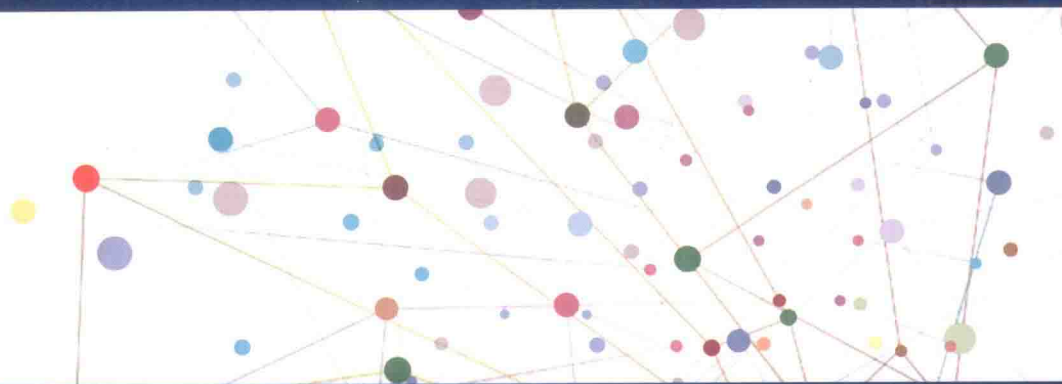




INFORMATION-CENTRIC
NETWORKING (ICN) AND NAMED-DATA
NETWORKING (NDN)

信息中心网络与 命名数据网络

雷 凯 / 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

信息中心网络与 命名数据网络

董 凯 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

信息中心网络与命名数据网络/雷凯编著. —北京: 北京大学出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-301-25943-6

I. ①信… II. ①雷… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 132617 号

书 名	信息中心网络与命名数据网络
著作责任者	雷 凯 编著
责 任 编 辑	王 华
标 准 书 号	ISBN 978-7-301-25943-6
出 版 发 行	北京大学出版社
地 址	北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址	http://www.pup.cn 新浪微博: @北京大学出版社
电 子 信 箱	zpup@pup.cn
电 话	邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765014
印 刷 者	北京宏伟双华印刷有限公司
经 销 者	新华书店
	730 毫米 × 980 毫米 16 开本 18.75 印张 325 千字
	2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷
定 价	45.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

序

以 TCP/IP 为基础的互联网给人类的文明带来了翻天覆地的变化。随着云计算、大数据、移动互联等新兴服务模式普及与应用,我们一方面看到了互联网的巨大潜力,同时也看到对其扩展性、安全性、移动性、服务质量等方面提出了严峻挑战。成就了互联网的 TCP/IP 也成为人类互联,以及人、机、物互联进一步发展的瓶颈。为此,人们开始提出各种创新的解决方案,包括:软件定义网络(SDN)、面向服务的网络架构,以及面向身份的网络架构等。其中,以信息中心网络(ICN)为代表的面向内容的未来互联网构架逐渐脱颖而出,其主要目标是构建全新的以内容为中心的互联网架构。近十年来,美国、欧洲国家等互联网强国都纷纷兴起了以内容为中心的相关研究,并已经或准备提出新的网络架构模型,借此继续占领互联网产业的制高点。

从这些不同的新兴的未来互联网构架我们可以深刻地体会并发现,软件技术对于未来互联网的更新设计起到了举足轻重的作用,其重要原因是网络数据的容量在迅猛地增长,更加需要从软件层面来设计灵活、安全、智能的基础网络创新平台。当然这些关键技术攻关和核心设备研发与互联网宽带和硬件的快速进步是密切相关的。

命名数据网络(NDN),是目前国际学术领域比较有权威性、有代表性的一个信息中心网络建议方案。在众多研究人员的推动和支持下,这些年在不断完善和进步的同时,也存在一定的争议。但可以肯定的是,其中一些理论、原理、技术和方法的突破对于推动全球未来互联网的不断创新和发展是非常积极的重要贡献。

本书主要由北京大学网络与信息系统研究所深圳实验室的老师和同学们完成,是目前国内少有的专注这一领域的成果。这个年轻的团队十多年来一直聚焦互联网内容分发这一关键需求进行学术和应用技术研究,近年来在 NDN 方面加强学习,取得了一些初步成果。这本书也就是他们的学习心得,虽然初步,但在当下对希望了解 NDN 的人们有借鉴意义。为此,我推荐这本书给相关有意愿和志向努力进行开拓性研究的科技工作者、老师和同学们。也祝愿深圳团队继续潜心钻研,作为一个新的起点,做出更加有意义的学术和科研成果。

李晓明

2015 年 7 月 8 日星期三

前言

互联网已成为支撑现代社会发展及技术进步的重要的基础设施之一。互联网规模的发展速度超乎人们的想象,网络中的内容不断呈爆炸性增长,而且这种趋势不断在加速。如今互联网时代更在意以信息为中心的网络,即信息中心网络(Information-Centric Networking ICN),主要功能是满足高效率、大规模、安全的内容获取、共享和分发。但是传统的 IP 网络构架的通信模型却是基于位置模式(Location-Based),仍然沿用上世纪六十年代诞生时期的设计理念,主要目的是为了满足不同数据端到端传输的需求。这种不一致带来了很多问题,尤其各种多样化的网络类型之间的数据交换,以 TCP/IP 协议为核心技术的互联网面临着越来越严重的技术挑战,在网络的扩展性、安全性、可靠性、灵活性和移动性等方面暴露了许多的不适应性。

最近几年,世界各国都在重点关注如何设计全新的未来互联网体系构架,信息中心网络成为主流研究方向之一。命名数据网络(Named-Data Networking, NDN)项目经过不断的创新和发展,逐渐脱颖而出,成为目前最被看好的建议方案。命名数据网络的诞生和演变是一种集大成者,是全球各代网络研究工作者共同积累的成果。我国在这个方面的关注和投入也在不断增长,包括北京大学、清华大学、中国科学院、北京邮电大学等一些高校科研机构和华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、中国电信集团、中国联合网络通信集团有限公司等企业也都在积极参与,共同探索中国战略发展的未来互联网创新和变革之路。

本书是第一本以命名数据网络为重点的书籍。不仅全面综合描述了 ICN 网络的知识,也系统地阐述了 NDN 产生的背景、概念、设计思想、工作原理、实践经验和最新进展,并针对 NDN 的推广所面临的实际需求——相关技术普及和应用研发进行了详细讲解。

本书作者长期在网络与信息处理领域从事教学、科研和实践工作,尤其在典型网络应用(P2P 技术和搜索引擎)方面完成了一些有代表性的工作。鉴于之前研究与 NDN 项目有良好的契合性,从 2010 年美国 NSF 立项 NDN 伊始,就对其产生了很大的兴趣,一直与项目团队的核心研究学者保持紧密的交流与合作,投入了巨大的精力带领北京大学互联网信息工程研发中心(深圳)团队*进行相关研究。本书其中也介绍了北京大学团队近年来所完成的一些研究积累和实际

的系统操作指南,便于读者理论结合实践由浅入深地对 NDN 的完成有一个全面的掌握,同时也为致力于从事 NDN 研究的工作者提供一个良好的学习和科研的帮助。

编 者

2014 年 11 月

* 谨以此书祝贺北京大学互联网信息工程研发中心(CIRE)创立十二周年,
<http://netlab.pkusz.edu.cn>。

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 通信网络演进历史	(1)
1.2 当今互联网发展趋势和特征问题	(2)
1.3 未来互联网研究趋势	(4)
1.4 FIA 四个项目:NDN、Mobility First、XIA、Nebula	(7)
1.5 本书的组织结构	(8)
1.6 本章小结	(9)
参考文献	(10)
第二章 信息中心网络	(11)
2.1 ICN 网络基本概念和组成模块	(13)
2.1.1 信息对象/数据对象	(13)
2.1.2 命名机制	(14)
2.1.3 元数据	(16)
2.1.4 内容寻址和转发	(16)
2.1.5 路由与传输	(17)
2.1.6 信息对象传输层	(18)
2.1.7 缓存机制	(19)
2.1.8 存储和搜索	(19)
2.2 典型的 ICN 项目	(19)
2.2.1 未来互联网研究项目进展	(19)
2.2.2 几个代表性 ICN 相关构架方案	(22)
2.2.3 几种 ICN 构架的共同特点	(28)
2.3 ICN 与移动网络	(28)
2.3.1 ICN 的移动性	(29)
2.3.2 网络地址的无关性	(29)
2.3.3 连接会话的不依赖性	(30)
2.3.4 多寻址(Multi-Homing)/多网络(Multi-Network)	(31)

2.4	ICN 研究面临的挑战	(32)
2.4.1	命名机制的唯一性和一致性	(32)
2.4.2	可扩展性和可靠性	(32)
2.4.3	安全及隐私	(33)
2.4.4	移动性方面	(34)
2.4.5	服务质量的考虑	(36)
2.4.6	网络管理和更好的可管理性	(36)
2.5	ICN 未来研究的几点建议	(37)
2.5.1	不应该过多关注的话题	(37)
2.5.2	值得关注的话题	(37)
2.5.3	需要立即得到关注的话题	(39)
2.6	本章小结	(41)
	参考文献	(42)
第三章	命名数据网络概要	(46)
3.1	NDN 项目概要	(46)
3.2	NDN 与其他 ICN 架构的比较	(49)
3.2.1	几种 ICN 架构的主要不同点	(49)
3.2.2	方案对比	(50)
3.2.3	命名机制对比	(53)
3.2.4	命名解析和路由	(54)
3.2.5	利用网络内部存储(In-Network Cache)	(55)
3.2.6	可扩展性和可靠性	(56)
3.2.7	安全性方面	(56)
3.2.8	移动性的比较	(58)
3.3	NDN 与 TCP/IP 的异同	(60)
3.4	NDN 与 P2P	(69)
3.5	NDN 与 CDN	(69)
3.6	本章小结	(72)
	参考文献	(74)
第四章	NDN 的架构	(76)
4.1	NDN 架构的设计思想	(76)
4.2	NDN 的体系架构	(77)
4.2.1	名称	(82)
4.2.2	以数据为中心的安全	(83)

4.2.3 路由和转发	(84)
4.2.4 缓存	(87)
4.2.5 传输	(87)
4.3 本章小结	(88)
参考文献	(89)
第五章 NDN 的命名机制	(90)
5.1 分层命名方法	(90)
5.2 命名的属性和原则	(91)
5.3 命名的实例	(92)
5.4 命名机制的可扩展性	(93)
5.5 NDN 命名机制研究进展	(95)
5.6 本章小结	(95)
参考文献	(96)
第六章 NDN 的缓存机制	(97)
6.1 NDN 网络的缓存策略	(97)
6.2 网络内部缓存与 ISP 缓存方法的区别	(98)
6.3 常见缓存替换策略	(98)
6.3.1 基本概念	(98)
6.3.2 缓存替换策略分类	(98)
6.4 缓存的相关研究	(100)
6.5 本章小结	(100)
参考文献	(101)
第七章 NDN 路由与转发	(102)
7.1 路由	(103)
7.1.1 路由协议	(103)
7.1.2 命名数据链路状态路由协议	(104)
7.1.3 路由信息安全	(104)
7.1.4 引导边缘节点连接	(105)
7.2 转发	(105)
7.2.1 转发模型	(105)
7.2.2 转发策略	(106)
7.3 NDN 路由与转发的研究进展	(111)
7.3.1 路由机制的可扩展性	(111)
7.3.2 大规模转发	(112)

7.3.3 可扩展的 PIT 设计	(113)
7.4 本章小结	(114)
参考文献	(116)
第八章 NDN 的安全和隐私	(117)
8.1 数字签名与验证	(117)
8.2 内容保护	(118)
8.2.1 对称式加密/非对称式加密	(118)
8.2.2 公钥广播加密	(118)
8.2.3 代理重加密	(118)
8.3 信任管理	(119)
8.3.1 信任密钥(Trusting Keys)	(119)
8.3.2 基于证据的安全	(120)
8.4 隐私保护	(121)
8.4.1 缓存隐私	(121)
8.4.2 名称隐私	(122)
8.4.3 签名隐私	(123)
8.5 网络攻击	(124)
8.5.1 传统 DDoS 攻击在 NDN 下的表现	(124)
8.5.2 Interest 泛洪攻击	(125)
8.5.3 缓存污染	(126)
8.6 本章小结	(129)
参考文献	(130)
第九章 NDNx 的安装与使用	(132)
9.1 NDNx 简介	(132)
9.2 Ubuntu 下配制 NDNx 实验环境	(133)
9.3 NDNx 常用命令	(135)
9.4 NDNx 同步协议	(137)
9.5 NDNx 应用实例	(140)
9.5.1 使用 ndnChat 聊天	(140)
9.5.2 ndnVLC	(141)
9.5.3 ndnFileProxy	(143)
9.6 Android 下的 NDNx	(145)
9.7 NFD	(147)
9.7.1 NDN Forwarding Daemon 介绍	(147)

9.7.2 安装指南	(148)
9.7.3 NFD 部分指令介绍	(150)
9.8 本章小结	(151)
参考文献	(152)
第十章 NDN 模拟实验	(153)
10.1 NS-3/ndnSIM 离散事件模拟器	(153)
10.1.1 NS-3 离散事件模拟器	(153)
10.1.2 ndnSIM 简介	(158)
10.1.3 ndnSIM 相关配置	(162)
10.2 DCE	(162)
10.2.1 DCE 简介	(162)
10.2.2 安装及使用说明	(163)
10.3 常用 NDN 测试床	(165)
10.3.1 NDN Testbed	(165)
10.3.2 PlanetLab	(166)
10.4 本章小结	(167)
参考文献	(168)
第十一章 NDN 应用设计与实现	(169)
11.1 NDN-Maze——P2P 文件共享系统的设计与实现	(169)
11.1.1 NDN-Maze 系统架构	(171)
11.1.2 NDN-Maze 命名规则	(172)
11.1.3 NDN-Maze 用户管理	(174)
11.1.4 NDN-Maze 文件索引和搜索	(176)
11.1.5 NDN-Maze 工程实现	(178)
11.1.6 NDN-Maze 设计总结	(179)
11.2 NDN-Hippo 流媒体点播系统的设计	(180)
11.2.1 NDN-Hippo 系统整体设计	(181)
11.2.2 命名规则	(183)
11.2.3 数据预处理	(184)
11.2.4 节目目录服务器设计	(185)
11.2.5 数据源服务器设计	(187)
11.2.6 客户端数据块请求机制	(188)
11.2.7 缓存设计	(190)
11.3 本章小结	(190)

参考文献	(193)
第十二章 NDN 前沿探索	(194)
12.1 冗余控制与网络编码	(194)
12.1.1 融合网络编码的 NDN 模型	(194)
12.1.2 融合网络编码的 NDN 流媒体系统(NDN-NCSM)设计	(199)
12.2 NDN 下 DHT 算法与应用	(204)
12.2.1 NDN 网络的 DHT 算法	(205)
12.2.2 ndnDHT 应用设计	(209)
12.2.3 ndnDHT 评测	(213)
12.3 智能转发策略研究	(215)
12.3.1 基于信息熵的概率转发策略	(217)
12.4 基于加密的访问控制	(221)
12.4.1 NDN 中的访问控制	(222)
12.4.2 系统设计与实现	(223)
12.5 NDN 网络拥塞控制	(229)
12.5.1 NDN 拥塞控制机制	(230)
12.5.2 NHBH-RCP 算法	(231)
12.5.3 NHBH-RCP 算法测试	(234)
12.6 NDN 与移动自组织网络	(240)
12.6.1 基于 NDN 实现 MANET	(240)
12.6.2 NDN 车联网下信息收集系统	(245)
12.6.3 NDN 网络中的 V2V 通信	(247)
12.6.4 基于 NDN 的车辆自组织网络	(249)
12.7 NDN 与物联网	(251)
12.7.1 物联网与 NDN	(251)
12.7.2 楼宇管理系统 NDN-BMS	(252)
12.7.3 NDN 与物联网设备	(257)
12.8 本章小结	(261)
参考文献	(262)
附录一 Q&A	(264)
附录二 NDN 数据包格式规范	(272)
致谢	(285)

第一章 绪 论

1.1 通信网络演进历史

纵观通信网络演变的历史,总体上经过了两个重要的发展阶段。第一个阶段就是电话网络,第一个电话是在 1876 年由著名的发明家亚历山大·格拉汉姆·贝尔(Alexander Graham Bell)先生在加拿大发明,并申请了美国专利,1892 年他成功完成了从纽约到芝加哥的第一次长途通话。有线电话网络的通信需要在语音通话的两个端点之间建立一个固定的专用线路,电话线路的中继和转接主要通过电话交换机来控制完成。这种通信模式在每次通话时,需要依赖建立一条专有的独占的物理通信线路,线路在语音通信的过程中,不能共享,铺设和运营成本相当高。但由于专用通道可以保持良好的实时性、可靠性和支持全球化的规模,经过不断的改良和进化,一直沿用至今。

第二个重要发展阶段是在 20 世纪 60、70 年代,主要标志就是以数字化的数据包交换(Packet Switching)为通信模式的互联互通网络的诞生和应用,也是当前互联网(Internet)构架基础工作模式。互联网的最早前身是美国国防高等计划署开发的美国高等研究计划署网络(Advanced Research Projects Agency Network, ARPAnet),是第一个可以实际运行数据包交换网络,同时也是第一个实现了以 TCP/IP 为通信协议的工作网络。TCP/IP 通过建立基于网络拓扑位置(Location Based)端到端(End-to-End)的连接,在共享的物理网络链路上交换和接力传递 IP 数据帧来实现数据传输。由于 TCP/IP 协议在数据帧的设计上简单、标准统一,兼容异构的网络互联互通,具备良好的破坏恢复机制以及低数据开销的优势,按照这种思想而设计的以连接为基础的现行互联网 TCP/IP 体系结构能够很好地满足当时网络场景的需求,五十多年来未曾发生根本的变化。IP 以太网网络对应之前的电话网络来说是一个革命性的进步,通过链路的共享大大降低了网络通信的成本,提高了效率,同时技术实现简单,兼容性强,在一定时期体现了非常良好的适应性。

从技术发展的角度来看,互联网最初是为了追求网络的互联,以实现硬件资源的共享(那时硬件资源稀缺且成本较高),通过共享可以节省成本和提高效率。

由于这个时期的通信主要发生在具体的两台实体设备间,需要确定具体的设备位置,因此 IP 数据包是以 IP 地址进行打包的,以 IP 地址标识具体的设备,IP 包中源地址和目的地址的设计就是为了满足这种发生在两台具体设备间的通信需求(例如:完成电脑向打印机传送打印数据)。最初人们设计互联网是为了把一些超级计算机连接起来,从而能使用到这些超级计算机提供的计算服务,但毕竟除了科学家之外只有很少一部分人需要这些超级计算机的计算能力。因此基于地址的 TCP/IP 协议就很适合这些按地址寻找某些特定超级计算机而且用户人数又不多的应用。TCP/IP 提供的通信解决方案是独特的,也是具有开创性的,然而它解决的问题仍然是类似电话方式的:在两个实体之间端到端的数字数据交换。

1.2 当今互联网发展趋势和特征问题

随着技术的进步和互联网应用的普及,互联网应用范围和规模已经远远超越了设计初衷,逐渐取代了一些传统通讯媒体,成为当前信息社会的重要基础设施和人们获取信息资源的重要途径之一,对人们的生活方式产生了深远的影响。互联网用户的爆炸式增长,宽带化、内容化与个性化已经成为当今互联网发展的主旋律,信息共享成为互联网的主要功能和目标。

特别是近几年,随着用户接入网络的物理带宽的提高,大部分的互联网上的内容作为信息密集的形式存在(如视频、音频、文件流),互联网的飞速发展引发了网络数据内容的急剧膨胀。根据思科(Cisco)于 2013 年 6 月 3 日发布最新一次 *Visual Networking Index Forecast (2012—2017)* 报告,思科预测到 2017 年全球将有 36 亿互联网用户,全球 IP 流量(固定和移动)将会达到 1.4 ZB(1 ZB 相当于十万亿亿(Sextillion)字节),到 2017 年,更多的流量将会通过全球网络传送,超过所有之前“互联网年”的总和(1984—2012 年累计为 1.2 ZB),2012 年到 2017 年间年全球 IP 流量复合增长率将达到 23%,到 2017 年,将会有超过 190 亿全球网络联接(固定/移动个人设备、M2M(机器对机器)联接等),相比之下,2012 年有约 120 亿个联接,增长 42%。2017 年全球平均固定宽带速度将增长至 2012 年的 3.5 倍,从 11.3 Mbps 增长至 39 Mbps。“物联网”(物理对象的网络联接)开始呈现出切实的增长,将对全球 IP 网络产生可衡量的影响。从 2012 年到 2017 年,全球 M2M 联接数量将增长三倍,从 20 亿增长到 60 亿。在此期间,全球 M2M IP 流量将增长 20 倍,从 2012 年的 197 PB(占全球 IP 流量的 0.5%)增长到 2017 年的 3.9 EB(占全球 IP 流量的 3%)。

互联网应用的主体已经转向文字信息和多媒体音视频等内容的获取,信息内容服务已经成为网络服务的主体。互联网数据内容的发展速度十分迅猛^[1]。

Cisco VNI 2013 报告重点指出,互联网视频业务将成为一个流量消费大户。其中视频为主的广播内容信息在 2010 年仅占互联网流量的 40%,到 2012 年达到了 50%,到 2015 年末甚至将达到 90%,预计到 2017 年全球将会有近 20 亿互联网视频用户(不包括纯移动用户),相比 2012 年的 10 亿互联网视频用户增长显著,互联网视频到电视(Internet Video-to-TV)流量将增长近 5 倍,从 2012 年的每月 1.3 EB,达到 2017 年的每月 6.5 EB。尤其随着高清和 3D 视频技术的成熟和普及,对互联网流量的冲击更加巨大,到 2017 年,3D 和高清互联网视频将占据 63%的消费者互联网视频流量,全球商业互联网视频流量将增长至 2012 年的 5.3 倍。从 2012 年到 2017 年,高级消费者互联网视频(3D 和高清)将增长 4 倍,视频点播流量将增长至原先的 3 倍。

在互联网内容和需求高速发展的同时,现今的互联网的需求逐渐表露出越来越多与最初设计上的冲突。以中国互联网为研究对象,2013 年 7 月,中国互联网络信息中心(China Internet Network Information Center, CNNIC)发布《第 34 次中国互联网络发展状况统计报告》。报告中指出:全球 IPv4 地址数已于 2011 年 2 月分配完毕,我国 IPv4 地址总数基本维持不变,截至 2014 年 6 月底共计有 33041 万个,说明基于 TCP/IP 的网络基础 IP 资源面临枯竭;2014 年 6 月底,手机网民规模达 5.27 亿,较 2013 年底增约 1442 万,网民中使用手机上网人群占比由 81.0%提升至 83.4%,说明对移动性网络的需求在增强;互联网应用习惯出现显著变化,包括新型即时通信(微信)、微博、云视频、云存储等在内的新兴互联网内容应用迅速扩散,说明用户越来越依赖互联网来进行内容的传播和分发,对于内容共享需求日益强烈。

2011 年开始,截至 2013 年年中,央行分 7 批颁发了 269 张支付牌照。2014 年 6 月底,我国使用网上支付的网民规模达到 2.92 亿,使用率提升至 38.9%。与 2013 年 12 月底相比,网民规模增长 3208 万,增长率为 12.3%;手机购物网民规模达到 2.05 亿,半年度增长率为 42%,是网购市场整体用户规模增长速度的 4.3 倍,手机购物的使用比例由 28.9%提升至 38.9%。截至 2014 年 6 月底,在网上预订过机票、酒店、火车票和旅行行程的网民规模达到 1.90 亿,较 2013 年底增长 883 万人,半年度增长率为 4.9%,这说明互联网的安全性要求更加重要。

2014 年上半年,中国网民人均每周上网时长达到 25.9 个小时,相比 2013 年下半年增加了 0.9 个小时。Wi-Fi 和 3G 等网络的发展使得网民上网场所和上网频率均有所增加;另一方面,网民对互联网应用广度和深度的不断提升,明显增加了网民对互联网的使用黏性和使用时长,黏性较大的社交、生活服务类应用发展,提升了对互联网的整体使用时长,人均带宽的需求不断提高。尽管中国国际出口带宽近几年都保持将近 10%的增长,国内干线带宽差不多增长 200%

以上,但尽管如此中国内地网民平均拥有的国际干线带宽仅为发达国家地区的十几分之一。说明人均网络带宽的降低和人均带宽需求上升之间的矛盾,如何提高带宽的有效利用率成为一个需要重点关注的问题。

由于中国国土面积巨大,地区经济发展不平衡,从而导致互联网各地区普及率不均衡,地区差异大。根据《报告》的统计数据显示,2014 年我国各省市网民规模均有明显增长,中国大陆 31 个省(市、自治区)中网民数量超过千万规模的省份达到 25 个。同时,我国互联网发展的地域差异依然延续,北京市的互联网普及率已经超过七成,达到 75.2%,而互联网普及程度较低的云南、江西、贵州等省份互联网普及率不到 35%。在互联网的内容传输与分发过程中,这种地理上的网络资源的不平衡会导致跨地域的流量占比增加,对骨干网络的压力增强,某种意义上,也加剧了带宽的竞争和数据的拥塞。现今互联网基于 TCP/IP 构架,网络交换和链接设备一直是宽带网络的技术瓶颈。“网络瓶颈”指的是影响网络传输性能及稳定性的一些相关因素,如网络拓扑结构、网络连接设备(交换机和集线器)、网线、网卡、服务器配置等。带宽的竞争和拥塞会导致骨干网压力、网络出入口压力非常大。这也是一直逼迫各大运营商、网络设备制造商必须不断研究先进技术,突破性能瓶颈的根本原因。

基于 TCP/IP 面向连接的通信模式为基础构架的互联网还存在一个严重的资源浪费的问题,那就是当前的互联网上发生了大量的重复(冗余)传输。主要的互联网应用包括 WWW、视频、音频、文件下载等绝大部分内容分发都存在非常大量的重复传输。例如,从腾讯视频电视剧的总播放排行榜^[2]上可以看到,累计播放次数前 50 名的电视连续剧最低都在 2.3 亿次以上,排名前三的三部连续剧播放次数都达到了 10 亿次以上。从这个微观数据可以简单看出,当前互联网重复传输的内容可估算的数量将会是多么巨大。一些典型的覆盖网络优化解决方案 P2P、CDN、云计算、大数据等技术在提高数据共享和分发效率的同时,更加剧大量的重复传输这一诟病。

综上所述,互联网迫切需要考虑高扩展性和高性价比的面向内容分发的未来互联网体系构架解决方案。

1.3 未来互联网研究趋势

当今的 TCP/IP 互联网最初是被设计为一个端到端连接的用来传送数据的底层框架,后续的改进都是围绕着使用 IP 协议进行主机之间的对话来优化网络架构,它作为一个简单的载体提供基本的没有保障的数据包传递服务,即尽量将发送者要发送的东西送达接收者,只使用 IP 地址识别终端来进行数据转发,而

不考虑传递的是什么东西。

遗憾的是,这种以终端为中心、位置为寻址方式的通信模型不能支撑发展至今已无处不在的互联网服务。现今互联网的大部分的网络流量实际上主要是由创造新信息和检索已知信息而产生的,信息的来源可以是简单的 RSS 阅读器,可以是高质量先进的多媒体流服务,也可以是用户生成的动态网页内容。网络实体之间的逻辑关联关系不仅是简单的针对网络拓扑的位置关系,而且还有代表共同兴趣的用户之间的社交网络关系或有内容聚合的订阅关系(如新闻组,共享照片和视频点播服务,P2P 文件共享等)。因此,如果用模拟图来可视化互联网将是一个很复杂事情,图的每个节点应该代表信息内容,而不是用 IP 底层寻址的终端节点,同时图上的边所代表的是根据目标数据、兴趣或数据请求策略建立一个或者多个数据与请求的关联关系。尽管这种方式仍然可以看成是在点到点的 IP 网络上叠加的一个覆盖网,但这种方法增加了信息数据获取的复杂性,更加没有在以下几个方面解决好覆盖节点之间的相关关系。

安全性:基于 IP 的网络安全需要对终端和连接同时信任。IP 网络接受任何人发送的任何内容,不管数据包里面含有什么内容,只要发送者看似合法,这种情况导致有恶意信息发送到接收者,这也是 IP 网络站点容易被攻击的根源所在。

移动性和多网址:IP 地址网络层寻址器和传输层定位标识符的双重作用限制了移动性和多网址的灵活性。特别是,传输协议绑定地址以确定通信会话,如果地址变化就会中断会话,需要重新建立连接。这种语义重载又导致 IP 网络中不允许存在回路,也不能同一时刻具有多个网络地址。

组播传送:IP 组播协议是事后添加到原有的点对点通信模型,以提供将信息发送到一组接收者的能力,然而因为其扩展性方面的缺点,组播从未在局域网之外的环境中大规模使用过,所以一般的解决办法都倾向于用复杂的覆盖网方案来大规模部署组播服务。

可扩展性和服务质量保证:随着内容分发服务快速发展,人们提出用昂贵的解决方案,如覆盖网络(如 CDN 或 P2P 技术)来缓解巨大带宽需求并提升用户体验,采用的方法是将缓存内容推送到网络的边缘,但性能瓶颈在最后一英里仍然存在,再加上网络运营商无力控制其网络流量,往往导致商业利益冲突或低效的网络资源优化。

互联网的发展速度远远超出了最初的预测,当时没有人会预测到互联网的发展会如此快速,最初设计的 TCP/IP 网络体系已经渐渐露出了它的弊端。随着互联网的主要功能已经从简单的数据传输通道发展到满足高效率、大规模、安全的内容获取和分发,以 TCP/IP 协议为核心技术的互联网面临着日益严重的