

ODICT 融合的网络 2030



ODICT Integrated Network 2030

王卫斌/WANG Weibin, 周建锋/ZHOU Jianfeng,
黄兵/HUANG Bing

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202201011

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220224.1620.004.html>

网络出版日期: 2022-02-25

收稿日期: 2021-12-23

摘要: 围绕下一代网络场景、愿景、架构、技术发展等进行阐述, 认为下一代网络是运营、数据、信息、通信技术 (ODICT) 融合的网络。该网络可支撑碎片化新业务, 提供新的网络服务模式, 是智能高效的自治网络。未来网络拥有算网一体化的能力平台, 具备高带宽确定性能力, 可应对增强现实 (AR)/虚拟现实 (VR)/扩展现实 (XR) 及元宇宙演进、网络安全内生挑战, 以及高速移动场景的网络服务无缝迁移衔接能力要求。算网一体的新型网络能够满足未来业务对于算力资源和网络连接的极致需求。

关键词: 未来网络; 网络 2030; 算力网络; 网络智能化; 网络确定性; 数字孪生; 联邦学习; 安全内生

Abstract: The scenario, vision, architecture, and technical development of the next generation network are highlighted. The next generation network is a network integrating operation, data, information and communication technology (ODICT), which supports new fragmented services, provides new network service modes, and is an intelligent and efficient autonomous network. The future network has the capability of integrated network calculation platform, and has high bandwidth deterministic capability to cope with augmented reality (AR)/virtual reality (VR)/extended reality (XR) and the evolution of the Metaverse, network security endogenous, and seamless migration and connection of network services in high-speed mobile scenarios. The new network integrating network calculations meets the extreme requirements of future services for computing power resources and network connections.

Keywords: future network; network 2030; computing power network; network intelligence; network determinacy; digital twin; federal learning; security endogenous

1 未来网络的发展方向

对于未来网络的发展, 中国政府、运营商、设备商都提出了相应的要求或发展方向。《工业互联网创新发展行动计划 (2021—2023 年)》提出, 需要加快工业设备网络化改造, 推进企业内网升级, 推动信息技术 (IT) 网络与运营技术 (OT) 网络的融合, 建设工业互联网园区网络; 中国移动提出“5G+AICDE” (5G 与人工智能、物联网、云计算、大数据、边缘计算的融合) 发展战略; 中国电信构建 2030 云网一体的融合网络架构; 中国联通发布《CUBE-Net 3.0》, 确定“联接+计算+智能”的发展方向。

中兴通讯对未来网络提出的发展愿景是: 运营、数据、信息、通信技术 (ODICT) 融合的网络 2030, 使能网络绿色、智能、安全、确定、可管可控, 最终实现万物智联。

2 未来网络的场景和愿景

随着网络规模不断扩大, 网络带宽速率持续提高, 新应

用层出不穷。当前, 产业和社会正在进行数字化转型, 人类经济形态由工业经济向信息经济、智慧经济转化, 这使得社会交易成本极大降低, 资源优化配置效率得到提高。

为满足未来 5~10 年生产、生活、社会管理的需求, 网络基础设施也需要不断演进。网络演进的驱动力共有 3 个: 新型业务形态、新型服务模式和新型智能网络, 如图 1 所示。

(1) 新型业务形态

未来 5~10 年, 从消费互联网向产业互联网的演进最令人期待。未来网络将融合万网、万物和万业, 将各种异构异质的垂直行业网络整合成统一的互联网, 以支撑工业控制、智能电网、远程医疗、自动驾驶等产业化应用^[1]。虚拟现实 (VR)、增强现实 (AR)、全息等新媒体应用也同样值得关注。元宇宙概念的提出, 使得人们对未来虚拟社会和物理社会的无缝衔接充满期待。可穿戴技术、机器人技术、可植入技术、超硅计算与通信技术的快速发展与应用, 为业务创新奠定坚实的技术基础。新型业务的快速发展, 将创造出新的生活方式、数字经济^[2]和社会结构。

(2) 新型服务模式

未来网络将提供算网一体服务,将从目前的“管道型”服务向计算、网络、存储一体化的新型基础设施服务演进。未来网络不仅仅是“网络”,还是算网一体的智能化基础设施,将实现“算力无处不在,网络无处不达”的愿景。面对各种行业应用和AR/VR实时业务对算力就近服务的需求,算力资源将从中心云的集中模式逐渐向云、边、端的分布式模式转变。未来网络将把全网的算力资源、网络的精准传输能力更好地结合起来,并实现云、边、端三级算力的分配和协同。同时,未来网络不仅提供“裸资源”的服务,还将成为互联网公共能力的提供者,比如提供人工智能(AI)平台能力、大视频基础能力、内生安全能力等。未来网络提供的能力平台将带动各行各业的业务创新,促进整个社会数字服务的发展,如图2所示。

(3) 新型智能网络

未来网络将对自身的网络架构、技术体系、运维模式进行智能化改造,以提高资源利用效率,降低成本和功耗。据统计,信息通信技术(ICT)产业的能耗占到全球总能耗的6%。未来这个比例还将不断增长。未来网络将通过网络架构的优化(比如算网一体等)、资源利用率的提高、新技术(比如光电集成)的应用,大幅降低流量/能耗比。未来网络还将通过数字孪生等智能技术,促进整个网络的自动化运行,降低运维成本和出错率。

3 网络架构创新

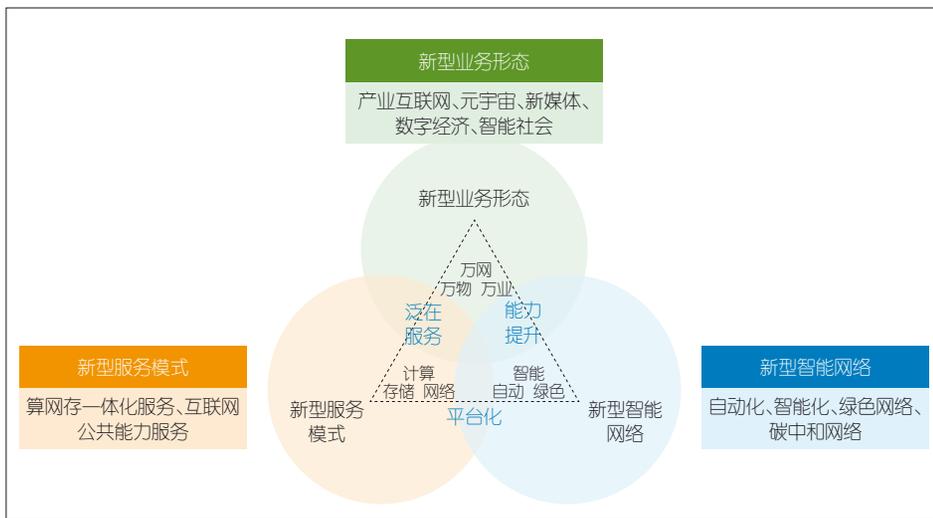
未来网络要达成以上愿景,在网络架构和技术方面需要在以下3个方面进行创新。

3.1 ODICT技术和架构的融合

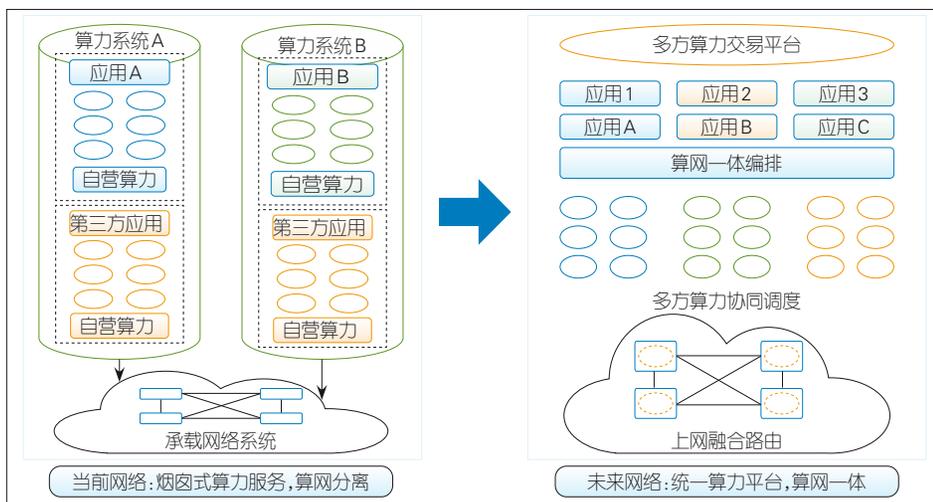
网络的发展历程是业务需求驱动多领域技术不断融合发展壮大的过程。在通信技术(CT)的基础上引入信息技术(IT),能够让网络组网变得更灵活,使上层应用接入网络更方便。ICT技术的融合在推动网络发展的同时也推动了IT技术的发展。网络与OT技术的融合,将加快工业设备的网络化改造,深化“5G+工业互联网”^[9],推动企业内网升级和外网建设。

网络和业务的发展相生相随,相互促进。随着网络的发展,行业应用提出了新愿景。高清云游戏、工业视觉、元宇宙等需要网络在满足高带宽的同时也要满足低时延、网络确定性以及边缘高算力等需求。

ICT技术的融合,可使能网络基础更强健,在具备工业领域的低时延、低抖动、高可靠的确定性的同时,也具备满足元宇宙、扩展现实(XR)、工业视觉等领域的上行高带宽网络基础的需求。此时引入智能数据(DT)技术,网络将从能用走向好用,在用户体验优化、高效运维、安全保障等方面发挥巨大作用。随着OT、DT、IT、CT多领域技术的不断融合、相互促进,未来网络架构和技术将推动网络及多



▲图1 未来网络愿景



▲图2 算网一体服务

领域技术共同演进。

3.2 业务和网络的协同

在网络发展的历史上，业务和网络的关系曾经从“耦合”向“去耦合”的方向发展^[4]。

传统电信网的网络与业务层紧密耦合，业务功能由网络设备提供。网络提供单一的业务，比如公共交换电话网（PSTN）、数据网、电视网等。这种网络的优点是服务质量好，用户体验好；但缺点是业务体系封闭，不利于技术创新。

随着多媒体业务的发展，业务种类变得越来越丰富，业务和网络耦合的模式已不能满足业务发展的需要。电信行业逐渐将业务功能从网络中解耦出来，形成独立的业务网元，比如智能网、短信、IP 多媒体系统（IMS）等。基于传输控制协议（TCP）/互联网协议（IP）的互联网把业务和网络的解耦发挥到了极致。互联网的两大设计原则是端到端原则和分层解耦原则^[5]。端到端原则把互联网的复杂性放在两端，使网络层尽可能保持简单；分层解耦原则尽量避免互联网层间的内部交互。这种架构设计使得业务可以脱离网络而独立发展，降低了互联网业务的创新门槛，增加了业务部署的便利。

然而，目前互联网架构把业务和网络过分去耦合，使得两者处于互相割裂的状态。端到端原则隔离了两端和网络，使得终端和云端无法感知网络的状况；分层解耦原则隔离了应用层和网络层，使得上层应用无法向网络传递个性化的需求信息，最终绝大多数业务只能按照“尽力而为”的模式运行。随着互联网业务的纵深演进，尤其是产业互联网的发展，业务和网络的割裂状态越来越不能满足业务的需求。例如，对传输质量有要求的业务希望网络能够提供确定性的传输能力，即带宽、丢包率、时延都是可以预期的，而不仅仅是尽力而为的；对安全性有高要求的垂直行业则希望网络不仅仅提供传输功能，还要提供“有安全保障”的传输，即保持信息传送的完整、可靠、不被非授权访问；此外，还有的业务希望感知网络的状态，如链路利用率、丢包率、缓存队列等，以便调整自身的传输窗口，保持最优的传输效率。

因此，业务和网络的完全耦合或者完全去耦合都不能满足未来的业务需求。在未来网络的架构中，业务和网络必须以某种方式“再耦合”。这既能保持业务的独立性，又使得网络能够感知业务的关键需求，以便于精准匹配相应的服务等级协议（SLA）策略。如何在未来网络的架构和协议方面建立业务和网络之间的桥梁，是未来网络面临的一大挑战。

3.3 服务化平台

网络运营商是商用互联网的主要建设者和运营者。运营商投入巨资拓展网络覆盖范围，提升网络连接速度，极大地促进了互联网的发展。如何在网络发展成功的同时，在业务方面也取得成功，是下一代网络需要考虑的。

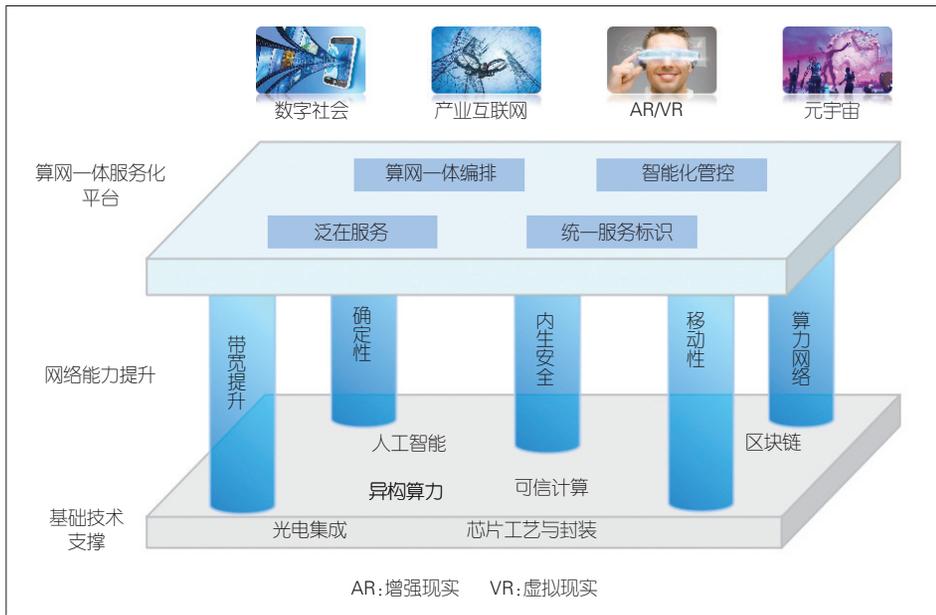
电信行业一直在发展“综合业务数字网”技术，以试图实现网络和业务的综合运营：从 20 世纪 80 年代末的综合业务数字网（ISDN）技术，到 90 年代的异步传输模式（ATM）技术和电信级 IP 综合承载网技术，再到 2000 年之后的 IP 多媒体子系统（IMS）技术。实践表明，电信行业从技术到标准再到应用的发展模式，无法在互联网业务的竞争中取得优势。互联网业务更注重商业模式灵活性、业务创新能力、迭代速度、资本运作等方面，而互联网服务商在这些方面更具优势，比如美国的 Facebook、Amazon、Google，中国的 BAT（百度、阿里巴巴、腾讯）等。对网络运营商来说，与其在业务创新方面下功夫，不如将自身定位为基础设施和平台的提供者，即从网络运营商扩展为基础设施和平台运营商。

网络运营商曾经对平台运营模式做过尝试。比如，在 2010 年前后运营商提出“智能管道”的理念，试图把网络功能开放出来供业务调用，但只有短信等少数功能的开放取得成功，而最为重要的网络服务质量的能力未能实现开放。例如，服务质量实现了像 DiffServ、IntServ、多协议标签交换流量工程（MPLS-TE）等技术标准的制定，同时新的分段路由流量工程（SR-TE）、SR-Policy 等技术标准也在制订之中，但这些技术只在运营商自营业务中得到部署，并没有得到更广泛的应用，尤其是没有和互联网服务商的业务结合起来。

面对“新型服务模式”的愿景，未来网络应当成为一个服务化平台，不仅能提供网络连接服务，还能提供算、网、存一体化的基础设施服务，甚至通过进一步扩展提供共性能力的服务（比如安全能力、AI 能力、大数据等）。

未来网络提供的服务化平台，不同于目前云服务商提供的私有化的“烟囱式”平台。打破“平台垄断”是促进行业竞争、经济健康发展的需要。在这一点上，电信行业有自身的优势，不仅有成熟的标准组织和体系，还有互联互通的文化和传统。因此，未来网络的服务化平台是统一定义的、互联互通的平台。

网络架构创新从 ODICT 技术和架构融合、业务和网络协同、服务化平台 3 个方面进行，包含算网一体服务化平台、网络能力提升、基础支撑技术等内容，如图 3 所示。



▲图3 未来网络架构创新

4 算网一体化服务平台

算网一体化服务平台是未来网络的大脑，是实现算网资源整合、算网能力开放的关键。该平台有如下几条核心要素：

(1) 算网一体。未来网络具备感知和调度算、网、存一体化资源的能力。算网一体操作系统将作为资源调度的大脑。

(2) 服务化。未来网络解决业务和网络的双向感知问题，通过扩展和整合各种网络能力，以“网络内生”方式满足未来业务的共性需求（如确定性、安全性等）。未来网络将成为新型数字服务平台，为各行各业提供互联网的公共能力。

(3) 统一平台。未来网络将打破目前云服务商的“烟囱式”模式，实现服务的统一定义和互联互通，向用户和应用提供泛在的、归属无关的服务。

4.1 泛在服务网络架构

泛在服务即服务无处不在。服务需求方无须事先知道服务提供方的身份和所处位置。网络根据服务需求方的需求选择最优服务提供方，以实现高效的服务发现和服务分发。泛在服务有3个具体含义：

(1) 依托于算网一体的部署，实现服务无处不在。针对未来业务对于低时延、低抖动的需求，泛在服务从集中式的云计算向分布式的边缘计算、网内计算、端计算发展。

(2) 打破服务提供商的界限，实现归属无关。目前的云服务是烟囱式的，各个云服务商和业务提供商提供的服务都是私有的，不能互通；而未来网络提供的服务是统一定义、互联互通的服务。

(3) 全网一体化的无边界微服务架构。目前云内和云外的微服务架构是不同的。比如，云外采用应用程序接口（API）网关模式，对来自云外的服务请求通过7层代理的方式来提供服务；云内则采用Service Mesh架构，并将Sidecar作为分布式容器级别的服务治理和通信代理^[6]。未来网络将采用统一的分布式微服务架构，使得资源和算力能够更加迅速和便捷地按需弹性

部署和动态调度。

围绕泛在服务新功能范式，我们提出未来网络泛在服务感知的新架构，如图4所示。

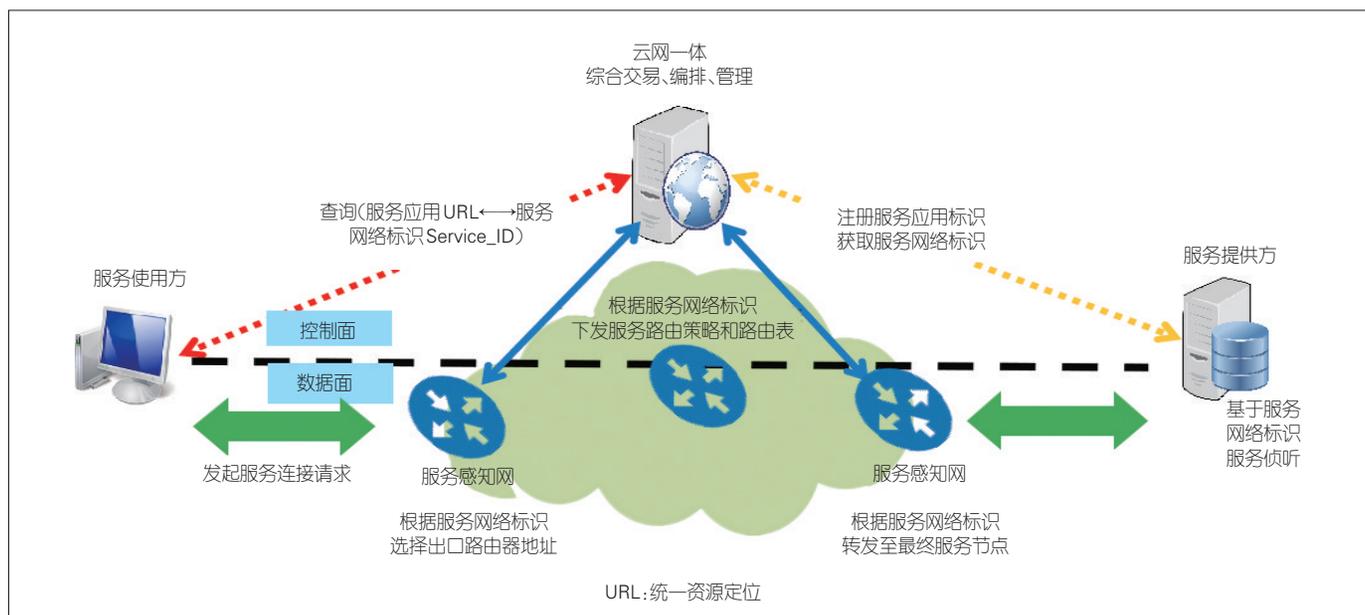
泛在服务网络架构的两个核心要点是归属无关机制和统一服务命名体系。

(1) 归属无关机制保证用户可以随时、随地、自愿地请求和获取服务。在该这种制下，应用无须关心服务的提供者位置和位置，只须聚焦应用自身的需求和逻辑。归属无关机制负责建立服务连接，管理和维护连接状态，并提供面向服务的拥塞控制、移动性、保序、多路径/多归属、内生安全等增强传输功能。

(2) 引入统一的服务命名体系有助于打通应用和网络的统一分配和调度，提供最优化的网络调度和服务质量。服务标识既可以作为开放服务网络接口，提供归属无关的泛在服务连接管理，实现对算力、存储、内容、能力等可虚拟资源的连接，又可以保证网络感知服务，并对服务进行统一注册、管理和索引。

4.2 智能化管控与算网一体编排、调度

在控制面上，新架构中的云网一体综合交易、编排、管理控制器负责服务的注册、发布和查询，并动态智能关联服务标识与网络层地址的映射。服务标识须由网络分配且全网唯一，并且在服务连接过程中保持不变，以确保移动连续性。服务路由策略和路由表通过控制通道下发到网络设备。



▲图4 泛在服务网络新架构

在数据面上，服务使用方携带服务标识发起服务连接请求，服务提供方则基于服务标识进行服务的请求侦听。网络边缘节点根据服务标识选择最优服务目的节点和对网络资源的编排，并执行对应的SLA策略。

泛在服务网络架构实现了应用与服务的解耦，从而让应用聚焦于自身的应用逻辑创新，将共性的归属无关服务交由网络内生提供。由于应用与网络实现了机制上的解耦，从而去除了域名系统（DNS）的低效查找过程，使服务寻址更加高效。例如，在移动边缘计算（MEC）场景中，该机制至少可以提升100%的服务寻址效率。

泛在服务感知IP技术基于IP第6版（IPv6）底座，沿用了良好的IP生态链，使应用和网络均可以实现平滑演进，有利于数字经济的快速部署，很好地保护了前期的资源建设投资。通过网络和服务的一体化供给，充分形成网络即服务的转化能力，将网络的价值从管道上升为赋能平台，将加速数字经济的部署，实现IP网络的能力倍增。

5 网络能力提升

未来网络在引入新架构、实现智能化服务化平台的同时，网络自身能力需要进一步提升，以满足未来业务发展需求。

5.1 网络带宽能力

网络带宽提升是永恒的话题。随着元宇宙的提出，系统对于网络带宽的需求又将提升数个量级。然而，随着无线、

有线频谱利用率都已逼近香农极限，未来的带宽提升需要更多的技术创新。

依据第3代合作伙伴计划（3GPP）R17有关5G新服务需求的研究结果^[7]，结合高清、高自由度、人眼极限视频带宽与可靠性要求，6G网络预计将支持1 Tbit/s的峰值数据率、20 Gbit/s的用户体验数据率、10 Gbit·s⁻¹·m⁻²的区域业务容量密度、100 Gbit·s⁻¹·m⁻²的空间容量密度。

6G无线网络提升带宽和带宽利用率的技术包括：扩展频谱（高频、超高频）、自治自动网络、智能三维连接、智能大规模天线阵、按需网络拓扑、按需网络计算、超硅计算与通信等。

有线接入目前已经实现10G-PON规模商用，后续将向单波50G-PON和100G-PON发展。预计在2023年有线接入将实现50G-PON园区级的应用，在2025年左右实现50G-PON家庭级的应用。

骨干网光传输已经开始进行单波400 Gbit/s的部署，预计2023年800 Gbit/s将在城域网商用。但随着频谱效率接近香农极限，带宽提升的困难逐渐加大。尽管如此，我们有以下几条路径可以尝试：一是继续提升光电器件的波特率，并在2026年演进到170 Baud单波1.6 Tbit/s的光系统；二是扩展光纤传输的波段，从C+L波段向C++、L++扩展，并进一步向U波段、S波段扩展；三是采用空分复用技术，比如少模多芯技术。第3种技术路线可大幅度扩展带宽，但该技术仍不成熟，要实现商用还需要至少5年的时间。

5.2 网络确定性能力

在未来网络发展中，无线移动网络依然是网络发展的重点。随着移动网络技术的发展，移动网络不再仅提供高速的上网业务服务，还为各行各业提供网络通信服务，实现一网万用、按需服务。在垂直行业中，传统的尽力而为机制^[8]已经不能满足相应需求。例如，工业控制等某些特定领域需要网络支持有界的时延和抖动、极低的丢包率和超高可靠的保障。

早期的工业网络大都采用专线（如现场总线）方式来保障特定业务流的传输，但是随着全球新一轮科技革命和产业变革的加速发展，工业互联网成为未来工业制造智能化和信息化的关键技术。在工业互联网中，IT网络与OT网络相互融合，在同一个网络中，能够同时满足互联网与信息化数据所需的大带宽以及工业控制数据的实时性与确定性要求。

在当前尽力而为的网络中，不同业务的数据在转发时，遵循先进先出（FIFO）、优先级抢占等服务质量调度机制。然而，该机制无法避免网络冲突，难以提供稳定可靠的网络传输，一旦发生报文冲突就需要等待或者重传，可能会导致较长的转发时延和不可控的抖动。这在高精度的工业控制中是不允许的，因为这可能会导致生产系统出错，甚至崩溃。为了让移动网络可以为对时延极其敏感的行业提供网络服务，我们需要引入严苛、精准的确定性保障能力。

确定性网络是指，在一个网络域内为承载的业务提供确定性业务保证的能力，包括有界的时延、抖动和丢包率等指标。在网络中为关键的业务流协调各个转发节点的调度转发资源，有助于保障该业务流在网络中的畅行无阻，可以实现超低时延和消除抖动的转发能力。此外，通过对业务流复制和多链路冗余传输还可满足超低丢包率的高可靠传输需求。

确定性网络（DetNet）技术的标准主要包括：国际电信联盟电信标准分局（ITU-T）5G回传技术标准城域传送网（MTN）、电气与电子工程师协会（IEEE）802.1 TSN、工业互联网工程任务组（IETF）DetNet以及3GPP时间敏感通信（TSC）技术。

MTN技术属于L1层的确定性技术，在以太网物理编码层（PCS）实现时分复用（TDM），层次化时隙划分以及固定时隙位置交叉，能够满足超低时延和抖动的业务需求。MTN是对FlexE技术的扩展，能够把时隙颗粒的速率降低到10 Mbit/s，实现更加灵活的业务带宽分配。目前MTN已经进入商用部署阶段。

TSN技术是IEEE制定的基于L2 Ethernet的DetNet标准技术。目前已经有802.1AS、802.1Qbv、802.1CB、802.1Qcc等10多个比较成熟的802.1 TSN相关标准规范。此外，业界

也推出了多种TSN交换机和支持TSN的芯片与工业终端等，正在逐渐开始商用。

2015年IETF成立DetNet工作组并制订相关标准，当前已发布Use Case、IP/MPLS等多种数据面架构、流模型等10多个征求意见稿（RFC）规范。与TSN仅支持L2 Ethernet网络不同，DetNet将相关技术扩展到的L3网络，实现了在IP/MPLS的确定性传输和与TSN网络叠加互通等，为实现广域的确定性传输提供技术基础。

TSC是由3GPP在2020年7月发布的R16标准中开始引入的。在R16标准中，整个5G系统被作为一个TSN逻辑网桥，以实现与TSN网络的互联互通。在目前正在制订的R17标准中，5G系统引入内生确定性，无须对接外部TSN网络，就能实现用户设备（UE）之间的确定性传输。预计在将来5G-A/6G的标准中，3GPP还将实现与DetNet的互联互通。

未来网络面临的一大难题是，如何协同利用以上多个层次的确定性技术以满足多样性的确定性需求，同时能够合理规划网络路径以高效利用各种网络资源。目前网络5.0联盟已经在研究“内生确定性路由”技术（包括资源确定性、路由确定性、时间确定性3个要素），通过高效利用跨层确定性资源能力，精准满足分类分级的确定性业务需求。

5.3 网络安全能力

当前通信网络通过补丁式、被动式、外挂式等措施来进行安全防护。网络安全风险等级只能通过静态方式来评估。通过网络价值、安全漏洞、安全事件的发生频率等因素可以粗略地对网络的风险状态进行评估，但不能对网络正在遭受的攻击进行实时的检测与防护。

网络安全防护部署的维护成本较高，难以实现动态策略调整和自动化维护，已经无法满足当前复杂的电信网络业务需求和应用场景。未来网络在安全方面须具备以下4个特征。

（1）全面自动化：基于自动化安全引擎，为网络基础设施、软件等提供自动化部署、自动化检测、自动化修复等主动防御能力，包括设备节点、基础设施、网络服务、数据、用户、管理节点、操作系统、中间件、数据库、软件服务等；增强各资产系统内部的安全防范能力，实现完整可信的防护、服务、访问、数据；动态度量系统状态，检测系统安全，构建网元级内生安全，从而提高网络级内生安全能力。

通过安全引擎实现统一的安全能力编排。对云和网进行调度和编排有助于实现安全资源自动分配、安全业务自动化发放、安全策略自动适应网络业务变化（网络安全协同）、网络高级威胁实时响应防护（安全分析联动）等能力。多网

元、多层次协同保障网络安全，可实现安全策略集中管理和编排，为用户按需提供安全服务。

(2) 安全防御：根据行业防护的安全需求，提升网络及网络服务功能安全能力，并实现安全能力的弹性部署，降低安全风险，提升韧性；引入区块链技术帮助网络构建安全可信的通信环境，以实现系统的防篡改能力和恢复能力；通过可信计算技术可以实现网元的可信启动、可信度量和远程可信管理，使得网络中的硬件、软件功能运行持续符合预期，为网络基础设施提供主动防御能力；引入零信任技术，对网络进行精细化可视化管理；部署相应的安全组件，构建端到端的网络云安全体系。

(3) 安全自适应：能够利用 AI、联邦学习技术实现网络预测与修复；安全服务能够随时监测并感知网络云的安全动态，使资产安全风险可见，并第一时间快速自动预测、告警，对安全事件及时发现和修复或进行平衡处置，以保障网络服务的可用性；能进行网络服务升级和安全系统换代升级；在业务系统流程再改造时，安全能力能够动态提升。

当网络局部被入侵时，安全引擎会采用阻断威胁流量和启动安全加固流程的方式快速规避或消除威胁。同时，安全服务能共享威胁情报，有助于做到全网“免疫”同类威胁。

(4) 安全自演进：通过端、边、网、云的智能协同，准确感知整个网络的安全态势，敏捷处置安全风险；形成自适应安全模型，构建细粒度、多角度、可持续动态安全防御体系；网络各层须嵌入 AI 能力、联邦学习（分布式机器学习）能力以实现网络自适应、自感知、自运维；通过快速学习和训练，AI、联邦学习技术可以更加准确地对网络流量与异常行为进行检测、回溯和根因分析。

电信网络建立端、边、网、云智能主体间的泛在交互和协同机制，有助于系统准确感知网络安全态势并预测潜在风险。通过智能共识决策机制完成自主优化演进，可实现主动纵深安全防御和安全风险自动处置，提供实用化的安全分析与告警，抵御各类高级持续性威胁（APT）攻击。

5.4 网络业务连续性能力

移动性管理是移动通信的重要研究内容之一。在未来网络中，多种网络接入方式并存。网络为用户提供多种制式接入一致的业务连续

性服务。对于现有移动网络，无论是网络本身还是应用场景，在支持移动业务连续性方面都将发生巨大变化，这对网络的移动性管理技术提出了新的挑战。

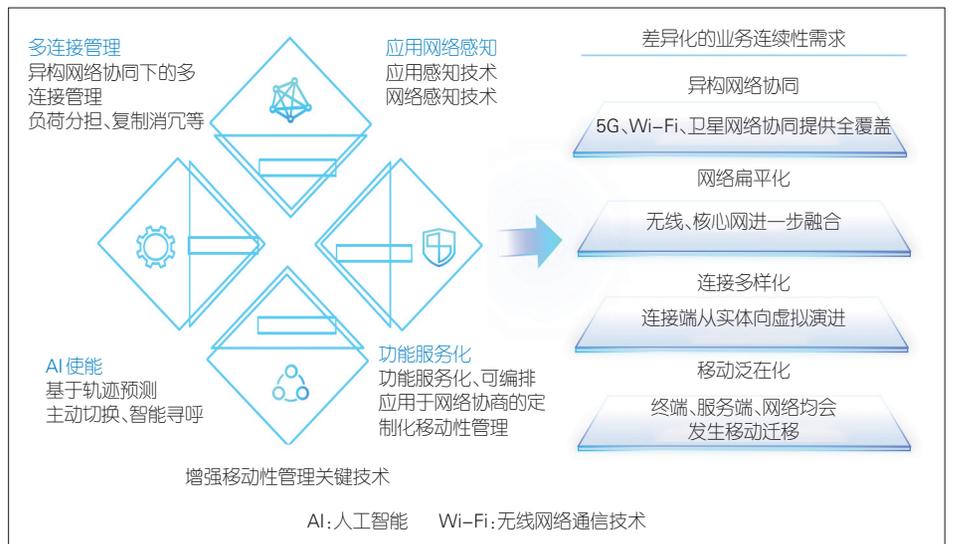
从移动和切换场景看，移动主体更加泛在化，水平切换更加频繁，垂直切换将常态化。随着云网融合、算网一体的发展，网络连接从有形的实体连接向无形的内容、服务、算力等虚拟连接发展。随之而来的是移动场景和主体更加泛在化，包括终端、服务端、网络等的泛在移动。网络的进一步扁平化，无线侧高密度组网，毫米波、太赫兹的应用，均使得水平切换更加频繁。异构网络协同提供全场景覆盖，IPv6 以及多宿主终端的普及，均使得跨网络类型的垂直切换常态化。

从业务连续性需求看，不同应用对业务连续性的要求存在巨大差异。面向 C 端的浏览类、视频类业务对移动切换引起的连接中断并不敏感；而车联网、无人机、工业互联网等 B 端场景要求提供无缝的切换管理及确定性的网络连接服务。

因此，在未来网络泛在连接和移动场景下，移动性管理技术需要至少解决以下几个问题：

- 为不同场景提供差异化的业务连续性服务；
- 提供零中断、零丢包的网络连接，满足无缝切换需求；
- 保障切换前后网络性能一致性，实现确定性网络服务的快速切换。

针对差异化的业务连续性需求，移动性管理也需要同步演进。这包括异构网络协同的多连接管理、应用网络双向感知、AI 使能以及服务化的架构设计，如图 5 所示。



▲图 5 未来网络业务连续性需求及移动性管理关键技术

(1) 多链接管理。集中式移动性管理数据面锚点固定, 但会增加传输时延, 使网络性能降低。分布式移动性数据面锚点是移动的, 却难以保障切换过程连接不中断。

针对超高可靠通信需求, 3GPP制定了基于双连接的端到端冗余用户面传输方案。该方案利用两条冗余的协议数据单元(PDU)来传输数据, 使可靠性高于99.9999%。

将双连接方案与移动数据面锚点结合, 可有效解决在移动锚点下切换过程中连接中断和切换前后网络性能不一致的问题。此时, 数据面采用锚点移动分布式部署, 移动终端则采用双连接方式与网络保持通信连接。在终端移动过程中, 切换策略控制机制使得同一时刻仅会发生一个连接的切换, 并使另一个连接仍可用。双连接切换机制保障网络始终处于可用状态, 避免了连接中断。选择接近移动终端位置的数据面锚点, 并结合显示路径设计等技术, 可保障切换前后网络性能一致。

(2) 应用网络双向感知。未来网络是云、网、边、端、业相互协同的网络。网络通过感知应用需求, 选择与之匹配的移动性管理策略, 进行针对性的目标网络和路径选择, 切换触发并执行策略。反之, 应用也可以通过实时感知网络的时延、带宽、拥塞等信息, 选择最佳的切换时机, 调整数据收发策略等, 来获得更好的应用体验。

深度报文分析(DPI)技术已经广泛应用于现网, 通过对数据包的深度检测, 可实现应用及内容信息的感知。基于IPv6的应用感知网络(APN6)在IPv6扩展报文头中携带应用及应用对网络的需求信息。网络层据此进行应用颗粒度的网络资源和服务响应。应用可以通过网络能力开放或者简单双向主动测量协议(STAMP)、双向主动测量协议(TWAMP)、操作维护管理(OAM)等技术, 完成端到端的网络质量检测来获得网络信息。

(3) AI使能。AI作为基本要素将与网络深度融合, 使网络、业务、运维、运营实现全方位的智能化, 有助于提高网络效能, 降低运维成本。

AI在移动性管理中同样大有可为。3GPP R17开展了基于AI的移动性优化研究, 对终端的位置、移动轨迹进行预测管理, 并对接入管理功能(AMF)终端寻呼过程进行优化。

典型的AI包括数据采集、模型训练、模型推理以及决策执行4个部分。智能网络对移动终端、网络、应用信息的采集、分析和预测, 有助于实现主动切换, 以及最优传输路径和定制化移动性管理流程的选择。

(4) 功能服务化。功能服务化主要体现在: 对外能力开放, 即可提供异构网络双连接、数据复制消冗传输、应用网

络感知、基于AI的主动切换、接入网关间的隧道缓存转发、身份位置分离等独立功能接口; 功能可编排, 即针对不同场景, 通过灵活编排形成功能链, 并提供功能链标识供上层选择调用; 平滑支持新功能的引入, 即在保持整体框架不变下, 功能组件随着技术和场景的演进更新换代。

5.5 网络算力一体化能力

网络能力和算力融合的网络是新型ICT融合服务与算力网络。网络基础设施具备对算力资源的感知、调度和编排, 同时网络层提供网络、计算、存储。未来网络需要更迅捷高效地响应业务的请求。算力资源从集中部署模式向异构多样、分布式的部署模式演进^[9-10]。网络基础设施通过其成熟发达的连接感知触角, 将多级分布的算力资源进行统一的动态纳管、调度和编排, 发挥全网资源的虚拟算力池化优势, 在提升服务质量和资源利用率的同时, 助力网络运营商为全新的业务打造网络能力和算力融合的商业模式^[11]。

算力网络的核心优势是实现算力和网络的协同调度, 满足未来业务对算力资源和网络连接的需求。比如, 高分辨率的VR云游戏, 既需要专用图形处理器(GPU)计算资源完成渲染, 又需要近似确定性的网络连接来满足10 ms以内的端到端时延要求。算力网络就可以完成这种一站式的资源调度。

算力网络包括3个技术要素: 兼容多种算力资源的算力度量和感知、基于现有IP路由协议的算力路由、增强基于IPv6的段路由(SRv6)的算网一体转发面。

算力资源是分层管理的。基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)及云原生资源与服务^[12], 都属于广义的算力, 均可纳入算网平台以便统一编排和调度。推进阶段上, 可先聚焦IaaS基础算力。随着度量和标准进程逐步纳入PaaS、云原生基础服务等, 层次化的算力资源体系逐渐形成。

算力路由有基于SDN的集中式和基于边界网关协议(BGP)的分布式两种模式。为了减少路由表规模, 避免路由震荡, 系统需要对算力状态按照高低频种类进行分离维护, 执行两级路由机制。

转发面要基于现有IPv6平滑演进, 以避免网络设备大量改动。因此, 增强SRv6的业务功能编程, 纳入通用算力服务功能, 可实现算网业务无缝拉通。

6 关键技术

在未来网络的发展中, 无论是架构创新, 还是智能化服务平台的搭建, 抑或是网络自身能力的增强, 都需要关键技

术支撑。

6.1 带宽增强技术

(1) 光电集成。该技术可提升网络传输效率，解决网络功耗和成本上升、传输距离下降的问题。

传统网络设备的内部连接，包括单板和单板之间、芯片和芯片之间的连接，都采用电串行总线连接（Serdes）方式。随着网络带宽的提升，Serdes 连接的速率急剧上升，电连接在高速信号下的损耗较大，导致网络整体功耗与成本上升、传输距离下降。

解决这个问题主要方法是采用共封装光学（CPO）技术，即把光收发器件高度集成到一个光引擎上，并将光引擎与电芯片封装在一起，形成芯片直接出光的形态，用光连接代替电连接。该技术可以大大降低功耗、延长传输距离。

预计到 2023 年 CPO 技术将在数据中心得到应用，并在 2025 年开始规模普及。2027 年左右路由器也将采用 CPO 技术。CPO 光电集成技术对网络设备的形态也将产生影响。传统的具有背板的框式设备架构将被盒式设备互联的无背板架构取代。

CPO 的关键技术包括光调制解调芯片、电驱动和放大芯片、光纤耦合技术、封装技术等。此外，CPO 的大规模生产工艺也是一个很大挑战。

(2) 异构算力。异构算力是提升网络传输能力的关键技术。在未来网络中，通用算力无法应对 AI、视频渲染、高性能并发计算、高性能存储数据的实时处理，将造成网络拥塞，使网络带宽无法得到有效利用。现场可编程门阵列（FPGA）、图形处理单元（GPU）、专用集成电路（ASIC）等异构算力能有效满足计算节点高性能算力需求及数据高性能搬迁需求，在统一的智能编排管理下与通用算力、高带宽网络一起完成 AR/VR/XR、云游戏和高性能数据的搬迁、并发计算等工作。

6.2 网络智能技术

(1) 机器学习。机器学习是网络智能化的基础。传统运维方式依赖人工、静态规则，无法适应动态变化场景。机器学习技术则可以在动态变化的复杂条件下进行高效准确的决策判断。引入机器学习技术可以实现基于“专家经验”到“机器学习”的转变。在未来网络中，数据较为分散且可能有隐私要求。联邦学习能帮助多方在满足用户隐私保护的要求下，进行数据使用和机器学习建模。联邦学习的应用在很多方面还面临挑战，比如通信效率、数据非独立同分布、安全性、健壮性等。

(2) 意图驱动。意图驱动是实现“零接触”运维的基础。意图规定了期望，包括对特定服务或网络管理工作流的要求、目标和约束。意图网络瞄准的是用户意图或商业目标，强调网络运维和架构人员（整个网络用户）的意图，相关应用场景包括网络规划和设计。例如，意图驱动的容量规划、覆盖优化、站址规划等，网络和业务部署，意图驱动的业务部署，意图驱动的网络和业务维护、优化及保障。然而，意图网络存在声明式的 API 构建、意图的分解和翻译、组件和设备的相互兼容问题。

(3) 数字孪生。数字孪生提供了更好的仿真验证能力。数字孪生网络构建物理网络的实时镜像，可增强物理网络所缺少的系统性仿真、优化、验证和控制能力。将数字孪生技术应用于网络，有助于创建物理网络设施的虚拟镜像，搭建数字孪生网络平台。物理网络和孪生网络的实时交互，可以实现低成本试错、智能化决策和高效率创新。数字孪生网络系统的构建面临兼容性不佳、建模难度大、实时性挑战高等问题。

6.3 网络安全技术

(1) 区块链。利用区块链数据不可篡改的特点，对交互信息、执行信息进行监督，可使媒体流的转移和流过程更加公开透明、真实可信，进而满足 IT 之间、CT 之间、IT 与 CT 之间的安全、追溯、结算的互信要求。用户与网络的唯一特征可被用来建立互信关系。只有具备相互信任关系的用户和网络才被允许进行网络互通和流量交互。

(2) 可信计算。可信计算可以实现网络设备的可信启动、可信度和远程可信管理，使网络中的硬件、软件运行持续符合预期，为网络基础设施提供主动防御能力。在网络中，通用的设备指纹制作可实现初始启动、基本输入输出系统（BIOS）/统一可扩展固件接口（UEFI）加载和 OS 启动等过程的完整性保护，使任何恶意修改都可以被监测出来，并对该过程进行阻止。可信计算对各资产组件主动进行动态度量和静态度量，并依据度量结果进行主动裁决和控制；对相关安全活动进行可视化展现，并用于安全审计。基于可信根对隐私数据进行完整性和保密性的可信验证，可提供端到端数据可信认证。通过可信计算建立一种主动免疫可信计算的新模式，使得设备在提供服务的同时进行安全自防护。

(3) 零信任。零信任的核心思想为“从来不相信，始终在校验”，即不再默认信任物理安全边界内部的任何用户、设备或者系统、应用，而是以身份认证作为核心，将认证和授权作为访问控制的基础。零信任能够对所有流量进行可视化、分析检查，并设置安全策略；对所有访问采用最小授权

策略和严格访问控制策略；可实现可视化管理，并提供按需、动态配置的安全隔离网络。建立与所有不安全网络隔离的可信网络，有助于避免网络攻击。

7 总结与展望

全球产业界和学术界广泛关注未来网络的发展及关键技术的研究，各国均从国家战略层面高度重视未来网络的发展与布局，并从未来网络的体系架构、关键技术、试验床等方面开展创新研究。

国际电信联盟（ITU）成立了网络2030焦点组，旨在探索面向2030年以后的网络技术发展。中国成立了网络5.0产业和技术创新联盟，旨在打造一个由中国主导、面向国际、开放并有影响力的下一代数据通信网络技术标准组织，探索面向未来的网络5.0创新架构。

中兴通讯在未来网络架构创新、精准网络技术、网络智能技术、算力网络技术、网络内生安全技术等领域不断深耕细作，愿携手业界伙伴共同探索、积极合作，推进中国未来网络演进升级。

致谢

中兴通讯股份有限公司无线经营部郭雪峰、毛磊、郑兴明、牛娇红、杨春建在论文撰写中给予了很多帮助，在此表示特别感谢！同时，中兴通讯股份有限公司未来网络研究项目经理谭斌在本文起草中给予指导意见，在此一并致谢！

参考文献

[1] 网络5.0技术和产业创新联盟. 网络5.0技术白皮书 [R]. 2019
 [2] 黄奇帆. 数字经济时代, 算力是国家与国家之间竞争的核心竞争力 [J]. 中国经济周刊, 2020, (21): 106-109
 [3] 史炜. “5G+工业互联网”建设的技术经济模式 [J]. 信息技术与政策, 2020, (9): 1-7. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9217.2020.09.001
 [4] 黄兵, 谭斌, 罗鉴, 等. 面向业务和网络协同的未来IP网络架构演进 [J]. 电信科学, 2021, 37(10): 39-46. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021234
 [5] CARPENTER B. Architectural Principles of the Internet [R]. RFC Editor, 1996. DOI: 10.17487/rfc1958

[6] 中国信息通信研究院. 云计算发展研究 [J]. 大数据时代, 2020, (8): 28-39
 [7] 方敏, 段向阳, 胡留军. 6G技术挑战、创新与展望 [J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 61-70. DOI: 10.12142/ZTETJ.202003012
 [8] 黄韬, 汪硕, 黄玉栋, 等. 确定性网络研究综述 [J]. 通信学报, 2019, 40(6): 160-176. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2019119
 [9] 中国联通. 算力网络架构与技术体系白皮书 [R]. 2020
 [10] TANG X Y, CAO C, WANG Y X, et al. Computing power network: the architecture of convergence of computing and networking towards 6G requirement [J]. China communications, 2021, 18(2): 175-185. DOI: 10.23919/JCC.2021.02.011
 [11] 雷波. 整合多方资源 算力网络有望实现计算资源利用率最优 [J]. 通信世界, 2020, (8): 39-40. DOI: 10.13571/j.cnki.cww.2020.08.018
 [12] 蒋林涛. 云计算、边缘计算和算力网络 [J]. 信息通信技术, 2020, 14(4): 4-8. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1285.2020.04.001

作者简介



王卫斌, 中兴通讯股份有限公司产品规划首席科学家、电信云及核心网总工、移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室未来网络研究中心副主任、教授级高工；从事SDN/NFV、电信云研究，以及核心网产品规划；获中国通信学会科技进步奖一等奖、广东省科技进步奖一等奖，相关产品和解决方案荣获曾5G世界论坛、SDN/NFV全球论坛等多项奖项；发表核心期刊论文10余篇，合译专著2本，拥有20余项发明或实用新型专利。



周建锋, 中兴通讯股份有限公司核心网产品规划总工；长期从事核心网技术研究、规划、设计等工作。



黄兵, 中兴通讯股份有限公司技术规划部技术总监、高级工程师；主要从事数据通信和光通信的中长期技术规划；拥有超过20年的通信产品规划和研发的经验。