



通信与信息技术

Communication & Information Technology

国内统一连续出版物号：CN 51-1635/TN

国际标准出版物号：ISSN 1672-0164

邮发代号：62-166

题目：人工智能在通信系统的应用分析

作者：吴秋宏

优先出版日期：2025年8月15日

优先出版：优先出版是指编辑部录用并定稿的文章，通过具备网络出版资质的数字出版平台，先于印刷版杂志出版日期出版，文章内容、排版已定稿，视作正式出版。为确保录用定稿优先出版文章的严肃性，文章一经发布，不得修改题目、作者、作者排序、工作单位，只可基于编辑规范进行少量文字修改。

《通信与信息技术》为双月刊，逢单月底出刊，是国内外公开出版的自然科学学术期刊，设置了运营一线、热点技术、行业观察、解决方案、专网通信等栏目。

办刊宗旨：面向行业，沟通社会；宣传政策，促进发展；为通信发展服务，为通信企业服务，为通信科技人员和职工服务，为广大通信消费者服务，集信息性、行业性、技术性为一体的综合类通信刊物。

人工智能在通信系统的应用分析

吴秋宏

四川通信科研规划设计有限责任公司，四川成都 610101

摘要：随着互联网的快速发展，通信系统面临的数据流量越来越庞大，系统环境也更加复杂，与此同时，用户对通信服务的需求也在不断增加，使得传统的通信系统逐步表现出效率低、网络资源分配不合理等问题。人工智能具有强大的数据处理功能，并且还拥有模式识别、智能决策等方面的能力，对通信行业重塑网络架构、完善运行模式具有不可替代的作用，将人工智能引入通信系统管理旨在提升系统运行、管理效率。因此，深入分析人工智能提升通信系统效率的作用具有重要的意义，有助于推动通信产业的创新升级，为广大人民提供更好的服务，同时对于促进社会经济发展也具有重要的价值。

关键词：人工智能；通信；系统；网络；波束；定位

中图分类号： TN929.5

文献标志码：A

1 前言

通信系统经过几十年的发展，取得了很大的进步。早期的通信系统主要依赖于电话网络等方式，数据信息较为单一，传输速率较低，安全性较差。当前的通信系统已发展到全球互联的模式，除了电话，还包含数据、语音、视频等多种形式，网络速度也得到了飞跃式的提升。大数据、人工智能的快速发展对于数据通信系统运行产生了很大的影响，无论是在网络架构还是在应用场景方面，都发生了天翻地覆的变化。传统的大数据中心已经开始慢慢发展为智算/算力中心，人工智能训练推动了新型的流量模型出现，从而激发了大量的数据传输需求^[1]。人工智能发展对通信网络有很大的需求，如图1：在企业向智算中心传输数据的入算环节必须保障系统能够依据样本数据的规模、传输的紧急程度以及网络实时状况，灵活高效地调配网络资源，这样才能够保障样本数据稳定、快速地到达智算中心，避免由于系统拥塞或网络资源分配不合理导致数据传输延迟或丢失。与此同时，在智算中心内部，系统的作用也非常关键，要充分保障海量的数据能在计算节点、存储节点以及网络节点之间高效地流动，这样才能保障整个智算中心具备高效的运行效率。在分布式协同训练过程中，数据的完整性、准确性至关重要，广域互联网络必须要充分确保数据在跨算力中心传输过程中不会出现丢失、损坏等情况，这样才能充分保障训练过程顺利进行^[2]。

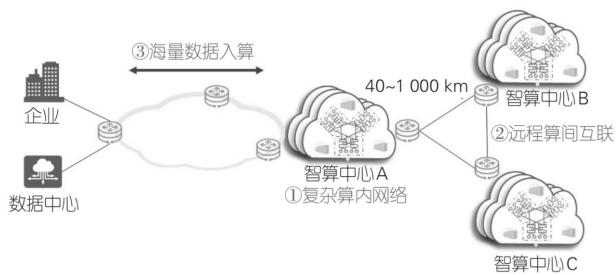


图1 网络在AI发展中的作用

2 无线通信系统中人工智能的应用场景

2.1 人工智能在物理层的应用

研究机构开展了人工智能在物理层的应用研究，一些机构也设计了较为完善的架构^[3]，如图2。

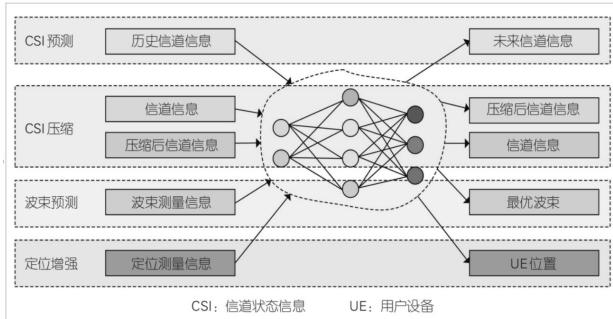


图2 人工智能在物理层的应用

2.1.1 基于 IA 的信道状态信息增强

信道状态信息 (Channel State Information, CSI) 压缩在应用过程中多使用双边模型，按照 3GPP Rel-18 (3rd Generation Partnership Project Release 18) 的仿真数据研究表明^[4]，与传统 Rel-16 的 e-Type II (Enhanced Type II Codebook Feedback Mode) 码本反馈模式比较，在最大秩为 4 的条件下，基于 AI 的 CSI 压缩反馈方法的增益可达 14.89%^[5]。CSI 预测多采用用户设备 (User Equipment, UE) 侧的单边模型应用，根据 Rel-18 的仿真结果，基于 AI 的预测算法能够实现 5%~17.2% 的增益。

2.1.2 基于人工智能的波束管理

在波束管理中，基于人工智能的波束管理又可以分为两个大的场景：空域波束预测与时域波束预测。在空域波束预测中，输入 AI 模型的数据是部分波束测量数据；常用的时域波束预测则主要包含恒定速度、直线轨迹等，区别于空域波束预测，时域波束预测的输入是历史时刻的波束测量结果，这种模型的优势是可以对未来时刻的最优波束信息直接进行预测。而两种模型都可以在基站侧或 UE 侧部署。一项来自于 3GPP 的评估结果表明，与传统的基于穷尽扫描的波束管理方法相比，基于 AI 的空域波束预测方法可将终端平均吞吐量性能提高到 85%~99%^[6]，并且预测时间越长，其预测性能越高。

2.1.3 基于人工智能的定位增强

人工智能在物理层定位的应用按照模型部署位置定义则主要包含 3 类：第一类是 UE 侧，第二类是网络侧，第三类是基站侧；依据模型类型区分主要包含 2 类：直接人工智能定位和人工智能辅助定位；如果是按照定位模式进行区分，基于人工智能的定位增强主要包含 3 种：一种是基于 UE 的模式，第二种是基站辅助模式，另外一种是 UE 辅助/基于网络的模式。不同的应用在测量信息的时候所用的 UE/基站原始信道也各不相同。一些研究开展了相关的评估，结果表明，在 InF-DH (Indoor Factory with Dense clutter and High base station height) 场景中，人工智能定位方法在 90% 情况下达到了 1 米以内精度的定位^[7]，特别是以信道冲激响应 (Channel Impulse Response, CIR) 作为模型输入时具有很高的定位精度。依照当下的发展速度，有理由相信，未来人工智能在 6G 物理层的应用范围会越来越广阔。

2.2 AI 在接入网的应用

在网络技术不断发展的情况下，网络系统越来越复杂，特别是随着双连接架构等技术的引入。传统的人机结合优化

方法弊端较大，不仅成本很高，且很容易出现差错。人工智能技术的引入则大大提高了其性能，主要体现在以下 3 个方面：

2.2.1 提升移动性

国际标准化组织技术规范组 RAN2 (Radio Access Network Working Group 2) 和 RAN3 均深入研究了基于人工智能的移动性增强，但两者又有所区别，RAN2 的侧重点是基于人工智能的空口移动性增强，其侧重的区域是测量空口以及评估预测异常事件，相比之下，RAN3 侧重的方向则是预测基站侧基于终端历史信息的切换轨迹。两者虽然有很多不一样的地方，但是又存在很紧密的联系，这种差异化和协同性有效地降低了终端的功耗，同时也提升了切换的性能。基于人工智能的空口移动性增强则有三个重点方向：第一个重点方向是无线资源管理 (Radio Resource Management, RRM) 测量预测，第二个重要方向是异常事件预测，第三类重点方向是测量事件预测。其中 RRM 测量预测又主要包含服务小区和相邻小区，在波束管理方面，基于人工智能的模式又增加了频域预测，这一预测技术的原理是通过频点 A 小区的 RRM 测量结果进一步对频点 B 小区的 RRM 测量结果进行预测，该方法可有效规避异频测量 gap 对用户上下行数据的干扰，使得用户峰值得到显著提升。基于人工智能的异常事件预测的组成部分又包括无线链路失败 (Radio Link Failure, RLF) 预测和切换失败预测，旨在早期识别下行链路可能出现的异常。

2.2.2 网络节能

当前 5G 网络已成为主流方式，而为支撑 5G 网络而兴建的数百万基站会大大提升二氧化碳排放量，同时也增加了能量的消耗量，因此运营商在发展期间对基站的节能也更加重视。人工智能的应用实现了智能激活，从而有效地降低无线网络的能耗，达到节能的目标。一些研究表明，当流量低于预设阈值的时候，基站能够自动关闭，同时把服务的用户无缝迁移到其他基站，大大提高了管理的智能化，而这种技术在传统模式中则无法实现^[8]。传统模式受技术条件的限制，时常会因为基站负荷分析不足而造成决策错误，而一旦出现决策性的错误，网络性能也就会在很大程度上受到影响，这是由于一个基站关闭以后，其他的基站承担的流量会显著增加，因此不但达不到减耗的目的，甚至可能增加能耗。

2.2.3 维持负荷均衡

平衡分配流量也是当前通信系统管理中的重点内容，因为当前网络流量迅速增长，加上多频段的广泛应用，维持分配流量的平衡也面临着越来越高的挑战，基于人工智能的通

信系统则为提升负载均衡性能提供了有力支持。人工智能通过收集网络各层及邻区的历史数据，充分利用基站侧模型的预测技术，对自身及邻区基站的未来负荷状态进行预测，由此采取有效的负载均衡策略，有效提升用户体验质量，同时进一步提升系统容量，为运营商持续优化网络性能奠定基础。

2.3 人工智能在核心网中的应用

核心网所有的网元已经历过 Rel-16、Rel-17 和 Rel-18 的发展，当下应用 Rel-19 中的定位管理功能（Location Management Function, LMF）便融合了人工智能理念，并拥有人工智能定位模型训练和推理的能力，也是当前市面上第一个除网络数据分析功能（Network Data Analytics Function, NWDAF）外具有人工智能的网元^[9]。随着互联网的快速发展，6G 标准即将到来，在 6G 标准中，有两个备受关注的方向，即人工智能跨域协同和网元人工智能内生。其中，跨域协同的定义则是运营管理与维护（Operations, Administration, and Maintenance, OAM）、无线接入网（Radio Access Network, RAN）、UE 和核心网协同进行测试数据收集和模型训练，在完成一个模型的训练以后再进一步开展跨域模型传递和部署。人工智能内生的定义则是除 NWDAF 和 LMF 外更多的网元内部具有人工智能能力，即不用向 NWDAF 请求人工智能相关分析，部分人工智能任务可以自己内部完成。

2.4 人工智能在网管的应用

在 OAM 系统中，一项非常重要的功能是管理数据分析（Model Driven Architecture, MDA）与人工智能技术结合，该项功能能够协助实现智能化的网络和服务管理。当下的 3GPP TS 28.104 关于 MDA 在 Rel-18 中作出了多项定义^[10]，如覆盖相关的分析、管理数据预测和统计、资源相关的分析、MDA 辅助的故障管理、信令链路选（Signaling Link Selection, SLS）分析等。在即将到来的 6G 标准中，将人工智能技术与 6G 技术相融合形成的技术将支持网络进一步向高阶自智演变，赋能意图驱动和闭环保障等自智网络的关键特性，能够对用户的意图有更加深入的理解，并由此为用户提供针对性的解决方案。实现在网络中实时监测、评估、分析和决策，引入 AI 技术后，人为介入大大减少，从而能够使网络性能得到更加充分的保障，增强模型的场景泛化能力。

3 人工智能技术优化通信系统效率的作用分析

3.1 优化无线资源分配

人工智能技术的应用对于提升通信系统效率发挥了至关重要的作用，一些研究者设计以机器学习技术为基础的云计算资源分配方案，在这一方案中，设计者在划分和匹配云任务和云资源中通过充分应用了蝙蝠算法和云计算资源模型，并由此为基础建立了相应的资源分配调度框架，从而有效地实现了高效调度云任务的目标，同时还实现了全局最优解的求解^[11]。另一位研究者陈慧敏^[12]则通过引入深度学习技术对无线信道状态进行感知，同时借助于强化学习技术对无线信道访问策略进行优化。结果表明，使用该方法后，无线设备的访问冲突显著降低，通信系统的平均吞吐量显著提升，无线网络的频谱资源得到了最大化地利用。由此可知，人工智能技术通过机器学习算法，能够有效对无线资源的分配进行优化，使得通信网络的性能和效率得到有效提高。

3.2 优化网络控制和路由

人工智能技术能够借助于强化学习等方法对通信系统的网络控制和路由进行优化，从而使通信系统的效率得到显著提高。例如，一方面，孙伟等^[13]推荐了一种新型无线网络拓扑优化和控制的方法，即通过多主体强化学习完成，这种技术的原理是通过对无线节点的传输功率进行调节，同时配合无线网络拓扑结构调整，从而使多跳无线网络的端到端传输速度得到提升，从而达到优化的目的。另一方面，孙永亮等^[14]还设计了一套集空天地一体化网络路由优化方法，该方法也是基于深度强化学习的软件进行定义，该方案主要是通过建立软件定义空天地一体化网络对节点和链路的状态数据进行收集整理，由此完成深度强化学习模型生成链路权重矩阵的训练。在实际应用中，转发数据的时候便可以通过 K 短路径算法计算一组候选路径，同时结合当下的监测数据结果，选择一个最优的路径完成数据转发任务。这种方式的优势是可以适应网络拓扑的动态变化，除此以外还可以使端到端平均时延和提高吞吐量得到降低，最终实现网络数据传输效率的提升。这种模式与传统网络控制和路由算法依赖于静态规则、策略相比能够更好地适应网络拓扑的动态变化，同时能够更好地处理流量负载的不确定性，最终有助于提升网络性能和稳定性。

3.3 图神经网络自适应修复网络故障

在通信系统管理中，人工智能技术不仅提高了管理效率，同时还能发挥排除故障的作用。万璐璐等^[15]表明，在传统的通信系统管理中，网络设备状态的监控和维护需要大量的人力、时间来完成，且对故障的识别和解决对管理人员的专业水平具有很高的要求。在通过引入人工智能后，网络管理和故障排除便实现了自动化。一些研究者对具有随机节点初始

化的图神经网络进行了深入分析,结果表明图神经网络具有强大的表达能力和通用性,也就是能够逼近任何连续函数,同时能够按照网络的结构和状态对多类函数进行学习,因此在日常管理中可以在短时间内发现和修复网络中的异常和故障,并实现实施监测反馈的目标,这种优势不仅节省了人力资源,也使得故障解决时间显著缩短,将通信系统的稳定性提升到新的高度。

4 人工智能应用于无线通信系统的未来展望

人工智能技术已成为当下最受关注的技术之一,正以相当快的速度在发展,各种基于人工智能技术的创新应用持续引入市场。如国际标准化组织技术规范组(3GPP)即将在Rel-20开启6G的研究,这一技术成熟之后,无线通信的应用场景将会更加广泛,包括基于人工智能的信道建模、基于人工智能的参考信号与数据信号的重叠发送、基于人工智能的小区搜索和随机接入增强等。

与此同时,人工智能在无线通信系统中的应用也面临着多方面的挑战,例如当前的应用主要集中在研究和标准化阶段,在广泛的商用方面则较为缺乏,同时,AI模型的泛化性问题存在较大的矛盾,如泛化性强的模型较为复杂,泛化性弱的模型则无法提供稳定的性能等,因此人工智能在通信系统中的应用是一项长期的研究。

5 结束语

在人工智能快速发展的当下,通信系统也正在经历着前所未有的变革,人工智能技术的应用大大提升了通信系统的管理效率,并在多个方面发挥了突破的作用,具有广阔的应用前景。与此同时,当前人工智能在通信系统中的应用依然面临着多方面的挑战,如商用推广不足、AI模型泛化性问题等。

未来,随着6G技术的日渐成熟,人工智能在无线通信系统中的应用场景也将更加广泛,要实现这一目标也需要持续投入研究,攻克技术难题,不断探索创新,推动通信系统向更高水平发展,为改善人们的生活提供坚实的支撑。

参考文献

- [1] 刘为波, 颜彪, 沈麟, 等. 基于AI通信的大规模MIMO信道状态信息反馈网络[J]. 电讯技术, 2024, 64(1):29–35.
- [2] 任天骐, 李荣鹏, 张宏纲. 通信网络与大模型的融合与协同[J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(2):29–36.
- [3] 高巍, 高静, 杨哲. 面向人工智能的数据通信网络发展[J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(6):3–9.
- [4] 魏兴光, 刘静, 陈嘉君, 等. AI在无线通信系统中的应用[J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(4):26–31.
- [5] 杨军. 基于人工智能的通信服务网络独立语义特征抽取算法[J]. 自动化与仪表, 2024(10):52–55.
- [6] 刘雅琼, 吕哲, 赵亚飞, 等. AI技术在卫星通信/互联网领域的应用综述[J]. 电信科学, 2023, 39(2):10–24.
- [7] 康宇, 刘雅琼, 赵彤雨, 等. AI算法在车联网通信与计算中的应用综述[J]. 电信科学, 2023, 39(1):1–19.
- [8] 翟恩南, 操佳敏, 钱坤, 等. 面向大模型时代的网络基础设施研究:挑战、阶段成果与展望[J]. 计算机研究与发展, 2024, 61(11):2664–2677.
- [9] 章广梅. 基于AI的无线网络感知技术研究综述[J]. 电讯技术, 2022, 62(5):686–694.
- [10] 贾焰, 方滨兴, 李爱平, 等. 基于人工智能的网络空间安全防御战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(3): 98–105.
- [11] 耶旭立, 曾强, 康萌. 基于AI智能关联技术的5G网络切片研究与实现[J]. 移动通信, 2022, 46(4):42–49.
- [12] 陈慧敏. 融合深度学习和强化学习的5G无线资源管理[J]. 移动通信, 2021, 45(4):135–139+148.
- [13] 孙伟, 吕秋硕, 黄磊, 等. 一种基于多智能体强化学习的无线网络拓扑优化控制方法:CN114828049A[P]. 2022.
- [14] 孙永亮, 廖森山, 陈沁柔. 一种基于深度强化学习的软件定义空天地一体化网络路由优化方法:CN114221691A[P]. 2022.
- [15] 万璐璐. 人工智能视域下网络空间安全的防御战略研究[J]. 中国宽带, 2022, 18(11):121–123.

作者简介

吴秋宏(1990—),男,中级工程师,主要研究方向:AI技术在移动通信中的应用。

Analysis of the application of artificial intelligence in communication systems

WU QiuHong

Sichuan Communication Science Research and Planning Design Co., Ltd., Chengdu 610101, China

Abstract: With the rapid development of the Internet, communication systems are facing an ever-growing volume of data traffic and increasingly complex operating environments. Meanwhile, users' demand for communication services keeps rising, which gradually exposes traditional systems as inefficient and incapable of allocating network resources rationally. Artificial intelligence possesses powerful data-processing capabilities, as well as strengths in pattern recognition and intelligent decision-making, making it irreplaceable for reshaping network architectures and optimizing operational models in the communications industry. Therefore, this paper introduces artificial intelligence into communication-system management with the aim of improving system operation and management efficiency. Consequently, an in-depth analysis of how artificial intelligence enhances communication-system efficiency is of great significance. It can accelerate the innovative upgrading of the communications industry, deliver better services to the public, and create substantial value for promoting socioeconomic development.

Keywords: Artificial Intelligence, Communication, System, Network, Beam, Positioning