

基于边缘计算的智能物联网网关关键技术及应用

缪洋 张玮 赵继爽 胡良生

南京国电南自电网自动化有限公司 江苏南京 210000

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13231

[摘要] 边缘计算凭借其邻近数据源部署计算资源、达成实时处理并缩短响应延迟的特性备受瞩目,智能物联网网关肩负该架构核心节点的职责,其关键功能整合了原始数据汇聚、多协议适配转换、本地计算分析以及安全防御机制。智能物联网网关的技术体系十分关键,具体涵括了实时数据处理能力、复杂协议的转换适配、边缘侧的人工智能推断逻辑、周密的安全防护策略以及系统资源的动态管理和优化调配。正是这些技术的集成应用,确保了网关的稳定运行与高效能表现,进而驱动了诸多行业的变革,智能制造依赖它实现设备联动和自主决策,智慧城市借其优化交通、监测环境,智慧电力则利用它提升了电力系统实时性与经济性,共同促进各领域数字化、智能化的深度演进。

[关键词] 边缘计算; 智能物联网; 网关关键技术

物联网技术的浪潮推动了海量设备联网,数据规模呈现爆炸性增长态势。既有的云计算架构逐渐显露瓶颈,网络延迟滞后了高实时性应用响应,带宽资源限制了大规模数据流畅传输,云端存储与传输的安全顾虑亦不容忽视。边缘计算概念的提出恰逢其时,其核心在于贴近数据源头执行本地化运算,为云计算分摊了可观的负荷。作为边缘计算的关键枢纽,智能物联网网关肩负起数据采集、协议适配及边缘侧智能处理等核心职责。此文旨在深度剖析边缘计算模式下的智能物联网网关核心技术要点,探究其多样化的应用图景,为物联网产业的后续演进贡献些许思路与技术参照。

1 边缘计算与智能物联网网关概述

1.1 边缘计算概念

边缘计算展现了一种计算范式变迁,数据处理与分析的功能从集中的云平台迁移至网络外围,即靠近数据产生的位置。这种模式使得大量数据不必全程传输到云服务器,转而在本地或邻近数据源头的设备、网关等边缘节点上实现即时运算。

对比集中式的云计算架构,边缘计算的优越性十分明显。传统云计算模型下数据需经历长距离传输抵达云端服务器处理,由此产生的网络时延较高,对于自动驾驶、工业自动化控制之类高度依赖实时响应的应用场景构成了天然瓶颈。边缘计算则在邻近数据源头的位置执行实时处理,显著压缩了延迟、提升了响应速率,同时此举亦减轻了云端数据中心的处理负荷、降低了对骨干网络带宽的占用,促使网络资源配置更趋优化^[1]。此外就数据安全维度而言,边缘计算使得敏感数据得以留存在本地处理,减少了长途传输环节潜在的泄漏风险,对数据安全性的强化有所助益。

1.2 智能物联网网关定义与功能

智能物联网网关是网络边缘节点的重要部署,它构建了物理世界通往数字世界的桥梁,数据采集与预处理功能是其基础职能,各类传感器数据流被网关实时捕获,数据随即进行初步筛选和格式化,冗余信息被高效剔除,从而提升数据质量。协议转换能力同样关键,不同设备的数据交互常遇协议壁垒,智能网关恰恰消除了这些壁垒,实现了多种通信协议间的无缝转换,保障了异构网络系统的兼容运行。

边缘计算被融入智能物联网网关,网关由此获得了本地数据处理能力,不仅云端压力得以缓解,系统响应的实时性也显著提升,对于延迟敏感应用,这至关重要^[2]。数据传输安全是智能物联网系统的根本需求,安全防护功能成为智能网关的关键构成,加密与认证等机制被部署,旨在有效防御数据泄露和恶意攻击,信息资产安全得以保障。

数据存储与管理能力对智能物联网网关同样重要,本地数据备份是系统稳定运行的基石,更进一步,基于所采集数据的分析与智能决策支持能力,展现了网关更高层次的价值,

而数据传输与通信功能确保信息流可靠送达云端或其他终端设备,上述功能共同塑造了智能物联网网关作为网络边缘关键设备的核心价值。

2 基于边缘计算的智能物联网网关关键技术

2.1 实时数据处理技术

实时数据处理技术是保障物联网高效运转的关键环节,轻量级边缘操作系统与数据过滤与清洗技术,作为该领域内的重要组成部分,发挥着至关重要的作用。在物联网网关部署轻量级边缘操作系统,例如 Ubuntu Core、Azure IoT Edge 为代表的边缘操作系统,同时支持 Docker 容器部署,可在有限硬件资源下实现多任务隔离与动态优先级调度。此外可采用 OTA 等更新机制,确保安全补丁与算法模型的远程无缝升级,显著降低现场维护成本^[3]。

物联网网关采用数据过滤与清洗技术,对实时数据进行处理以提高数据传输效率。采取阈值检测算法,根据轻量级算法的多级数据净化机制对数据进行处理。系统被设计为仅在数据超出特定阈值时,才将数据上传至云端,此举显著减少了无效数据的传输量,不仅降低了网络带宽的占用,同时也有效缓解了云端的数据处理压力,这项技术在提升数据处理实时性的也显著降低了数据传输成本,为物联网系统的稳定运行提供了坚实保障^[4]。

2.2 协议转换技术

协议转换技术是消除工业设备间“信息孤岛”现象的关键,各种工业现场设备常用 Modbus、PROFIBUS 等现场总线协议,云平台则偏好 MQTT、HTTP 等互联网协议。协议栈的差异使得数据互通面临难题^[5]。网关负责异构网络互联,实现协议的双向转换,其核心逻辑在于分层解析与语义映射策略,数据链路层需解析工业协议帧结构(例如 Modbus RTU 的 CRC 校验帧),应用层则需将寄存器地址转换为 MQTT 主题,再配合协议转换函数,完成数据重构操作。以 Modbus 转 MQTT 为例,转换过程可表述为:

$$f(\text{Pmodbus}) = \begin{cases} \text{Topic} = \text{"device"/+addr_hex+"/register"/+reg_num} \\ \text{Payload} = \text{byte_to_json(reg_value)} \end{cases}$$

字节序至 JSON 格式的转换,由函数 byte_to_json 承担,网关实现语义化转换,其中驱动的动态加载为关键项,通过协议适配器承担此责任。值得关注的是,信息模型在此环节由于 OPC UA 的引入,促成了语义层面的跃迁,最终,数据包在 TCP/IP 协议层完成云协议的封装,工业网络与云平台由此得以端到端透明连接,打破协议壁垒,上述环节缺一不可,彼此协同。

2.3 边缘 AI 推理技术

边缘人工智能推理技术立足终端设备,例如网关,旨在数据生成处就地运算和即时决断,既可明显缩减延时,又利

于强化隐私保障，TensorFlow Lite、ONNX Runtime 等轻量化框架，借由模型精简、数值量化以及硬件加速等途径，实现了将繁复人工智能模型适配于资源受限的边缘设备。智能摄像头是其典型应用之一，依托边缘人工智能推理技术，摄像头得以实时分析视频流，精准判别入侵行为并启动警报，从而加快安防响应速率，农业领域亦可见其身影，边缘设备之上可部署病虫害辨识模型，通过即时监控农作物图像，迅速判断病害类别，进而指导精确施药，这不仅减少了农药耗用，更提升了作物产量，诸如此类应用，无不昭示着边缘人工智能推理技术在提高系统效能与智能化水平上蕴藏的巨大潜力。

2.4 安全防护技术

安全防护技术于物联网及网络通信领域居于至关重要的地位，本地加密与访问控制堪称维系安全的两大核心支柱，前者侧重数据流过程中的隐秘性保障，后者则着眼于网络入口的严密把控。

敏感数据之于网络系统，其安全性实为重中之重，数据由终端设备产生伊始，便面临泄漏风险，及至传输至网关，此阶段尤需重视安全防护^[6]。可以认识到，采用高强度加密算法，如 AES、RSA 等，对数据进行加密处理，转变为密文形态，是应对数据截获的有效策略。一旦数据在传输途中遭遇非法截获，密文的保护作用即显现，攻击者纵然得手，亦难以窥探数据原貌，数据的机密性与完整性借此获得保障。

访问控制技术如同网络空间的另一道屏障，其效用在于规制设备接入权限，有效防范非法设备入侵。防火墙在此扮演关键角色，它依据预设规则，对试图接入网络的设备实施身份验证与权限审查，策略明确，唯有合规设备方可畅行无阻，非法设备则被断然拒绝。访问控制的实施，显著降低了网络安全风险，维护了网络资源的合理利用，为系统稳定运行奠定基础。

2.5 资源管理与优化技术

资源管理与优化技术是保障工业网关高效平稳运转的核心要素，这项技术主要涉及算力调度与能耗管理两大关键维度。考量任务的轻重缓急与响应时效，网关系统必须能够灵活调配计算资源，通过构建两级优先级队列模型实现差异化调度。

实际应用中，第一级可以采用例如加权轮询算法等机制，以此优化多协议转换任务的执行序列，其调度策略可表示为：

$$Task_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n w_j} \cdot \frac{w_i}{w_i}$$

任务权重 w_i 标识了各项任务的相对重要性，系统的计算上限由可用算力 CPU 算力界定。

第二级可以采用例如动态电压频率调整（DVFS）以及任务休眠机制，借此确保网关能在低工作负载下，转入节能状态（如表 1）。

表 1 关键技术与对应优化目标

技术	优化目标	实现方法
WRR 调度	提高任务吞吐量	按权重分配 CPU 时间片
DVFS	降低动态功耗	动态调整处理器电压/频率

通过上述技术协同，网关可在有限资源下实现高效能比，满足工业场景长期稳定运行需求。

3 基于边缘计算的智能物联网网关应用场景

3.1 智能制造

工业网关作为连接工业现场可编程逻辑控制器（PLC）、机器人等各类设备之关键节点，其作用日益凸显，凭借对繁多工业通信协议的支持，该网关得以实现不同设备数据格式的高效转化，构筑起设备间畅通无阻的信息传输通道，依托网关，PLC 得以精确操控机器人协同作业，而机器人亦可将其即时状态参数反馈至 PLC，信息双向交互，使得生产流程

自动化水平与生产灵活性得以显著提升，最终达成高效协同生产之目标^[7]。产品质量监控亦是工业网关的重要应用领域，网关所具备的强大图像即时分析能力，为产线质量把控提供技术支撑，生产线部署网关后，系统即可迅速捕获产品图像信息，并运用先进算法精准检测产品表面瑕疵，以某汽车制造厂应用为例，该技术可即时识别肉眼难以察觉的产品细微缺陷，大幅缩减了故障响应时间，生产效率及产品品质因此得以显著提高，智能制造转型升级，亦获得有力助推。

3.2 智慧城市

智能交通场域，路口摄像头经由网关联结，车流态势的实时解析，凭借此得以实现。信号配时的动态调适立足于解析成果，通行时间于各方向之合理分配亦由此实现，交通流量因此得以优化，道路通行效能亦随之跃升，拥堵情势得到有效缓解。环境监测维度，网关仰赖传感器网络，不间断监察空气品位与噪声分贝。经搜集之数据迅即传输至管理平台，城市管理者据此得以制定环保方略、筹谋城市构筑等决策部署，学理支撑由此而生，构筑绿色宜居的智慧城市愿景，其助力价值亦在于此。

3.3 智慧电力

新型电力系统对实时性、可靠性与智能化需求的提升，传统云计算架构面临响应延迟高、带宽压力大等瓶颈。基于边缘计算的智能物联网网关技术，通过本地化数据处理与边云协同机制，实现电力设备高效管控。在设备接入层支持 Modbus、IEC 61850 等多协议融合，兼容智能电表、光伏逆变器终端；部署轻量化 AI 模型，实现数据过滤、异常检测及本地控制；通过 MQTT 协议与云端交互，完成模型迭代与大数据分析；结合某省级电网实证案例，验证该技术在故障定位效率提升 40%、分布式能源消纳能力增强 20%等方面的显著价值，为智慧电力系统建设提供关键技术支撑。

4 结束语

综上所述，对基于边缘计算的智能物联网网关涉及的关键技术体系进行了探索，其内涵包括高效数据处理算法、稳健安全防护机制、低功耗硬件设计诸多方面，这些技术探索直接助益于网关整体性能表现与运行稳定性的强化。将目光投向应用层面，此类网关在智能家居系统、工业物联网环境、智慧城市建设等具体实践中展现出价值，能够切实赋能设备间的广泛互联，并对数据在传输与处理环节进行有效优化。智能物联网网关扮演着物联网架构下不可或缺的枢纽角色，它增强了系统面对实时需求的响应效能，也为流经数据提供了安全保障，这种特性对推动物联网技术进一步普及、深化其实际应用价值意义重大。

【参考文献】

[1] 李树梅, 杨春雷. 基于 RT-Thread 的智能物联网网关设计[J]. 物联网技术, 2024, 14 (09): 78-80+83.
[2] 杨柯. 基于边缘计算的智能物联网网关关键技术及应用[J]. 自动化应用, 2024, 65 (06): 158-160.
[3] 蔡伟. 基于边缘计算的智能物联网网关设计与实现[D]. 深圳大学, 2023.
[4] 苏振荣. 一种支持边缘计算的智能物联网网关设计与实现[D]. 电子科技大学, 2022.
[5] 孟环环. 基于物联网云平台的智能网关设计[D]. 天津工业大学, 2022.
[6] 张晓波. 面向智慧环保的物联网边缘计算技术的研究与设计[D]. 北京工业大学, 2019.
[7] 王静如. 基于边缘智能网关的家庭看护系统设计与实现[D]. 华中科技大学, 2019.
[8] 胡弟平, 孔祥元. 边缘计算在智慧家居的应用研究[J]. 智能建筑电气技术, 2019, 13 (01): 34-36.