

Research on AI-driven Autonomous Optimization and O&M System for 6G Networks

Yi Wang

Shaanxi International Business and Trade College, Xianyang, Shaanxi, 712046, China

Abstract

The AI-driven autonomous optimization and operation system for 6G networks aims to address the high dynamism and complexity of the 6G architecture. Focusing on the core requirements of 6G networks for minimal operation and maintenance, self-intelligent closed loops, and resilient services, this paper systematically analyzes the capability of traditional operation systems in scenarios such as ultra-dense networking and the integration of communication, sensing, and computing. It focuses on AI-based state perception and prediction, as well as multi-objective collaborative decision-making mechanisms, designing a hierarchical and decoupled intelligent operation architecture that constructs a closed-loop process integrating data and control planes, as well as knowledge-driven model-iterative operations. Furthermore, it explores key enabling technologies such as federated learning, digital twins, and explainability, and proposes a comprehensive framework covering performance evaluation, scenario validation and evolution strategies. The research findings provide theoretical support and architectural references for 6G networks to achieve the leap from automation to autonomy.

Keywords

6G network; autonomous operation and maintenance; artificial intelligence; optimization mechanism; intelligent architecture

人工智能驱动的 6G 网络自主优化与运维体系研究

王仪

陕西国际商贸学院, 中国·陕西 咸阳 712046

摘要

人工智能驱动的6G网络自主优化与运维体系旨在应对6G架构的高度动态性与复杂性。本文面向6G网络对极简运维、自智闭环与韧性服务的核心需求,系统剖析传统运维体系在超密集组网、通感算融合等场景下的能力瓶颈。重点研究基于AI的状态感知预测与多目标协同决策机制,设计分层解耦的智能运维架构,构建数据面与控制面协同、知识驱动与模型迭代的闭环流程。进一步探讨联邦学习、数字孪生、可解释性等关键使能技术,并提出涵盖效能评估、场景验证与演进策略的综合体系。研究成果为6G网络实现从自动化向自治化的跨越提供理论支撑与架构参考。

关键词

6G网络; 自主运维; 人工智能; 优化机制; 智能架构

1 引言

6G网络朝着空天地海一体化、通感算深度融合的方向发展,其规模和复杂程度呈指数级增长,传统的依靠人的运维模式难以维持下去,自主改善和运维成了6G实现极简经营和确定性服务的重要支撑。人工智能技术有所超越,给网络增添了感知、推理和决策能力,令网络能够遵照即时状态和历史经验自动执行闭环调节^[1]。不过,如何在超大规模的异构资源当中做到多目标协同改善,保证决策安全和可阐释性,创建可发展的自治体系,仍然是当下研究的重点难点。本文针对前面的问题,从需求分析、改良机制、架构设计、使能技术和评价发展这五个方面开展系统的研究,力求形成

适合6G的自主运维理论架构和技术路线。

2 6G网络自主运维需求与挑战

2.1 6G网络架构演进对运维的自主性需求

智能化网络的研究早在5G时代就已经展开,面向6G,网络将迎来更丰富的应用场景和更严苛的性能要求,需要更加智能化的方式管理、维护网络的运转。6G网络会实现从地面蜂窝迈向空天地一体化泛在连接的跨越,其网络节点具备海量、异构化和动态化的特性。通感算智深度融合,促使网络功能由传统连接朝着服务化、智能化转变,业务场景出现极致性能与碎片化共存的情况^[2]。在这种大环境之下,网络运维不能再依靠人工规则,而是要转为成具有自主感知、分析及决策能力的自治模式。自主性需求表现在诸多方面,比如立即适应拓扑改变、随时保证端到端的服务质量、凭借自身恢复故障和打击、按需实施动态资源编排等。

【作者简介】王仪(1987-),男,中国上海人,博士后,中级经济师,从事人工智能、大数据、数字经济研究。

唯有创建起内生智能的运维体系，才有可能做到 6G 复杂系统的极简运作及其自身提升。

2.2 传统运维体系在 6G 场景下的能力瓶颈

传统运维体系依靠静态规则和专家经验，利用集中式网管及人工巡检方式，存在闭环响应迟缓、扩展性不良、不能处理海量异构数据的问题。在 6G 场景下，网络切片动态变换、分布式节点需高动态协作、业务需求出现毫秒级波动等特性，造成预先设定的规则难以包含全状态空间。传统网管缺少对网络态势的预测功能，故障定位和根因分析要靠人工干预，从而致使运维效率与业务需求产生极大偏差。而且，数据面与控制面并未完全分离，无法支撑智能决策随时形成闭环。针对 6G 的自智需求，传统体系在感知精度、决策时间及发展能力上均表现出严重的障碍。

3 人工智能驱动的自主优化机制

3.1 基于 AI 的网络状态感知与预测

网络状态感知是做到自主改良的关键所在，重点在于从大量不同种类的数据当中获取高维、时效性强的特征信息^[3]。人工智能依靠深度神经网络、图神经网络这些模型，可以精确描绘无线信道质量、业务流量分布、资源占用情况等细致的运行状况。并且再加上时空序列预测法之后，就能预先推测负载变动、移动性事件以及潜藏故障，从而创建出具有前瞻性的状态认识。凭借 AI 的这种感知预测能力冲破了传统门限检测的限制，使得运维系统由消极应对变为积极防范，给改良决策赋予了可信的状态参照和不确定范围。

3.2 多目标协同的自优化决策方法

6G 网络改良常常会碰上能效、容量、时延、可靠性等诸多目标潜藏的冲突，传统的一目或者加权求和方式很难应对动态环境。依靠人工智能的多目标协作决策方法采用深度强化学习、多目标改良和博弈论等工具，把运维目标当作可以动态兼顾的改良范围。智能体不断同网络环境交互，学会制定针对不同业务优先级和资源状态的改良方案，实现资源调度、拓扑调节和功能安排的综合提升。此方法可在高维动作空间做到策略即时产生并自动适应调整，有效地支持 6G 复杂情形下的自身改善循环。

4 自主运维体系架构设计

4.1 分层解耦的智能运维架构

要应对 6G 网络的异构性与可扩展性需求，自主运维体系需采用分层解耦的设计理念。把运维功能拆解成资源适配层、功能协同层和意图编排层，这些层通过标准化接口和可编程协议实现松耦合^[4]。资源适配层承担异构资源的抽象化及统一管理任务，功能协同层包含智能决策模型和改良算法，意图编排层把用户业务意图转为为运维策略。分层架构使得各层能够独自发展，智能能力可以按需求向边缘或者中心下放，从而规避集中式框架的单点瓶颈，为大规模分布式自治形成根基。

4.2 数据面与控制面的协同机制

传统网络里，数据面和控制面较为分离，很难做到随时的循环改良。自主运维体系塑造起新的协同机制，把数据面的感知能力同控制面的决策能力深入融合起来。数据面借助自身产生的收集和预处理，把高保真度、低时延的状态数据传递给控制面；控制面依照 AI 模型制定出改良策略，再靠意图激发的形式下达给数据面去执行。它们之间形成了一条反馈回路，控制面不断监测策略的执行情况，并且及时调整模型。这个机制保留了控制面整体改良的能力，也最大程度地发挥了数据面即时响应的长处，是实现自身改良循环的重要结构支撑。

4.3 知识驱动与模型迭代的闭环流程

自主运维体系要想有效，就得依靠知识不断积累并更新模型。把运维经验、网络拓扑、历史事件之类的抽象成知识图谱，从而创建起结构化而且能推断的运维知识库。智能模型运行的时候会一直收集新数据，再结合知识库做在线学习和迁移学习，以此做到模型持续更新、泛化能力不断提升^[5]。这个循环包含五个步骤，即数据采集、知识获取、模型训练、策略制定以及效能反馈，这样才能保证运维能力跟着网络一起发展。用知识推动，靠模型更新这种方式，给自主运维带来了长期适应性和可发展性。

5 关键使能技术与方法

5.1 联邦学习与分布式智能协同

6G 网络呈高分布特点，关乎数据主权与隐私保护，集中式智能训练不易实现目标。联邦学习通过本地模型训练及全局参数融合，不用共享原始数据就能做到分布式节点之间的智能协作^[6]。各个运维区域依靠自身数据独自训练模型，中心节点只是整合模型参数，这样既能保障数据隐私，又能优化模型的泛化能力。再加上分层联邦学习体系，就可以把跨域协作和边缘自主统一起来，给大规模异构网络里的智能运维赋予分布式协作的根基。

5.2 数字孪生驱动的网络仿真与推演

数字孪生创建起物理网络的高保真虚拟镜像，给自主运维赋予安全、可控的验证及推演环境。在数字孪生空间里，可以针对改良策略、故障复原方案展开大规模仿真检测，考量它们在复杂场景中的潜在影响，免除直接在现网试错所产生的风险。凭借孪生体执行加强学习训练，能够加快策略的收敛速度，而且可以模拟极端场景和未知干扰展开推演。数字孪生与物理网络实现即时映射并形成闭环反馈，突出改善了自主运维决策的可靠性及其部署的安全性。

5.3 自主决策的可解释性与安全约束

自主运维系统取得了决策自主权，也要解决可解释性和安全约束这两个问题，这样才能赢得操作者的信任并维持网络稳定。可解释性通过注意力机制、规则获取之类的方法来表现决策的关键要素，这样运维人员就能懂得模型的行

为,一旦出现异常就可以加以干涉^[7]。安全约束则是把网络规范、资源上限、业务协议等等转换成约束条件,融入到决策模型的动作遮罩或者奖励函数里面,从而保证生成的策略一直都在安全范围之内。这两部分一起形成了自主运维的可靠体系,也为人工智能在核心网络里的大规模应用提供必要的支撑。

6 体系评估与演进路径

6.1 自主运维效能评价指标体系

考评自主运维体系的时候,要形成起包含智能化水平、运维质量以及资源效率的立体指标体系。从智能化角度看,可以采用自智等级、决策历时、策略覆盖比例这些指标来考量系统自治水平和响应能力^[8]。就运维质量而言,重点在于故障自动恢复比率、业务中断持续时间、服务等级协议实现情况等关键指标。在资源效率方面,则要考量能耗效率、频谱利用率以及计算资源开支状况。这个指标体系既要重视当前表现又要看重发展潜能,给各个自治阶段提供可供量化参考的标准,从而支持技术路线之间的对比与抉择。

6.2 面向典型场景的能力验证

自主运维体系要在典型6G场景当中展开针对性验证,以此来考量它的实际合适程度和稳定水平。选定超大规模关联场景,用以验证资源调度以及干扰运作方面的自动改良能力;选择移动性高频场景,用来检测预测性转换和移动性稳定状况;选取网络切片动态编排场景,进而考查多目标判断以及意图保证能力。通过这种场景化的验证过程,可以找出智能模型在各类环境下存在的泛化限度和失效形式,从而给架构改良以及模型调整提供参考依据,使得自主运维体系在真正投入应用之前就具有足够的可靠性和完善性。

6.3 从自动化到自治化的演进策略

6G自主运维无法立即实现,要按照从自动化向自治化逐渐发展的路线来办。前期侧重自动化,利用规则加强和基本AI能力,做到重复任务的自动执行。中期转为有条件自治,在某些场景和网络域实现循环自改善,仍保留人工观察和干涉的渠道^[9]。后期朝着彻底自治的方向前进,实现全面跨域协作、按意愿推动并自主提升。该发展策略重视能力渐渐释

放、风险可控制范围内的安排以及运维流程的重新塑造,依靠技术更新和组织变革相配合,促使网络稳定地向低级智能向高级智能平滑过渡。

7 结语

面向6G网络的自主改进与运维体系是应对未来网络复杂性的必然之举。本文从自主性需求、改进机制、架构设计、使能技术和评定提升这五大维度入手,系统地创建起由人工智能激发的自主运维理论框架^[10]。研究表明,通过将内生智能、分层解耦、知识循环和可信机制相关联,可以有效地打破传统运维能力遭遇的瓶颈。后续的研究要进一步关注跨域协同模型、轻量化智能算法以及标准化接口,促使自主运维体系从理论架构迈向现网部署,从而给6G网络实现极简运行和内生自智提供坚实的支撑。

参考文献

- [1] 杨友盛,罗海涛,黄炜,等. 基于人工智能视域下计算机网络人工智能技术融合的研究[J].软件,2025,46(12):40-42.
- [2] 喻鹏,李超超,丰雷,等. 6G智能通信在新型电力系统中的关键技术及应用前景[J].电力信息与通信技术,2025,23(12):16-28.
- [3] 6G自适应智能将深刻改变无线连接的方式[J].中国宽带,2024,20(11):3.
- [4] 谢雨良,田雨晴,张朝阳. 6G智能内生无线通信网络:现状、挑战、系统设计和架构[J].移动通信,2024,48(08):8-12.
- [5] 黄展. 基于智能化天馈管控管理体系研究与应用[J].广西通信技术,2023,(01):39-43.
- [6] 施盛威. 新工科环境下人工智能专业人才培养策略研究[J].电子元件与信息技术,2023,7(01):133-136.
- [7] 华敏好. 面向6G的人工智能物联网技术革新与展望[J].江苏通信,2021,37(06):4-8.
- [8] 刘海涛,刘洋,冯晓丽,等. 6G室内覆盖展望及关键技术应用思考[J].电子技术应用,2021,47(12):5-8+14.
- [9] 武刚. 专题:6G的智能通信计算融合技术[J].无线电通信技术,2021,47(02):141-142.
- [10] 吴泽俊. 人工智能技术在网络安全防御中的应用[J].中国新通信,2021,23(02):88-89.