

新一代网络体系结构:需求目标、设计原则及参考模型^{*})

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 本文按照网络体系结构认知框架,遵循“需求目标→设计原则→具体实现”的合理研究思路,对满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构进行了研究。首先对下一代网络的概念进行了比较全面的分析,在此基础上明确地归纳了新一代网络体系结构的 10 条主要需求目标;然后通过总结、吸收相关领域的最新成果,研究提出了与这些需求目标相适应的若干新的网络体系结构设计原则;最后,以这些新的设计原则为指导,研究并建立起了满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构 INSA 参考模型,为满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构的研究提供了较好的思路并奠定了良好的基础。

关键词 下一代网络,新一代网络体系结构,需求目标,设计原则,INSA 参考模型

New Generation Network Architecture; Requirement Goals, Design Principles and Reference Model

YANG Peng GU Guan-Qun

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

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

Abstract According to the Cognitive Framework for Network Architecture, we undertake research on the new generation network architecture that sufficing the development requirements of next generation network by strictly following the sound approach as “requirement goals→design principles→reference model”. First we present 10 primary requirement goals of new generation network architecture after a relatively complete analysis of the next generation network concepts, and then bring some new network architecture design principles that meet such requirement goals by absorbing and summarizing recent research progresses in related fields. Finally, under guidance of such design principles, we put forward a new network architecture reference model named INSA. This paper casts a light on the research of next generation network architecture and establishes one promising foundation for further research.

Keywords Next generation network, New generation network architecture, Requirement goal, Design principle, INSA reference model

文献[1,2]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,今天已经明显滞后于在新的历史条件和需求背景下计算机网络发展的要求。所以,现今的互联网必须新的网络体系结构的指导之下向下一代网络演进。尽管目前人们对于什么是“下一代网络”仍然没有完全达成共识,但是研究下一代网络的重要性和必要性却得到了普遍认同。近年来,一系列与下一代网络相关的研究已相继展开,如 NII、GII、NGI、Internet2、Abilene、GEANT、CA * Net、APAN、NewArch、NGN、PlanetLab、CNGI 等。然而,至今仍然没有完全建立起一个能够对当前计算机网络发展方向提供指导的、满足下一代网络发展需求的、正确地反映整个网络发展趋势的新一代网络体系结构模型。

为此,我们以“网络体系结构认知框架”^[2]为指导,专门对下一代网络及其相应网络体系结构开展了研究,采取的主要研究思路是:首先,全方位重新审视网络体系结构这一概念的内涵和外延,并从传统网络体系结构在新的应用环境下所面临的种种困境入手,剖析传统网络体系结构的局限性及其根源(相关研究见文献[1,2]);接着,在把握当前计算机网络研

究和发展趋势的基础上,归纳出满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构的若干需求目标;然后,针对新一代网络体系结构的需求目标,通过吸收和借鉴相关研究领域的最新研究成果,提出与这些需求目标相适应的若干新的网络体系结构设计原则;最后,以这些设计原则为指导,研究并建立起相应的新一代网络体系结构参考模型。按照上述研究路线,本文将重点对新一代网络体系结构的需求目标、设计原则和参考模型等内容展开讨论。

1 新一代网络体系结构的需求目标

1.1 对下一代网络的主要看法

文献[2]中的“网络体系结构认知框架”指出:任何网络体系结构都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系统概念,因此对任何网络体系结构的合理认知或研究途径,都应该遵循“需求目标→设计原则→具体实现”的路线。依据上述观点,在研究新一代网络体系结构时,首要的关键问题是必须对下一代网络有一个比较准确的定位,进而才可能对新一代网络体系结构的需求

^{*}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。

目标形成客观而全面的合理认识。

美国在 20 世纪 90 年代初提出了 NII 构想^[3],并从宏观上总结、提出了 NII 的若干需求目标。之后不久,美国又提出了 GII 计划^[4],它一开始就极有远见地将当时正处在飞速发展中的互联网视为是 GII 的雏形,并制定了发展 GII 的若干方针。此后,一些目标更明确、内容更具体的与下一代网络相关的研究项目陆续展开,如美国的 NGI、Internet2、Abilene、NewArch 等,欧盟的 GEANT,亚太的 APAN,加拿大的 CA * Net,ITU-T 的 NGN,全球大合作的 PlanetLab 以及我国的 CNGI 等。其中,NGI 的总体发展目标是^[5]:增强互联网的功能并改善其性能、发展 NGI 的测试床、发展和论证革命性应用。NGN 被视为 GII 的关键实现技术,其主要需求目标包括^[6]:促进公平竞争、鼓励私有投资、定义体系结构框架、提供网络开放访问、确保普及服务提供和访问、促进国民机会平等、增进内容多样性等。本世纪初,DARPA 资助了 NewArch 计划,其研究指南^[7]中提出了一些比较合理的新一代网络体系结构研究思路,并强调了探寻新的网络体系结构设计原则的重要性。Ian Peter 等人在 2004 年分析指出^[8],未来互联网的若干重要需求目标包括:可信、可靠、全球包罗、提供商中立、易用、可承受、能快速改变、能进行重要扩展、能被透明和良好地管理等。另外,我国的一些研究人员则把下一代互联网的需求目标总结为^[9]:更大、更快、更安全可信、更及时、更方便、更可管理、更有效等。

上述这些比较有代表性的研究计划和发展项目所拟定的或抽象或具体、或长期或短期的若干目标,以及在实施过程中所获得的成功经验和失败教训,对于我们把握下一代网络的本质和制定合理的新一代网络体系结构需求目标等,有极其重要的启发意义和参考价值。综合考虑了计算机网络目前的发展现状,以及近年来全球网络的一些崭新发展趋势、热点研究动向和重要研究成果,本文首先提出如下的下一代网络的 10 条主要看法(V 代表 viewpoint):

V1. 对于下一代网络的定位,必须站在全球信息基础设施的高度,而不能像传统计算机网络研究中那样仅将网络视为是能够满足互连、互通和互操作要求的通信基础设施。作为未来人类信息社会的主流组成部分,下一代网络所面向的应用领域的拓宽,尤其是它向政治、经济和国防等领域的延伸,势必会引发很多新的问题,因此必须高度重视扭斗(tussle)^[10]对于下一代网络的影响。

V2. 下一代网络的研究和建设都应该是一个渐进式的发展过程。互联网的一条重要成功经验就在于它从最初建立以来,一直在不断地渐进式向前发展,下一代网络必须重视这一经验。下一代网络的研究必须立足于当前网络的现实基础(尤其是当前已经比较成功的互联网),而且其技术研究、产品开发、应用推广等也都将是一个反复迭代的渐进式发展过程。

V3. 从目前网络的研究现状和发展趋势看来,在可预见的将来全球范围内还不太可能完全由某一个单一结构的网络主导(B-ISDN/ATM 的没落即是很好的例证),下一代网络将是多种网络系统的相互整合和发展。下一代网络的一个重要发展趋势就是互联网和电信网等代表网络的和谐整合,这已经在 NGN、KP^[11]等研究中得到了很好的体现。整合全球网络资源也是 Grid 在研究新型网络时的核心理念。

V4. 现代网络研究的重点正在从通信向应用和服务跃迁,下一代网络必将是面向应用与服务的高性能全球信息基础设施。近年来关于覆盖网(Overlay Networks)、P2P、Grid、

Web Services 等研究的兴盛,表明计算机网络研究已经发展到面向服务、注重应用的崭新阶段。下一代网络必须始终将如何快速、灵活、多样化地提供网络服务,以及支持多种多样的网络应用作为研究的出发点和归宿。

V5. 下一代网络的规模将会十分庞大,因而它必将是一个结构极其复杂的人造巨型系统。来自互联网的相关研究成果表明,这种复杂的人造巨型系统同时也是非线性系统。互联网发展中“复杂性/健壮性螺旋”^[12]的教训表明,尽管目前研究界都对以互联网作为下一代网络演进基础这一点普遍看好,然而如何在下一代网络研究中解决复杂性非线性增长的问题,仍是一个棘手的难题(见文[1]中矛盾 C5)。

V6. 安全、信任 and 用户管理等问题是近年来计算机网络研究中的热点,这也从侧面反映出传统网络体系结构在这些方面所存在的缺陷和不足(见文[1]中矛盾 C4),因此下一代网络的研究和建设必然要考虑对于安全保障、信任约束和用户管理等问题需求。下一代网络应该从分析传统网络体系结构的脆弱性根源入手,站在全球信息基础设施的高度寻求合理的全局性解决方案。

V7. 提供无处不在的(ubiquitous)信息服务必将是下一代网络的显著特征之一。无线/移动技术的发展已经成为近年来信息产业中增长速度最快的一部分。然而,无论是蜂窝移动通信系统,还是互联网的无线扩展(如 WLAN 和移动 IP 等),目前的功能和性能都比较有限,离人们的需求尚有差距。因此,作为全球信息基础设施的下一代网络对无线/移动技术提出了更高的要求。

V8. 传统的主要采用协议分层原则来建立的各种平面式计算机网络体系结构,比较注重的是网络的数据传送功能,而在网络控制、网络管理、服务定制等方面的能力则较为薄弱。下一代网络应该考虑按照功能的不同,对其对应网络体系结构进行隔离分面,从而建立起结构分层、功能分面的全方位立体型的新一代网络体系结构。近年包括 B-ISDN/ATM、可编程网^[13]、MCS^[14]、KP^[11,15]等在内的研究表明,采用分面方法构造立体型网络体系结构的研究思路已越来越受到重视。

V9. 下一代网络无疑将是一个规模庞大、环境多变、应用复杂的信息基础设施,因此满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构必须具有较强的动态适应能力。传统分层网络体系结构(如 OSI/RM 和 TCP/IP 等)的一个主要缺点就是各层的功能过于固定,各协议之间以及协议与具体操作系统之间存在紧密的耦合关系(见文[1]中矛盾 C2)。下一代网络的动态适应能力主要表现在规模可缩放、结构可重构、平台可移植、功能可扩展和服务可定制等方面。

V10. 在多种网络系统相互整合的趋势之下,下一代网络将继续朝着开放、集成、高性能、高可用和智能化的方向发展。开放性是保证多种异构网络系统互联和互操作的关键;集成是确保多种网络系统实现整合的有效途径;高性能主要是指在资源控制、服务定制和用户管理等方面表现出较高的性能;高可用性主要表现为网络资源的高效整合性、网络服务的便捷易用性和网络应用的丰富多样性等;智能化要求下一代网络引入更多的智能性,为智能化控制与管理、故障自动恢复、用户友好等提供支持。

1.2 新一代网络体系结构的需求目标

综上所述认为:下一代网络是在未来人类信息社会中存在并占据主导地位的、可靠、可信、安全、坚固、高性能、高可用、无处不在、无缝集成并具有商业运营能力的全球开放信息

基础设施。作为未来人类信息社会的主流组成部分,它综合了多种现有网络系统的优势,并能支撑世界各国政治、经济、科技、文化、教育、国防等各个领域的全面信息化。由于当前的互联网已经取得了事实上的巨大成功,考虑到互联网规模的巨大、影响的深远和应用的基本成功,它理应成为向下一代网络演进的最重要的基础网络之一,这已反映在文[11,16]等的研究中。我们研究新一代网络体系结构的主要目的,就是要适应下一代网络的发展需求,并为当前互联网向下一代网络的演进提供指南。在“网络体系结构认知框架”的指导下,本文依据前面这些研究结论将新一代网络体系结构的主要需求目标总结、归纳成如下10条(为区别于文[1]中所列的早期互联网体系结构的8条需求目标G1~G8,本文将它们记为NG1~NG10):

NG1. 全方位开放性——新一代网络体系结构必须具有更全面的开放性,不但对技术、服务、应用开放,而且对全球网络用户、网络运营商、服务提供者等全方位开放,保证对投资、研究、建设、访问、使用、技术更新、服务增值、新应用开发等的公平开放性。

NG2. 促进多网整合——新一代网络体系结构必须能够从总体结构上纳现存各种代表性网络系统于一体,从应用类型和服务功能上集现存各种代表性网络系统的成型特色应用与服务于一身,并能够支持以渐进式演进的方式,渐次实现多种网络系统的逐步整合。

NG3. 多维度可扩展——新一代网络体系结构必须具有多个维度上良好的可扩展性,在网络规模上应保证容量、协议、算法、命名、编址等方面的可扩展性,在网络功能上应保证传输、控制、管理、安全等方面的可扩展性,在网络性能上应保证在各种差异环境中系统具有优雅的升/降级(graceful degradation/upgradation)特性。

NG4. 动态适应能力——新一代网络体系结构必须具有能依据不同情况及需求进行适应性调整的动态适应能力,这种动态适应能力不仅反映在对于不同的网络技术、异构的运行环境的适应性上,而且反映在对于用户个性化服务定制需求的适应性上。

NG5. 服务无处不在——新一代网络体系结构必须能够提供无处不在的服务,支持通用移动性和普及计算,确保多样化的联网终端更易于接入网和访问服务,所提供的网络服务具有更广阔的服务范围、更丰富的服务类型和更灵活的服务形式。

NG6. 可靠、坚固、可控——新一代网络体系结构必须可靠、坚固和可控制,既能较好地抵御、消减和弥补由于人为破坏、自然灾害、环境干扰、软/硬件故障等因素所带来的各种影响,又能对用户的行为、各种资源的分配与使用、网络演进中的复杂性增长等有较好的控制能力,从而提高下一代网络系统的抗毁性、生存性、有效性、健壮性和稳定性。

NG7. 高性能、高可用——新一代网络体系结构必须具有高性能和高可用特性,前者指网络能提供高速网络传输、高效协议处理和高品质网络服务,以支持大量具有各种不同服务质量要求的应用;后者指网络能高效整合各种资源,为授权用户提供便捷易用的服务和丰富多样的应用,并能在网络部分受损或出现故障时以降级方式继续保证网络的可用性。

NG8. 安全、可信、可管——新一代网络体系结构必须安全、可信和可管理,保证网络系统的运行以及信息的保密、传播和使用等方面的安全性,能够较好地建立、维护和约束用户

之间、用户与网络系统之间的信任关系,提供更加全面、高效的 用户管理、资源管理、系统管理和运营管理。

NG9. 成本-效益较高——新一代网络体系结构必须具有较高的成本-效益,不但要减少协议、服务、应用等的处理开销和优化其性能,而且支持采取成本较低、代价较小、具有长期效益的技术路线或过渡方案,推进网络的渐进式演进,实现网络的持续、稳妥、良性发展。

NG10. 适合商业运营——新一代网络体系结构必须支持网络的商业化运营,必须具有合理的盈利模型、完善的商业运营管理、有效的计费手段和积极的投融资措施,从而促进公平竞争、鼓励私有投资和不断促使技术创新。

2 新一代网络体系结构的设计原则

针对上述新一代网络体系结构需求目标(NG1~NG10),本节将依据“网络体系结构认知框架”来研究新一代网络体系结构的设计原则。一般以设计和构造整个系统为目标的领域(如操作系统设计、大型软件系统开发等)历来都有注重“原则”的传统(“原则”一词通常有多种表述形式,如 principle、hint、truth、tenet 等,但它们所具有的“概括性、启发性和指导性”的本质属性却基本相通),这是因为“原则”不但可能是长期以来人们智慧的结晶和宝贵成功经验的总结,更可能是无数次惨痛教训的凝练,这方面的代表文献如文[17,18]。同样,关于网络体系结构设计原则的分析与讨论一直都受到国际网络研究界的高度重视^[19~24],Clark 甚至直接将网络体系结构的 概念等同于网络体系结构设计原则^[7]。

文[1]对传统网络体系结构的主要设计原则(记为 P1~P20)进行了总结和归纳。由于互联网是向下一代网络演进的重要基础网络,所以这些设计原则中的大多数在经过相应修改、调整和扩充以后,对于新一代网络体系结构而言依然有效。但是,相比互联网体系结构最初的需求目标(G1~G8)而言,新一代网络体系结构的需求目标(NG1~NG10)无论在广度和深度上都已发生实质性变化,泛在性、动态性、可控性、安全性、坚固性、高效性、可管理性、高可用性、可演进性等新需求的提出,迫切需要重新研究与这些新的需求目标相适应的新一代网络体系结构设计原则。经过长期研究实践和反复审慎思考,本文提出如下一些重要的新一代网络体系结构设计原则:

NP1. 集成整合原则——下一代网络既不单纯是现在互联网的简单扩展,也不单纯是现在电信网的自然延伸,而应该是互联网、电信网、有线电视网等的集成整合和创新发展。新一代网络体系结构应该以支持多种网络系统的相互集成整合为出发点和努力方向,其目标是实现各种开放、异构网络系统之间的结构互联、优势互补、信息互通和服务互融。

多种网络系统的集成整合必然导致下一代网络的体系结构变得异常复杂,因此传统协议分层原则(P5)在分解网络系统复杂性方面的优势应适当保留,满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构必然具有宏观分层的结构。但与传统网络体系结构中单纯基于通信功能和协议构造来进行的分层所不同的是,由集成整合原则导出的宏观分层强调从下一代网络面向服务的本质特征出发,采取的是粗粒度的服务分层辅之以灵活可变层内结构的方式,目标是为实现多种网络系统的集成整合提供支持。

NP2. 面向扭斗原则——作为支撑各国政治、经济、文化、教育、国防等各个领域全面信息化的信息基础设施,地位的持

殊性和情况的复杂性必然导致下一代网络中的扭斗现象长期存在。因此扭斗是影响下一代网络发展的决定性因素之一,新一代网络体系结构的研究必须面向扭斗,技术的选择、措施的制定、方案的评判等都要以是否能有效处理扭斗为标准。

对于任何一个拥有为数众多、成分复杂、利益各异的建设者和使用者的大型网络系统而言,扭斗必然是其内在固有属性,这一点已被互联网的现状所证实^[10]。因此,新一代网络体系结构必须对下一代网络中将出现的各种扭斗给予高度重视,将工程技术方法和社会科学方法结合起来,在寻求工程技术解决途径的同时,适当借鉴和寻求非技术的解决途径,借助于健全的规章制度和完善的法律措施等,来应对下一代网络中出现的各种社会问题。

NP3. 简单性原则——新一代网络体系结构必须慎重考虑和小心应对下一代网络发展过程中复杂性非线性增长的问题。保持设计的简单性是维持下一代网络持续、稳定、协调地向前发展的关键所在。应该研究简单而合理的技术和方法、寻求简单而有效的措施和机制,尽力把下一代网络演进过程中复杂性的增长最大程度地限定在可以掌握和控制的范围内。

著名的“Occam's Razor”原则和“KISS 原则”(Keep It Simple, Stupid.)^[8],都强调了一切认知尽量保持简单的重要性。互联网之所以能在过去成长壮大,其原因就在于它采用了尽可能简单的方式去解决简单的问题^[25]。传统网络体系结构中的端到端原则(P3)和透明性原则(P4)备受推崇的重要原因,就在于它们大大简化了互联网体系结构设计的复杂性。所以,简单性原理应成为新一代网络体系结构的一条重要设计原则。下面给出面向扭斗原则和简单性原则的一条导出原则:

NP4. 隔离解耦原则——下一代网络中参与建设和使用网络的各方之间扭斗现象的长期存在及其复杂本质,是促使下一代网络复杂性不断增长的重要原因之一。在设计新一代网络体系结构时,应该注意选用适宜的技术、方法和机制来分隔与特定求解目标无关的问题,尽量保证将针对不同扭斗域的网络功能从逻辑上分离、从实现上解耦。

采用化整为零、分而治之的方法是处理复杂问题的有效途径,传统网络体系结构中所采用的模块化方法就是这一思想的产物。NGN 研究计划^[6]也强调要“控制功能与承载能力、呼叫与会话、应用与服务能力相分离;服务提供与网络解耦,并提供开放的接口”。隔离解耦原则着眼于处理扭斗和控制下一代网络的复杂性,通过逻辑分离、实现解耦、隔离处理、分而治之的策略,为新一代网络体系结构的持续适应性演进留下充分的可扩展空间。

NP5. 动态可变原则——多种网络的集成整合必然导致下一代网络环境的多样性和差异性,同时下一代网络中的扭斗也在不断地发展变化。因此,在设计新一代网络体系结构时,应该充分重视和考虑技术如何适应下一代网络中的可变因素,保持设计目标的柔性、动态性和可变性,尽量避免因过分固定化或片面追求短期利益而妨碍网络未来的发展。

为满足不同组网技术、不同应用需求和不同运营环境等的需要,新一代网络体系结构必须具有能进行动态适应性调整的可变特性。近年来动态网络体系结构^[26]、主动网^[27]、可编程网、MCS 等研究都强调了网络体系结构的动态性;Peterson 等人也认为未来新的网络体系结构可能不是固定的(fixed),而应具有特别强的适应性^[28]。动态可变原则的推论

之一是要尽量保持网络基础核心技术的通用性,因此传统分组交换技术的基础地位在下一代网络中仍应保留^[6]。

NP6. 选择定制原则——为满足下一代网络中用户各种各样的应用和服务需求,新一代网络体系结构应该综合面向多种网络系统集成整合和面向多样服务提供的设计思路,既允许用户有根据自己的喜好对服务类型和功能进行选择 and 个性化定制的权利,同时还允许网络本身有根据不同的实际情况对服务的具体实现方式进行选择和定制的权利。

传统网络体系结构由于结构过于固定和功能耦合太紧等固有缺陷,因而难以实现服务的动态选择和定制^[1]。然而随着互联网商业化程度的不断加深和网络服务付费供给观念的逐渐普及,人们越来越期望新的网络体系结构能够支持对于网络服务的动态选择、按需剪裁和灵活定制,这已反映在主动网、可编程网、Web Services、反射式中间件^[29]等的研究中。由于开放是实现选择和定制的基础,所以选择定制原则也是实现新一代网络体系结构全方位开放性(NG1)目标的关键之一。

简单性原则要求新一代网络体系结构能有效控制网络系统复杂性的增长,隔离解耦原则要求新一代网络体系结构能将不同网络功能隔离开并降低其耦合度,动态可变原则要求新一代网络体系结构具有动态可变特性,选择定制原则要求新一代网络体系结构能够支持服务的动态选择和灵活定制。是否存在一种或几种基本技术能够同时满足这些要求,从而成为新一代网络体系结构的关键性支撑技术呢?我们认为构件(component)技术^[30]就是这一问题的肯定答案,为此本文提出如下的构件化原则:

NP7. 构件化原则——具有良好研究基础和成熟技术支持的构件化思想,是软件领域近年来的重要研究成果,其特色和优势对新一代网络体系结构的研究具有重大的启发价值。网络体系结构构件化既是实现新一代网络体系结构诸多需求目标的现实可行途径,也是综合考虑了新一代网络体系结构多条设计原则的自然结果,因此新一代网络体系结构应该以构件化作为系统设计、建模、开发等的主要技术基础。

传统的网络体系结构本质上多是“面向过程”建模的产物,传统的协议实现基本上仍在沿袭结构化程序设计思想^[1]。而构件化原则能够全面吸纳构件技术在系统设计、建模、分析、以及实现等方面的优势,并使新一代网络体系结构真正具有动态可变、适应性强、耦合度小、可定制、可重用、可替换、可演进等特性。事实上构件化思想已成为主动网、可编程网、TINA^[31]、Grid、Web Services 等的主要支撑技术和实现基础。另外,综合考虑了文^[32~34]等的研究思路和观点,我们认为“交互”(interaction)概念是对新一代网络体系结构进行建模的基础,为此提出如下的交互建模原则:

NP8. 交互建模原则——下一代网络就其本质而言是一个极其复杂的超大规模分布、并发系统,系统中各组成部分之间及其与外界环境之间的交互关系,是对下一代网络系统进行建模时所应关注的主要内容。新一代网络体系结构必须在适宜于描述分布、并发系统的基础理论的支持下,着力研究能够反映和刻画网络系统中各种交互行为、交互关系的技术和方法,并以此作为下一代网络系统建模的重要基础。

当前人们对发展下一代网络的一个重大分歧是:究竟是走一条激进的变革之路,还是走一条渐进的演化之路?本文认为,下一代网络如果一开始就完全撇开在现实世界里已成功运行多年、影响已非常深远、技术上仍有一定优势的各种网

络系统,而试图以全新的理念和技术来重新建造一个全球规模的新的网络,无论是从人力、物力还是财力考虑都不太可行。曾一度被普遍看好的 B-ISDN/ATM 体系结构在实践中的挫败,便是极有说服力的例证。为此,本文提出了如下的渐进演化原则:

NP9. 渐进演化原则——无论是从经济因素还是从技术因素来看,合理的下一代网络研究和建设之路,都应该是在不断继承和发展已有网络研究和建设成果的基础之上,通过技术、方法和机制的不断创新来实现的渐进式演化过程。因此新一代网络体系结构必须支持下一代网络的渐进式演化发展,允许以不断迭代演进的方式来渐次实现新一代网络体系结构的各条需求目标。

渐进演化原则表明下一代网络的发展应该走一条立足于现有网络基础的渐进演化之路,而当前的互联网是向下一代网络演进的重要基础性网络之一。其原因在于,互联网能够在残酷的全球网络竞争环境里顽强地站稳脚跟,并取得事实上的巨大成功,这本身就证明它具有旺盛的生命力以及一定程度上的科学性和合理性。作为渐进演化原则的一个应用,本文给出有助于实现下一代网络的渐进式演化发展的另一条设计原则:

NP10. 网络覆盖原则——在主要以现有互联网为基础向下一代网络渐进演化的过程中,满足成本高效(cost effective)的可行办法之一是采用网络覆盖(overlay)的思路,在互联网基础设施之上构筑一个能够拓展和部署各种网络服务的逻辑网络,籍此实现对现有互联网服务能力的全面、持续升级,同时还能有效避免在短期内对核心网络进行较大改造所必须面临的经济和技术双重制约。

网络覆盖的思想由来已久,早期互联网就覆盖在电话网之上,TCP 协议可视为覆盖在 IP 协议之上的一个逻辑协议。当前关于覆盖网、Grid、P2P 等的研究实际上正是遵循这一原则而展开,而且该原则也是 PlanetLab 计划的核心研究理念^[35]。当然网络覆盖原则并不是能够解决所有问题的灵丹妙药,它只是出于经济和技术考虑所采取的比较温和而又颇有实效的渐进演化方法;而网络覆盖层对于下层网络功能的依赖性,必然要求不断增强低层网络的功能和性能来更好地适应网络覆盖层的需要^[28]。

3 新一代网络体系结构的参考模型

新一代网络体系结构不可能一蹴而就而凭空臆造,它应该建立在研究界近年来已取得的研究成果的基础上,同时还必须正确反映当前计算机网络的研究进展和发展趋势。上世纪 80 年代后期开始,围绕传统网络体系结构中协议处理性能低效问题,研究界提出了 ALF(及 ILP)^[36]、XTP^[37] 和旁路体系结构^[38]。1992 年 Malley 等人提出了基于微协议和虚协议等概念的动态网络体系结构^[26]。1994 年美国 CSTB 从指导 NII 实现的角度,提出了具有“沙漏”式四层结构的 ODN 体系结构^[39]。其后主动网和可编程网等研究都强调了网络体系结构的资源控制能力和服务定制能力。TINA 体系结构^[31]采用了与技术发展及具体实现相独立的方式来对网络系统进行抽象。MCS^[14]是采用面向对象技术所建立的支持动态分层和具有可组合、可扩展能力的新型网络体系结构。此外,近年来一些与新型网络体系结构相关的重要研究工作还包括 NewArch、PlanetLab、KP、以及 Web Services 和 Grid 等。

依据“网络体系结构认知框架”,在前述新一代网络体系

结构设计原则的指导下,参考和借鉴了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取得的研究成果和宝贵经验,我们提出了一种满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构 INSA(an Interaction-based Network Service Architecture)参考模型,见图 1。INSA 参考模型之所以采用“沙漏”式结构,这既是对传统“沙漏”式 TCP/IP 参考模型和 ODN 体系结构成功经验的保留,也是考虑集成整合原则和动态可变原则等的自然结果,它能为新一代网络体系结构带来良好的可扩展性、以及广泛的包容性和开放性。INSA 参考模型的主要特色可概括如下:

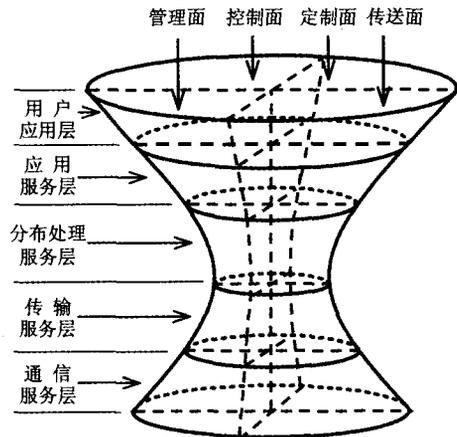


图 1 新一代网络体系结构 INSA 参考模型

(1)“沙漏”式的网络体系结构宏观分层——前面讨论集成整合原则时指出新一代网络体系结构仍必须进行宏观分层,然而研究界历来对网络体系结构应该按照什么标准来分层和应该分成多少层一直存有不同看法,如 OSI/RM 分为七层,TCP/IP 参考模型分为四层,而可编程网、B-ISDN/ATM、TINA、ODN、MCS、Grid 等都采用了各自不同的分层方法。INSA 参考模型综合考虑了新一代网络体系结构的各条需求目标及设计原则,摒弃了传统单纯基于通信功能的层次划分方法,而是主要从下一代网络面向服务和面向多种网络系统集成整合的角度,将新一代网络体系结构从宏观上分为五层。这种“沙漏”式宏观分层方法是对传统协议分层原则的批判继承,并有助于解决下一代网络中由于多种网络系统相互集成整合而必然导致的在组网技术、协议实现、软/硬件平台等方面的异构性。

(2)立体型多维度网络功能水平多分面——传统的计算机网络体系结构参考模型(包括 OSI/RM 和 TCP/IP)基本上只有一个单一的数据面,而没有独立的控制/管理面,这也是造成传统网络体系结构难以控制和管理、缺乏服务质量保证的主要根源(见文[1]中矛盾 C1)。前面 1.1 节关于下一代网络的观点 V8 强调了采用分面方法构造立体型网络体系结构的重要性。INSA 参考模型在隔离解耦原则的指导下,主要从处理扭斗和网络三大难题的角度,将新一代网络体系结构中具有不同目的指向的各种网络功能(如网络管理、资源控制、服务定制和信息传送等)进行了分离和解耦,在水平方向上对新一代网络体系结构进行了多面分解,这种立体型多维度的网络功能水平多分面将有助于实现新一代网络体系结构在多个维度上良好的可扩展性(NG3)。

(3)面向服务、构件化和基于交互建模——计算机网络研究的重点正在从通信向服务进行跃迁(见前面观点 V4),从服务角度来研究下一代网络正在为互联网带来新的发展契

机^[2]。因此,INSA 参考模型对新一代网络体系结构中各层所应提供的服务进行了构件化定义,强调将服务提供与具体网络实现技术相分离,主张以宏观分层、服务集成的方式来实现多种网络系统的整合。另外,INSA 参考模型严格遵循了构件化原则和交互建模原则,它将新一代网络体系结构中所有的基本网络功能都划分成独立的实体构件,并且严格区分了实体构件之间水平方向的协议交互和垂直方向的服务交互(分别用协议交互连接件和服务交互连接件进行抽象)。

此外,INSA 参考模型还对新一代网络体系结构的形式化建模展开了研究,并提出了一种新一代网络体系结构形式化描述语言 INSADL。限于篇幅,关于新一代网络体系结构 INSA 参考模型的更多内容,我们将另文详细介绍。

结束语 本文依据“网络体系结构认知框架”,遵循“需求目标→设计原则→具体实现”的合理研究思路,对满足下一代网络发展需求的新一代网络体系结构进行了研究。首先对下一代网络的概念进行了比较客观和全面的定位,并在此基础上归纳凝炼了新一代网络体系结构的若干需求目标。然后依据上述需求目标并借鉴相关领域的最新研究成果,提出了若干新的网络体系结构设计原则。最后,以这些新的设计原则的为指导,提出了一种结构分层、功能分面、基于交互、面向服务的新一代网络体系结构 INSA 参考模型。INSA 参考模型为新一代网络体系结构的研究提供一个比较完整全面的框架和指南(NGI、NewArch、KP 和 PlanetLab 等研究在这方面都比较欠缺),无论是研究方法、需求目标、设计原则,还是具体的参考模型,都为指导下一代网络的研究提供了许多有益的启示和借鉴。

参 考 文 献

- 杨鹏,刘业. 互联网体系结构剖析. 计算机科学, 2006, 33(6): 15~20
- 杨鹏,顾冠群. 计算机网络的发展现状及网络体系结构涵义分析. 计算机科学, 2007, 34(3): 1~5, 158
- Information Infrastructure Task Force. The National Information Infrastructure: agenda for action. September 1993
- Brown R H, Irving L, Prabhakar A, et al. Global Information Infrastructure: agenda for cooperation. February 1995. <http://www.iitf.nist.gov/documents/docs/gii/giiagend.html>
- Next Generation Internet Implementation Team. Next Generation Internet Implementation Plan. February 1998
- ITU-T SG13. NGN 2004 Project description, Version 3. <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/com13/ngn/9.html>. February 2004
- Braden R, Clark D, Shenker S, et al. Developing a next-generation Internet architecture. July 2000. <http://www.isi.edu/newarch/WhitePaper.pdf>
- Peter I. Internet Analysis Report - 2004, protocols and governance (Executive Summary). <http://www.internetmark2.org/>
- 林闯,任丰原. 可控可信可扩展的新一代互联网. 软件学报, 2004, 15(12): 1815~1821
- Clark D, Wroclawski J, Sollins D, et al. Tussle in Cyberspace: defining tomorrow's Internet. In: Proc. of ACM SIGCOMM'02, 2002
- Clark D. A new vision for network architecture. <http://www.isi.edu/~braden/know-plane/DOCS/DDC-knowledgePlane-3.pdf>, 2002
- Willinger W, Doyle J. Robustness and the Internet: design and evolution. 2002. <http://netlab.caltech.edu/pub/papers/part1-vers4.pdf>
- 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
- Bocking S. Object-oriented network protocols. In: Proc. of IEEE INFOCOM'97. Kobe, Japan, 1997. 1245~1252
- Clark DD, Partridge C, Ramming J C, et al. A Knowledge Plane for the Internet. In: Proc. of ACM SIGCOMM'03, 2003
- Intel Corporation. The evolution of the next-generation Internet, Version 1. September 2004. <http://www.intel.com/research/print/overview-planetlab.pdf>
- Brooks F H. The mythical Man-Month. Addison-Wesley, 1975
- Lampson B W. Hints for computer system design. ACM Operating Systems Review, SIGOPS, 1983, 15(5): 33~48
- 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
- Carpenter B. Architectural principles of the Internet. RFC1958, June 1996
- Bush R, Meyer D. Some Internet architectural guidelines and philosophy. RFC 3439, December 2002
- Braden B. Architectural principles of the Internet. IPAM Tutorial, 2002. <http://www.ipam.ucla.edu/publications/cntut/cntut-1494.pdf>
- Floyd S. General architectural and policy considerations. RFC3426, November 2002
- 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
- Malkin G. Who's Who in the Internet. RFC1336, May 1992
- O'Malley S W, Peterson L L. A dynamic network architecture. ACM Transactions on Computer Systems, 1992, 10(2): 110~143
- 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
- Peterson L L, Davie B S. Computer networks: a systems approach. 3rd Edition. San Francisco CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2003
- Coulson G. What is reflective middleware? Distributed Systems Online Journal, IEEE Computer Society. <http://boole.computer.org/dsonline/middleware/RMarticle1.htm>, 2000
- Gruntz D, Murer S. Component software: beyond Object Oriented Programming, Second Edition. Addison-Wesley, 2002
- Chapman M, Montel S. Overall concepts and principles of TINA. Version 1.0. Telecommunications Information Networking Architecture Consortium. <http://www.tinac.com>, February 1995
- Bochmann G V, Sunshine C A. Formal methods in communication protocol design. IEEE Transactions on Communications, 1980, COM-28(4): 624~631
- Allen R, Garland D. A formal basis for architectural connection. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 1997, 6(3): 213~249
- Wegner P. Why interaction is more powerful than algorithms. Communications of the ACM, 1997, 40(5): 81~91
- PlanetLab. <http://www.planet-lab.org>, 2006
- Clark D, Tennenhouse D. Architectural considerations for a new generation of protocols. Computer Communications Review, 1990, 20(4): 200~208
- Sanders R M, Weaver A C. The Xpress transfer protocol (XTP)—a tutorial. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1990, 20(5): 67~80
- Woodside C M, Ravindran K, Franks R G. The protocol bypass concept for high speed OSI data transfer. In: Second IFIP WG6.1/WG6.4 International Workshop on Protocols for High-Speed Networks, Palo Alto, CA, November 1990
- Computer Science and Telecommunications Board (CSTB), National Research Council. Realizing the information future: the Internet and beyond. Washington, D C: National Academy Press, 1994