

基于物联网的通信工程优化策略研究

周 云

中国铁塔股份有限公司丽水市分公司 浙江 丽水 323000

摘要：随着物联网（Internet of Things, IoT）技术的迅猛发展与广泛应用，其海量设备接入、多样化业务需求及复杂网络环境对传统通信工程体系提出了前所未有的挑战。本文旨在深入探讨物联网背景下通信工程所面临的核心问题，并系统性地提出一系列针对性的优化策略。文章首先剖析了物联网通信的关键特征及其对通信工程在连接规模、时延、能耗、安全等方面带来的新要求；其次，从物理层、网络层到应用层，全面梳理并分析了当前主流的通信技术（如LPWAN、5G/6G、边缘计算等）在物联网场景下的适用性与局限性；在此基础上，本文重点构建了一个多层次、多维度的通信工程优化框架，该框架涵盖了面向海量连接的接入控制与资源分配策略、面向低功耗广域覆盖的能效优化机制、以及面向智能服务的端-边-云协同架构。本研究为构建高效、可靠、绿色且安全的下一代物联网通信基础设施提供了理论支撑与实践指导。

关键词：物联网；通信工程；优化策略；低功耗广域网；边缘计算；资源分配

引言

21世纪，以万物互联为核心的物联网技术迅猛发展，重塑着人类生产生活方式。从智能家居到智慧城市，物联网作为信息社会神经末梢，将物理实体经传感设备与互联网相连，实现信息交互。权威机构预测，到2030年，全球物联网连接设备将超500亿台，数据量达ZB级。如此爆炸式增长的数据与连接密度，给底层通信网络带来严峻挑战。传统通信工程围绕人与人通信设计，目标是保障高带宽、低误码率与良好体验。但物联网通信是“物联”，连接规模指数级增长，远超蜂窝网络承载力；应用需求高度碎片化，既有需超高可靠低时延通信（Ultra-Reliable Low-Latency Communication, URLLC）的工业场景，也有追求低功耗与广覆盖（Massive Machine-Type Communication, mMTC）的环境监测场景。这种“海量、异构、碎片化”特征，让传统“一刀切”的通信资源配置与网络管理方式难以应对，出现频谱浪费、网络拥塞、终端能耗高、服务质量难保障等问题。因此，物联网时代通信工程需革新，从多层面深度优化，构建适配不同场景、高效利用资源、稳定运行的通信体系，是学术与工业界焦点。本文在此背景下，梳理挑战并提出优化策略，为物联网通信基建发展提供参考。

1 物联网通信的关键特征与挑战

要制定有效的优化策略，首先必须深刻理解物联网通信区别于传统通信的本质特征及其衍生出的核心挑战。

1.1 海量连接与低活跃度

物联网最显著的特征是其庞大的设备基数。一个典型的智慧城市或工业工厂可能部署数以万计甚至百万计

的传感器节点。然而，这些设备并非始终处于活跃状态，它们通常以极低的频率（如每小时、每天）上报少量数据（如温度、湿度读数），呈现出“长睡眠、短突发”的通信模式。这种海量但低活跃度的连接模式，对网络的信令处理能力和随机接入机制构成了巨大压力^[1]。传统的基于竞争的随机接入过程（如LTE中的PRACH）在面对如此大规模的并发接入请求时，极易引发信令风暴，导致接入成功率骤降和网络瘫痪。

1.2 多样化的服务质量（QoS）需求

物联网应用横跨多个领域，其对通信性能的要求千差万别。例如：（1）mMTC场景：如智能抄表、环境监控，要求网络支持海量设备连接、具备广覆盖能力（如穿透地下室）、并实现超低功耗（电池寿命可达10年以上），但对时延和带宽要求不高。（2）URLLC场景：如远程手术、自动驾驶、工业机器人控制，要求端到端时延低于1毫秒，可靠性高达99.999%，但对连接密度和功耗的要求相对宽松。（3）eMBB场景：如高清视频监控、AR/VR，需要极高的数据传输速率。这种高度异构的QoS需求，使得单一的通信技术或网络切片难以满足所有应用，迫切需要一种能够动态感知业务需求并进行差异化服务保障的机制。

1.3 能源约束与覆盖难题

绝大多数物联网终端设备（尤其是部署在偏远或难以触及区域的传感器）依赖电池供电，更换电池成本高昂甚至不可行。因此，超低功耗设计是物联网通信的生命线。同时，许多应用场景（如地下管网、大型仓库内部）存在严重的信号衰减和遮挡，对网络的深度覆盖

能力提出了极高要求。如何在保证基本通信功能的前提下,最大限度地延长设备续航时间,并确保信号的有效覆盖,是物联网通信工程必须解决的关键问题。

1.4 安全与隐私风险

物联网设备通常计算能力和存储资源有限,难以部署复杂的安全协议。同时,其广泛分布于物理世界的各个角落,更容易遭受物理篡改、中间人攻击、分布式拒绝服务(DDoS)攻击等威胁。一旦某个设备被攻破,可能成为攻击整个网络的跳板。此外,物联网设备持续收集用户的行为习惯、位置信息等敏感数据,若缺乏有效的隐私保护机制,将对个人和社会安全构成严重隐患。

2 物联网通信关键技术分析

为应对上述挑战,业界和学界已发展出多种专门面向物联网的通信技术,它们各有侧重,适用于不同的应用场景。

2.1 低功耗广域网(LPWAN)技术

LPWAN是专为mMTC场景设计的技术家族,其核心思想是牺牲带宽以换取超远的通信距离和超低的功耗。

(1) LoRa/LoRaWAN: 基于扩频调制技术,工作在非授权频谱(如Sub-GHz),具有出色的链路预算和抗干扰能力,适合私有网络部署。(2) NB-IoT(窄带物联网): 由3GPP标准化,基于授权蜂窝频谱,可直接部署在现有的LTE网络上,具备运营商级的安全性和QoS保障,但部署成本相对较高^[2]。(3) Sigfox: 采用超窄带(UNB)技术,结构简单,但上行速率极低,且为闭源技术。LPWAN技术有效解决了物联网的覆盖与功耗难题,但在支持高移动性、高数据速率和超低时延方面存在明显不足。

2.2 5G及未来6G移动通信技术

5G通过三大核心技术支柱——eMBB、mMTC和URLLC,为物联网提供了统一的接入平台。特别是其网络切片(Network Slicing)技术,允许在同一物理基础设施上创建多个逻辑隔离的虚拟网络,每个切片可根据特定物联网应用的需求(如带宽、时延、安全性)进行定制化配置。5G的毫米波技术和大规模MIMO(Massive MIMO)也为高密度区域的容量提升提供了可能。展望未来,6G将进一步融合通信、计算、感知与AI,有望通过智能超表面(RIS)、太赫兹通信等新技术,为物联网提供更极致的性能体验。

2.3 边缘计算(Edge Computing)

边缘计算将计算、存储和网络资源下沉到网络边缘,靠近数据源和用户。对于物联网而言,这具有革命性意义。它能够:一是降低时延:本地处理数据,避免

了将所有数据回传至遥远云端所带来的传输时延,满足URLLC场景需求。二是减轻核心网负担:在边缘侧进行数据过滤、聚合和预处理,仅将有价值的信息上传,大幅减少了回传链路的带宽压力。三是增强隐私与安全:敏感数据可以在本地处理,无需离开用户所在区域,降低了数据泄露的风险。边缘计算与物联网的结合,催生了“端-边-云”协同的新范式,成为优化物联网通信效能的关键使能技术。

3 基于物联网的通信工程优化策略

针对前述挑战与技术特点,本文提出一个系统性的优化策略框架,该框架从接入控制、能效管理、架构协同三个维度入手,旨在全面提升物联网通信系统的整体性能。

3.1 面向海量连接的智能接入与资源分配策略

为解决海量设备并发接入导致的信令拥塞问题,传统的随机接入机制需要被智能化改造。(1)基于分组的接入控制:根据设备的地理位置、业务类型或QoS等级,将其划分为不同的逻辑组。网络可以为不同组分配独立的接入前导码(Preamble)或时频资源块,从而将大规模的接入竞争分解为多个小规模竞争,有效降低冲突概率。(2)基于机器学习的接入预测与调度:利用历史接入数据,训练机器学习模型(如LSTM)来预测未来一段时间内各区域的设备接入请求量。基站可以根据预测结果,动态调整接入窗口的大小、开放的前导码数量等参数,实现资源的前瞻性分配^[3]。例如,在预测到某区域将有大量设备唤醒上报数据时,提前预留充足的接入资源。(3)免授权接入(Grant-Free Access):在URLLC或某些mMTC场景下,允许设备在无需基站明确授权的情况下直接发送数据。这虽然会增加一定的接收端解调复杂度(需处理潜在的碰撞),但能极大缩短接入时延,对于时延敏感型业务至关重要。可通过设计先进的多用户检测(MUD)算法来缓解碰撞带来的性能损失。

3.2 面向低功耗广域覆盖的能效优化机制

延长终端设备寿命是物联网可持续发展的关键,能效优化需贯穿于通信协议栈的各个环节。(1)自适应功率与速率控制:设备应根据与基站的距离、信道质量(CQI)动态调整发射功率和调制编码方案(MCS)。在近距离或信道条件良好时,使用最低功率和最高阶调制,以节省能量并提高频谱效率;反之,则适当提高功率或降低速率以保证通信可靠性。(2)智能休眠与唤醒调度:引入更精细化的休眠机制。除了常规的周期性休眠,还可结合事件驱动(Event-Driven)模式。例如,当传感器检测到环境参数发生突变(如温度骤升)时,立即唤醒并上

报,而非等待下一个周期。同时,基站可以广播同步信号或下行控制信息,协调区域内设备的唤醒时间,形成“集群上报”,减少监听信道的的时间开销。(3)能量收集(Energy Harvesting)技术融合:鼓励在终端设计中集成太阳能、振动能、射频能等能量收集模块。通信协议需能感知当前的能量水平,并据此调整工作模式。例如,在能量充足时进行高频次采样和上报,在能量匮乏时则进入深度休眠或仅维持最基本的生存心跳。

3.3 面向智能服务的端-边-云协同架构

“端-边-云”协同是应对物联网数据洪流和多样化QoS需求的根本出路。(1)任务卸载决策优化:并非所有计算任务都适合在边缘或云端执行。本文提出一个基于多目标优化的卸载决策模型。该模型综合考虑任务的计算复杂度、数据量大小、应用的时延容忍度、当前边缘节点的负载状况以及终端的剩余电量等因素,通过求解一个效用最大化问题,智能决定任务是在本地执行、卸载到边缘还是上传至云端^[4]。例如,一个简单的数据格式转换任务可在终端完成,而一个复杂的图像识别任务则卸载至边缘服务器。(2)边缘缓存与内容分发:对于智慧城市中的公共信息(如交通路况、天气预报),边缘节点可以主动缓存这些热点内容。当区域内多个设备请求相同信息时,边缘节点可直接响应,避免了重复的回源请求,极大地节省了核心网带宽并加速了内容分发。(3)AI赋能的网络自治:将人工智能(AI)深度融合入网络管理和运维。利用AI算法对网络流量、设备状态、故障日志等进行实时分析,实现网络异常的自动检测、根因定位和自愈。例如,AI可以预测某个基站扇区即将过载,并提前触发负载均衡策略,将部分用户切换到邻近小区,从而防患于未然。

4 结语

本文系统地研究了物联网时代通信工程所面临的挑战,并提出了一套涵盖接入控制、能效管理和架构协同的多层次优化策略。研究表明,通过引入智能化的资源分配机制、精细化的能效管理手段以及创新的“端-边-云”协同架构,能够有效应对物联网海量连接、异构QoS、能源约束和隐私安全等核心难题。未来的物联网通信工程将朝着更加智能化、融合化和绿色化的方向发展。一方面,人工智能将成为网络内生的核心能力,实现从“被动响应”到“主动预测”的转变;另一方面,通信、计算、感知、存储等能力将进一步深度融合,形成一体化的信息基础设施。此外,随着对可持续发展的日益重视,绿色通信(Green Communication)理念将贯穿于物联网系统的设计、部署与运营全生命周期。本研究为这一演进过程提供了初步的思路与方法,但仍有许多深层次问题值得进一步探索,例如跨域资源的联合优化、量子安全通信在物联网中的应用、以及面向6G的通感算一体化网络架构设计等。

参考文献

- [1]朱洪波.我国信息通信行业物联网发展研究[J].新经济导刊,2025,(06):56-64.
- [2]张笑涵.基于物联网的5G通信工程技术应用[J].中国新通信,2023,25(02):7-9.
- [3]曹子健,关越.基于物联网平台的无线通信系统设计[C]//天津市电子工业协会.天津市电子工业协会2025年年会论文集.天津七一二通信广播股份有限公司;,2025:17-22.
- [4]许雅宁.物联网(IoT)在通信信息化中的关键作用[J].中国宽带,2025,21(04):28-30.