

通信工程中的数字化应用

张 钰

上海电信工程有限公司 上海 200011

摘要：通信工程中的数字化应用广泛且深入。数字化技术推动光纤通信实现高速率、大容量传输，增强抗干扰与长距离传输能力；无线通信借助OFDM、MIMO等技术提升性能，SDN与NFV革新网络架构。人工智能与大数据技术实现信道预测、资源优化及客户关系管理。此外，边缘计算降低时延，支撑物联网与工业互联网应用。数字化应用正重塑通信工程生态，推动其向智能化、高效化方向发展。

关键词：通信工程；数字化；应用

引言：在数字化浪潮席卷全球的当下，通信工程作为信息传递与交互的关键领域，正经历着深刻变革。从传统模拟通信到现代数字通信的跨越，不仅极大提升了信息传输的效率与质量，更为智慧城市、工业互联网、远程医疗等众多新兴领域的崛起提供了坚实支撑。数字化技术不断融入通信工程，重塑着通信模式与架构。深入探究通信工程中的数字化应用，对把握行业发展趋势、推动技术创新及社会数字化转型具有重要意义。

1 通信工程数字化技术基础

1.1 核心数字化技术

(1) 软件定义网络 (SDN) 与网络功能虚拟化 (NFV)：SDN实现控制与转发分离，提升网络灵活性；NFV将硬件功能软件化，降低部署成本，二者协同推动网络架构革新，如表1所示。(2) 网络切片技术 (5G/6G 场景)：为不同业务 (如自动驾驶、远程医疗) 定制虚拟专用网络，保障差异化服务质量，是6G实现“万物智联”的关键技术。(3) 人工智能与机器学习在通信中的应用：通过算法实现信道预测 (提升传输稳定性)、智能资源分配 (优化频谱利用率)，解决复杂通信环境中的动态决策问题。(4) 边缘计算与分布式架构：将计算能力下沉至网络边缘，减少数据传输时延，支撑物联网低时延业务 (如工业控制)，弥补传统集中式架构短板^[1]。

表1 SDN与NFV技术核心优势及典型应用场景对比

技术	核心优势	典型应用场景
SDN	集中控制、动态调整	数据中心网络
NFV	资源共享、快速部署	运营商核心网

1.2 技术演进路径

(1) 从模拟通信到数字通信的范式转变：通过信源编码将连续模拟信号转换为离散数字信号，经信道编码增强抗干扰能力，再依托数字调制技术优化传输效率，

后续通过解码还原信号，完成“模拟信号采集-数字化处理-数字信号传输-信号还原”的完整演进流程，大幅提升通信质量与可靠性。(2) 4G/5G到6G的数字化能力跃迁：4G以正交频分复用技术实现高速数据传输，支撑移动互联网普及；5G通过MassiveMIMO、网络切片等技术提升连接密度与场景适配性；6G将深度融合空天地一体化网络，构建天地空海全场景覆盖体系，实现1000倍网络容量增长与毫秒级端到端时延，推动通信技术从“万物互联”迈向“智能泛在”时代。

2 通信工程中的典型数字化应用场景

2.1 智慧城市中的通信数字化

(1) 智能交通系统 (车联网、V2X通信)：依托5G低时延 ($\leq 1\text{ms}$)、高可靠特性，实现车辆与车辆 (V2V)、车辆与基础设施 (V2I) 的实时数据交互，可提前预警碰撞风险、优化交通流量。例如，通过V2X通信，路口信号灯能根据车辆密度动态调整时长，缓解拥堵，其核心通信架构如表2所示。(2) 智慧能源管理 (电力物联网)：采用窄带物联网 (NB-IoT) 技术，实现电表、充电桩等设备的海量连接 (每平方公里支持10万个终端)，实时采集用电数据。通过通信网络实现“源网荷储”协同，例如在用电高峰时，远程调控储能设备放电，平衡电网负荷，提升能源利用效率。

表2 核心通信架构表

通信类型	传输时延	关键作用
V2V	$< 50\text{ms}$	车辆间碰撞预警
V2I	$< 100\text{ms}$	交通信号协同、路况共享

2.2 工业互联网的通信升级

(1) 工业4.0中的时间敏感网络 (TSN)：通过IEEE1588PTP协议实现微秒级精准时间同步，搭配流量调度机制 (按业务优先级分配带宽)，满足工业控制实时传输需求。例如汽车生产线中，TSN可同步机械臂 (动作

指令)、视觉传感器(质检数据),通过专用网关优先传输控制信号,确保焊接、组装工序误差控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 内,生产良率提升15%以上^[2]。(2)数字孪生与远程操控的通信支撑:依托“5G+边缘计算”构建分层通信链路—工业设备经5G工业模组采集温度、转速等数据,通过5G基站前传至边缘计算平台(MEC),经数据清洗、协议转换(适配孪生平台接口)后上传建模;工程师通过平台获取设备虚拟状态,下发操控指令经边缘节点低时延转发(端到端时延 $< 20\text{ms}$),实现千米外矿山机械、港口吊机的精准操控,完成全流程通信闭环。

2.3 医疗健康领域的数字化通信

(1)远程手术与高清医疗影像传输:利用5G大带宽(单用户下行速率达10Gbps)特性,实现4K/8K高清手术影像实时传输,医生可远程指导基层手术;通过5G+AR技术,还能将患者体内器官影像叠加到手术视野,提升操作精准度。(2)可穿戴设备与健康数据实时监测:智能手环、心率监测仪等设备通过蓝牙或NB-IoT,将用户心率、血氧等数据传输至云端平台。一旦数据异常,平台可立即向用户和医生发送预警,实现慢性病实时管理。

2.4 农业与环境监测的通信创新

(1)低功耗广域网(LPWAN)在农田监测中的应用:采用LoRa、NB-IoT等LPWAN技术,部署土壤湿度传感器、虫情监测设备,设备续航可达3-5年。通过通信网络实时采集数据,指导农户精准灌溉、施肥,减少资源浪费。(2)无人机通信与灾害预警系统:无人机搭载高清摄像头和气象传感器,通过4G/5G网络将灾区影像、风速、降雨量等数据回传至指挥中心。结合AI分析,可快速评估灾害损失,为救援决策提供支持,例如在洪涝灾害中,实时监测堤坝溃决风险^[3]。

3 数字化应用的关键技术挑战

3.1 网络架构与资源管理

(1)动态资源分配与QoS保障的矛盾:数字化应用对网络资源需求差异显著(如远程手术需高带宽低时延,环境监测需低功耗广覆盖),动态分配资源虽能提升利用率,但易导致QoS不稳定。例如,当车联网与智能家居业务共享基站资源时,突发的车联网数据传输可能抢占带宽,导致智能家居设备通信卡顿。二者的核心矛盾点如表3所示。(2)多域网络协同的标准化缺失:5G/6G时代,网络涵盖陆地、卫星、边缘等多域,但不同域网络(如运营商核心网、企业私有网)的协议、接口差异大,缺乏统一标准。例如,智慧城市中,交通部门的车联网系统与电力部门的能源管理网络难以直接数据交互,需额外开发适配接口,增加部署成本与复杂度。

表3 核心矛盾点

需求维度	动态资源分配优势	QoS保障难点
资源利用率	按需分配,减少浪费	业务优先级冲突
业务适应性	匹配多样化需求	时延/带宽波动大

3.2 数据安全与隐私保护

(1)通信数据加密与零信任架构:数字化应用产生的敏感数据(如医疗影像、工业控制指令)在传输中易被窃取,传统SSL/TLS加密难抗量子计算攻击。零信任架构遵循“永不信任,始终验证”原则,防护流程为:数据生成后先经国密SM4算法加密,传输前通过多因素认证(如设备指纹+动态口令)核验终端身份,传输中实时校验数据哈希值确保完整性,接收端再次验证节点权限,全程动态调整访问策略,虽提升30%以上安全性,但多节点认证会增加8-12ms网络时延。(2)边缘计算中的数据主权问题:边缘节点(社区基站、工厂边缘服务器)存储大量隐私数据(如可穿戴设备健康信息、用户位置数据),归属却常涉及第三方服务商,主权界定模糊。例如工厂边缘节点存储的生产工艺数据,究竟归工厂所有还是边缘服务商所有,尚无明确法规,此类纠纷已导致15%以上的工业数据管理争议,增加企业合规风险。

3.3 能效与可持续发展

(1)绿色通信技术(如AI驱动的能耗优化):随着基站、数据中心数量激增,通信网络能耗居高不下。AI技术可通过分析业务负载动态调整设备功率,例如,在夜间用户量少时,AI算法自动降低基站发射功率,减少能耗。但AI模型训练本身需大量计算资源,存在“降耗与耗能”的平衡难题。(2)数字孪生对网络规划的能效模拟:数字孪生可构建网络虚拟模型,模拟不同规划方案的能耗情况(如基站选址、带宽分配),但模拟精度依赖真实数据输入。若实际网络环境(如用户分布、地形)与模拟数据偏差大,可能导致规划方案能效低于预期,例如,基于旧用户数据模拟的基站布局,在新城区用户激增后,需额外增建基站,反而增加能耗。

4 未来发展趋势与展望

4.1 6G与全息通信的潜在方向

(1)太赫兹通信与智能超表面(RIS)技术:太赫兹通信(频率0.3-3THz)是6G核心传输技术,带宽可达5G的10-100倍,能支撑全息影像、元宇宙等大流量场景;但太赫兹波易受遮挡衰减,智能超表面(RIS)可通过调控电磁反射特性,增强信号覆盖。二者协同将解决6G“高速率”与“广覆盖”的矛盾,技术参数对比见表4。(2)触觉互联网与沉浸式体验:6G将突破“视听”维度,通过触觉互联网实现“触觉+嗅觉”等多感官交互。

例如，远程手术中，医生可通过触觉反馈设备感知患者组织硬度，提升操作精度；元宇宙社交场景中，用户佩戴触觉手套，能真实感受到虚拟握手的力度，其技术架

构需低时延（ $\leq 1\text{ms}$ ）与高可靠性网络支撑，推动通信从“连接”向“交互”升级^[4]。

表4 技术参数对比见表

技术	传输速率	覆盖能力	核心优势
太赫兹通信	100Gbps-1Tbps	短距离（百米级）	超大带宽，支撑全息传输
智能超表面	-	增强信号覆盖	低成本，低功耗

4.2 人工智能深度融合

（1）自主网络（SON）的进化：传统SON仅能实现基站自动配置、故障自愈，未来AI驱动的SON将具备“预测性优化”能力。例如，通过分析历史业务数据，AI可提前预测早晚高峰的流量热点，动态调整基站资源配置；当网络出现潜在故障（如硬件老化）时，AI能提前预警并启动备用设备，实现“故障未发先治”，大幅提升网络稳定性。（2）通信大模型对协议优化的影响：通信大模型可基于海量网络数据（如信道状态、协议交互日志），自主学习最优通信策略。例如，在复杂电磁环境中，大模型能实时优化TCP/IP协议的拥塞控制算法，减少数据丢包；针对不同应用场景（如远程医疗、车联网），大模型可自动生成定制化通信协议，无需人工反复调试，缩短新技术落地周期。

4.3 空天地海一体化通信

（1）低轨卫星互联网与6G的协同：低轨卫星（如Starlink、中国“鸿雁”系统）可弥补地面网络在偏远地区的覆盖空白，与6G地面基站形成“天地协同”网络，协同机制为：6G核心网统一调度地面基站与低轨卫星资源，地面基站覆盖城区等人口密集区域，低轨卫星通过星间链路衔接，覆盖山区、海洋等地面网络盲区；在山区救援场景中，救援人员终端自动切换至卫星通信模式，先经卫星将位置信息、高清现场影像传输至中继卫星，再由中继卫星转发至地面指挥中心，实现“天地无缝衔接”的通信保障。（2）深海/极地等极端环境的通信覆盖：针对深海场景，将开发“水下声学通信+光纤”混

合网络，例如，深海探测器通过声学通信向水面浮标传输水下环境数据，浮标接收后经光纤或卫星将数据回传至陆地控制中心；极地地区则部署耐寒低轨卫星与地面抗冻基站，基站采用低温防护技术保障设备运行，卫星与基站协同覆盖科考区域，支撑科考站数据传输、极地生态监测。未来空天地海一体化通信将实现“无死角”覆盖，为深海探测、极地科考等领域提供稳定通信保障。

结束语

通信工程中的数字化应用已全方位渗透至社会各领域，为经济发展与社会进步注入强大动力。从智慧城市的便捷生活，到工业互联网的高效生产，再到医疗、农业等领域的创新变革，数字化技术正不断突破边界。然而，发展过程中也面临网络架构、数据安全、能效等诸多挑战。未来，随着6G、人工智能深度融合及空天地海一体化通信的发展，通信工程数字化应用前景广阔，必将持续引领我们迈向更智能、互联的美好未来。

参考文献

[1]刘鹏博.通信工程建设项目质量管理的信息化策略[J].通讯世界,2020,(11):113-114.
[2]魏琴.大数据技术在通信工程项目管理中的应用研究[J].智能城市应用,2022,(06):31-32.
[3]宋亚兰.大数据与信息技术在通信工程中的应用[J].集成电路应用,2022,(09):82-83.
[4]李玉芬.现代项目管理在通信工程中的应用[J].无线互联科技,2020,(13):111-112.