

IPv6 创新发展的形势与挑战

Situation and Challenges of IPv6 Innovation and Development

高巍,高静,葛坚,兰天翔(中国信息通信研究院,北京100083)

Gao Wei, Gao Jing, Ge Jian, Lan Tianxiang (China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100083, China)

摘要:

IPv6是未来互联网的基础协议。近年来国内外IPv6部署加速,应用领域日益扩展,标准化体系不断完善,但在IPv4到IPv6的过渡过程中仍存在“第一公里和最后一公里”的问题,需要进一步探索IPv6的过渡技术路径和商业模式创新。

关键词:

IPv6; IPv6+; 政策; 标准

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.04.001

文章编号: 1007-3043(2024)04-0001-07

中图分类号: TP393.4

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

IPv6 is the fundamental protocol of the future Internet. In recent years, the global deployment of IPv6 has accelerated, the application fields have been expanded, and the standardization system has been continuously improved, but there are still problems of "the first mile and the last mile" in the transition process from IPv4 to IPv6, and the transition technology path and business model innovation of IPv6 still need to be further explored.

Keywords:

IPv6; IPv6+; Policy; Standard

引用格式: 高巍,高静,葛坚,等. IPv6创新发展的形势与挑战[J]. 邮电设计技术, 2024(4): 1-7.

0 引言

基于IP协议的互联网是近30年全球数字化浪潮的重要基石。随着IPv4地址在2019年正式耗尽,全球互联网加速向IPv6演进升级。根据APNIC统计,截至2024年3月,全球已有37个国家的IPv6部署率超过40%,主要国际互联网企业不断提升IPv6服务的比重和覆盖度。

我国IPv6部署与应用工作起步较早,早在2003年,国家就启动了我国下一代互联网(CNGI)工程,建

成了全球最大的纯IPv6教育科研网络。2017年中办、国办印发《推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署行动计划》,我国IPv6发展按下了加速键。6年多来,我国IPv6规模部署工作突飞猛进,取得了历史性成就。

1 全球IPv6部署提速

1.1 各国政府通过政策引导IPv6扩大部署

1.1.1 美国

美国政府很早就意识到IPv6对于互联网发展及国家安全的重要意义。2003年2月,白宫发布《网络安全国家战略》(National Strategy to Secure Cyberspace),其中提到“美国必须了解向IPv6过渡的优点和

收稿日期: 2024-03-07

障碍,并在此基础上确定向基于 IPv6 的基础设施过渡的过程。联邦政府可以通过在自己的一些网络上使用 IPv6,并通过协调其与私营部门的活动,带头开展向 IPv6 的过渡”。在此之后,美国联邦政府各部门开展了多次 IPv6 的迁移过渡行动。布什、奥巴马、特朗普 3 届美国政府的行政管理及预算办公室(OMB)分别在 2005 年、2010 年和 2020 年发出 3 份“过渡 IPv6”备忘录。

a) 2005 年 8 月,布什政府的 OMB 发布 IPv6 过渡计划备忘录(M-05-22)。该备忘录及其附件为各机构提供指导,以确保从 IPv4 到 IPv6 的有序和安全过渡。备忘录中提出,到 2008 年 6 月,所有机构的骨干网络必须支持 IPv6,同时提出各机构应评估 IPv6 迁移过程中的收益、复杂度、成本和安全风险。

b) 2010 年 9 月,奥巴马政府的 OMB 发布备忘录《Transition to IPv6》。该备忘录要求,对外提供的服务在 2012 年全部支持 IPv6,用于内部服务的系统在 2014 年全部支持 IPv6,联网 IT 设备的采购要符合 USGv6 及其测试规范的要求;在 2012 财政年度结束前,本地 IPv6 应处于可使用的状态。

c) 2020 年 11 月,特朗普政府的 OMB 发布备忘录《Completing the Transition to Internet Protocol Version 6 (IPv6)》。其战略意图是让联邦政府使用纯 IPv6 (IPv6-only) 提供信息服务、运营网络和访问其他服务。备忘录要求 2023 年前实现至少 20% 的纯 IPv6 网

络升级,2024 年前实现至少 50% 的纯 IPv6 网络升级,2025 年前实现至少 80% 的纯 IPv6 网络升级,无法升级的基础设施将逐年淘汰。

NIST 数据显示,截至 2023 年 7 月,美国联邦政府网站的 IPv6 支持率约为 54%(见图 1)。

1.1.2 印度

印度政府非常重视 IPv6 的部署。在借鉴美国、中国等国家 IPv6 推进策略的基础上,2010 年印度通信和信息技术部推出《国家 IPv6 部署路线图第一版》,2013 年又推出《国家 IPv6 部署路线图第二版》,并于 2016 年、2021 年进行了 2 次修订。印度 IPv6 部署路线图要求如下。

a) 由服务提供商提供的所有新企业客户连接(无线和有线)应能够在 2014 年 1 月 1 日或之后在双栈上承载 IPv6 流量。对于尚未准备好 IPv6 的现有企业客户,服务提供商应教育和鼓励其客户转向 IPv6。

b) 网络服务提供商提供的所有新零售有线客户连接应能够在 2014 年 6 月 30 日或之后支持双栈承载 IPv6 流量。

c) 网络服务提供商提供的所有新 LTE 客户连接自 2013 年 6 月 30 日起均应能够双栈承载 IPv6 流量。2014 年 6 月 30 日或之后,网络服务提供商提供的所有新 GSM/CDMA 客户连接应能够在双栈上承载 IPv6 流量。

d) 所有内容(例如网站)和应用程序提供商应致

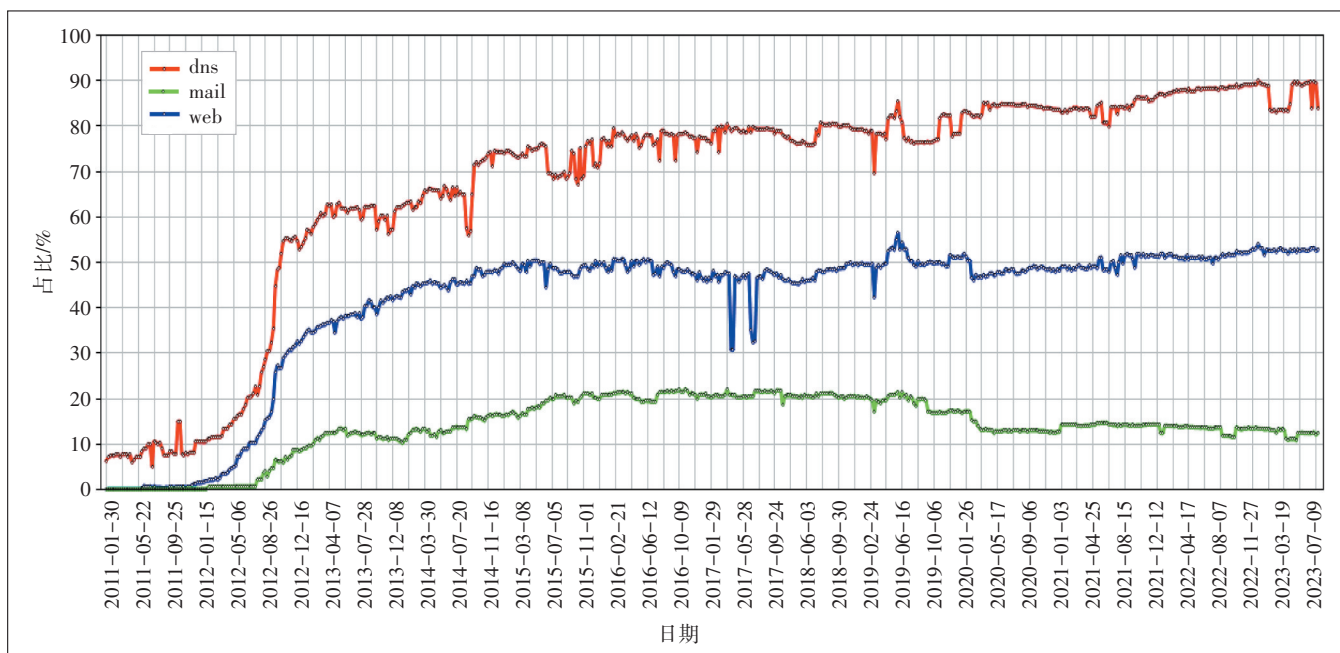


图 1 美国联邦政府网站 IPv6 支持度(2023-07-09)

力于在2014年6月30日之前为新内容和应用程序采用IPv6(双栈),并最迟在2015年1月1日之前为现有内容和应用程序采用IPv6。包括支付网关、金融机构、银行、保险公司等在内的完整金融生态系统最晚应在2013年6月30日之前过渡到IPv6。整个“.in”域名最迟应在2014年6月之前迁移到IPv6。

e) 2014年6月30日或之后在印度销售的所有支持GSM/CDMA 2.5G及以上版本的手机/数据卡加密狗/平板电脑和用于互联网接入的类似设备应能够支持双栈。

f) 政府组织应根据网络复杂性和设备/技术生命周期,制定详细的过渡计划,以便在2017年12月之前完全过渡到IPv6(双栈)。该计划最晚应在2013年12月之前制定,相应的预算拨款应在其赠款需求中作出。为此,建议每个组织立即成立专门的组织,以促进整个过渡。为政府组织提供/由政府组织提供的所有新的基于IP的服务(如云计算、数据中心等)应采用支持IPv6流量的双栈,并立即生效。

g) 政府机构应在智能电表、智能电网、智能建筑、智慧城市等领域各自开展基于IPv6的创新应用。IPv6应纳入全国各院校开设的技术课程。

h) 所有公共云计算服务/数据中心提供商的目标应是在2014年6月30日之前采用最新的IPv6(双栈)。

根据路线图中规定的政策指导方针,印度于2010年12月成立了由2个委员会和10个工作组组成的3层架构的IPv6工作组,每一层都有来自不同组织/利益相关者的成员,以规划、协调和推动IPv6在全国范围内的应用。

根据APNIC统计,2024年3月,印度IPv6部署率已达到78.69%,排在世界第一。印度移动运营商Reliance JIO已经在核心网中部署了IPv6单栈,据统计其IPv6部署率超过90%。

1.1.3 欧洲

近年来,主要欧洲国家非常重视IPv6的部署,法国、德国等国的IPv6部署率增长较快。法国要求从2020年12月31日起,3.4~3.8 GHz的5G频谱持有者的网络必须兼容IPv6协议。APNIC数据显示,2024年3月,法国的IPv6部署率达到69.82%,德国的IPv6部署率为66.92%,均居全球前列。

2024年1月17日,捷克共和国政府批准了“重启DNSSEC和IPv6技术在国家行政部门的实施”的议案。根据这一决定,捷克国家行政当局将于2032年6月6

日停止通过IPv4提供服务,也就是说,在这个日期之后,IPv4的用户将无法访问捷克政府所提供的网络服务。这是全球第一个明确提出在某一领域完全停止IPv4网络的国家,将对全球IPv6的部署推进起到重要的示范作用。

1.2 国际运营商和互联网企业积极拥抱IPv6

美国主要电信运营商正在加大IPv6的部署力度。据统计,截至2022年6月,德电美国(T-Mobile US)用户的访问中有92.31%采用了IPv6,威瑞森的采用率(Verizon)达到83.58%,美国电话电报公司(AT&T)的采用率则是72.32%,我国运营商的采用率则在30%左右。

主要国际互联网巨头积极拥抱IPv6。谷歌作为世界上最大的互联网公司之一,是IPv6应用部署推广的主要推动者。谷歌的IPv6基础设施改造开始于其内部的“20%”项目,即在不违背常规项目或运营事项的前提下,谷歌的工程师可以抽出20%的时间开展创新。在此过程中,谷歌服务逐步实现了对IPv6的支持。2023年9月,谷歌已有超过45%的访问流量是通过IPv6完成的。苹果公司从2016年6月1日(iOS9)开始,支持IPv6-Only。苹果应用商店强制要求支持IPv6,不允许任何应用在实现中嵌入IPv4地址。除了应用商店的IPv6强制准入规则外,苹果终端操作系统还改进了协议栈算法,使IPv6的连接能够更快地得到请求。作为世界上用户数量第二大的网站,脸书(Facebook)在2010年的世界IPv6日开始试验IPv6,其改造策略是在内部网络中部署IPv6单栈网络,边缘节点支持IPv4/IPv6双栈。到2014年,脸书几乎将所有内部网络迁移到IPv6,99%的内部流量为IPv6,一半的数据中心是IPv6单栈的。

2 全球IPv6标准进入“IPv6+”阶段

国际上开展IPv6及其演进技术研究的标准化组织主要有国际互联网工程任务组(IETF)和欧洲电信标准组织(ETSI)。

2.1 IETF进展

IETF是国际最具权威的互联网标准组织,负责互联网相关技术标准的研发和制定。IETF自上世纪90年代启动对IPv6协议的研究,并于1995年发布第一个IPv6国际标准《Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification》(RFC 1883)。该标准在1998年更新为RFC 2460,2017年进一步更新为RFC 8200,是IPv6领

域的基础协议标准。2016年11月,IETF互联网架构委员会(IAB)正式发布关于推进IPv6部署的声明,建议IETF等标准开发组织及合作伙伴放弃在新协议标准中兼容IPv4,用实行动支持并实施IPv6在全球范围内的部署。近年来,随着IPv6的广泛部署和以SRv6为代表的创新技术的兴起,“IPv6+”正成为IETF的研究热点。

IPv6及“IPv6+”技术标准化工作主要在互联网域(Internet Area,INT)、路由域(Routing Area,RTG)和运维管理域(Operation and Management Area,OPS)开展,相关工作组主要包括IPv6运营(IPv6 Operations,V6OPS)、IPv6维护(IPv6 Maintenance,6MAN)、网络中源数据包路由(Source Packet Routing in Networking,SPRING)、IP性能测量(IP Performance Measurement,IPPM)、比特索引显示复制(Bit Indexed Explicit Replication,BIER)、应用感知网络(Application-aware Networking,APN)、域内和域间网络中的源地址验证(Source Address Validation in Intra-domain and Inter-domain Networks,SAVNET)等。其中,V6OPS工作组主要负责IPv6网络部署和运营相关标准的制定;6MAN工作组主要负责IPv6协议规范和寻址架构的维护和发展,处理部署和运行过程中发现的协议限制和问题;SPRING工作组主要研究SR-MPLS和SRv6等分段路由技术;IPPM工作组主要负责制定IP网络流量测量分析相关的标准,IPv6相关随流检测技术标准主要由该组推进;BIER工作组主要负责BIER组播相关技术标准的制定,IPv6新型组播BIERin6技术标准主要由该组推进;APN工作组主要负责APN技术标准的制定;SAVNET工作组致力于解决源地址伪造带来的网络安全威胁,研究域内、域间的攻击防范场景和解决方案。

IETF对IPv6演进技术的研究主要涉及SRv6、IP网络切片、新型组播、随流检测、APN、SAVA,各技术领域的主要研究进展如下。

a) SRv6技术领域的研究涉及SRv6基础部分的需求、架构、数据平面、控制平面,以及后期SRv6高阶部分的应用部署、安全、OAM及故障保护、头压缩、SFC等方面。当前SRv6标准整体成熟度相对较高,技术路线基本统一,其中SRv6基础部分已发布RFC 8754、RFC 8986、RFC 9252、RFC 9352、RFC 9256等正式标准,另有多篇工作组文稿正在推进,即将成为正式RFC;SRv6 OAM已有RFC 9259;国内外SRv6头压缩

的主推方案略有差异,其中思科主推的一篇工作组文稿即将成为RFC;SFC标准相对成熟,已有RFC 7665、RFC 9491 2篇正式标准发布。

b) IP网络切片、新型组播、随流检测技术领域的研究涉及架构、数据平面、控制平面等方面。IP网络切片领域绝大部分标准是由我国企业牵头,目前没有RFC,有多篇工作组文稿,其中一篇架构方面的工作组文稿即将成为RFC,另有多篇工作组文稿正在推进。新型组播国际参与度较高、创新活跃,有基于IPv6的BIERin6和基于SR的MSR6 2条技术路线。BIERin6热度相对较高,已有多篇RFC和多篇工作组文稿,也有基于IPv6的BIER工作组文稿推进;MSR6目前仅有个人文稿。

c) 随流检测研究热度和成熟度相对较高,在架构、数据平面已有多篇RFC,控制平面也有多篇工作组文稿。

d) APN技术领域的研究主要是由我国企业推进,已有多篇基于应用场景、架构、数据平面的个人文稿。

e) SAVA技术体系的研究由我国清华大学主导,涵盖接入子网、自治域内、自治域间3个层次的源地址验证技术。早期研究主要围绕架构、接入子网进行开展,并于2008—2017年发布了7篇RFC;2022年SAVNET工作组成立,主要围绕自治域内、自治域间源地址验证技术开展研究,覆盖应用场景、需求、架构、数据平面、控制平面。虽然工作组成立不到2年,但已形成2篇工作组文稿和多篇个人文稿。

总体看来,IETF“IPv6+”技术标准创新活跃。截至2023年11月,IETF IPv6演进技术相关关键文稿共计122篇,其中包括RFC 36篇、工作组文稿41篇(其中5篇即将成为RFC)、个人文稿45篇(其中活跃状态个人文稿32篇)。各技术领域的文稿数量分布及draft-rfc转化率如图2所示,SRv6技术领域文稿总数达到44篇,其中RFC数量为17篇,位居首位,标准成熟度相对最高;其次是随流检测(RFC数量7篇)、新型组播(RFC数量5篇);APN仅有11篇个人文稿,标准成熟度相对最低。

IETF IPv6演进技术研究吸引了全球设备商、运营商、互联网企业及高校/科研机构的广泛参与。IPv6演进技术参与单位包括思科、华为、中兴、爱立信、Juniper、Nokia、华三等设备商,Bell Canada、Orange、Telecom Italia、BT、AT&T、Verizon、Softbank、中国电信、中国联通、中国移动等运营商,清华大学、中关村实验

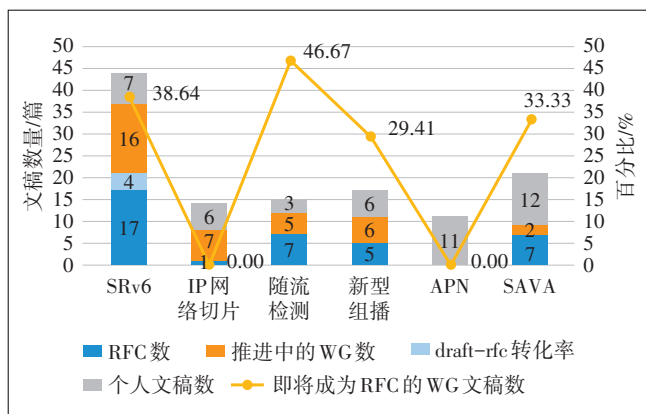


图2 IETF IPv6 演进技术各领域标准文稿数量分布

室、中国信通院等高校/科研机构以及谷歌、微软、英特尔、博通等应用企业。其中 SRv6 技术领域国际合作度相对最高,其次是随流检测、新型组播,而网络切片、APN、SAVA 技术领域则是我国企业牵头主推。

2.2 ETSI 进展

ETSI 是 ICT 标准化组织,主要负责与网络架构和部署相关的规范。IPv6 及“IPv6+”相关的标准化工作主要在 IPv6 融合 (IPv6 Integration, IP6)、IPv6 增强创新 (IPv6 Enhanced Innovation, IPE) 和经验式网络智能 (Experiential Networked Intelligence, ENI) 3 个行业规范组 (Industry Specification Group, ISG) 中开展。

2017 至 2020 年间,IP6 工作组围绕 IPv6 与行业融合开展技术研究,相继发布了 9 篇工作组报告 (Group report, GR)。2020 年 8 月,IP6 工作组发布了《IPv6 最佳实践、过渡挑战以及发展路径》(《IPv6 Best Practices, Benefits, Transition Challenges and the Way Forward》) 白皮书,介绍了 IPv6 最佳实践、用例、优势及部署中遇到的问题,探讨了纯 IPv6 部署的实践案例并全面阐述了 4G/5G、IoT 和云时代对网络的新需求。

2020 年 IPE 工作组成立,负责基于 IPv6 的 IP 创新型技术的研究和标准化工作,中国电信、中国信通院、华为等国内企业单位参与了该工作组的创建。IPE 工作组成立以来,IPv6 创新技术标准规范进展可观,定义了“IP on Everything”产业愿景、“IPv6+”产业代际、“IPv6+”六大维度和关键技术方向,推动“IPv6+”产业理念达成共识。目前,IPE 主要围绕 5G 传送网、工业互联网和云网融合等新生场景的 IPv6 部署问题开展研究,已发布了 8 篇技术报告。

ENI 工作组成立于 2023 年,主要负责认知网络管理系统的技术研究和标准化工作。目前,该工作组已

立项了 IPv6 创新技术中的随流检测技术,正在开展研究。

3 我国 IPv6 部署政策及进展

3.1 政策发展历程

我国 IPv6 发展起步较早,是世界上开展 IPv6 研究最早的国家之一。20 世纪 90 年代后期,国内学术界就开始进行 IPv6 的技术研究和实验网建设,IPv6 已经发展了 20 多年。

为了在技术试验的基础上进一步提升我国 IPv6 相关产业化能力,2003 年国务院批复同意国家发展改革委等八部委“关于推动我国下一代互联网发展有关工作的请示”,正式启动“中国下一代互联网示范工程 CNGI”,标志着我国 IPv6 的发展征程进入新纪元。

2015 年前后,国际 IPv6 部署进入加速期,美国、巴西、印度等国开始大量申请 IPv6 地址,我国在网络建设、资源规模、用户规模等方面处于落后局面。为此,邬贺铨、吴建平院士联合国内相关专家向中央谏言,提出开展 IPv6 规模部署工作。

2017 年,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《推进互联网协议第六版 (IPv6) 规模部署行动计划》(简称《行动计划》),全面推进以 IPv6 协议为基础的下一代互联网发展,实现我国从“互联网大国”迈向“互联网强国”的目标。《行动计划》发布后,由中央网信办牵头,会同国家发改委、工业和信息化部等 34 个部门,以及中国电信、中国移动、中国联通、中国广电等建立了深入推进 IPv6 规模部署和应用统筹协调机制,凝聚各方力量,共同推进 IPv6 规模部署。

在《行动计划》的基础上,各部门、各行业发布了多项推进 IPv6 规模部署的相关政策文件。2021 年,中央网信办、国家发展改革委、工业和信息化部印发《关于加快推进互联网协议第六版 (IPv6) 规模部署和应用工作的通知》,明确了“十四五”时期深入推进 IPv6 规模部署和应用的主要目标、重点任务和时间表。同年,工业和信息化部、中央网信办印发《IPv6 流量提升三年专项行动计划 (2021—2023 年)》,提出到 2023 年底,实现移动网络 IPv6 流量占比超过 50%,固定网络 IPv6 流量规模达到 2020 年底的 3 倍以上等目标。

在前期工作成绩的基础上,我国 IPv6 规模部署和应用工作需要通过 IPv6 和“IPv6+”技术创新,进一步激发服务提供者和用户的内生动力,并逐步形成下一代互联网的创新技术和产业优势。2023 年,工业和信息

化部、中央网信办、国家发展改革委、教育部、交通运输部、人民银行、国务院国资委、国家能源局等八部门联合印发《关于推进 IPv6 技术演进和应用创新发展的实施意见》，提出“构建 IPv6 演进技术体系”“强化 IPv6 演进创新产业基础”“加快 IPv6 基础设施演进发展”“深化‘IPv6+’行业融合应用”“提升安全保障能力”等五方面的重点任务。这个文件的发布，标志着我国 IPv6 规模部署和应用工作进入到以技术创新和应用为主的新时期。

3.2 我国 IPv6 部署进展

我国在 IPv6 基础设施的建设与发展上已取得令人瞩目的成果，这一发展也使我国在 IPv6 领域的地位逐步上升，比肩国际先进水平。在不断努力下，我国 IPv6 发展已经基本完成了《行动计划》设定的第 2 阶段目标。如今，我们正向“到 2025 年末，我国 IPv6 网络规模、用户规模、流量规模位居世界第一”的宏伟目标加速前进。

3.2.1 IPv6 活跃用户数居全球领先

从 2019 年至 2024 年，我国 IPv6 的活跃用户数飞速增长，从 1.65 亿增至 7.84 亿，这意味着我国 IPv6 的活跃用户已占到了互联网网民总数的 72.64%。这一增长速度不仅显示了我国 IPv6 的普及速度，也预示着我国在全球 IPv6 领域的领导地位。

3.2.2 网络 IPv6 流量增长显著

移动网络是我国网民重要的上网方式，我国移动网络 IPv6 流量几乎从 0 开始，实现了飞速增长。2023 年 2 月，移动网络 IPv6 流量占比首次突破 50%，意味着移动互联网进入到以 IPv6 为主要的时代。截至 2024 年 1 月，我国移动网络 IPv6 流量占比达到 62.05%，比 2019 年增长超过 50 倍。

城域网流量由固定宽带用户流量、企业专线流量、数据中心流量等多种流量组成，业务应用比较复杂，IPv6 流量增长相对缓慢。截至 2024 年 1 月，我国所有城域网平均 IPv6 流量占比为 19.14%，与 2019 年相

比增长超过 70 倍。

3.2.3 IPv6 地址拥有量全球排名靠前

截至 2024 年 3 月，我国的 IPv6 地址拥有量已达到 67 437 块 (/32)，全球排名第二。相较于 2017 年底，这一数字翻了超过 3 倍。

3.2.4 IPv6 应用不断扩展

互联网网站和应用的 IPv6 改造不断深入，截至 2023 年底，全国省级以上政府、主要金融机构、高校、中央媒体等重点领域门户网站的 IPv6 支持率已达 96.5%，国内用户量较大的 200 款移动网络应用 APP 均支持 IPv6 访问。在创新应用方面，基于“IPv6+”技术的行业应用加速落地，在制造、医疗、金融等领域累计部署超过 400 个商用案例。

4 我国 IPv6 部署面临的主要问题和挑战

4.1 固定宽带接入环境 IPv6 支持度较低

目前三大电信运营商城域网接入设备已基本完成双栈化改造，但城域网 IPv6 流量占比仅有 20% 左右，固定网络 IPv6 用户及流量规模发展滞后的原因之一在于家庭宽带接入环境对 IPv6 的支持度较低。

当前国内电信运营商普遍完成了城域网的“光进铜退”改造，光纤接入 (FTTx) 已成为固定宽带用户接入的主流技术方式。据统计，电信运营企业 FTTx 接入已占全部固网宽带用户的 90% 以上。当前全国家庭宽带用户共约 6 亿户，大多数家庭用户会在家庭网关下挂家庭宽带路由器，根据部分城域网的抽样统计，这种情况的占比为 60%~80%。FTTx 接入环境如图 3 所示。

近年来，电信运营商不断推进家庭网关 (光猫) 对 IPv6 的支持，目前现网支持率已达到 90% 左右，但家庭宽带路由器的 IPv6 支持情况并不理想。虽然工信部于 2023 年 10 月发布了《关于在无线电发射设备型号核准中开展对无线局域网设备支持 IPv6 协议能力测试有关事宜的通知》，要求“无线局域网设备需默认

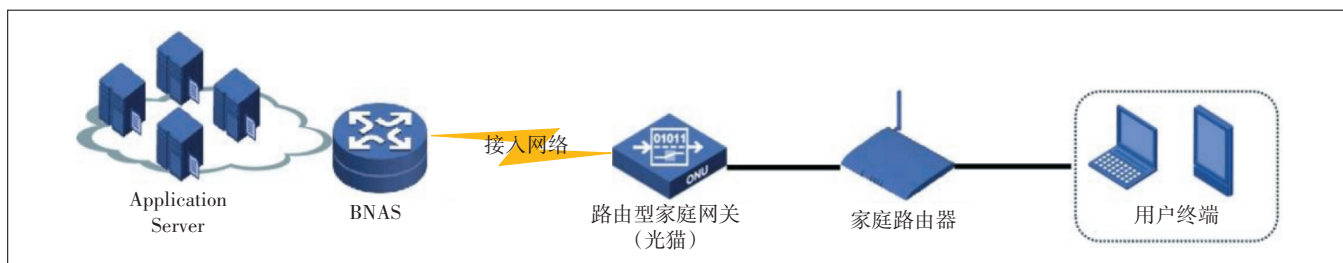


图3 FTTx 接入环境

开启 IPv6 地址分配功能”,但现网仍有大量存量家庭宽带路由器不支持 IPv6 或未开启 IPv6 功能。

同时,目前家庭宽带接入中 IPv6 的地址分配主要采用 SLAAC 与无状态 DHCP 相结合的方式,DHCP PD 地址前缀由运营商宽带接入服务器(BNAS)分发至家庭网关,但大多数家庭网关并不支持 PD 二次分发功能。因此即便家庭宽带路由器支持 IPv6,但也无法获取到 PD 前缀,从而无法向其下连的终端设备分配 IPv6 地址,进一步降低了家庭宽带接入环境的 IPv6 支持率。

4.2 互联网应用改造深度和广度有待提升

近年来,各级部门对政府、金融、教育、媒体、央企等领域的网站,以及国内 Top200 的移动互联网应用进行了定期的 IPv6 支持度和流量监测。虽然监测结果表明这些重点内容源对 IPv6 的支持度在不断提升,但由于互联网规模巨大、流量复杂、用户网络性能各异,应用侧对 IPv6 的支持还是存在诸多问题。

a) 商业网站 IPv6 支持率低。虽然重点领域网站在主管部门的监督下 IPv6 支持度较高,但国内商业网站的 IPv6 支持率仍然较低。根据对商业网站 Top200 的测试,域名 IPv6 支持率(AAAA 记录)仅为 36.5%,而从全球来看,整体网站的 IPv6 支持率约为 23.9%。

b) 移动互联网应用的 IPv6 支持度还有待提升。大量移动互联网应用还无法实现注册、登录、使用全链条支持 IPv6,而且移动网络和固定网络环境中 IPv6 流量占比差异较大,部分应用甚至超过 10 倍以上。

c) 一些流量占比大的通信协议的 IPv6 占比低。在固定网络环境下,BT 等 P2P 流量和网盘等流量占比较高,可达 30% 以上,但这些通信协议主要使用 IPv4,对 IPv6 的支持率很低。

4.3 IPv6 技术和商业模式有待创新

IPv6 发展“基础在部署,关键在应用”,虽然当前阶段我国 IPv6 产业发展环境日趋成熟,信息通信、政府、金融、制造等垂直行业已落地了一批“IPv6+”项目,但总体仍缺乏产业和商业模式层面的总结与推广,IPv6 行业应用仍面临价值缺失与动力不足的问题。

构建开放共赢的 IPv6 产业生态,不仅是网络技术的创新,也是商业模式的创新。5G、物联网、工业互联网除了技术与场景、网络与应用的融合,还有生态的合作。构建产业生态需要更开放的合作研究和更广泛的行业实践,只有在产业链的共同努力推进下,才会促进 IPv6 的更快发展。

5 总结与展望

我国 IPv6 发展克服重重困难,从网络基础设施、应用基础设施、终端、基础资源、用户数及流量等各个方面都取得了良好的成效,在技术升级和产业升级的双轮驱动下,“IPv6+”带来的协同效应进一步增强,正进入良性发展阶段。未来仍需在政策驱动的背景下,不断探索网络、终端、应用各领域从 IPv4 向 IPv6 演进的技术方案,同时通过“IPv6+”技术创新的不断落地,丰富 IPv6 的商业模式,形成 IPv6 的应用体验优势。未来的世界是万物互联、万物智联和万智互联的数字世界,随着 IPv6 网络规模的不断扩大,IP 连接属性的不断增强,支撑的应用场景持续丰富。作为重要的基础设施,IP 网络最终将实现“IPv6 无处不在、智能无所不及”的数字世界。

参考文献:

- [1] EVANS K S. Memorandum for the chief information officers [R/OL]. [2023-12-24]. <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/omb/memoranda/fy2005/m05-22.pdf>.
- [2] VOUGHT R T. Memorandum for heads of executive departments and agencies [R/OL]. [2023-12-24]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/11/M-21-07.pdf>.
- [3] SIBAL K. National IPv6 deployment roadmap version - II [R/OL]. [2023-12-24]. <https://www.pib.gov.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=94308>.
- [4] 推进 IPv6 规模部署专家委员会.“IPv6+”技术创新愿景与展望白皮书 [R/OL]. [2023-12-24]. <https://e.huawei.com/cn/material/networking/c15bb0ed1e8540f38fc0fe3973c8ecc6>.
- [5] Web Technology Surveys. Usage statistics of IPv6 for Websites [EB/OL]. [2023-12-24]. <https://w3techs.com/technologies/details/ce-ipv6>.
- [6] World Ipv6. Network operator measurements [EB/OL]. [2023-12-24]. <https://www.worldipv6launch.org/measurements/>.
- [7] NIST. USGv6 Program [EB/OL]. [2023-12-24]. <https://www.nist.gov/programs-projects/usgv6-program>.
- [8] 国家 IPv6 发展监测平台. 中国 IPv6 综合发展指数地图 [EB/OL]. [2023-12-24]. <https://www.china-ipv6.cn/>.
- [9] IETF. Catch up on IETF 119 Brisbane [EB/OL]. [2023-12-24]. <https://www.ietf.org/>.

作者简介:

高巍,毕业于电信科学技术研究院,高级工程师,硕士,主要从事数据通信、云计算、人工智能等方面的研究工作;高静,毕业于兰州铁道学院,工程师,硕士,主要从事数据通信网络技术研究工作;葛坚,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事 IPv6 技术研究工作;兰天翔,毕业于谢菲尔德大学,工程师,硕士,主要从事互联网技术研究工作。