A T, De Meer H G, Kounavis M E, et al. A survey of programmable networks. SIGCOMM Computer Communication Review, 1999, 29(2): 7~23
- 6 Clark D. The design philosophy of the DARPA Internet protocols. Computer Communications Review, 1988, 18(4): 106~114
- 7 Saltzer J H, Reed D P, Clark D D. End-to-End Arguments in system design. ACM Transactions on Computer Systems, 1984, 2(4): 277~288
- 8 Blumenthal M S, Clark D D. Rethinking the design of the Internet: the end to end arguments vs. the brave new world. ACM Transactions on Internet Technology, August 2001
- 9 Clark D D, Partridge C, Ramming J C, et al. A Knowledge Plane for the Internet. In: Proc. of ACM SIGCOMM'03, 2003

(下转第 158 页)

图3、图4给出了第二组实验结果。图3是对加有均匀噪声的基准函数用 Huber-SVR 回归的结果,图4给出均匀输入噪声下使 Huber-SVR 鲁棒性最佳时的 μ 与 δ 的关系。该组实验结果表明:当 δ 在 0 到 1.4 时,Huber-SVR 中参数 μ 与拉斯输入噪声间呈近似线性关系。

结束语 本文运用 SVR 的贝叶斯框架,推导 Huber-SVR 中的参数 μ 与拉斯噪声和均匀噪声之间均呈近似线性关系,这一理论推导结果也与实验结果相吻合。由于高斯噪声、拉斯噪声和均匀噪声的典型性,在文[4,5]的基础上,综合理论和实验两方面结果,可以进一步得 Huber-SVR 的参数与输入噪声间呈近似线性关系这个更为一般的结论。这一结论可以为鲁棒的 Huber-SVR 的参数选择提供更完善的理论依据。

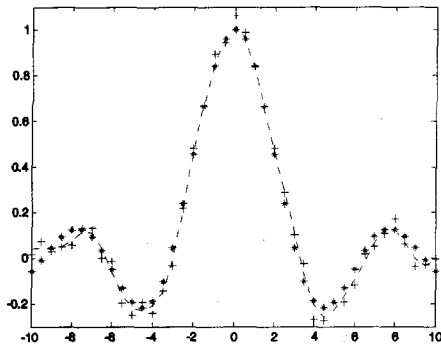


图3 对加有均匀噪声的基准函数用 Huber-SVR 回归的结果($k=0.05$)

$$“***”: y = \frac{\sin(x)}{x}, “-”: r' = r'(x),$$

$$“+++”: y' = \frac{\sin(x)}{x} + k \cdot \eta_2$$

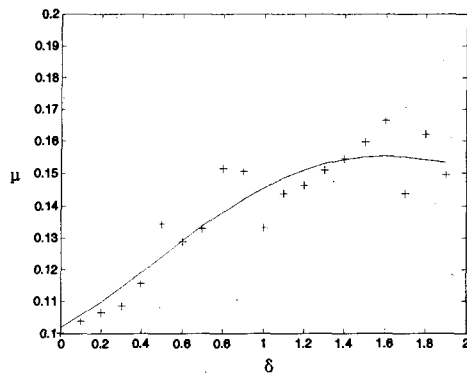


图4 均匀噪声下 μ 与 δ 间的近似线性关系

参考文献

- Gao J B, Gunn S R, Ham's C J. A probabilistic framework for SVM regression and Error Bar Estimation [J]. Machine Learning, 2002, 46: 71~89
- Kwok J T. The evidence framework applied to support vector machines [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2000, 11(5): 1162~1173
- Kwok J T, Tsang I W. Linear dependency between ϵ and the input noise in ϵ -support vector regression. IEEE Transaction on Neural Networks [J], 2003, 14(3): 544~553
- Wang Shitong, Zhu Jiagang, F. L. Chung, et al. Theoretically optimal parameter choices for support vector regression machines Huber-SVR and Norm-r-SVR with noisy input. Soft Computing [J], 2005, 9(10): 732~741
- 朱嘉钢, 王士同. Huber-SVR 中参数 μ 与输入噪声间关系的研究 [J]. 复旦学报, 2004, 43(5): 793~796
- Cherkassky V, Ma Yunqian. Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression. Neural Networks [J], 2004, 17(1): 113~126

(上接第 5 页)

- Callon R. The twelve networking truths. RFC1925, April 1996
- Kempf J, Austein R. The rise of the middle and the future of End-to-End; reflections on the evolution of the Internet architecture. RFC 3724, March 2004
- Coulouris G, Dollimore J, Kindberg T. Distributed systems concepts and design. 4th Edition. Addison Wesley, 2005
- El-Sayed A, Roca V, Mathy L. A survey of proposals for an alternative group communication service. IEEE Network, 2003, 17(1): 46~51
- McCabe J D. Network analysis, architecture, and design. Second Edition. San Francisco, CA, USA; Morgan Kaufmann Publishers, 2003
- Tanenbaum A S. Computer networks. Fourth Edition. NJ: Prentice Hall Inc, 2002
- Peterson L L, Davie B S. Computer networks; a systems approach. 3rd Edition. San Francisco CA; Morgan Kaufmann Publishers, 2003
- Braden R, Clark D, Shenker S, et al. Developing a next-generation Internet architecture. July 2000. <http://www.isi.edu/newarch/WhitePaper.pdf>
- Blake S, Black D, Carlson M, et al. An architecture for Differentiated Services. RFC 2475, December 1998
- Molva R. Internet security architecture. Computer Networks, 1999, 31(8): 787~804
- Leiner B M, Cerf V G, Clark D D, et al. A brief history of the Internet. <http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml>. 2003-12-10
- Roberts J W. Traffic theory and the Internet. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(1): 94~99
- Leland W E, Taqu M S, Willinger W, et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic (Extended Version). IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1): 1~15
- Paxson V, Floyd S. Wide area traffic; the failure of Poisson modeling. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1995, 3(3):

- 226~244
- Beran J, Sherman R, Taqu M S, et al. Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic. IEEE Transactions Communications, 1995, 43: 1566~1579
- Crovella M E, Bestavros A. Self-similarity in World Wide Web traffic; evidence and Possible causes. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 5(6): 836~846
- Carlson J M, Doyle J. Highly optimized tolerance; a mechanism for power laws in designed systems. Physics Review E, 1999, 60(2): 1412~1427
- Albert R, Barabasi A-L. Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics, 2002, 74: 47~97
- Wang X F, Chen G R. Complex networks; Small-World, scale-free and beyond. IEEE Circuits and Systems Magazine, 2003, 3(1): 6~20
- Barabasi A-L, Bonabeau E. Scale-free networks. Scientific American, May 2003. 50~59
- Clark D, Tennenhouse D. Architectural considerations for a new generation of protocols. Computer Communications Review, 1990, 20(4): 200~208
- Clark D D, Sollins K R, et al. Addressing reality; an architectural response to real-world demands on the evolving internet. In: ACM SIGCOMM 2003 FDNA Workshop, Karlsruhe, August 2003
- Lampson B W. Hints for computer system design. ACM Operating Systems Review, SIGOPS, 1983, 15(5): 33~48
- Carpenter B. Architectural principles of the Internet. RFC1958, June 1996
- Braden B. Architectural principles of the Internet. IPAM Tutorial, 2002. <http://www.ipam.ucla.edu/publications/cntut/cntut-1494.pdf>
- Bush R, Meyer D. Some Internet architectural guidelines and philosophy. RFC 3439, December 2002
- Floyd S. General architectural and policy considerations. RFC3426, November 2002