IPv6+网络创新体系发展布局

Development Layout of IPv6+ Network Innovation

田辉/TIAN Hui[1]，关旭迎/GUAN Xuying[2]，
邬贺铨/WU Hequan[3]

（1. 中国信息通信研究院，中国 北京 100191；
2. 中国移动通信集团有限公司，中国 北京 100007；
3. 中国工程院，中国 北京 100088）
(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China;
2. China Mobile Communications Group Co. , Ltd. , Beijing 100007, China;
3. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China)

DOI：10.12142/ZTETJ.202201003
网络出版地址：https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220223.0922.002.html
网络出版日期：2022-02-23
收稿日期：2021-12-20

摘要：在中国互联网协议第6版（IPv6）规模部署全面实施的背景下，提出了IPv6+网络创新体系的发展目标，厘清了其概念的内涵与外沿，形成关键技术规划布局，并据此构建面向2030年的IPv6+网络创新体系发展路径。研究表明，中国应布局网络编程、网络层切片、网络确定性、网络随路测量、新型组播、网络自治以及可信安全等关键技术研究，推动核心设备、系统以及解决方案研发来引导产业发展，实施面向基础电信网络、行业信息网络的试点示范，加快IPv6+国家/国际标准体系的构建。

关键词：IPv6+；网络创新体系；技术布局；发展路径；标准体系

Abstract: China´s Internet Protocal Version 6 (IPv6) has achieved large-scale deployment. The development goal of the IPv6+ network innovation system is put forward, the connotation and external edge of the concept is clarified, the planning of key technologies has been formed, and the development path of the IPv6+ network innovation system for 2030 is constructed accordingly. The research of key technologies including network programming, network slicing, certainty network, with-road measurement, new multicast routing, network autonomy, and credible safety network is arranged. The research and development of core products, systems, and solutions are promoted to guide industrial development, and the pilot project and demonstrations for basic telecommunications networks and industrial information networks are implemented, which accelerates the construction of an IPv6 national/international standard system.

Keywords: IPv6+; network innovation system; technical layout; development path; standard system

互联网是国民经济和社会发展的重要基础设施。当前，在全球范围内，以5G、云计算为代表的新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起，推动了互联网通信模式从人与人通信向物与物通信以及人机交互模式转变，这需要互联网更加弹性、高效、可靠、安全。具体来说，互联网应满足以下需求：

（1）海量连接扩展需求。随着移动互联网、工业互联网、物联网等业务发展，海量异构终端将会接入互联网，这要求网络在具备海量接入能力的同时，还能够保证带宽、时延、抖动等指标要求，并尽量减少与业务特性无关的限制。

（2）灵活流量疏导需求。一方面，在互联网时代，业务流量的爆发式增长已是必然趋势；另一方面，云网融合推动网络流量从南北向传输向东西向流量传输发展，这需要网络具备灵活疏导、智能调度等能力。

（3）便捷网络服务需求。从云的视角来看，计算、存储、网络等功能都要实现便捷的服务化。网络服务化是云网融合对网络联接能力的内在要求，基本内涵包括简化接口、自动化部署、路由可编程、故障快速闭环等。

（4）个性化服务质量需求。智能制造、交通、物流等垂直行业数字化转型，对承载网络提出毫秒级时延和100%可靠性保障等极致服务要求。而传统网络只提供尽力而为服务，不能满足行业差异化和定制化需求。

（5）可信安全保障需求。产业在实现数字化发展的同时也存在新的安全风险，如云服务的虚拟化、数据开放化、松耦合的架构等。而原有的安全防护手段已不适用，因此有必要重建多维度、多领域的信任网络安全架构。

1 IPv6+网络创新体系

近年来，世界主要国家纷纷加强对网络演进创新领域的战略部署，力争在新一轮技术和产业竞争中占据优势。以互联网工程任务组（IETF）、欧洲电信标准化协会（ETSI）、国际电信联盟（ITU）为代表的国际标准组织，不断扩大研

基金项目：国家重点研发计划（2018YFB1800100）

究范围，持续开展新型网络技术的研究和探索。中国也高度关注并重视网络创新演进发展，2017年中共中央办公厅、国务院办公厅联合发布《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》[1]，明确了中国IPv6规模部署的总体目标、路线图、时间表和重点任务，提出了“强化网络前沿技术创新”“布局下一代互联网顶层设计”“构建自主技术产业生态”等重点任务。经过4年多的发展，中国建成了全球最大规模的IPv6网络，典型应用和特色应用不断增多，IPv6规模部署取得了显著成效，已具备开展网络创新的坚实基础。2019年，推进IPv6规模部署专家委员会指导成立了IPv6+创新推进组，提出打造IPv6+网络创新体系的战略发展目标，确定用10年左右的时间，以推进IPv6规模部署国家战略为契机，建立可演进创新、可增量部署的IPv6+网络技术创新体系[2]，引领中国IPv6+核心技术、产业能力及应用生态实现突破性发展，并提供以IPv6+系列标准为代表的网络演进创新中国方案，打造赋能数字化转型发展的新型基础设施。

1.1 概念内涵

IPv6+是基于IPv6的下一代互联网的升级，是对现有IPv6技术的增强，是推动技术进步、效率提升，面向新一轮科技革命和产业变革的互联网创新技术体系。基于IPv6技术体系再完善、核心技术再创新、网络能力再提升、产业生态再升级，IPv6+可以实现更加开放活跃的技术与业务创新、更加高效灵活的组网与业务服务提供、更加优异的性能与用户体验，以及更加智能可靠的运维与安全保障。

IPv6+核心技术创新内容包括3个方面：一是在IPv6基础上进行路由转发协议及其功能的增强、完善，例如IPv6分段路由、新型组播技术等；二是IPv6与其他技术的融合应用，例如IPv6与人工智能、软件定义网络等技术融合形成的网络层切片、确定性转发等；三是基于IPv6开展的网络技术体系创新，例如确定性转发、随流检测和应用感知网络等。

除了上述核心技术创新之外，IPv6+还将以网络故障发现、故障识别、网络自愈、自动调优等为代表的智能运维创新作为发展目标，同时将以5G面向企业用户（ToB）、云网融合、用户上云、网安联动等为代表的商业模式创新作为典型融合应用场景。

1.2 外沿关系

业界普遍认为IPv6不是下一代互联网的全部，而是下一代互联网创新发展的起点和平台。IPv6+正是基于IPv6网络技术体系的全面能力升级。借助海量地址和其他重要特性，IPv6成为万物互联的网络基础。IPv6+的技术体系得到了全面升级，可以满足数字化转型的多样化承载需求，它必将推动万物互联走向万物智联。当前以IPv4/IPv6为代表的网络技术体系促进了消费互联网的繁荣，下一步IPv6+可以全面升级网络信息基础设施，必将满足千行百业数字化、网络化和智能化转型发展需求。

从代际演进的角度来看，IPv6+是面向5G和云时代的网络体系创新，是数字化时代的信息基础设施“底座”。未来网络则是以人类可持续发展为目标，解决社会、经济和环境可持续发展问题的信息基础设施，是未来人类社会的“基石”。如果说IPv6+着重关注中近期网络演进创新，那么未来网络的目标则被定位为远期发展。可以预见，IPv6+与未来网络将持续接力，不断提升网络服务能力，全面支撑社会可持续发展。

1.3 关键技术布局

网络技术体系方面的创新具体包括：面向5G承载、云网融合以及产业互联网提出的泛在、多元、弹性、高效、可靠、可信的承载需求，并基于IPv6开展协议创新，研究多样灵活的分段路由控制机制[3]，实现业务的快速开通、跨域互通、业务隔离、可靠保护；研究简化控制的网络编程机制[4]，以提高协议运行效率，减少协议开销[5]，降低维护复杂度；研究泛在连接的差异化服务级别协议（SLA）技术，提供有时延、抖动、丢包边界保障的确定性能力[6]；研究大规模网络层切片技术[7]，提供可交付、可测量、可度量、可计费的切片服务；研究带内遥测的随路测量技术[8]，支持异构网络扩展、轻量开销、协议健壮的网络状态数据采集；研究应用特征的网络感知机制[9]，根据用户、业务以及性能参数要求，进行无缝融合、后向兼容、可扩展性、无状态依赖的精细化运营。IPv6+网络创新体系技术布局如图1所示。

智能运维体系方面的创新具体包括：针对网络长期处于人工为主、半自动运维为辅，且对网络运行状态缺乏感知的现状，研究在IPv6+网络体系中以数据为核心、构建物理网络的数字孪生，支持基于模型驱动的网络服务创新；研究网络能力开放编程技术，将高度抽象的网络服务接口化，向用户业务开放，使用户能像调用计算和存储资源一样方便地调用网络资源；研究在运维体系中引入人工智能技术，开展智能网络资源编排、流量预测分析、网络信息安全、用户行为分析，实现被动运维到主动运维的转变；研究网络故障智能发现、识别、定界的优化闭环技术，使能自动、自优、自愈、自治的自动驾驶网络。

网络商业模式方面的创新具体包括：借助IPv6+路径可规划、业务速开通、运维自动化、质量可视化、SLA可保

障、应用可感知的特性，开展5G、云计算及产业互联网融合应用场景创新，并研究5G园区海量终端延伸到云端的场景，实现业务的高速接入、分片隔离、快速上云和业务质量保障；研究企业不同业务使用多云联接的场景，根据业务时延、带宽、可靠性等要求灵活选择网络路径，实现云网资源的统一调度；研究工业互联网全IP化场景需求，构建联接工业园区、工业云平台、工业内网的高质量网络设施，确保业务不绕路、不断网、不丢包、不延误，满足确定性服务需求。IPv6+典型融合应用场景如图2所示。

1.4 能力纬度

基于IPv6技术体系的全面演进与创新，IPv6+从超宽、广联接、确定性、低时延、自动化、安全可信等6个维度，大幅提升信息网络基础设施的整体服务能力，这必将有力支撑千行百业数字化转型与创新。

超宽能力持续释放宽带能力以应对未来业务不确定性的挑战。端到端高速连接覆盖从接入网络、骨干网到数据中心网络，承载千亿联接和万物上云的数字洪流。

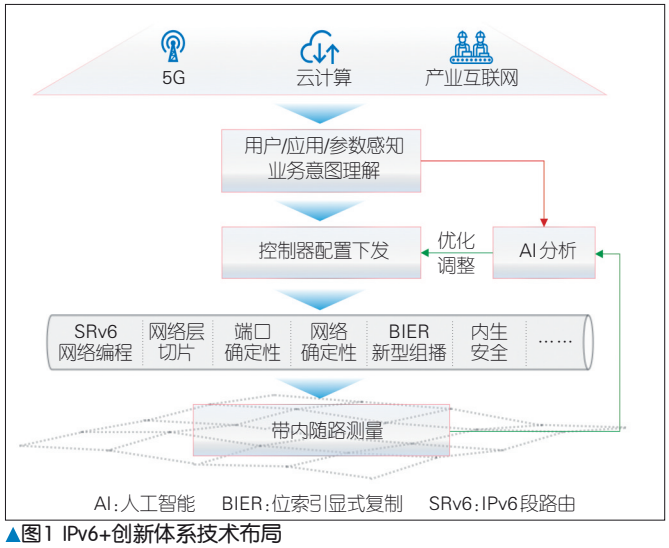
广联接能力提供灵活多业务承载和网络服务化能力。利用网络编程技术，该能力实现端到端流量调度、协议简化和用户体验保障，满足多业务融合承载体验需求。

确定性能力为网络提供可预期的确定性体验。该能力可以利用网络切片技术提供高安全、高可靠、可预期的网络环境，实现微秒级抖动，并可利用无损网络技术实现数据中心零丢包。

低时延能力提供人与虚拟世界实时交互的沉浸式体验。在该能力的支持下，园区网络端到端时延达到毫秒级，数据中心网络端网协同时延达到微秒级。

自动化能力使能自动、自愈、自优、自治的自动驾驶网络。该技术结合人工智能、随流检测、知识图谱等关键技术可以实现异常智能分析，将故障恢复时间从小时级缩短到分钟级。

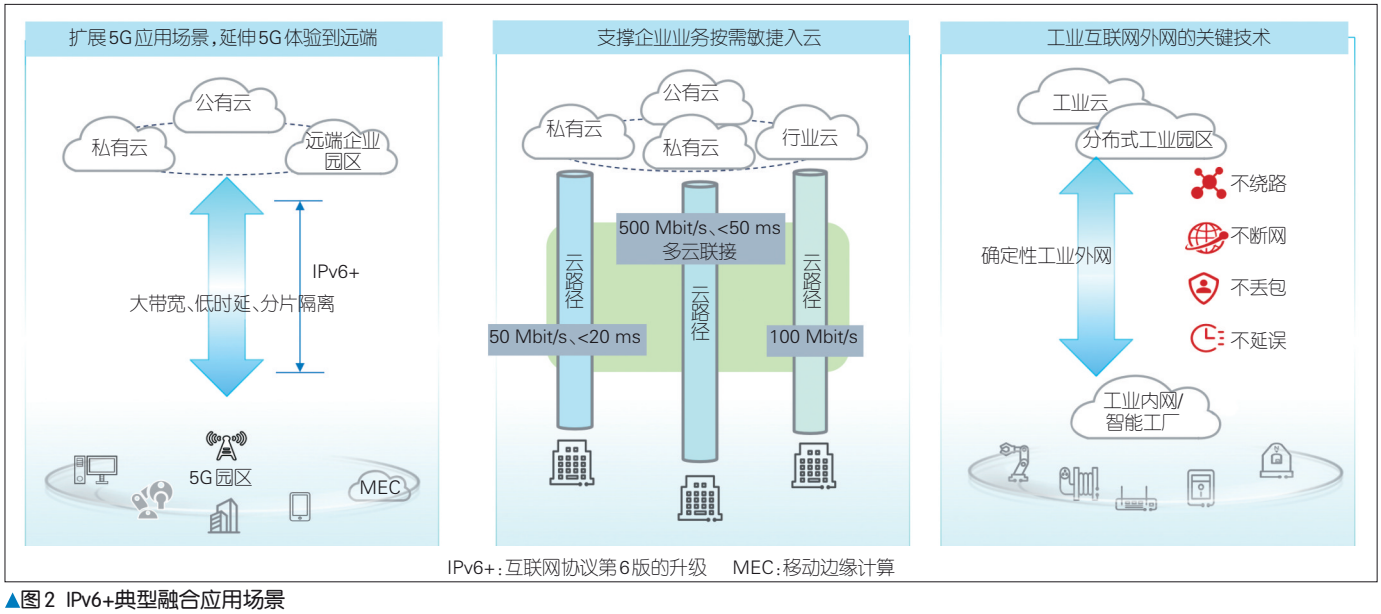
安全可信能力为网络打造内生安全体验。对所有访问进行认证和鉴权，限制最小访问权限。基于云网一体威胁协同处置，实现从小时级到分钟级的威胁遏制。



▲图1 IPv6+创新体系技术布局

1.5 发展路径

IPv6+技术体系演进大致划分为3个发展阶段，具体如



▲图2 IPv6+典型融合应用场景

图3所示。

IPv6+1.0：重点开展技术体系创新，构建网络开放编程能力，通过发展基于IPv6转发平面的段路由（SRv6）实现对传统多协议标记交换（MPLS）、网络基础特性（虚拟专用网）、尽力而为业务（BE）、流量工程（TE）和快速重路由（FRR）等[10]的替代，实现业务快速发放、灵活路径控制，利用自身的优势来简化IPv6网络的业务部署。

IPv6+2.0：重点通过智能运维创新，提升用户体验，并通过发展网络切片/随流检测/新型组播/无损网络等技术，提升算力，优化体验。该阶段需要发展面向5G和云的新应用，如面向5G ToB的行业使能、云虚拟现实（VR）/增强现实（AR）、工业互联网，以及基于数据/计算密集型业务，如大数据、高性能计算、人工智能计算等。这些应用体验的提升需要引入一系列新的创新，包括但不局限于网络切片、随流检测、新型组播[11]和无损网络等。

IPv6+3.0：重点通过商业模式创新，发展应用驱动网络。一方面，随着云和网络的进一步融合，需要在两者之间设置更多的信息交互，也需要将网络能力更加开放地提供给云来实现应用感知和即时调用；另一方面，随着多云的部署加速，网络需要更加开放的多云服务化架构来实现跨云协同和业务的快速统一发放和智能运维。

2 IPv6+标准工作进展

2.1 国家/行业标准体系

2021年，中国通信标准化协会牵头成立了IPv6标准工作组，汇聚各方力量，统筹推进IPv6国家标准、行业标准和团体标准的制定。工作组计划用5年时间形成较为完善的IPv6+标准体系，并持续提升标准对细分行业及领域的覆盖程度，提高跨行业网络应用水平，保障数字经济快速发展。规划中的IPv6+标准体系包括基础创新类、网络安全类、行业应用类、监测评价类标准。

基础创新类标准是IPv6+网络适应5G、云等应用发展，发挥价值的基础性、指导性和通用性标准，包括总体、基础特性与增强的技术规范、关键业务的技术规范、操作维护管理（OAM）与保护技术规范、传统承载与云网融合技术规范、网络应用感知技术规范等。

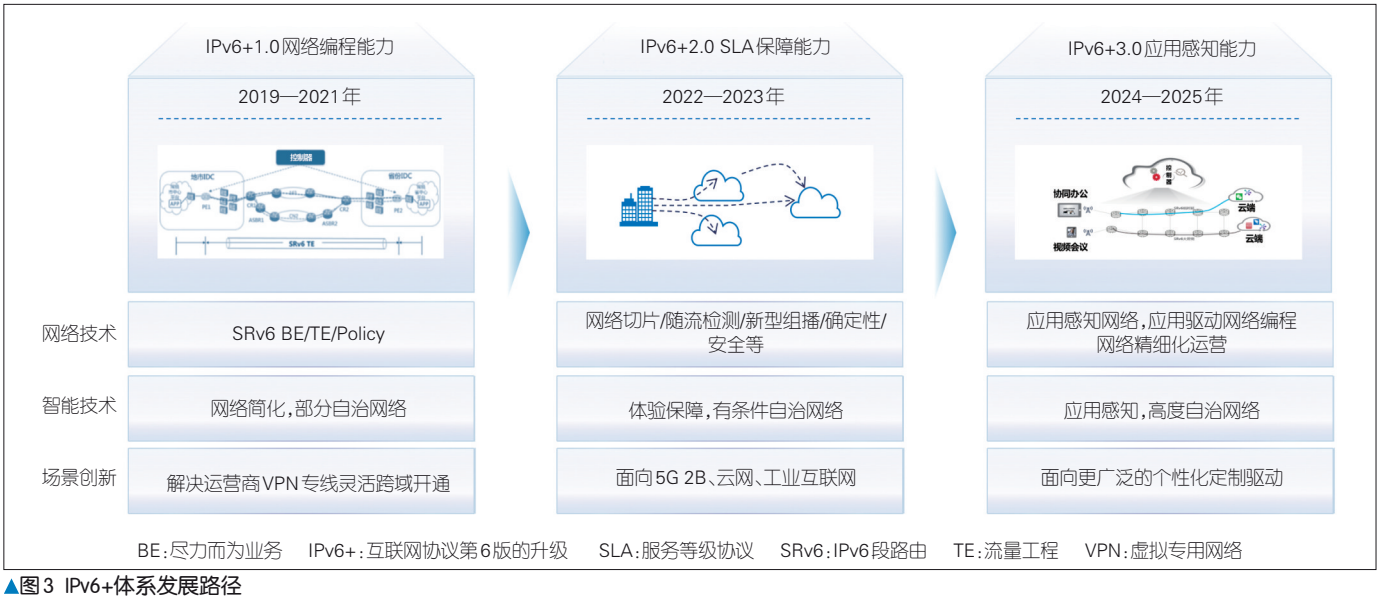
网络安全类标准是IPv6+网络基础的安全基石，包括网络设备通用安全技术要求、骨干/边缘路由器设备网络安全技术要求、数据中心/园区交换机设备网络安全技术要求、网络安全设备IPv6网络安全技术要求等。

行业应用类标准是IPv6/IPv6+网络在主要产业网络部署落地的指南和规范，主要包括金融行业应用标准、能源行业应用标准、交通行业应用标准、教育行业应用标准、政务行业应用标准等。

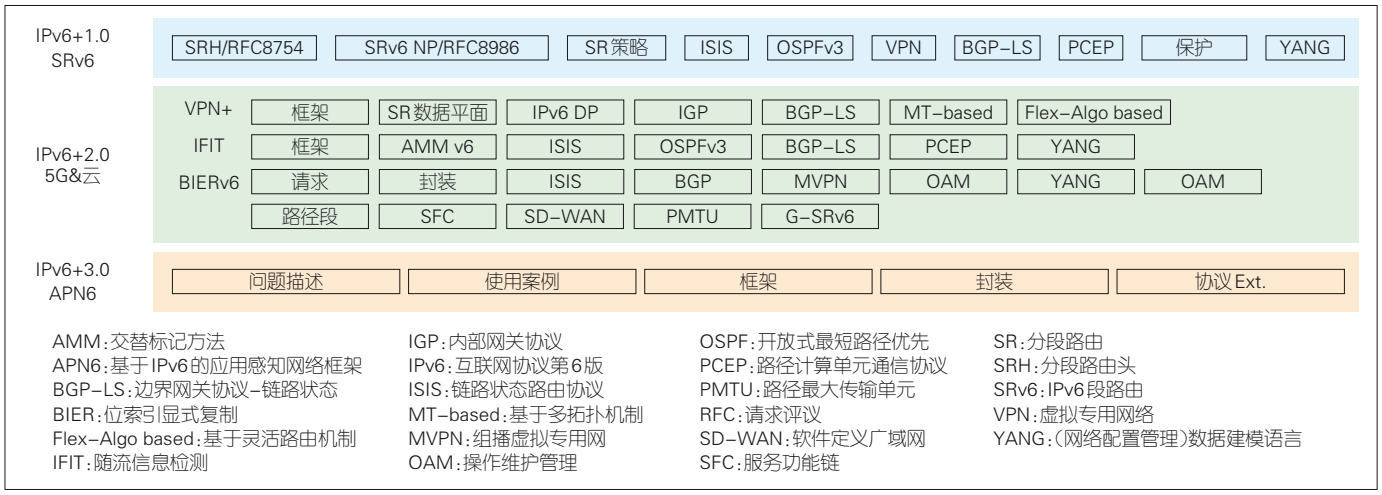
监测评价类标准是IPv6/IPv6+网络服务质量的统一评价规范，指导着IPv6网络建设、运行、维护，主要包括用户、流量、网络浓度标准测试方法、应用浓度标准测试方法、终端浓度标准测试方法等。

2.2 国际标准分布

IPv6+标准的相关工作正在互联网工程任务组



▲图3 IPv6+体系发展路径



▲图4 IPv6+国际标准分布

(IETF)[12]、电气与电子工程师协会(IEEE)、欧洲电信标准化协会(ETSI)等标准组织中有条不紊地展开，国际标准分布如图4所示。在多个技术方向上，中国标准已经与国际标准呈现齐头并进的态势，特别是一些与新应用、新场景结合紧密的方向上，中国标准创新已经走在世界前沿。

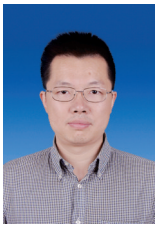
4 结束语

加快IPv6+技术创新、产业发展和应用部署，有利于重塑中国互联网创新体系，激发创新活力，培育新兴业态。这对打造IPv6规模部署、应用高质量发展新优势、加快互联网演进升级、助力经济提质增效具有重要意义。下一步，建议相关部门强化政策引导，统筹各方力量，完善IPv6+技术体系顶层设计，并围绕IPv6+关键技术、核心产品及解决方案等加强测试验证、试点示范，提升创新成果转化水平，增强自主创新能力，形成中国在网络技术演进创新领域的先发优势。

参考文献

[1] 推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署行动划 [EB/OL].(2017-11-26)[2021-12-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-11/26/content_5242389.htm
[2] 田辉, 魏征. "IPv6+"互联网创新体系 [J]. 电信科学, 2020, 36(8): 2-10. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020256
[3] FILSFILS C, DUKES D, PREVIDI S, et al. IPv6 segment routing header: RFC8754 [S]. IETF, 2020
[4] FILSFILS C, CAMARILLO P, LEDDY J, et al. Segment routing over IPv6 (SRv6) network programming: RFC 8986 [S]. IETF, 2021
[5] CHENG W, LI Z B, LI C, et al. Generalized SRv6 network programming for SRv6 compression [EB/OL]. (2021-10-25) [2021-12-02]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-cl-spring-generalized-srv6-for-cmpr/
[6] FINN N, THUBERT P, VARGA B, et al. Deterministic networking architecture: RFC8655 [S]. IETF, 2019
[7] DONG J, BRYANT S, LI Z Q, et al. A framework for enhanced virtual private networks services [EB/OL]. (2018-12-17)[2021-12-10]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-teas-enhanced-vpn/
[8] SONG H, QIN F, CHEN H, et al. In-situ flow information telemetry [EB/OL]. (2021-10-21) [2021-12-05]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-song-opsawg-ifit-framework/
[9] LI Z, PENG S P, VOYER D, et al. Application-aware networking framework [EB/OL]. (2021-10-25)[2021-12-10]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-apn-framework/
[10] CHEN H, HU Z, CHEN H, et al. SRv6 midpoint protection [EB/OL]. (2021-12-19) [2021-12-20]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-chen-rtgwg-srv6-midpoint-protection/
[11] MCBRIDE M, XIE J, DHANARAJ S, et al. BIER IPv6 requirements [EB/OL]. (2021-04-01) [2021-12-10]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-bier-ipv6-requirements/
[12] 李振斌, 赵锋. "IPv6+"技术标准体系 [J]. 电信科学, 2020, 36(8): 11-20. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020258

作 者 简 介



田辉，中国信息通信研究院技术与标准所互联网中心主任；从事数据通信领域标准和测评技术研究；主持多家基础电信运营企业的互联网、IP承载网建设工程咨询工作；负责20余项数据通信领域国家/行业标准的制定工作，主持5项国家专项研究工作。

关旭迎，中国移动通信集团有限公司研究院物联网技术与应用研究所研究员；从事物联网、车联网、4G/5G无线通信网络等关键技术及应用体系研究；先后负责、参与国家发展改革委、工业和信息化部等国家重大专项研究工作。

邬贺铨，中国工程院院士，曾任中国工程院副院长，现任推进IPv6规模部署专家委员会主任；长期从事数字和光纤通信系统的研发工作，10余年来先后负责"中国下一代互联网示范工程""新一代宽带无线移动通信网"重大专项等国家重大科技战略的咨询工作；曾获全国科学大会奖、国家科技进步奖等多个奖项；出版专著1部。