

面向物联网的数字信号处理技术应用挑战与应对策略

钟育秀

重庆对外经贸学院, 重庆 401520

摘要: 物联网 (Internet of Things, IoT) 的快速发展对数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 技术提出了新的需求与挑战。在海量数据传输、实时性需求和设备异构化的背景下, 传统 DSP 技术在性能、能效和适应性上面临诸多瓶颈。因此, 本文分析了物联网环境中 DSP 技术的主要应用挑战, 指出当下存在低功耗需求、高实时性数据处理、边缘计算的普及及数据安全等问题, 并探讨了相应的应对策略。

关键词: 物联网; 数字信号处理; 低功耗

Challenges and Countermeasures of Digital Signal Processing Technology for Internet of Things

Zhong, Yuxiu

Chongqing College of International Business and Economics Hechuan, Chongqing, 401520, China

Abstract: The rapid development of the Internet of Things (IoT) puts forward new demands and challenges for Digital Signal Processing (DSP) technology. Under the background of massive data transmission, real-time demand and equipment heterogeneity, traditional DSP technology faces many bottlenecks in performance, energy efficiency and adaptability. Therefore, this paper analyzes the main application challenges of DSP technology in the Internet of Things environment, points out that there are some problems such as low power demand, high real-time data processing, popularization of edge computing and data security, and discusses the corresponding countermeasures.

Keywords: Internet of Things; Digital signal processing; Low power consumption

DOI: 10.62639/sspis12.20250202

随着物联网 (Internet of Things, IoT) 的普及, 其全球市场规模在近年来呈现爆发式增长, 据权威数据预测, 2025 年全球物联网设备数量将突破 300 亿台。物联网以其海量数据连接能力驱动着智慧城市、智能制造、医疗健康等领域的技术革新, 而在这些应用中, 数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 技术作为核心支撑, 面临着前所未有的挑战。从实时性到能效, 从边缘计算的普及到隐私安全的保障, 传统的 DSP 架构和算法在适应性与效率上逐渐显现局限性。尤其是在低功耗、高实时性和复杂分布式处理需求的推动下, DSP 技术需要进行全面升级与创新, 这不仅是物联网发展的技术瓶颈, 更是各行业实现数字化转型的关键一环。

一、物联网对 DSP 技术的主要挑战

(一) 低功耗需求的迫切性

物联网设备的核心在于实现随时随地的智能连接, 而这种愿景不可避免地受到能源供应的限制^[1]。由于大多数物联网终端设备依赖电池供电, 且部署环境往往难以实现频繁更换或充电, 因此能量消耗成为决定设备功能实现与寿命长短的关键瓶颈。传统数字信号处理算法大多基于复杂的数学运算模型, 其设计逻辑优先考虑性能最大化, 而非能耗最小化。在物联

网场景下, 面对计算复杂度和硬件资源约束之间的矛盾, DSP 技术需要重新审视能量与计算资源的分配策略。从优化角度来看, 如何通过算法的稀疏化设计或硬件的深度低功耗优化, 来实现能量损耗的最小化, 已成为研究的重点。

(二) 实时数据处理的高要求

物联网的实时性需求直接决定了其信号处理能力的优劣, 而这又与物理层数据采集和传输的时效性密切相关。在智能交通和工业控制等高时效性领域, 毫秒级的延迟可能直接导致功能失效甚至灾难性后果。传统中心化架构的信号处理方式通常依赖高性能云端服务器以获得处理能力最大化, 然而网络传输的不确定性和复杂场景下的延迟累积常常阻碍其满足物联网的高时效需求^[2]。与此同时, 物联网数据流具有突发性、非线性增长的特点, 这也对 DSP 算法的计算弹性和系统适配能力提出了更高要求。在此情境下, 将传统单一的信号处理算法转变为更灵活、更具有上下文适应能力的动态算法成为一种技术趋势。

(三) 边缘计算普及与分布式处理复杂性

随着边缘计算的普及, 物联网信号处理正在向着分布式、去中心化的方向发展。边缘设备作为分布式信号处理的核心节点, 不仅需要承担传统的终端数据采集任务, 还需进一步完成一部分复杂的数据预处理。然而, 由于边缘

(稿件编号: IS-25-2-1017)

作者简介: 钟育秀 (1983-), 女, 汉族, 四川省内江市, 本科, 讲师, 研究方向: 信号处理。

设备的硬件资源普遍受到成本和体积的双重限制, 其计算能力和存储容量都较为有限, 如何在这前提下合理分配信号处理任务成为技术设计中的难点^[3]。更进一步, 分布式环境中的信号处理涉及设备间的协同与同步问题, 尤其在多个边缘节点协同工作时, 处理链路中的延迟累积和数据一致性问题可能导致系统性能急剧下降。

(四) 数据安全性与隐私问题

物联网设备所处理的信号数据涵盖用户的行为、位置甚至生物特征信息, 因此其隐私保护和数据安全的重要性不言而喻^[4]。在传统的 DSP 技术框架下, 信号处理主要专注于信息的高效采集与处理, 却往往忽视了敏感信息保护的需求。然而, 在物联网场景中, 信号数据的泄露或篡改不仅会导致个人隐私受损, 甚至可能威胁关键系统的稳定运行。加密算法的嵌入和可信硬件的应用成为保护信号数据的常见手段。例如, 差分隐私技术以数学模型的方式实现对用户隐私的保护, 同时不影响数据处理的准确性; 可信执行环境则通过硬件隔离的方式为 DSP 任务提供安全运行空间。值得关注的是, DSP 技术在实现数据保护的同时, 仍需维持处理效率的最优化, 如何在这一过程中权衡安全性与性能之间的矛盾, 仍是物联网信号处理亟待突破的技术障碍。

二、应对策略分析

(一) 面向低功耗的硬件与算法优化

面对物联网环境中对低功耗的迫切需求, 硬件与算法优化成为核心议题, 需要从多角度深入探讨并实施多层次解决方案。在硬件设计层面, 专用集成电路 (ASIC) 和现场可编程门阵列 (FPGA) 的高效性和灵活性, 使其在满足特定信号处理需求的同时实现了功耗的显著降低。ASIC 设计注重针对特定任务的深度优化, 其紧密的逻辑结构减少了不必要的计算开销, 而 FPGA 则以其可编程性为设计提供了更高的灵活性, 适合动态任务调整的物联网场景。然而, 硬件层面的改进需要与算法优化协同才能进一步激发潜能^[5]。在算法优化方面, 稀疏表示和压缩感知方法可以有效减少计算中不必要的数量传递与冗余操作, 直接降低能量损耗。针对实际应用场景, 算法应更加注重轻量化设计, 避免传统算法中过高的计算复杂度, 同时兼顾精度需求。此外, 动态电压频率调节 (DVFS) 技术通过调节硬件运行状态来适应负载变化, 在轻负载时降低功耗, 在高负载时保持性能需求, 使能量使用效率达到最大化。具体而言, 这种技术应结合物联网设备的任务调度机制, 以动态调整频率与电压配置, 实现功耗与性能的平衡。然而, 仅有技术层面的优化仍不足以彻底解决问题, 生态链的整体协调同样至关重要。例如, 开发平台应提供硬件与算法协同优

化的接口与工具链, 帮助开发者在不同层面更好地进行资源调度与功耗优化。此外, 研究与实践需持续深化, 探索更低功耗的材料与设计方法, 同时在算法设计中融入更多对能量消耗的评估与约束模型, 使整个优化过程更具系统性与科学性。唯有从全局角度出发, 结合硬件与算法的协同演进, 才能在物联网的低功耗需求下开辟更加可持续的技术路径。

(二) 引入人工智能增强实时处理能力

在物联网场景中, 为了有效提升实时信号处理能力, 人工智能技术的引入被视为一种突破性的策略, 其核心在于利用 AI 算法的高效性和智能性来处理复杂数据流。卷积神经网络 (CNN) 等深度学习模型具有强大的特征提取能力, 能够以极高的精度和速度从多维度数据中提炼关键信息, 这种能力在处理图像、语音等非结构化数据时尤为突出。CNN 的层次化结构使其能够快速捕捉数据的局部和全局特性, 从而缩短响应时间。然而, 深度学习模型的高效运行往往依赖硬件加速器的支持, 如 GPU 和 TPU, 这对物联网设备的小型化和低能耗特性提出了更高的要求。为适应这一需求, 轻量化神经网络模型 (如 MobileNet) 在实际应用中展现了良好的性能与效率平衡。这种模型通过剪枝和量化技术显著减少计算量, 使得边缘设备能够负担起实时处理任务。

此外, 在线学习算法的引入进一步扩展了物联网设备在动态环境中的适应能力。这类算法通过持续更新模型参数, 使系统能够随着环境和任务的变化实时调整处理策略, 从而提升适应性和灵活性。在线学习的优势在于无需重新训练模型便可完成调整, 这对资源受限的物联网设备尤其重要。然而, 在线学习的部署需要解决模型更新过程中的计算负载与内存占用问题, 以免拖累整体实时性能。为此, 算法设计可以重点关注增量更新和参数共享策略, 在提高效率的同时减少资源开销。

人工智能技术的引入不仅局限于算法本身, 软硬件协同优化也是关键。物联网平台应提供针对 AI 算法的优化工具链, 使开发者能够根据具体应用需求灵活调整算法结构与参数。此外, 开发过程需要更加注重数据预处理与任务分解, 通过合理的资源分配与任务协作减少系统瓶颈。综合来看, 人工智能赋能物联网信号处理是一项系统性工程, 需从算法优化、硬件支持到开发流程多方面协调推进, 才能为复杂动态场景中的实时处理需求奠定可靠的技术基础。

(三) 借助边缘计算实现分布式协同处理

在分布式处理需求日益增长的背景下, 边缘计算提供了全新的解决思路, 将部分数字信号处理 (DSP) 任务从中心节点转移到边缘设备, 显著缓解了中心系统的资源压力, 同时提升了数据处理的实时性和响应效率。这种模式的核心在于协调边缘设备与云端资源的功能互补, 构建高效的协同工作机制。针对这一目标, 分

布式处理的实现需要从任务调度策略、数据传输优化以及节点协作方式等多个方面入手, 以最大限度发挥边缘计算的潜能。

在任务分配上, 调度算法需要具备对设备资源状况的动态感知能力, 从而合理划分任务负载, 避免单点过载导致系统瓶颈。实现这一目标, 可以引入基于负载均衡的实时调度算法, 结合设备的当前计算能力和网络状况, 动态调整任务分布, 从而在全局范围内实现性能优化。同时, 多层次的处理架构能够对任务类型进行分级, 将高实时性需求的简单处理任务分派至边缘设备, 而将复杂、资源消耗较大的任务集中在云端处理, 以此在资源受限与性能需求之间达成平衡。

数据路由方面, 针对物联网中动态拓扑结构和多点数据传输的特性, 路由协议的设计需要具备自适应性和高效性。引入自组织网络协议能够应对设备的频繁变化, 减少数据传输的中断风险。同时, 为了进一步降低网络负载, 数据预处理功能可以在边缘节点上实施, 将部分数据清理、聚合功能前置, 从而减少冗余数据向云端传输的压力。通过这种方式, 不仅减少了延迟, 还提升了总体数据流的处理效率。

在设备协作方面, 分布式协同处理的关键在于各节点之间的高效同步与协调。通信协议的优化需要考虑时间同步、误差校正等功能, 以应对多节点协作中潜在的时序问题。在硬件层面, 边缘设备需具备适应多任务并行处理的能力, 而在软件层面, 轻量级虚拟化技术能够帮助不同任务在有限资源条件下共存运行, 从而提高系统的灵活性与可扩展性。

整体来看, 边缘计算在分布式协同处理中的应用, 不仅涉及硬件与算法的协同设计, 更依赖于系统架构的整体优化。这一过程需要在性能与能耗之间找到动态平衡, 同时兼顾部署成本和实际场景需求的多维度限制。通过科学的系统设计和不断的技术迭代, 边缘计算与 DSP 技术的结合必将在物联网中实现更高效、更智能的分布式处理体系, 推动相关应用领域的进一步拓展。

(四) 加强数据加密与隐私保护技术

在物联网信号处理的场景中, 数据的安全性和隐私保护已经成为关键议题, 尤其在处理用户敏感信息时, 任何潜在的泄露风险都会对系统的可信度和用户信任产生严重影响。为实现对数据的有效保护, 需要在数据存储、传输和处理的全生命周期内实施多层次、多维度的安全策略, 其中, 数据加密和隐私保护技术成为重要支柱。

从加密技术的角度来看, 端到端加密的引入能够在数据从源头到目标设备的整个传输过程中实现保护, 避免中间节点被篡改或截获的可能性。而在此基础上, 同态加密技术的应用突破了传统加密方法的局限性, 使得在不解密数据的情况下直接对其进行计算成为可能。这种方法尤其适合需要高安全性的分布式信号处

理任务, 因为它在保护数据隐私的同时并未牺牲处理效率。此外, 差分隐私的引入能够通过添加噪声的方式隐藏个体数据特征, 从而在统计分析和模型训练过程中实现对个体隐私的保护。

在硬件层面, 可信执行环境 (TEE) 提供了一种可靠的安全解决方案, 其通过隔离敏感数据处理过程, 将关键数据和运算放置在可信区域, 从而降低了被恶意软件攻击的风险。这种机制特别适用于需要本地处理敏感数据的场景, 例如医疗设备或金融终端。在系统设计中, 强化对 TEE 的应用可以显著提升整体系统的抗攻击能力, 同时提升敏感任务的运行可靠性。

此外, 结合区块链技术的分布式身份认证方案可以进一步增强物联网环境中的数据可信性。通过去中心化的特性, 区块链为每一笔数据交易提供了防篡改和可追溯的保障, 从而有效缓解了传统集中式身份认证中存在的单点失效问题。分布式信号处理系统可以借助这种机制实现设备间的安全交互, 特别是在多方协同处理任务中, 可以通过分布式账本记录各节点的任务参与情况和数据使用痕迹, 提升透明性和信任度。

同时, 需要注意的是, 数据加密和隐私保护技术的应用往往伴随着计算资源的消耗和系统延迟的增加, 因此在设计阶段必须平衡安全性与性能之间的矛盾。为此, 采用硬件加速器和轻量化算法可以在一定程度上缓解资源压力。此外, 通过持续的安全性测试与更新, 及时应对新兴威胁, 才能确保物联网信号处理系统的安全策略始终保持与威胁演变的同步, 从而构建起真正坚不可摧的保护屏障。

三、结论

物联网的高速发展为数字信号处理技术提供了广阔的应用空间, 同时也带来了多重挑战。利用低功耗设计、AI 算法增强、边缘计算优化和数据安全保障等多维度的应对策略, DSP 技术正在逐步突破传统瓶颈, 为物联网的进一步发展奠定基础。在未来, 跨学科的创新与合作将是推动 DSP 技术迈向新高度的重要推动力。

参考文献:

- [1] 林齐发. 物联网技术下的声源定位系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37 (09): 150-152.
- [2] 王民, 顾欢. 数字技术在工业电气自动化中的应用与创新 [J]. 中国宽带, 2023, 19 (10): 82-84.
- [3] 段翠翠, 栾学德. 基于物联网技术的微弱光电信号自动检测研究 [J]. 激光杂志, 2022, 43 (05): 187-191.
- [4] 丁本翔. 基于深度学习和物联网技术的局部放电检测方法研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [5] 赵艳丽. 基于 OBE 理念的物联网专业信号类课程改革 [J]. 中国管理信息化, 2017, 20 (22): 231-232.