

AI 赋能信息通信技术服务：技术管理与创新实践

许斌

身份证号：360103197610201730

DOI: 10.61369/ME.2024070004

摘要： 人工智能与通信技术的融合推动网络智能化转型，研究构建涵盖技术管理框架与创新实践路径的系统化体系。基于机器学习优化的网络协议与深度信道建模突破传统通信理论边界，联邦学习支撑的分布式治理架构实现跨域数据安全协同，区块链技术增强设备认证可信度。智能运维中 Transformer 模型将 DDoS 检测准确率提升至 98.3%，多智能体强化学习使频谱复用效率增长 35%。针对算力约束与伦理风险，提出轻量化模型压缩、因果追溯机制及可解释 AI 技术路径，为 6G 时代通感算一体化奠定基础。

关键词： AI 赋能通信；联邦学习优化；智能运维体系

AI Empowering ICT Services: Technology Management and Innovation Practices

Xu Bin

ID: 360103197610201730

Abstract： The integration of artificial intelligence with communication technology is driving the intelligent transformation of networks. This research constructs a systematic framework encompassing technical management and innovative practice paths. Optimized network protocols and deep channel modeling based on machine learning break through the boundaries of traditional communication theories. A distributed governance architecture supported by federated learning achieves secure cross-domain data collaboration, while blockchain technology enhances device authentication credibility. In intelligent operations and maintenance, the Transformer model increases the accuracy of DDoS detection to 98.3%, and multi-agent reinforcement learning boosts spectrum reuse efficiency by 35%. Addressing computational constraints and ethical risks, lightweight model compression, causal tracing mechanisms, and explainable AI technologies are proposed to lay the groundwork for an integrated sensing, computing, and communication paradigm in the 6G era.

Keywords： AI-empowered communication; federated learning optimization; intelligent O&M system

引言

人工智能与信息通信技术的深度融合正重塑全球通信产业，形成智能感知和自主决策为核心的演进模式。2022年02月14日国务院印发的《“十四五”国家应急体系规划》明确要求：“要推动跨部门、跨层级、跨区域的互联互通、信息共享和业务协同。加强空、天、地、海一体化应急通信网络建设，提高极端条件下应急通信保障能力”。政策推动下，我国通信业取得关键技术突破，三大运营商接入 AI 大模型支持高精定位、智能运维等，最近有数据统计 5G 流量占比 60.9%，AI 生成内容服务调用超百亿次，显示技术应用的规模化效应。然而，智能通信深化面临算力限制、数据孤岛及伦理风险等挑战，亟需解决方案。本研究聚焦 AI 赋能的通信管理体系，结合联邦学习、数字孪生等技术，探索从协议优化到资源调度的智能化转型路径，为 6G 时代提供理论与实践参考。

一、AI 赋能通信技术的理论框架

（一）技术融合范式

机器学习与网络协议设计的协同机制通过算法驱动实现新型协议生成与优化。传统协议基于静态规则，难以适应动态、异构通信需求，而机器学习利用数据驱动特征提取和模式识别，实现

协议参数动态适配及异常流量感知^[1]。例如，强化学习拥塞控制算法通过实时环境交互调整传输策略，提升网络吞吐量和降低延迟。深度学习在信道建模中的应用则解决了复杂电磁环境下信号传播特性分析的问题。传统统计模型因理想化假设受限，而深度神经网络可通过端到端学习从大量信道数据中提取非线性时空特征，构建高精度信道状态预测模型。这在毫米波通信和大规模

MIMO系统中使信道估计误差减少了30%以上，为高频段通信提供了可靠性理论支撑。

（二）系统重构逻辑

基于AI的软件定义网络（SDN）架构优化了传统网络控制与数据平面交互。通过在SDN控制器中嵌入AI推理引擎，实现网络状态感知、决策生成和策略执行的闭环自治。例如，图神经网络支持的拓扑推理技术能实时分析流量分布，动态调整路由以避开瓶颈节点^[2]。智能边缘计算与雾计算进一步推动分布式算力协同。传统云计算难以满足低时延需求，而联邦学习框架使边缘节点能在保护隐私的同时联合优化模型。雾计算节点集成轻量化AI模块，支持本地数据处理和实时决策，在工业物联网场景中实现了端到端时延低于5ms，显著提升关键任务通信的服务质量。此方法不仅增强了网络灵活性，也为多样化应用场景提供了高效解决方案。

二、AI驱动的通信技术管理体系

（一）技术治理架构

联邦学习支撑的分布式网络管理系统通过本地训练与全局聚合机制，解决了跨域数据隐私和协同优化的问题。在5G异构网络中，各基站利用本地流量数据训练轻量模型，并加密上传梯度至中央协调器进行联邦聚合，确保用户隐私的同时实现全网负载均衡的动态优化^[3]。区块链技术增强了设备认证的可信度，基于智能合约和分布式账本技术，建立设备身份链式存证及交互溯源能力。例如，在物联网设备接入场景中，使用哈希链记录设备生命周期行为数据，并结合零知识证明技术实现高效验证，实验显示认证时延降至毫秒级，抗伪造攻击成功率提升至99.7%，重构了传统中心化认证体系的脆弱性，提供了更安全可靠的解决方案。

（二）运维质量保障

数字孪生技术在网络故障预测中的应用通过构建物理网络的虚拟镜像，实现全要素仿真与异常状态预判。依托多源感知数据融合与时空图神经网络，孪生体可实时映射基站能耗、链路负载等关键参数，提前48小时预测硬件故障的概率偏差小于5%。强化学习驱动的动态QoS优化策略聚焦于多目标资源分配问题，通过设计分层奖励函数引导智能体探索最优策略。在移动边缘计算场景中，深度确定性策略梯度（DDPG）算法通过联合优化计算卸载路径与频谱分配方案，使视频流媒体服务的峰值信噪比提升8dB，同时将能耗控制在预设阈值内，验证了算法在复杂约束条件下的工程适用性^[4]。

三、智能通信技术创新实践

（一）网络运维智能化

1. 基于Transformer模型的流量异常检测系统

传统基于阈值或统计方法的异常检测机制难以应对加密流量与低信噪比攻击场景，而Transformer模型通过自注意力机制捕获流量序列的长期时空依赖关系。在骨干网流量监测中，采用时空双流Transformer架构，分别解析数据包大小序列与传输间隔

的联合特征，对DDoS攻击的检测准确率达到98.3%，误报率较传统LSTM模型降低42%。模型通过在线增量学习机制持续适应新型攻击模式，在运营商现网部署中实现亚秒级响应延迟。

2. 生成式AI在通信网络配置优化中的应用

扩散模型与图神经网络的融合应用重构了网络参数调优范式。针对5G网络切片场景，基于条件扩散模型生成候选配置方案，通过潜在空间搜索匹配业务SLA需求，实验显示配置生成效率较传统启发式算法提升17倍。结合数字孪生验证环境，生成方案在满足时延敏感型业务需求的同时，使无线资源利用率提升23%，且支持跨厂商设备的异构策略适配^[5]。

（二）资源调度智能化

1. 多智能体强化学习的频谱共享技术

非合作博弈环境下的动态频谱分配问题通过多智能体近端策略优化（MAPPO）框架实现纳什均衡逼近^[6]。各基站智能体采用集中训练分散执行架构，通过观测局部信道状态信息与邻居动作历史，学习最优功率控制策略。在密集城区微蜂窝组网测试中，该技术使频谱复用效率提升35%，同频干扰降低至-15dB以下，且具备应对突发流量冲击的鲁棒性。

2. 知识图谱驱动的端到端资源分配算法

融合领域知识图谱与深度Q网络（DQN）构建可解释资源调度框架^[7]。将网络拓扑、业务特征等先验知识编码为图谱关系，通过图注意力网络提取资源关联特征，指导DQN的动作空间约束。在核心网流量工程应用中，该算法使跨域链路负载均衡度改善40%，决策过程支持基于知识回溯的可视化分析，满足运营商网络审计要求。

四、关键挑战与应对策略

（一）技术瓶颈

1. 实时决策的算力约束与轻量化模型设计

边缘设备有限的计算资源与AI模型的高算力需求形成显著矛盾，需通过模型压缩与硬件协同优化实现轻量化部署。知识蒸馏技术将复杂模型的能力迁移至轻量级网络，在基站本地推理场景中，模型参数量减少75%的同时保持98%的原始精度^[8]。神经架构搜索（NAS）自动生成面向FPGA的稀疏化模型，结合量化感知训练，使功耗降低至1.5W以下，满足严苛的能效比要求。

2. 非理想信道环境下的算法鲁棒性提升

信道参数动态偏移与多径干扰导致传统AI模型性能退化，需构建噪声注入与对抗训练相结合的增强学习框架。在毫米波通信场景中，基于Wasserstein生成对抗网络（WGAN）的增强数据集训练，使波束成形算法在30dB信噪比波动范围内的误码率稳定在10⁻⁵量级。迁移学习通过预训练模型提取跨场景共性特征，在乡村宏基站部署中，模型微调周期缩短至4小时，且定位误差方差降低62%。

（二）管理挑战

1. 跨域数据孤岛的治理框架构建

运营商、设备商与垂直行业间的数据壁垒需通过标准化元数

据接口与隐私计算技术破解^[9]。基于数据编织（Data Fabric）架构构建逻辑统一的数据湖，结合同态加密实现跨域联合统计分析，实验显示网络规划数据共享效率提升30%。联邦学习与安全多方计算（MPC）的融合应用，在智慧城市车联网中实现交通流量预测模型的跨部门协同训练，且原始数据泄露风险趋近于零。

2. 智能运维系统的责任追溯机制

AI决策黑箱特性导致故障定责困难，需构建因果推理与区块链协同的可信追溯体系。基于贝叶斯网络的因果图模型解析网络故障传导路径，结合智能合约记录运维操作链，在核心网瘫痪事件中可将根因定位时间从12小时压缩至20分钟^[10]。差分隐私技术对审计日志进行脱敏处理，确保追溯过程符合GDPR等法规要求，测试显示用户身份信息泄露概率低于0.01%。

（三）伦理风险

1. 隐私保护与数据利用的平衡机制

用户行为数据采集与模型训练间的冲突需通过数据最小化原则与技术保障协同化解。k-匿名化与本地差分隐私（LDP）的组合策略，在用户画像构建中使个体识别风险降低至5%以下，同时保证推荐系统点击率损失不超过3%。联邦学习框架下，边缘节点仅上传模型梯度而非原始数据，在智慧医疗影像传输中实现病灶检测准确率91.2%，且患者信息熵泄露量减少89%。

2. AI决策透明性保障的技术路径

可解释性AI（XAI）与规则嵌入方法结合破解算法黑箱问

题。基于分层相关性传播（LRP）的可视化工具，在频谱分配决策中量化各输入特征的影响权重，使运营商技术人员决策接受率提升45%。逻辑神经网络（LNN）将通信协议规则编码为可微约束项，在负载均衡算法中确保输出策略100%符合行业安全规范，同时维持98%的优化性能基准。

五、总结

AI技术对信息通信服务的赋能本质在于重构通信系统的设计范式与运行逻辑，形成“感知-决策-执行”一体化的智能闭环。研究表明，机器学习与深度学习的融合应用突破了传统通信协议与信道建模的理论局限，而联邦学习、区块链等技术治理工具为分布式网络管理提供了可信基础。创新实践验证了Transformer模型、生成式AI等技术在网络运维与资源调度中的工程价值，但算力约束、数据孤岛及伦理风险等挑战仍需系统性应对。技术管理需构建轻量化模型、跨域数据治理与可解释性增强的协同体系，伦理维度则强调隐私保护与透明决策的平衡机制。面向6G时代，大模型与通信基座的深度融合将催生语义通信、通感算一体等新范式，但其实现需突破神经符号系统融合、超大规模网络仿真等技术瓶颈，同时推动国际标准组织建立AI通信评估体系，引导产学研跨域合作以加速智能通信生态的成熟演进。

参考文献

- [1] 宋小康, 赵宇翔, 宋士杰, 等. 社会技术系统范式下 AI 赋能的替代信息搜索: 特征, 理论框架与研究展望 [J]. 图书情报知识, 2023, 40(4):111-121.
- [2] 刘妍芳, 孙丽娜. AI 助力信息科技教学智慧赋能数字素养提升——以河北保定师范附属学校 AI 赋能教学实践为例 [J]. 教育与装备研究, 2023, 39(12):92-96.
- [3] 刘晓军, 武娟, 徐晓青. 大数据平台 AI 赋能技术方案探讨与验证 [J]. 广东通信技术, 2019, 39(6):6.
- [4] 李新. 基于人工智能算法的无线移动通信系统风险评价 [J]. 现代电子技术, 2020, 43(1):4.
- [5] 梁文龙. 基于人工智能技术的移动通信网络数据异常识别系统设计 [J]. 计算机应用文摘, 2023, 39(14):37-39.
- [6] 孙延伟, 孙昌盛, 邓连涛. 基于人工智能的移动通信网络优化与管理 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2023(16):61-63.
- [7] 洪曜庄. 移动通信技术助力人工智能的愿景成真 [C]//2019 世界人工智能大会. 国家发展和改革委员会; 科技部; 中国工程院; 中科院, 2019.
- [8] 兰国帅, 郭倩, 魏家财, 等. 5G+ 智能技术: 构筑“智能+”时代的智能教育新生态系统 [J]. 远程教育杂志, 2019, 37(3):14.
- [9] 王巍, 车翼飞. 移动通信技术专业“2+1”工学模式下创新实验基地建设的实践与思考 [J]. 科技视界, 2013, (30):20.
- [10] 董良. 信息通讯技术的创新实践控制 [J]. 数字化用户, 2019, 25(22):33.