网络智能化发展关键技术及标准化进展

Key Technologies and Standardization Progress in Development of Network Intelligence

刘姿杉，程　强（中国信息通信研究院，北京 100191）
Liu Zishan，Cheng Qiang（China Academy of Information and Communications Technology，Beijing 100191，China）

摘　要：
随着人工智能、大数据等技术的发展，网络智能化成为通信领域的重要趋势。介绍了网络智能化的关键技术，包括数据采集与处理、人工智能算法与模型、管理编排、数字孪生等。梳理了网络智能化的标准化进展，从网络智能化通用架构、分级能力评测、网络大模型与内生智能以及分专业场景等方面总结了国际标准组织和行业协会等相应的成果。通过对关键技术及标准化进展的剖析，对网络智能化的进一步发展进行展望，助力构建更智能、高效的网络体系，满足未来数字化社会的需求。

关键词：
网络智能化；关键技术；标准化进展；趋势展望
doi：10.12045/j.issn.1007-3043.2025.08.001
文章编号：1007-3043（2025）08-0001-05
中图分类号：TN915
文献标识码：A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Abstract：
With the advancement of Artificial Intelligence (AI) and big data technologies, network intelligence has become a key trend in communication networks. It focuses on crucial network intelligence technologies including data collection and processing, AI algorithms and models, orchestration and management. It also reviews the standardization progress in network intelligence. From general architecture, capability evaluation, large network models and inherent intelligence to application specific scenarios, it summarizes the achievements of international standard bodies and trade associations. By analyzing key technologies and standardization, it aims to provide an outlook on network intelligence development. It seeks to help build a smarter and more efficient network system to meet future digital society needs.

Keywords：
Network intelligence; Key technologies; Standardization process; Trend prospect

引用格式：刘姿杉，程强. 网络智能化发展关键技术及标准化进展[J]. 邮电设计技术，2025(8)：1-5.

1 网络智能化发展背景

当前信息通信网络作为承载数字经济的关键基石，伴随自身技术演进，呈现出以下关键发展特征：一是网络规模不断扩大，光电融合不断加深，网络复杂度不断提高；二是网络可编程可定制能力不断增强，网络灵活性不断提升。与此同时，业务需求持续升级，行业数字化转型对网络能力提出更高要求，如工业互联网等场景需要网络提供确定性时延、超高可靠性以及动态资源调度能力。随着人工智能（AI）技术的飞速发展，网络智能化已成为重塑网络“规—建—维—优—营”全环节的关键途径，并在接入网、传输网和核心网等各个层级得到应用，从网络运维运营到新业务新能力，为网络的创新发展带来了前所未有的新机遇[1]。在此背景下，本文将重点分析网络智能化发展所需关键技术，梳理当前网络智能化相关的标准化工作进展，提出对网络智能化发展的趋势展望。

2 网络智能化发展关键技术

如图1所示，网络智能化实现所需的关键技术包

收稿日期：2025-06-16

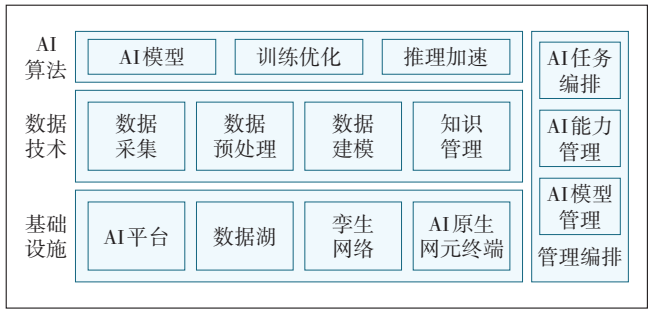

图1　网络智能化关键技术总视图

括数据采集与处理、AI模型与算法、网络AI基础设施、管理编排以及数字孪生等。其中数据采集与处理技术是构建网络智能化的基础;AI算法与训练技术是构建网络智能化能力的核心;网络AI基础设施为网络智能化提供算力与计算能力;管理编排是指实现对网络AI能力高效管理和灵活编排,对AI能力的高效利用和网络整体性能的提升具有至关重要的作用。

2.1 数据采集与处理技术

在网络智能化过程中,数据采集、数据(预)处理以及数据对齐与建模这3个关键环节紧密相连,共同为网络中AI模型的训练与推理提供了坚实的数据基础。从核心网设备、基站到终端设备的数据采集,到对采集数据进行(预)处理等,再到实现多维度异构数据的对齐和统一建模,以及应对数据采集与传输中的误差问题,这个过程对于提升数据质量、确保网络运行的高效性和准确性具有至关重要的意义。

a)数据采集技术。目前,适用于网络数据采集的技术协议有Telemetry技术、sFlow技术和NetFlow技术等[3],它们可针对不同网络数据和有实时性要求的数据进行高效采集,为后续数据处理流程打下坚实基础。与此同时,无线网、传输网、IP网和核心网等领域的大量核心知识存在于专家的经验、书本、文档、标准当中,并没有被体系化地表达,需要深入研究知识+AI的融合,利用数字化手段将专家经验、领域知识与现有技术相融合,构建具备行业共识的知识标准化表达,实现电信领域的知识管理。

b)数据(预)处理。网络智能化的实现依赖于多维度数据处理技术的深度融合与协同创新。数据清洗与增强技术结合生成式AI与聚类算法能够提升数据质量,而分布式存储与边缘计算可以用来平衡数据训练与推理时的算力与实时性需求。在隐私保护层面,数据脱敏与差分隐私技术可以用来保护跨域数据的隐私安全。

c)数据对齐和统一建模。网络运行过程中会产生多维度的异构数据以及多种类型的数据,如结构化数据、文本、图像等。为实现这些数据的协同利用,采用统一的表征、基类数据设计、实体对齐和知识表示等手段来达到数据对齐的目标。同时采集到的网络数据需要建立统一数据模型,以实现数据的规范化和标准化。例如通过采用YANG等标准的建模语言对网络数据进行描述,能够为后续的数据分析和应用提供基础。

2.2 AI算法技术

网络智能化的实现依赖于多种AI模型、训练优化与推理加速技术的协同作用,涵盖从数据建模、训练到应用分析与实时决策的全流程,是网络智能化的关键支撑。

a)AI模型。网络智能化的核心AI算法涵盖深度学习(例如Transformer用于时序预测与自然语言处理、GNN可以用于拓扑优化与故障推理场景、CNN用于处理图像数据)、强化学习(例如动态资源调度与多智能体协同)、生成对抗网络(数据增强与异常检测)、因果推理(提升故障根因分析)及传统机器学习(聚类、分类与时序预测)等,并通过多模态模型融合实现网络状态感知、决策优化与异常处理。此外,AI大模型与智能体技术作为网络智能化的新趋势[2],为网络提供更强大的数据分析与知识整合,通过感知环境、分析数据、决策执行,实现网络自管理、自优化与自愈,推动网络从“被动响应”向“主动服务”演进。

b)模型训练优化技术。为了提高训练效率并保护用户隐私,可以采用分布式训练、联邦学习、混合精度训练等技术来优化训练过程。增量学习与轻量化更新可以用来实时更新模型以适应网络拓扑变化(如移动边缘计算节点动态接入),通过仅训练部分网络层以减少计算开销(如终端设备模型迭代)。大模型预训练与微调技术是指通常先在大规模通用数据上进行预训练,学习到广泛的知识和通用特征表示,然后针对特定的网络智能化任务,在相关领域数据上进行微调,使其能够更好地适应具体的应用场景,如网络故障诊断、流量预测等[2]。同时为了提高网络大模型的知识性和准确性,需将其与外部知识库、专业知识等进行融合,如通过知识图谱将网络设备、协议、拓扑等结构化知识融入模型,并及时更新模型中的知识,以保持其时效性和准确性,确保在处理实时网络数据时能够做出正确的决策和预测。

c）模型推理加速技术。模型推理优化是网络智能化实现中的关键环节，它不仅提升了推理速度和资源利用效率，还增强了模型的准确性和系统的适应性。通过剪枝、量化、低秩分解等技术对模型进行压缩，以及采用知识蒸馏将大模型知识传递给小模型，可以减少存储和计算需求，加快推理速度。在推理加速上，采用并行与硬件加速技术包括张量并行、流水线并行等策略，以及 GPU、TPU、FPGA 等硬件加速器的应用，可有效提升推理速度。此外，服务调度技术如动态批处理，以及任务路由与模型合并技术，也有助于提升推理效率和资源利用效率。这些技术相互协作，旨在提高推理速度、降低资源消耗，满足网络智能化对高效推理的需求。

2.3 网络AI基础设施

电信网络AI应用需要基础设施提供算力和计算能力，包括AI平台（模型训练、推理部署、模型管理、知识管理等）、数据湖、孪生系统、AI原生网元终端等。其中AI平台应用一般是以“外挂智能”的方式支撑网络多样化智能运维管理应用。数据湖支持对网络数据的开放管理与治理。数字孪生网络提供完善的、及时闭环反馈的、接近真实网络的试验环境，从而对网络智能化模型进行测试验证，解决网络智能化解决方案研发环境的瓶颈问题，降低网络智能化应用的创新门槛，促进应用的规模落地。AI原生网元终端为实现网络内生智能、实时推理、控制闭环和决策结果执行等提供算力基础。

2.4 AI管理编排技术

面向网络智能化的AI管理编排关键技术主要涵盖以下几个方面。一是对AI模型的全生命周期管理，包括模型的训练、验证、部署和更新等环节的自动化与优化，以确保模型能够高效地适应网络环境的变化和业务需求的演进。二是对各方面资源的调度与管理，包括合理分配计算、存储和网络资源给不同的AI任务，保障关键任务具备充足的资源支持以达成高性能。三是对AI能力的模块化与组合，将不同的AI能力封装成独立模块，以便根据实际需求灵活组合与调用，从而实现复杂网络功能。四是AI任务的编排与自动化，通过定义工作流来实现AI服务的自动部署、配置与协同，减少人工干预，提升网络运维效率。最后是监控与优化，持续监督AI模型的表现及资源消耗，依据反馈信息及时调整与优化，维持网络的稳定、高效运行。这些技术的综合运用，旨在实现AI能力在复杂网络环境中的高效管理与灵活编排，为网络智能化提供坚实的支撑。

3 网络智能化标准化进展

电信领域标准化工作对于整个产业的升级和创新起着重要的引领作用，网络智能化方向的标准工作也在不断推进。欧洲电信标准化协会（ETSI）、电信管理论坛（TM Forum）、第三代合作伙伴计划（3GPP）、中国通信标准化协会（CCSA）等各大标准化组织与行业协会均开展了相关工作，并积极争取产业引导话语权。网络智能化的标准化工作目前在技术架构、分级评估、应用场景等方面已取得较为广泛的共识，并且还在持续完善之中。网络大模型、网络内生智能与AI原生、网络运营智能体等，已成为网络智能化领域的关键发展趋势与重点研究方向。

3.1 通用能力与技术要求

ETSI于2017年率先成立体验式网络智能行业规范小组（ENI ISG），提出基于“感知—适应—决策—执行”认知模型的AI驱动网络架构，实现服务动态优化与切片管理自动化。TM Forum于2019年启动自智网络项目，提出以“自智域”为核心构建跨厂商闭环自动化框架，并专门成立自智网络协作项目（ANP）工作组制定分级标准、评价体系、架构、接口、关键技术五大方向规范。ITU-T于2017和2020年先后成立机器学习焦点组（FG ML5G）和自智网络焦点组（FG AN），并发布网络智能化功能框架、分布式学习技术标准及可信评估体系。国内CCSA网络管理与运营支撑技术工作委员会（TC7）在2021年7月召开自智网络专题联席会议，2022年新增覆盖架构、用例、意图交互等维度的系列标准，形成产学研联动的标准化生态。多方协同推动网络自动化、智能化技术从概念框架向产业落地演进。

随着网络智能化能力的提升与演进，业界已经将网络内生智能作为重要演进方向。网络内生智能是指将AI技术深度融入网络架构的底层设计，从而赋予网络自主感知、决策、优化及执行的能力，摆脱对传统“外挂式”智能化系统或模块的依赖。6G网络将内生智能作为其关键特征之一，目前关于6G智能内生网络的系统架构、功能和流程等研究正在有序开展。IMT-2030（6G）推进组在发布的《面向6G网络的智能内生体系架构研究报告》中，提出了面向智能内生的体系框架，并从功能、服务、部署、控制和执行等多个

维度分析了对智能内生架构的要求。2024年7月，ITU-T SG13成立网络内生AI焦点组（FG AI-Native），研究网络内生AI的架构、技术要求、接口等相关标准。2024年4月，中国信通院联合产业伙伴在CCSA TC610 SDN/NFV/AI标准与产业推进委员会主办的“2024年·云网智联”大会上启动“自智网络领航者计划2.0-网络大模型先锋行动”，共同推动AI+行动计划在网络产业的实践落地，加快构建自主可控、安全可信网络大模型，加速网络大模型应用。国内CCSA持续关注高等级网络自智与内生智能，目前已将网络大模型、智能体以及数字孪生等技术标准作为研究重点，认为这些技术是实现网络内生智能的关键使能技术。ETSI ENI开展了将大模型应用于网络中的相关研究，包括网络OAM大模型的应用场景研究、网络大模型与附加组件间的交互、网络OAM大模型的编排功能与网络大模型数据集等内容。2025年4月，CCSA TC7与ETSI的零接触管理标准工作组（ZSM）围绕AI/大模型/智能体/数字孪生等高等级自智网络关键技术标准进行了分享与讨论，重点探讨了智能体和大模型技术在标准化方面的课题方向，包括如何衡量智能体赋能的自治网络价值场景是否达到L4水平，以及如何进一步增强ETSI ZSM与CCSA TC7 2个工作组在标准化方面的协作。

3.2 移动网络智能化

从3GPP R17版本起，基于AI的移动通信网络顶层架构设计开始受到关注。在R17中，数据收集增强项目聚焦于基于AI的基站节能及移动性管理相关的数据收集内容、过程，以及AI模型在5G网络中的运行机制。R18版本则重点关注基站网元间信号传递与网络架构，并开展了用例的标准化工作。R19版本将在持续优化现有用例性能的基础上，考虑纳入对基于AI的智能切片等新业务的支持。

3GPP在核心网智能化的研究及标准化历经多个版本，在R15阶段，3GPP在5G网络架构里引入网络数据分析功能（Network Data Analytics Function，NWDAF），用于网络数据采集、分析，以及向其他网络功能网元提供网络切片实例负载等分析信息。2017年，3GPP SA2立项“使能5G网络自动化（enabler of Network Automation for 5G，eNA）”，对NWDAF予以补充增强，定义了基于单实例集中式的智能网络架构和能力。2019年开展eNA_phase2立项，持续研究网络架构增强能力，包括NWDAF功能分解、数据收集效率提升、用户终端数据收集等，定义了基于多实例分布式的智能网络架构。在R18阶段，3GPP成立eNA_phase3立项，着重研究数据收集性能提升、模型性能监控、跨厂商模型共享、联邦学习、漫游数据共享，以及和定位系统、网管的协同等。在R19阶段，3GPP将针对R18仅定义了框架的跨厂家模型共享与联邦学习等开展进一步研究，同时探索如何支持核心网和RAN联合智能化。

现有研究表明，基于AI的空口设计是构建5G（5G-A）智能维度的核心，有望开启全新系统设计方式，已经成为标准化工作的焦点。在R17阶段，3GPP RAN3设定了RAN智能化架构。在R18阶段，3GPP新增AI空口和AI RAN的研究课题，重点关注通过引入AI技术后对5G整体框架的影响，以及数据集传输、模型传输技术要求等研究热点。在用例方面，R18版本对信道信息反馈、定位、波束管理等关键用例予以系统研究，并将在R19与信道信息反馈一并延续。此外，还需增强网络开放能力和QoS策略，以支持和优化应用层AI模型通过网络的分发与传输，满足终端与应用服务器之间传输AI模型的新需求。

与AI的全面融合已经成为移动通信网络标准化研究工作的核心方向之一，移动网络的智能维度建设是一个从外挂向内生，由核心向网元深入融合的过程，推动从5G“轻智能”向实现6G“内生智能”转变。

3.3 固定网

2020年2月，欧洲电信标准化协会（ETSI）成立了“第五代固网”（The 5th Generation Fixed Network，F5G）工作组，研究领域涉及光分配网络（ODN）新技术、XG（S）-PON和Wi-Fi 6增强技术、控制面和用户面分离、智能能效、端到端全栈切片、自动运营和管理等。通过研究和制定F5G标准及白皮书等系列工作，推动传统光接入网向以超宽（Enhanced Fixed Broadband，eFBB）、泛在（Full-Fiber Connection，FFC）、可保障体验（Guaranteed Reliable Experience，GRE）3个关键特征为核心的全光智能接入网演进。

CCSA针对固定网智能化的标准工作主要由传送网与接入网技术工作委员会（TC6）开展。自2019年起，CCSA TC6开始关注接入网与传送网的运维智能化，相关项目涵盖接入网与传送网的运维智能化的场景和需求、技术要求、分级能力和分级方法、数据模型等。2021年6月，CCSA TC610成立自智网络工作组，启动自智网络领域的相关研究工作，并设立IP、传输

与接入专业子工作组，重点围绕云网专线、云光专线与品质家宽等业务，开展接入网自智能力分级评估方法和测试规范的编制工作。

随着固定网络自智能力分级评估方法和测试规范标准化工作的推进，固定网的智能运维能力持续加强，并不断在网络告警预测、故障根因分析、网络质差检测、品质家宽运维、行业边缘计算等场景规模化落地。

3.4 网络智能化能力分级评测

2019年，基于自动驾驶汽车分级框架和认知闭环（执行、感知、分析、决策、意图体验）的网络智能化分级框架被TM Forum采纳发布后引起业界广泛关注。3GPP、TM Forum、ITU-T分别启动了针对网元管控运维层次以及服务与运营层次的智能化分级研究课题与行业标准项目等。从2021年开始，CCSA TC7发布多项涵盖移动通信网络、接入网、传送网、IP网络、切片分组网络、算力网络等领域的网络运营管理智能化水平分级技术要求与评估相关标准。如图2所示，当前业界对网络智能化/自智等级分级方法已达成共识，将其从低到高分为5个等级，按照执行、感知、分析、决策、意图体验等维度是否为系统自主的分级原则来进行分级。其中L5级是网络智能化的最高目标，将实现网络从感知、分析到决策执行全专业全域的自动化与智能化闭环。

等级/名称		关键特征	分级评估维度					
			执行	感知	分析	决策	需求映射	智能化场景
L0	人工运营网络	全人工操作	人工	人工	人工	人工	人工	无
L1	辅助运营网络	工具辅助数据采集人工分析决策	电信系统	人工和系统	人工	人工	人工	部分场景
L2	初级智能化网络	部分场景基于静态策略自动分析人工决策	电信系统	电信系统	人工和系统	人工	人工	部分场景
L3	中级智能化网络	特定场景实现动态策略自动分析预先设计场景系统辅助人工决策	电信系统	电信系统	系统为主	人工和系统	人工	部分场景
L4	高级智能化网络	系统实现动态策略完整闭环预先设计场景系统自动完成需求映射	电信系统	电信系统	电信系统	系统为主	人工和系统	部分场景
L5	完全智能化网络	全部场景系统完成全部闭环系统自动完成需求映射	电信系统	电信系统	电信系统	电信系统	电信系统	全场景
备注说明			所有等级的决策执行都支持人工介入执行过程，人工审核结论及执行指令具有最高权限					

图2　网络智能化分级框架

随着网络智能化能力的持续增强与深入，网络将具备更强大的自我学习、自我优化和自主决策能力，能够自动适应复杂多变的网络环境和用户需求，实现从网络配置、资源分配到故障诊断修复等全流程的自动化与自主化，预计领先运营商的网络自智水平将在2025年后陆续实现L4级别，到2030年，全球大多数运营商的网络将达到L4级别。

4 网络智能化发展趋势展望

4.1 通信与感知的融合

未来网络将不仅局限于数据传输，还将具备更强的认知和感知能力，通信感知融合将成为通信技术外延的全新领域，推动网络智能化的发展。未来网络将能够理解和感知用户的意图、行为以及网络环境的变化，从而更精准地提供个性化服务和智能决策支持。

4.2 AI原生网络架构

随着网络分层分布式智能能力以及网元智能能力的提升，通过分布式AI训练、AI管理编排、AI大模型等技术的支持，网络将逐步实现端到端智能能力，实现无人工干预的自感知、自分析、自决策、自执行和自评估的闭环自治。

4.3 大模型与Agent技术的应用

大模型和Agent技术将在网络内生智能中发挥重要作用。大模型能够提供强大的泛化能力和通用性，支持各种复杂的网络任务和应用。Agent技术则结合大模型能力与感知、执行、记忆、规划功能，实现高效、智能、高度自治的网络系统，提升网络的服务响应速度、准确性和自我优化能力。

参考文献：

[1] Autonomous Networks Project. Autonomous networks: empowering digital transformation- Chinese [R/OL]. [2025-02-28]. https://www.tmforum.org/resources/exploratory-report/autonomous-networks-empowering-digital-transformation-chinese/.

[2] 夏润泽，李丕绩. ChatGPT大模型技术发展与应用[J]. 数据采集与处理，2023，38(5)：1017-1034.

作者简介：
刘姿杉，高级工程师，博士，主要研究方向为人工智能、网络智能化、数据隐私保护、分布式AI等；程强，高级工程师，硕士，主要研究方向为网络人工智能、光通信等。