

5G+IoT 异构网络下终端设备的能耗优化与通信协议适配研究

王继

中国移动通信集团西藏有限公司，西藏拉萨，850000；

摘要：文章聚焦 5G+IoT 异构网络下终端设备能耗与通信协议适配难题，系统研究优化策略。在能耗优化方面，从硬件低功耗设计、通信协议优化、动态电源管理着手，通过选用低功耗组件、集成 SoC、适配低功耗协议、优化传输策略、智能电源管理等方式，降低设备运行能耗。在通信协议适配领域，提出 5G 与 IoT 协议栈跨层优化、构建 IoT PAL、建立多协议协同转换机制等策略，解决协议兼容性问题，提升网络通信效率。研究成果为推动 5G+IoT 异构网络下终端设备高效运行、促进智能互联应用发展提供理论与实践指导。

关键词：5G；物联网；异构网络；能耗优化；通信协议适配

DOI：10.69979/3041-0673.25.12.012

随着 5G 技术与物联网（IoT）的深度融合，5G+IoT 异构网络成为智能互联时代的核心基础设施。然而，终端设备在该网络环境下面临能耗过高与通信协议适配困难的双重挑战。高能耗制约设备续航与应用场景拓展，协议适配问题则影响网络通信效率与稳定性。本文围绕这两大问题，深入研究能耗优化策略与通信协议适配方法，旨在提升终端设备性能，推动 5G+IoT 技术的广泛应用。

1 能耗优化与通信协议适配问题

1.1 硬件能耗高且设计不合理

在 5G+IoT 异构网络生态中，终端设备的硬件能耗问题呈现出复杂且严峻的态势。从核心组件层面来看，处理器、传感器及无线通信模块构成了主要的能耗单元。部分厂商为追求极致的运算速度与数据处理能力，在处理器选型上盲目采用高主频、多核的高性能芯片，却未充分考虑设备实际应用场景的算力需求，导致芯片在运行过程中始终处于高负荷状态，即使面对简单的数据采集与传输任务，也消耗大量电能。传感器方面，许多物联网传感器在芯片设计阶段存在先天不足，电路架构缺乏优化，致使能量转换效率长期处于较低水平^[1]。以传统的温湿度传感器为例，其内部模拟电路与数字电路的信号转换过程中，存在严重的电能损耗，大量电能以热能形式散失，无法有效转化为数据处理所需的能量。无线通信模块的能耗问题同样不容忽视。为保障在复杂网络环境下的信号传输质量，部分低质量的无线通信模块不得不以较高的发射功率维持连接。特别是在 5G+IoT 异构网络中，网络覆盖的不均匀性与信号干扰问题加剧^[2]，这类模块往往需要频繁调整发射功率，进一步推高了能耗。此外，硬件整体设计缺乏系统性的节能规划，

各组件之间未能形成高效的协同工作机制，无法根据设备的运行状态与任务需求动态调整能耗，使得终端设备即便在低负载运行时，依然保持较高的能耗水平，严重制约了设备的续航能力与应用范围。

1.2 通信协议优化

在 5G+IoT 异构网络蓬勃发展的背景下，终端设备生产制造环节中的组件选型困境，已成为制约能耗优化与设备可持续运行的关键痛点。当前市场竞争环境下，厂商普遍陷入“性能优先”的选型误区，将传感器的采样精度、响应速度与通信模块的传输速率、覆盖范围等显性指标作为核心决策依据，而对功耗参数的评估权重严重不足。这种短视的选型策略，使得设备在设计源头便埋下高能耗隐患。在传感器选型方面，工业级应用场景中普遍存在“性能过剩”现象。部分厂商为满足理论上的极致精度需求，盲目采用 24 位高精度模数转换器（ADC）与高速采样电路，却忽视实际业务场景中数据更新频率低至分钟级甚至小时级的客观需求。^[2]这些高性能传感器即便在闲置状态下，其内置的信号调理电路、采样保持器等组件仍持续消耗电能，导致设备在非工作时段仍维持较高能耗水平。通信模块选型问题更为突出。为应对 5G 网络复杂的频段切换与信号衰减场景，许多工业网关与智能终端强制搭载全频段、高增益射频模块。即便在数据传输量极小的监控类场景中，这些模块仍需保持全功率运行以维持网络连接，无法实现动态功率调节。同时，受制于模块设计标准与接口协议的限制，多数通信模组缺乏负载自适应机制，即便在数据传输间隙也无法进入深度休眠状态，导致设备在低负载工况下的能耗利用率不足 30%^[4]。此外，组件选型过程中的系统适配性问题加剧了能耗浪费。不同厂商生产的传感器与通信模块在电源管理接口、数据传输协议等方面存在显

著差异,设备集成时往往难以实现组件间的能耗协同优化。这种各自为政的选型模式,使得终端设备在运行过程中无法根据实际负载需求,动态调整各组件的工作状态与能耗分配,最终导致整体能源利用效率低下。

1.3 电路设计存在系统性缺陷

在 5G+IoT 异构网络的终端设备领域,硬件电路设计的系统性缺陷已成为制约能耗优化的关键瓶颈。当前,多数设备的电源管理单元(PMU)仍采用传统的固定电压供电模式,缺乏根据负载实时调节电压与频率的能力。这种粗放式供电策略使得设备无论处于高负载数据处理阶段,还是低负载待机状态,硬件组件始终维持在最高性能对应的供电标准下运行。例如,当智能终端设备处于数据接收缓冲或短暂空闲时,处理器、内存等核心组件依然保持满负荷运行时的电压与频率,导致大量电能无效运转中被消耗。而未能普及的动态电压频率调整(DVFS)技术,本可通过精准匹配任务需求,动态降低电压与频率,实现显著的节能效果,却因设计理念滞后和成本考量,难以在终端设备中广泛应用。此外,电路布线环节存在的不合理性进一步加剧了能耗问题。在紧凑的设备空间内,高速信号传输线路与电源线路布局不当,极易引发信号反射与电磁干扰。特别是在 5G 高频通信场景下,信号传输的高速特性对布线要求更为严苛,稍有不慎就会导致信号完整性受损。为弥补信号传输质量的下降,无线通信模块不得不提升发射功率以维持稳定连接,这种被动式的补偿措施使得设备能耗呈指数级增长。更值得关注的是,不合理的电路设计还会引发各组件间的电磁耦合效应,造成信号串扰,迫使设备增加额外的滤波、屏蔽措施,进一步挤占有限的能耗资源。同时,硬件电路缺乏统一的能耗管理架构,各功能模块的供电与功耗控制相对独立,无法形成协同优化机制。例如,传感器阵列在完成数据采集后进入休眠状态,但与之相连的数据处理单元和通信模块仍保持高功耗运行,各组件间缺乏有效的能耗联动机制,导致设备整体功耗居高不下。这种缺乏系统性规划的电路设计,不仅造成能源浪费,还缩短了设备的续航周期,严重制约了 5G+IoT 终端设备在复杂场景中的应用拓展^[5]。基于以上问题,本文研究能耗优化策略与通信协议适配方法,旨在提升终端设备性能,推动 5G+IoT 技术的广泛应用

2 5G+IoT 异构网络下终端设备通信协议适配策略

2.1 5G 与 IoT 协议栈的跨层优化

在 5G 与 IoT 深度融合的异构网络架构中,传统网

络协议栈的分层设计模式正面临严峻挑战。传统分层架构将网络功能严格划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层及应用层等独立层级,各层仅通过标准接口进行有限交互,这种“各司其职”的设计在 5G+IoT 场景下暴露出显著弊端。5G 网络的高带宽、低时延、海量连接特性与 IoT 设备多样化的数据传输需求(如工业传感器的毫秒级响应、智能电网的周期性数据上报等),使得不同层级间频繁出现资源调度失配、信息交互滞后等问题。例如,当工业自动化系统中传感器采集到设备异常数据时,传统分层架构需依次经过数据链路层封装、网络层路由选择、传输层分段等流程,导致数据从感知层传输至应用层的时延高达数十毫秒,难以满足实时控制需求;同时,各层独立的资源管理策略也容易造成网络资源浪费,如核心网在未感知无线接入网负载压力的情况下持续分配资源,加剧网络拥塞风险。

跨层优化技术通过打破协议栈各层级间的固有边界,构建起信息共享与协同决策的新型架构体系。该技术核心在于建立跨层信息交互通道,使无线接入网(RAN)、核心网与应用层能够实时共享关键参数与状态信息^[6]。例如,应用层可将业务的实时性要求、数据优先级等需求直接反馈至核心网与无线接入网,无线接入网则将信道质量、终端设备位置等信息同步至核心网,为资源动态分配提供依据。在 3GPP R17 标准中定义的网络数据平面(NDC)接口,正是跨层优化的典型实践。NDC 接口通过整合 RAN 与核心网的控制功能,将跨层控制时延从传统架构的数十毫秒降低至 2ms 以内,极大提升了数据传输的实时性与可靠性。在车联网应用场景中,基于 NDC 接口的跨层优化方案可使车辆传感器采集的路况信息在极短时间内传输至云端,并将交通控制指令实时下发至车辆,为自动驾驶系统提供关键支撑。

2.2 物联网协议适配层(IoTPAL)的构建

在 5G 与物联网(IoT)深度融合的背景下,协议兼容性问题成为制约异构网络高效运行的关键瓶颈。MQTT(消息队列遥测传输)、CoAP(受限应用协议)等轻量级物联网协议,凭借低带宽需求与资源友好特性,广泛应用于终端设备数据交互;而 5G 核心网则基于 3GPP 标准构建,采用服务化架构与网络切片技术,二者在数据格式、通信机制与服务模型上存在显著差异。例如,MQTT 采用发布/订阅模式传输 JSON 格式数据,而 5G 核心网遵循基于 HTTP/2 的服务化接口规范,这种差异导致终端设备在接入 5G 网络时需进行复杂的协议转换与适配处理,直接影响设备接入效率与网络扩展性。据统计,传统协议转换方式会引入高达 15%的数据传输时延,

且在大规模设备接入时易出现协议解析性能瓶颈^[7]。

物联网协议适配层 (IoTPAL) 的构建,本质上是在异构网络环境中搭建起一座协议互通的“数字桥梁”。该适配层采用分层解耦架构,通过协议映射、语义转换与服务抽象三大核心功能,实现物联网协议与 5G 核心网的无缝对接。在协议映射层面, IoTPAL 针对不同物联网协议设计专用解析模块,将 MQTT 的 Topic 主题结构、CoAP 的资源标识符 (URI) 转换为 5G 核心网可识别的服务化接口调用参数;在语义转换方面,通过构建统一的数据描述模型,将设备采集的原始数据(如温湿度传感器的物理量数据)转换为符合 5G 网络服务规范的结构化信息;在服务抽象环节, IoTPAL 将物联网设备的功能封装为标准化网络服务,使 5G 核心网能够基于服务质量 (QoS) 需求动态分配资源。这种设计模式支持亿级设备的并行接入与管理,且通过分布式缓存与异步处理机制,将单设备接入时延降低至 50ms 以内。在智慧城市建设场景中, IoTPAL 的价值得到充分体现。城市中部署的智能路灯、交通传感器、环境监测设备等,往往采用 Zigbee、LoRa、NB-IoT 等不同通信协议,数据格式与传输需求差异显著。通过部署 IoTPAL,这些异构设备能够统一接入 5G 网络,实现数据的集中管理与协同应用。

2.3 多协议协同与转换机制

在 5G+IoT 异构网络生态中,多种通信协议共存的现状给终端设备间的互联互通带来巨大挑战。从底层通信链路到上层应用协议,网络环境呈现出显著的异构性:短距离通信领域,蓝牙以其低功耗特性适用于可穿戴设备近距离数据交互,Wi-Fi 凭借高带宽优势承担家庭多媒体设备的数据传输任务,Zigbee 则凭借自组织网络能力构建智能家居设备网络;长距离通信方面,5G 以高速率、低时延、大连接特性支撑广域范围的设备接入,NB-IoT、LoRa 等低功耗广域网技术则满足远程监测类设备的低功耗通信需求。不同协议在数据格式、传输机制、通信规则上的差异,使得跨协议数据交互面临语义不匹配、传输效率低下等问题,亟需建立系统性的多协议协同与转换机制^[8]。

协议转换网关作为实现多协议互联互通的核心枢纽,通过构建分层协议解析与映射架构,有效解决了协议间的兼容性问题。在物理层与链路层,网关集成多种通信模块,可同时接入蓝牙、Wi-Fi、Zigbee 等不同协议设备,实时监测各链路的通信状态;在网络层与应用

层,内置的协议转换引擎通过预定义的转换规则,将源协议数据解构并重构为目标协议可识别的格式。以智能手环的数据上传流程为例,当手环通过蓝牙协议向家庭网关发送心率、运动数据时,网关首先解析蓝牙数据包中的数据字段,将其从蓝牙特有的 ATT (属性协议) 格式转换为通用的 JSON 格式,随后根据 5G 核心网的服务化接口规范,重新封装数据并添加 QoS (服务质量标签,最终通过 5G 网络传输至云端服务器。这种转换过程不仅实现了协议格式的适配,还能根据数据类型动态调整传输策略,如对实时性要求高的运动数据优先分配 5G 网络资源,保障数据传输的时效性。

3 结语

在 5G+IoT 异构网络环境下,终端设备的能耗优化与通信协议适配是保障网络高效运行、推动智能应用发展的关键。本文提出的硬件低功耗设计、通信协议优化、动态电源管理等能耗优化策略,以及协议栈跨层优化、IoTPAL 构建、多协议协同转换等适配方案,从多个维度为解决相关问题提供了有效途径。未来研究可进一步结合人工智能、边缘计算等前沿技术,深化能耗与协议适配的协同优化,以应对更复杂的应用场景,助力 5G+IoT 技术释放更大的产业价值。

参考文献

- [1]张波.边缘计算网络安全防线联动与攻击主动防御关键技术研究.南京理工大学,2019.
- [2]甄云昌 1 庄须娟 1 郑荣 2 物联网技术在机械制造自动化系统中的应用.中国战略新兴产业.2025-05-10.
- [3]高舰.基于阵列采样的宽带信号高精度获取技术研究.电子科技大学.2020-03-31.
- [4]孙巍伟,卓奕君,唐凯.面向工业 4.0 的智能制造技术与应用.化学工业出版社.202207.
- [5]夏蒙健;丁震.5G 技术在煤矿智能化建设的应用[J].工矿自动化,2023(S1).
- [6]杨力,潘成胜,孔相广,黄琦龙,戚耀文.5G 融合卫星网络研究综述[J].通信学报,2022,43(04):202-215.
- [7]赵洁.5G 网络的安全发展趋势探析[J].信息记录材料,2021,22(11):65-66.
- [8]闫复利.5G+卫星融合通信应用研究[J].长江信息通信,2021,34(06):22-24.

基金项目:2024 年智慧仓储管理系统研发项目。