

基于5G的工业物联网设备远程管理与控制技术研究

李广聪

郑州工业应用技术学院

DOI:10.32629/acair.v4i2.20396

[摘要] 随着工业4.0战略的深入推进,工业物联网已成为制造业转型升级的核心驱动力,而5G通信技术凭借其高带宽、低时延和海量连接的特性,为工业物联网设备的远程管理与控制提供了关键的网络基础。本文首先分析了5G技术赋能工业物联网的技术优势与应用需求,梳理了网络切片、边缘计算和低延时传输等关键使能技术;其次,从设备状态监测、远程运维控制和协同制造管理三个维度,深入探讨了远程管理与控制系统的架构设计与技术实现方案;最后,针对系统部署中面临的网络安全、设备异构接入和运维保障等挑战提出了优化策略。

[关键词] 5G通信; 工业物联网; 远程管理; 设备控制; 网络切片; 智能制造

中图分类号: U283.1 **文献标识码:** A

Research on Remote Management and Control Technology for Industrial Internet of Things Equipment Based on 5G

Guangcong Li

Zhengzhou University of Industrial Technology

[Abstract] With the deepening of the industry 4.0 strategy, the industrial Internet of Things has become the core driving force for the transformation and upgrading of the manufacturing industry, and 5G communication technology provides a key network foundation for the remote management and control of industrial Internet of Things devices with its high bandwidth, low latency and massive connectivity. This paper first analyzes the technical advantages and application requirements of 5G technology-enabled industrial Internet of Things, and sorts out key enabling technologies such as network slicing, edge computing and low-latency transmission. Secondly, from the three dimensions of equipment condition monitoring, remote operation and maintenance control and collaborative manufacturing management, the architecture design and technical implementation scheme of remote management and control system are discussed in depth. Finally, the optimization strategy is proposed for the challenges of network security, equipment heterogeneous access and operation and maintenance support in system deployment.

[Key words] 5G communication; Industrial Internet of Things; remote management; device control; network slicing; smart manufacturing

引言

工业物联网作为新一代信息技术与先进制造业深度融合的产物,正在深刻改变传统工业生产的组织方式和管理模式。通过在生产设备、仪器仪表和工业系统中嵌入各类传感器和通信模块,工业物联网能够实现设备运行数据的实时采集、远程传输和智能分析,从而为企业的生产调度、质量管控和设备运维提供数据驱动的决策支持。然而,传统的工业通信网络在带宽容量、传输时延和终端接入密度等方面存在明显的性能瓶颈,难以同时满足大规模工业设备高频率、高可靠和低时延的数据传输需求,这在很大程度上制约了工业物联网远程管理与控制功能的深入应用。

5G通信技术的商用落地为上述问题的解决带来了突破性的技术方案。5G网络在峰值速率、端到端时延和连接密度等核心指标上较4G实现了数量级的跃升,特别是其网络切片能力可以在同一物理网络上为不同类型的工业应用创建逻辑隔离的虚拟专网,从而在资源配置层面保障关键业务的服务质量。吴文鹏在研究5G赋能下工业物联网设备互联及协同制造模式时指出,5G的大带宽和低延时特性使得工厂内部以及跨区域的设备协同控制成为现实,传统模式下必须由现场操作人员完成的工作越来越多地可以通过远程方式实现^[1]。本文在上述背景下,系统研究基于5G的工业物联网设备远程管理与控制的关键技术、系

统架构和应用实践,并针对当前面临的主要挑战提出可行的应对策略。

1 5G赋能工业物联网的技术基础

1.1 5G通信技术的核心特性

5G移动通信系统定义了增强移动宽带、超可靠低时延通信和大规模机器类通信三大应用场景,这三大场景恰好覆盖了工业物联网中不同类型业务的差异化需求。增强移动宽带场景提供的峰值下行速率可达20Gbps,能够支撑高清视频监控画面的实时回传和大规模设备数据的并行传输。超可靠低时延通信场景将端到端时延压缩至1毫秒级别,同时保证99.999%以上的传输可靠性,这对于远程精密控制和紧急停机指令的下发至关重要。大规模机器类通信场景支持每平方公里百万级别的终端接入能力,完全可以满足大型工厂车间内数以万计的传感器和执行器同时在线的连接需求。这三大场景的协同支撑,使得5G网络成为当前最适合承载工业物联网多样化业务的通信基础设施。

1.2 网络切片技术

网络切片是5G技术体系中最具变革意义的创新之一,它允许运营商在同一套物理网络基础设施上,通过软件定义的方式虚拟化出多个相互隔离的逻辑网络,每个切片都可以根据特定业务场景的需求进行独立的资源配置和参数优化。程斌等人在关于5G网络切片技术在物联网中应用的研究中系统分析了切片技术的实现架构和资源调度策略,指出网络切片能够为不同优先级的工业物联网业务提供差异化的服务质量保障^[2]。在工业物联网远程管理的具体实践中,可以为设备监控视频流分配一个高带宽切片,为控制指令的下发分配一个超低时延切片,为非实时的设备状态上报分配一个普通切片,三者在同一物理网络上互不干扰地并行运行。这种灵活的资源管理方式不仅提高了网络利用效率,更重要的是从架构层面保证了关键控制业务在网络拥塞情况下仍然能够获得稳定可靠的传输通道。

2 远程管理与控制系统的架构设计

2.1 系统总体架构

基于5G的工业物联网设备远程管理与控制在总体架构上通常采用端-边-云三级协同的设计思路。终端层是整个系统的数据源头和执行末端,由分布在各生产现场的工业传感器、智能仪表、可编程逻辑控制器和各类执行机构组成,负责采集设备运行参数并执行来自上层的控制指令。这些终端设备通过内置或外接的5G通信模组接入无线网络,与传统的有线工业总线方案相比,5G无线接入消除了布线施工的繁琐和线缆维护的负担,极大地提升了设备部署的灵活性,尤其适合移动设备和恶劣环境下的数据采集场景。

边缘层部署在工厂园区或产线附近,承担实时数据预处理、本地控制逻辑执行和短周期数据缓存的职能。边缘计算节点配备一定的计算和存储资源,能够运行轻量级的数据分析模型和控制算法,对时延要求在毫秒级的控制回路就近完成响应,避免因数据远距离往返而引入不可接受的延迟。云端层是系统的中

枢大脑,部署在企业数据中心或公有云平台上,负责全局数据汇聚、大规模数据分析与挖掘、设备全生命周期管理、远程运维工单管理和多厂区协同调度等高阶功能。三级架构各司其职、协同配合,在保证实时性的同时兼顾了系统的可扩展性和经济性。

2.2 设备状态监测与数据采集

设备状态的实时监测是远程管理系统最基础也是最核心的功能模块。通过在关键设备上部署振动传感器、温度传感器、电流传感器和油液分析传感器等多类型监测装置,系统能够持续获取设备的运行参数、环境参数和工艺参数。5G网络的大带宽和海量连接能力使得高频率、高密度的数据采集成为可能——传统4G网络受限于上行带宽,许多工位只能进行低频次的定时采样,而5G网络支持对关键设备进行每秒数百甚至数千次的高频数据采集,这对于捕捉设备异常的早期微弱信号极为重要。艾墨轩和马雪芮在基于5G工业物联网的造纸设备运行数据实时采集监控研究中,以造纸生产线为实际应用场景,验证了5G网络条件下多台设备运行数据的高频并行采集和实时可视化展示的可行性,证明该方案能够有效提升设备运行状态的感知粒度和监测覆盖率^[3]。采集到的海量数据在边缘节点完成去噪、压缩和特征提取后上传至云端平台,由大数据分析引擎进行趋势预测和健康度评估,为预测性维护决策提供数据依据。

2.3 远程运维控制与协同管理

远程运维控制功能的实现依赖于5G网络超可靠低时延通信能力的有力支撑。在传统模式下,设备出现故障后通常需要运维工程师亲赴现场进行检修,尤其对于分布在偏远矿区、海上平台 and 高温高压车间等危险或不便到达区域的工业设备,现场运维的时间成本和安全风险都相当高昂^[4]。基于5G的远程运维系统使得工程师可以在远程控制中心通过高清视频画面实时观察设备状态,借助增强现实辅助界面直观地了解设备内部结构和故障部位,并通过远程操控机械臂或直接下发参数调整指令来完成诊断和修复操作。整个控制回路的端到端时延被压缩在10毫秒以内,操作体验几乎与现场操作无异。

3 面临的挑战与优化策略

3.1 网络安全威胁与防护

5G工业物联网环境下的网络安全问题较传统工业网络更加复杂和严峻。一方面,海量终端设备的接入大幅扩展了潜在的攻击面,许多工业传感器和嵌入式控制器由于硬件资源受限,难以运行复杂的安全防护软件,容易成为网络攻击的薄弱环节。另一方面,5G网络的开放性和虚拟化架构虽然带来了灵活性,但也引入了新的安全风险点,网络切片之间的隔离如果不够严格,攻击者有可能通过低安全级别的切片横向渗透至承载关键控制业务的切片。王运付等人在基于5G的工业物联网网络安全威胁识别及消减建议的研究中,全面梳理了5G工业物联网面临的主要安全威胁类型,包括终端仿冒攻击、中间人窃听、拒绝服务攻击和供应链后门等,并从终端安全加固、网络传输加密、切片安全隔离和安全态势感知平台建设四个层面提出了系统化的威胁消减

策略^[5]。建立纵深防御的安全体系,是保障5G工业物联网远程管理系统可靠运行的基本前提。

3.2 设备异构接入与协议兼容

工业现场的设备种类繁多、品牌各异、通信协议标准不统一,是远程管理系统在实际部署中面临的一个突出技术难题。不同年代采购的设备可能分别使用Modbus、Profibus、OPC UA、MQTT等不同的工业通信协议,一些老旧设备甚至不具备网络通信能力,需要额外加装协议转换网关才能接入5G网络。解决异构设备接入问题的关键在于构建一个标准化的设备接入中间件层,该中间件对下屏蔽不同设备协议的差异,对上提供统一的数据模型和应用编程接口。在中间件的设计中,应当采用模块化和插件化的架构思路,针对每一种工业协议开发对应的适配插件,当需要接入新类型的设备时只需添加相应的插件模块,而无需对系统整体架构进行大幅改动。同时,推进工业通信协议的标准化进程,鼓励设备制造商在新产品中优先支持OPC UA等开放标准协议,从源头上逐步缓解协议碎片化带来的集成困难。

3.3 运维保障与持续演进

5G工业物联网远程管理系统的建设并非一蹴而就的项目,而是一个需要持续运维和迭代升级的长期过程。5G网络基础设施的运维涉及基站设备巡检、网络性能优化、切片资源动态调整等专业工作,对运维团队的技术能力提出了较高要求。边缘计算节点和云端平台的软件系统同样需要定期更新算法模型、修补安全漏洞和扩展功能模块。建议企业建立专门的工业物联网运维团队,或与5G运营商和系统集成商建立长期的运维服务合作关系,确保网络 and 平台始终处于最佳运行状态。在技术演进方面,应当密切关注5G-Advanced和6G技术标准的发展动态,在系统架构设计中预留充足的升级空间,使系统能够随着通信技术的代际演进而持续提升性能。此外,复合型人才的培养也是不可

忽视的环节,兼具通信技术、工业自动化和数据分析能力的跨领域人才是支撑系统长期健康运行的核心资源。

4 结语

5G通信技术与工业物联网的深度融合,正在为工业设备的远程管理与控制开辟全新的技术空间。本文从5G的核心技术特性出发,系统分析了网络切片、低延时传输和边缘计算等关键使能技术在工业物联网远程管理场景中的应用价值,构建了端一边一云三级协同的系统架构,并围绕设备状态监测、远程运维控制和协同制造管理等核心功能进行了深入探讨。同时,针对网络安全防护、异构设备接入和系统运维保障等现实挑战,提出了切实可行的优化策略。总体而言,基于5G的工业物联网远程管理与控制技术能够显著提升工业生产的运营效率、降低运维成本并提升安全保障水平,是推动制造业向智能化和数字化方向发展的重要技术支撑。

[参考文献]

- [1]吴文鹏.5G赋能下工业物联网设备互联及协同制造模式探索[J].科技资讯,2025,23(19):57-59.
- [2]程斌,唐鹏,万传栋.5G网络切片技术在物联网中的应用研究[J].价值工程,2025,44(29):125-128.
- [3]艾墨轩,马雪芮.基于5G工业物联网的造纸设备运行数据实时采集监控研究[J].造纸科学与技术,2025,44(06):116-120.
- [4]陈琰.基于5G通信的工业物联网设备数据低延时传输方法[J].电工技术,2025,(14):237-239+242.
- [5]王运付,刘霞,姜元山.基于5G的工业物联网网络安全威胁识别及消减建议[J].物联网技术,2025,15(08):51-54.

作者简介:

李广聪(2003--),男,汉族,河南省濮阳市濮阳县人,本科在读,职称:学生。