

新型网络产业发展战略研究

汪硕^{1,2}, 吴芑¹, 卢华³, 黄韬^{1,2}, 张继栋³, 刘韵洁^{1,2}

(1. 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876; 2. 紫金山实验室, 南京 211111;
3. 广东省新一代通信与网络创新研究院, 广州 510070)

摘要: 新型网络产业作为兼具创新引领性、交叉融合性的前沿领域, 对推动我国新一代信息技术创新与应用、促进工业化和信息化融合发展具有重大价值, 也是抢占新兴产业制高点和经济增长点的有力手段。本文研判了新型网络技术的发展需求, 针对多类应用场景阐述解决方案, 凸显产业化价值; 详细梳理了国内外新型网络产业的宏观发展态势、技术应用现状。在凝练我国新型网络产业发展思路的基础上, 研判相关产业发展的重点方向, 据此提出短期、中期、长期三个阶段中各细分方向的具体发展目标。研究表明, 制定新型网络产业战略规划体系、加强前沿基础理论创新研究, 是我国新型网络产业的发展亟需; 新型网络架构与基础理论、超低时延/确定性时延网络、网络操作系统、云网融合、可编程网络是重点技术方向。

关键词: 新型网络; 消费型网络; 生产型互联网; 天地一体化网络; 价值分析

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Development Strategies for New Network Industry

Wang Shuo^{1,2}, Wu Peng¹, Lu Hua³, Huang Tao^{1,2}, Zhang Jidong³, Liu Yunjie^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing 100876, China; 2. Purple Mountain Laboratories, Nanjing 211111, China; 3. Guangdong Communications and Networks Institute, Guangzhou 510070, China)

Abstract: As an innovation-led, cross-disciplinary frontier field, the new network industry is crucial for promoting the innovation and application of the new-generation information technology as well as the integrated development of industrialization and informatization in China. It is also a powerful means for seizing dominance in emerging industries and economic growth. This study examines the development demand for new network technologies and elaborates on solutions for various application scenarios, highlighting its industrialization value. We made a detailed review of the macro development trend and the current technology application in the new network industry in China and abroad. We conclude the development ideas of China's new network industry and study the key development directions of related industries. Then, we propose specific development goals for each subdivision in the short-, medium-, and long-term phases. The study shows that a new network industry strategic planning system and cutting-edge basic theory innovation research are urgently needed for China's new network industry. The key technology directions for this industry includes new network architecture and basic theory, ultra-low latency/deterministic latency network, network operating system, cloud-network convergence, and programmable network.

Keywords: new network; consumer network; production Internet; space-ground integrated network; value analysis

收稿日期: 2021-01-22; **修回日期:** 2021-02-25

通讯作者: 卢华, 广东省新一代通信与网络创新研究院研究员, 研究方向为通信与网络; E-mail: luhua@gdnci.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“网络强国”(2020-ZD-14); 国家自然科学基金项目(61902033); 北京市自然科学基金项目(4204105)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

互联网从最初的单一军用网络普及到军用、民用、商用等诸多方面,成为与经济社会高度相关的信息基础设施,对社会生产力发展影响重大,而网络技术和应用的迅猛发展加速了互联网新一轮变革。综合采用新的网络系统架构、新的网络安全技术和手段,既能在短期内满足新业务市场需求,又能着眼长期、全面解决我国互联网架构管理体系存在的一系列问题。

互联网在飞速普及的同时,面临着多方面挑战:安全与可信性、网络可规划与性能可预期、大连接下的感知与管控、泛在移动性等 [1]。全息技术、工业智能控制等新型应用明显有别于传统网络,也对未来网络提出了带宽、时延、抖动等方面的性能需求 [2]。传统的传输控制协议/网际协议(TCP/IP)网络设计旨在进行高效的数据传输,提供“尽力而为”的服务,可能带来难以预料的时间延迟和抖动,无法保证服务质量要求(如吞吐量和传送时延)。

未来网络的核心在于:对异构技术融合的支持,大规模的可拓展性,高效的网络基础体系结构 [3]。面向工业互联网、天地一体化网络等新型重大需求,探索前沿网络基础理论,攻克高带宽通量、超低时延、大连接规模等网络前沿技术和方案。未来网络应革新当前 TCP/IP 网络运作方式,提出并应用各种新型网络体系架构 [4],同时纳入低时延与确定性网络、云边协同计算网络、人工智能(AI)网络等前沿关键技术;有望支持数量为万亿个级别的安全连接和服务,实现人、机、物的全时空互联。经过多年发展,未来网络产业目前已形成了较为成熟的生态环境,运营商、设备商、互联网公司等多方面力量结合,在竞争中互相促进,共同推动未来网络产业的发展和应用,不断推动产品和服务的全球化。未来网络产业作为战略新兴产业的重点发展方向之一,将对全球智能制造、天地一体化网络、物联网等产业领域构成重大影响。

制造强国、网络强国是我国重点推进的工作。新型网络技术作为网络强国的基石,其战略价值尤为突出。全球未来网络产业在竞争与合作中快速成长,掀起新一轮产业浪潮,各国在未来网络产业发展上均有着不同规模的投入和成果。我国应把握历

史性发展机遇,加速推进新型网络产业发展,全面部署新型网络技术与产业的融合应用研究。本文围绕新型网络产业发展问题,提炼战略需求,梳理发展现状,论述重点方向,阐明阶段目标,并提出对策建议,以期为我国新型网络技术与产业研究提供理论参考。

二、新型网络产业发展的需求分析

(一) 消费型互联网

消费互联网是为满足消费者在互联网上的消费需求(如阅读、出行、娱乐、生活)而产生的网络类型,可提供更加便捷的消费体验;与网络和数字技术密不可分,通过信息化、数字化手段来支持居民消费需求,甚至促成消费习惯的变化。消费互联网的发展依赖于未来网络技术的深度应用,与 AI、区块链、大数据、第五代移动通信(5G)技术深度融合。这一过程可驱动商业场景的数字化变革,有助于实施供给侧结构性改革,优化供需之间的连接方式,为消费升级提供底层保障。

消费型互联网主要面向终端用户提供声音、数据、视频等多种网络服务与应用。数据、视频等内容规模持续增长,对网络带宽的需求越来越大;特别是虚拟现实/增强现实(AR/VR)、直播点播、4K/8K 高清视频等业务出现后,用户的良好体验取决于网络能够提供的数据容量。例如,4K/8K 高清视频是未来网络中的重要业务之一,单一用户收看普通 4K 视频需要 20 Mbps 带宽,而收看极致 4K 视频需要 100 Mbps 带宽、收看 8K 视频需要 800 Mbps 带宽。中国宽带发展联盟的宽带测速报告显示,在 2019 年第三季度,我国固定宽带网络平均下载速率仅为 37.69 Mbit/s,还远达不到极致 4K 视频、8K 视频的普及要求。

由此可见,需要进一步优化和提升已有通信网络,同时建设具有超高速带宽的新型数据通信网络,匹配网络流量急剧提升的应用趋势,支持未来消费型互联网增强沉浸式交互体验对大带宽的需求;探索利用软件定义广域网、边缘计算等技术,减少跨网流量,提升网络带宽资源的整体利用率 [5]。

(二) 生产型互联网

生产型互联网是支撑建造资源泛在连接、弹性

供给、高效配置的工业云网，主要面向制造业数字化、网络化、智能化的需求，构建基于海量数据收集、汇聚、分析的服务体系。生产型互联网的核心是基于全面互联形成以数据为驱动的智能技术，以网络、数据、安全作为工业生产和互联网的共性基础与支撑，支持实现企业全要素、各环节的泛在深度互联。近年来，全球产业竞争的格局出现了明显变化，使得我国产业发展面临新的重大挑战，如信息通信技术、能源、材料等 [6]。工业系统互联、数据传输交换的基础是网络，涉及网络联接、标识解析、边缘计算等关键技术。

在网络与实体经济深度融合的背景下，生产型互联网应针对低时延、确定性时延、网络安全、网络业务定制、万亿级连接规模等多方面的工业应用需求，采用软件定义网络、边缘计算、网络 AI 等新的技术架构来解决网络挑战。未来网络技术为工业互联网发展赋能：软件定义网络提高工业互联网的网络集中管控能力，支持网络资源调度的智能化和差异化；边缘计算解决工业互联网安全与实时控制等问题；网络 AI 增强工业系统诊断、预测、决策、控制等智能化功能。生产型互联网还较多涉及：基于时间敏感网络的信息技术 / 运营技术 (IT/OT) 融合系统、基于边缘计算的工厂内集成应用系统、工业适配的低功耗广域网、工业互联网标识服务体系、异构标识的多根互联技术、开放环境下的可信解析技术、工厂外部的协议转换技术、车间内部的灵活组网技术等。

(三) 5G 与物联网 / 车联网

随着汽车无人驾驶、工业自动化、物联网的出现，通信的主体开始从人与人转向人与物，甚至机器与机器。未来将是人、流程、数据、事物连接更加紧密的万物互联时代，新型网络技术将在其中扮演重要的角色。

根据无线网络的需求，5G 应用主要分为三类：增强移动宽带 (eMBB)、超可靠和低延迟通信 (URLLC)、海量机器类通信 (mMTC)。①在 eMBB 场景下，需要 5G 网络来支持极高速率的数据传输；国际电信联盟的 5G 性能指标显示，5G 的下行和上行峰值数据速率分别为 20 Gbps、10 Gbps。②在 URLLC 场景下，对 5G 网络的延迟和可靠性提出较高要求；在车辆对外界的信息交换

(V2X) 通信等低延迟的应用方面，5G 网络预计支持小于 1 ms 的接入网延迟、小于 10 ms 的端到端延迟；国际电信联盟 (ITU) 建议 5G 网络的可靠性要大于 99%，对于特定的部署场景和用例甚至要接近 99.999%。③在 mMTC 场景下，5G 网络的连接能力支持智能家居、智慧城市等各垂直行业的深度融合；对于在智能城市、工业物联网等行业应用，连接到网络的设备数量很高，ITU 建议 5G 网络的设备连接能力为 $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ 台/km。

(四) 天地一体化网络

未来网络应对新型信息服务需求，需要天、地、空等多维信息的综合。天地一体化网络对于构建全方位、全天候的全球信息网络具有重大意义 [7]，可有效提高通信容量，增强通信的时效性、可靠性、鲁棒性。天地一体化网络将不同轨道、多种类型卫星，临近空间平台，地面应用终端等，按照空间信息资源的最大有效综合利用原则进行互通互联，构成系统优化、功能完备的智能化体系，形成能与海、陆、空基信息系统融合的信息获取、传输、综合应用的网络。

天地一体化网络可在以下方面积极探索示范应用：公共安全、应急救援、抢险救援、联合作战、交通物流、航空管理、海洋维权、智慧城市等，以此拓展新兴信息服务业态，带动信息化发展和转型。天地一体化网络发展也涉及多项关键技术：体系结构设计与优化技术、星座设计与优化技术、网络协议设计与优化技术、网络资源虚拟化及按需组网技术、网络可靠信息传输技术、网络安全防护技术、网络运维管理技术、高并发差异化用户接入控制技术、仿真验证及评估技术等 [8]。

三、新型网络产业发展态势

(一) 国外新型网络产业的发展现状

近年来，发达国家针对新型网络建设的重点方向，制定发展规划、推行专项政策、加大资源投入，支持学术界和工业界对网络架构、核心技术的深入研究，力求提前布局并主导长期发展。

在国家信息基础网络研究方面，美国主要由国家科学基金会、国防部高级研究计划局提供项目资助，代表性项目是适用于各种新型网络试验的综合

网络环境计划 (GENI) [9], 开发新型网络体系结构的命名数据网络 (NDN) [10]。

欧洲在新型网络方面的研发布局主要由第七框架计划 (FP7) 进行资助 [11], 旨在发展以信息为中心的全新架构 [12], 涉及未来网络的多个细分方向, 代表性项目有发布-订阅模式互联网路由范式 (PSIRP)、发布-订阅模式互联网技术 (PURSUIT)。此外, 欧盟实施了政府和社会资本合作 (PPP) 类项目, 用于补充开展新型网络技术应用方面的有效性验证。

日本国家信息与通信研究院 (NICT) 早在 2006 年就提出了研究新型网络体系结构的未来互联网研究计划 (AKARI)。2010 年, NICT 联合工业界和学术界, 整合多个相关研究项目形成了新一代网络研发项目, 提升对未来网络研究的覆盖性, 重点关注未来新型网络的核心技术。

(二) 我国新型网络产业的发展现状

通信产业是我国发展优先级较高的战略性新兴产业, 国家出台了多项政策, 力求加强产业统筹规划, 引导产业健康发展。《中国制造 2025》《国家信息化发展战略纲要》要求, 全面推动核心信息通信设备体系化发展与规模化应用, 加强信息资源的规划、建设、管理。

近年来, 我国通信业进入快速发展的新阶段, 研发投入水平持续提高, 研究队伍与创新能力不断增强。通信产业发展对通信基础服务设施提出了更高要求, 通信基础服务设施的先进程度决定了通信服务的基础质量和能力。卫星通信、光纤通信、5G、多感同步 [13]、AR/VR 等新兴技术拓展了应用场景, 也为通信服务业创新发展提供了动力源。通信业的发展与制造业转型升级、智慧城市建设、区块链等前沿方向进行融合演变, 催生更多综合性的新应用; 成为产业人才、资金、技术等要素汇聚的重要领域, 同时驱动通信行业的持续性创新发展。

(三) 新型网络产业的细分方向进展

1. 新型架构相关标准体系

以 ITU、国际互联网工程任务组 (IETF)、中国通信标准化协会 (CCSA) 为代表的标准组织, 推出的标准因其架构科学性、内容先进性、需求预

知性、市场适应性而获得行业广泛认可。随着新型网络技术的突破、产业运用的发展, 这些标准组织在新型网络架构领域技术标准方面既竞争又合作, 为推动新型架构的应用与发展提供了必要条件。

ITU 电信标准组织 (ITU-T) 的下一代网络研究组 SG13, 2012 年首先开展软件定义网络 (SDN) 与电信网络结合的标准研究, 先后完成系列化的 SDN 需求与协议标准化工作; SG15、SG20 等研究组在物联网、5G 承载网等方向发布了多项成果; 网络 2030 焦点组 (FG-NET-2030) 在 2018 年成立, 重点研究 2030 年以后的网络体系架构、需求、应用、能力。

IETF 作为全球互联网技术标准组织, 当前与 SDN 相关的研究项目/工作组有 6 个; 成立信息中心网络研究组 (ICNRG), 将正在进行的信息中心网络 (ICN) 研究与整个互联网发展相关的解决方案结合, 旨在提高网络的传输效率, 增强网络的可扩展性和通信方案的稳健性; 在 SDN/网络功能虚拟化 (NFV) 方面, 发布了 RFC8430、RFC8431 等新标准。

CCSA 是负责制定我国通信行业标准的主要组织, 成立了以 SDN 为核心的未来数据网络 (FDN)、软件化智能型通信网络 (SVN) 等工作组, 近年来在 SDN/NFV 标准方面立项了多个研究项目。2020 年 1 月, CCSA 发布了我国首批 14 项 5G 标准, 完成并发布《5G 网络下的云化虚拟现实平台技术白皮书》《工业互联网标识解析标准化白皮书》《云化增强现实关键场景及技术白皮书》, 提供了关键的标准化建议, 支持了我国电信网络的高效发展。

2. 网络设备产业

传统网络结构僵化、功能单一、灵活性差, 难以满足新兴业务的网络信息需求。SDN、NFV 等概念的提出, 显著增强网络灵活性、可控性, 获得广泛关注。智慧医疗、智慧农业、智能驾驶、工业互联网、智能家居等新应用、新场景的出现, 进一步拓宽了市场对新型网络设备的需求。网络设备纷纷向白盒化演进 [14]。与传统交换机不同, 白盒交换机采用更加开放的架构来实现对传统交换的硬件/软件解耦, 使得网络设备更加通用化, 易于保持网络的开放灵活, 加之具备可编程能力, 有效降低综合运行成本。

3. 网络操作系统产业

国际数据公司研究认为, 到 2022 年, 超过

70%的企业将部署统一的混合/多云管理技术、工具、流程。信息技术（IT）组织正在致力发展多云架构，一般至少采用两家或以上的云服务平台；由于多云互联场景中的关键技术问题未能解决，绝大多数企业在实际部署中仍然较多采购单一的云平台服务。目前，多个异构云之间的互通能力不佳 [15]，用户在使用云的同时面临严重的供应商锁定问题。

4. 网络试验设施产业

网络发展需要大规模、真实的试验环境，用于支持创新架构和技术的测试验证。我国建设了未来网络试验设施（CENI）、长三角区域一体化网络、大湾区未来网络试验与应用环境，将 SDN/NFV 等技术运用于未来网络实验设施 [16]。发达国家和地区也在开展国家级网络创新试验环境建设，如综合网络环境计划 GENI（美国）、未来的互联网研究与实验 FIRE（欧盟）、千兆网络 JGN-X（日本）、科研环境开放网络 KREONET-S（韩国）。

5. 重点应用场景与生态

以 SDN 为代表的未来网络技术 [17] 不断成熟，已经进入小规模试验验证阶段。未来网络将探索移动回传网、移动核心网、骨干网、大规模数据中心等运营商网络的大规模商用部署。通过融合 SDN/NFV/云等新型网络重构技术，实现网络设备 IT 化、网络转发层与控制层分离，强化大数据应用，构建全局按需调度资源、网络能力完全开放的运营一体化网络。

四、我国新型网络产业的发展重点

发展新型网络技术与产业，对加快我国新型产业发展、提高创新发展的长期动力、形成国际竞争新优势，具有重大战略意义。发展工业互联网、物联网、消费型互联网，全面拓宽网络功能与服务领域，体现智能化、泛用化、精细化；提高网络资源的整体利用率，推动网络产业发展壮大。

我国网络基础设施完备，网络相关产业链完善，基础科研能力较强；重点发展天地一体化网络、消费型互联网、工业互联网、物联网、5G 移动通信等新应用方向，突破卫星通信、光纤通信、SDN、AI、确定性网络等技术并实施产业推进。以产业推进带动技术发展，以技术突破反哺产业推进，最终

实现网络结构转型，由简单链接型网络向智慧功能型网络演进 [18]。

关于我国未来网络产业的战略布局，应从网络、通信、安全三方面着手，分类实施技术攻关和应用推广；重点构建服务定制网络（SCN）平台及应用、人-机-物互联的全域全频谱无线移动通信、网络通信内生安全平台及应用。

在未来网络方面，应对工业互联网、天地一体化网络、军民功能结合网络等重要需求，探索未来网络的基础理论与关键技术，加快部署具有国际影响力的创新型示范应用，支撑制造强国、网络强国建设。

在未来新型通信方面，针对 5G、第六代移动通信（6G）发展需求，攻克 5G 毫米波核心芯片与器件关键技术，适度超前开展 6G 研究；突破天地融合大规模无线传输技术、太赫兹与可见光通信技术，融合智能通信与大数据，构建世界一流的移动通信综合试验平台。

在网络安全方面，面向防御未知威胁能力的重大需求，发展具有主动免疫能力的网络空间创新防御技术，探索和发展网络空间安全的颠覆性技术；引领世界网络空间安全发展潮流，如 5G 网络安全、管控系统安全、架构内生安全等 [19]。

五、我国新型网络产业的发展目标

我国新型网络产业的健康发展，着眼于网络结构转型优化、网络性能与服务质量稳步上升、行业创新能力不断增强、“互联网+”和工业互联网等概念落地应用，实现网络基础设施发展均衡、网络行业创新能力强大、面向公众提供智慧服务的长远目标。把握未来 10~15 年的发展机遇期，基于 SDN/NFV 等技术实施网络全面云化、网络结构转型，科学稳妥地向下一代网络演进，全面提高网络性能。

（一）2025 年发展目标

在天地一体化网络方面，按照“天基组网、地网跨代、天地互联”思路，覆盖太空、空中、陆地、海洋，为天基、陆基、海基各类用户活动提供信息保障；计划发射批次卫星来组成星座网络，规模化地建设地面基站，促成科技成果的有效应用。

在工业互联网方面, 打造 3 个以上的行业标识服务二级节点, 培育一批独立经营的企业级平台, 打造工业互联网平台试验和公共服务体系, 推动“企业上云”; 完善工业互联网体系顶层设计, 升级建设企业外网络, 改造建设企业内网络, 完善工业互联网的互联网协议第 6 版 (IPv6) 应用部署; 推进连接中小企业的专线提速降费工作, 按需保障工业互联网领域的无线电频谱等关键资源; 组建必要的行业研究机构, 承担地区工业互联网标识解析的管理职能。

在物联网方面, 行业应用标准、关键技术标准基本具备并逐步完善, 物联网各环节的标准化体系逐步形成; 利用产业规模的放大效应, 促成传感感知等关键环节技术创新活跃度提升。

在 5G 方面, 全面布局 5G 网络建设、创新应用、产业发展, 实现全国城镇的 5G 网络覆盖, 尽快实现农村与城市“同网同速”, 同时大幅降低研发管理成本; 推进 5G 与 VR、工业互联网、车联网、智慧城市、智慧农业、智慧医疗的融合应用; 深入实施产业跨越发展举措, 如加速布局 5G 基础产业、加快数字经济发展、打造 5G 产业方阵、汇聚 5G 产业创新能力。

(二) 2035 年发展目标

在天地一体化网络方面, 深化参与各方在新一代信息技术、高层次人才等方面的交流合作, 推动新一代信息技术与实体经济的深度融合, 合力打造数字经济发展新模式; 积极引导参与企业深度合作, 共同推动天地一体化重大项目的运行发展; 拓展网络空间, 推动卫星通信技术进步, 实现与移动通信网、地面互联网的互联融合。

在工业互联网方面, 研制工业互联网核心技术和产品, 推动边缘计算、深度学习、AR/VR、区块链等在工业互联网的应用, 构建具有自主知识产权的技术体系, 批量发布和应用工业互联网先进硬件产品; 提升大型企业的工业互联网创新与应用水平, 实施底层网络化、智能化改造, 建设互联工厂、全透明数字车间, 形成智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等应用模式。

在 6G 通信方面, 作为概念性的无线网络移动通信技术, 应支撑未来的信息社会需要, 实现其“一念天地, 万物随心”的发展愿景; 朝着低空空间卫

星通信方向发展, 引入空、天、地、海一体化网络, 采用统一的标准协议架构和技术体系。着力突破并探索应用太赫兹技术、设备与网络安全等 [20]。

在面向 2035 的未来网络方面, 超前布局未来网络相关产业, 关注完全向后兼容的新理念、新架构、新协议、新方案, 以支持现有应用和新应用为基准目标发展新型网络技术; 发挥未来网络与通信产业所具有的发展引导作用, 保持我国网络相关产业与技术研究的前沿优势地位。

六、新型网络产业发展建议

网络与通信行业飞速发展, 需要科学论证和实施我国未来新型网络产业战略规划, 制定完善的政策和法规, 发挥好政府机构的产业发展引导与调控作用; 营造良好的市场环境, 优化技术、资金、人才等发展要素配置, 加快重大项目实施, 推进产业应用。

在全球竞争趋于激烈的背景下, 提高新型网络技术与产业体系自主创新能力是未来工作的重中之重。建议加强新兴网络技术前沿基础理论与应用研究, 根本性扭转我国产业核心技术受制于人的局面, 促进技术研发与产业应用的融合。新型网络产业的重点技术方向如下。

一是新型网络架构与基础理论技术。着重研究开放、灵活、通用的新型网络架构, 推动“以网络资源为中心”向“以应用服务为中心”转变; 支持算力、数据、内容等各类服务资源的智能动态分布、按需连接协同, 构建基于全新网络架构的未来网络基础设施。关联性要素有: ICN、可表述网络、移动有线网络、服务定制网络、全维可定义网络、地址驱动网络、意图网络、网络 5.0、确定性网络、可编程网络、区块链网络、算力网络等。

二是超低时延 / 确定性时延网络技术。着重研究软件定义的确定性网络架构、确定性骨干网络操作系统, 基于集中式控制器的网络流量优化调度机制及策略。具体包括: 支持骨干网端到端带宽、时延、时延抖动的快速感知技术, 支持骨干级别的确定性路径算法和流量调优, 具备端到端有界时延抖动保障能力的调度算法。

三是网络操作系统技术。着重发展网络资源融合、网络可编程、面向业务应用层提供网络服务等

能力,构建统一的智能管控平台。通过精细化管理、纵向跨层智能调度、高度智能化网络运维控制,实现网络资源高效管理,构建具有按需服务能力的网络开放核心系统。

四是云网融合技术。着重研究面向“多系统、多场景、多业务”、体现“企业上云”需求的云计算技术部署信息系统。明晰各类云服务需求,建设适应按需开放网络需求的承载网络。通过网络与云的敏捷打通、按需互联,形成体现智能化、自服务、高速灵活等特性的云网融合技术体系。

五是可编程网络技术。着重研究软件定义网络、可编程芯片、可编程智能网卡和可编程语言、软件模块化网络功能相关技术,简化信息转化流程。建立编程控制数据包的高效解析和转发模式,支持网络及设备“自上而下”向用户开放可编程功能,形成数据转发平面的可编程能力。

参考文献

- [1] Zhang J, Huang T, Wang S, et al. Future Internet: Trends and challenges [J]. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2019, 20(9):1185-1194.
- [2] 李玉宏,张朋,金帝,等.应用对未来网络的需求与挑战[J].*电信科学*,2019,35(8):49-64.
Li Y H, Zhang P, Jin D, et al. Application's needs and challenges for future networks [J]. *Telecommunication Science*, 2019, 35(8): 49-64.
- [3] 黄韬,刘江,汪硕,等.未来网络技术与发展趋势综述[J].*通信学报*,2021,42(1):130-150.
Huang T, Liu J, Wang S, et al. Survey of the future network technology and trend [J]. *Journal on Communications*, 2021, 42(1): 130-150.
- [4] Fang C, Guo S, Wang Z W, et al. Data-driven intelligent future network: Architecture, use cases, and challenges [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2019, 57(7): 34-40.
- [5] Rabay'a A, Schleicher E, Graffi K. Fog computing with P2P: Enhancing fog computing bandwidth for IoT scenarios [C]. *Atlanta: 2019 IEEE International Congress on Cybermatics*, 2019.
- [6] 徐广林,林贡钦.工业4.0背景下传统制造业转型升级的新思维研究[J].*上海经济研究*,2015(10):107-113.
Xu G L, Lin G Q. New thinking on the transformation and upgrading of traditional manufacturing industry under the background of Industry 4.0 [J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2015 (10): 107-113.
- [7] 沈学民,承楠,周海波,等.空天地一体化网络技术:探索与展望[J].*物联网学报*,2020,4(3):3-19.
Shen X M, Cheng N, Zhou H B, et al. Space-air-ground integrated networks: Review and prospect [J]. *Chinese Journal on Internet of Things*, 2020, 4(3): 3-19.
- [8] 吴巍.天地一体化信息网络发展综述[J].*天地一体化信息网络*,2020,1(1):1-16.
Wu W. Survey on the development of space-integrated-ground information network [J]. *Space-Intergrated-Ground Information Networks*, 2020, 1(1): 1-16.
- [9] Berman M, Chase J S, Landweber L, et al. GENI: A federated testbed for innovative network experiments [J]. *Computer Networks*, 2014, 61: 5-23.
- [10] Zhang L, Estrin D, Burke J, et al. Named data networking (NDN) project [EB/OL]. (2010-10-09)[2020-12-15]. <http://www2.cs.arizona.edu/~bzhang/paper/ndn-tr.pdf>.
- [11] Fiorini G L, Vasile A. European Commission-7th framework programme: The collaborative project on European sodium fast reactor (CPESFR) [J]. *Nuclear Engineering and Design*, 2011, 241(9): 3461-3469.
- [12] Fotiou N, Nikander P, Trossen D, et al. Developing information networking further: From PSIRP to PURSUIT [C]. *Athens: International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems*, 2010.
- [13] 李立明,张雯柏,柴晓冬,等.多传感数据同步采集系统设计[J].*测控技术*,2018,37(7):109-113.
Li L M, Zhang W B, Chai X D, et al. Design of data synchronous acquisition system of multi-sensor [J]. *Measurement & Control Technology*, 2018, 37(7): 109-113.
- [14] 黄志兰,陈楠,刘京松,等.基于OpenDaylight和白盒机的通用SDN系统设计与实现[J].*广东通信技术*,2017,37(8):12-22.
Huang Z L, Chen N, Liu J S, et al. Design and implementation of general SDN system based on OpenDaylight and white-box machine [J]. *Guangdong Communication Technology*, 2017, 37(8): 12-22.
- [15] Crago S P, Dunn K, Eads P, et al. Heterogeneous cloud computing [C]. *Austin: 2011 IEEE International Conference on Cluster Computing*, 2011.
- [16] 谭航,关洪涛.NFV技术在未来网络试验设施及运营商网络中的应用[J].*信息通信技术与政策*,2021,47(1):90-96.
Tan H, Guan H T. Applications of NFV technology in CENI and the network of telecom carries [J]. *Information and Communications Technology and Policy*, 2021, 47(1): 90-96.
- [17] Yang M, Li Y, Jin D P, et al. Software-defined and virtualized future mobile and wireless networks: A survey [J]. *Mobile Networks and Applications*, 2015, 20(1): 4-18.
- [18] 张强,毛东峰,贾曼,等.面向SDN/NFV的新一代IP网络运营系统架构设计与研究[J].*电信技术*,2017(3):21-24.
Zhang Q, Mao D F, Jia M, et al. Design and research of next generation IP network operation system architecture towards SDN/NFV [J]. *Telecommunications Technology*, 2017 (3): 21-24.
- [19] 江伟玉,刘冰洋,王闯.内生安全网络架构[J].*电信科学*,2019,35(9):20-28.
Jiang W Y, Liu B Y, Wang C. Network architecture with intrinsic security [J]. *Telecommunication Science*, 2019, 35(9): 20-28.
- [20] Elmeadawy S, Shubair R M. 6G wireless communications: Future technologies and research challenges [C]. *Ras Al Khaimah: 2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications*, 2019.