

面向智能制造车间的工业物联网无线通信技术优化与应用

张维磊

郓城县人民政府发展研究中心 山东 菏泽 274700

摘要: 智能制造车间对无线通信有实时性、可靠性、海量连接等严苛需求, 现有技术存在信号衰减、干扰冲突等瓶颈。本文提出优化策略, 涵盖协议、资源调度、信号传输、低功耗等方面, 设计应用架构, 包括总体、组网、安全架构。优化技术助力下, 实现设备互联、实时监控、柔性生产等应用拓展, 提升车间智能化水平与生产效率。

关键词: 智能制造车间; 无线通信技术; 优化策略; 应用架构; 应用拓展

引言: 智能制造是制造业发展大势, 工业物联网无线通信技术是关键支撑。智能制造车间环境复杂, 设备众多, 对无线通信提出实时、可靠、海量连接等高要求。但现有技术在车间场景应用面临诸多瓶颈, 制约智能制造发展。研究面向智能制造车间的工业物联网无线通信技术优化与应用, 对提升车间生产效能、推动制造业智能化转型意义重大。

1 智能制造车间工业物联网无线通信核心需求与技术瓶颈

1.1 智能制造车间对无线通信的核心需求

在智能制造车间, 无线通信技术需满足多方面严苛要求。实时性是关键需求之一, 生产流程中, 设备协同作业、生产数据采集以及故障预警等环节, 均依赖1-10毫秒级响应^[1]。若通信延迟达到20毫秒及以上, 可能导致设备动作不同步、数据采集不及时, 进而影响生产效率与产品质量。可靠性同样不可或缺。车间内变频器、电机等设备运行会产生强电磁干扰, 无线通信网络需具备抗干扰能力, 确保数据传输完整, 避免丢包与误码。同时, 网络应具备冗余与自愈能力, 当节点出现故障时, 能快速切换路径, 保障通信连续性。海量连接需求源于车间设备数量众多且持续增加。从传感器到执行器, 各类设备均需接入网络, 无线通信技术要支持大规模设备同时在线, 并稳定传输数据。抗干扰需求除应对电磁干扰外, 还需考虑物理环境干扰。车间内金属设备、障碍物众多, 信号易衰减与遮挡, 影响通信质量。低功耗与低成本需求则关乎系统长期运行与经济性。大量设备持续运行, 低功耗设计可减少能源消耗, 降低运维成本。低成本通信模块有助于大规模部署, 提升系统整体性价比。

1.2 现有工业物联网无线通信技术在车间场景的应用瓶颈

复杂车间环境下, 信号衰减与遮挡问题突出。金属设备、墙壁等障碍物阻碍信号传播, 导致通信距离缩短、信

号强度减弱, 影响设备连接稳定性。在有大型金属设备密集分布的车间, 通信距离可能从原本的100米缩短至30-50米。多设备并发通信时, 干扰冲突问题频发。众多设备同时发送数据, 易造成信道拥塞, 数据碰撞率上升, 降低通信效率。实时性与海量连接平衡难度大。满足海量设备连接需求时, 往往难以保证每个设备都能获得足够带宽与低延迟通信, 影响实时控制效果。例如, 当连接设备数量超过800个时, 部分设备的通信延迟可能增加至50-100毫秒, 无法满足实时控制对1-10毫秒级响应的要求。适配车间动态场景灵活性不足。车间设备布局、生产任务常动态调整, 现有通信技术在网络拓扑重构、设备快速接入等方面存在局限, 难以快速适应变化。在网络拓扑重构时, 现有技术可能需要1-5分钟才能完成, 而实际生产中可能需要在几十秒内完成调整以保障生产连续性。

2 面向车间场景的工业物联网无线通信技术优化策略

2.1 无线通信协议优化

在介质访问控制层, 传统协议难以应对车间多设备高并发场景。通过改进协议的竞争与退避机制, 可减少数据碰撞概率。例如, 引入智能竞争窗口调整算法, 根据设备数量与通信负载动态改变竞争窗口大小, 使设备更合理地竞争信道资源, 提升信道利用率^[2]。网络层路由协议优化聚焦于提升路径选择效率与可靠性。传统路由协议在车间动态环境中易出现路径失效问题。可设计基于设备位置与网络状态的智能路由算法, 实时感知设备位置变化与网络拥塞情况, 动态调整数据传输路径, 确保数据快速可靠送达。传输层可靠性与实时性保障机制优化至关重要。针对车间实时控制需求, 采用混合自动重传请求与前向纠错编码相结合的方式。在保证数据可靠传输的同时, 通过前向纠错编码减少重传次数, 降低传输延迟, 满足实时控制对时间的要求。

2.2 无线资源调度与分配优化

基于车间业务优先级制定资源调度策略, 将紧急且

重要的业务,如设备故障预警、实时控制指令等,分配更多通信资源,确保关键业务优先处理。对普通业务则合理分配剩余资源,实现资源高效利用。动态频谱资源分配优化可应对车间频谱资源紧张问题。通过实时监测频谱使用情况,将空闲频谱动态分配给有需求的设备,提高频谱利用率。同时采用频谱感知技术,避免设备占用已用频谱,减少干扰。多信道协同工作优化能进一步提升通信容量。将车间通信频段划分为多个子信道,根据设备通信需求与信道质量,智能分配设备到不同信道,实现多信道并行传输,增加系统整体吞吐量。

2.3 信号传输与抗干扰优化

自适应调制编码技术优化可根据车间信道质量动态调整调制方式与编码速率。当信道质量好时,采用高阶调制与高编码速率,提高数据传输速率;信道质量差时,切换至低阶调制与低编码速率,保证数据可靠传输。在信噪比为10-20分贝时,采用高阶调制可使数据传输速率达到1-5兆比特每秒;信噪比低于5分贝时,切换至低阶调制,保证数据传输可靠性。多天线技术应用优化可提升信号传输质量与抗干扰能力。通过在设备端部署多根天线,利用空间分集与空间复用技术,增强信号接收灵敏度,抑制多径干扰,扩大通信覆盖范围。干扰抑制与消除算法优化针对车间复杂干扰环境。采用自适应滤波算法,实时估计干扰信号特征,从接收信号中滤除干扰成分,提高信号信噪比,保障通信质量。

2.4 低功耗通信优化

节点休眠机制优化可降低设备能耗。根据设备工作状态与通信需求,设计智能休眠策略。当设备无需通信时,使其进入低功耗休眠模式,减少能源消耗;有通信需求时,快速唤醒设备,恢复通信功能。数据传输量精简与压缩优化能减少数据传输能耗。对传输数据进行预处理,去除冗余信息,采用高效压缩算法对数据进行压缩,降低数据传输量,从而减少设备能耗,延长设备续航时间。

3 工业物联网无线通信优化技术在智能制造车间的应用架构设计

3.1 车间工业物联网无线通信总体架构设计

感知层作为数据采集源头,无线通信节点部署需紧密贴合车间生产实际^[3]。依据设备分布与功能需求,在关键生产设备、传感器集群等位置合理布置无线节点。例如,在精密加工机床旁设置高精度传感器节点,实时采集设备运行参数;在物料存储区部署温湿度传感器节点,监测环境状态。节点布局兼顾全面覆盖与重点监测,确保数据采集的完整性与准确性。网络层承担数据传输与汇聚任务,无线网关与边缘节点设计至关重要。

无线网关作为感知层与网络层的桥梁,需具备多协议转换能力,支持不同类型无线节点的接入,实现数据格式统一。边缘节点则部署在车间现场,对采集数据进行初步处理与分析,过滤无效数据,减轻云端负担。同时,考虑到车间网络可能存在不稳定因素,为避免数据丢失,边缘节点还具备一定存储能力,可缓存数据,在网络故障时保障数据完整。应用层聚焦数据处理与应用服务,通信接口与数据交互设计要满足多样化需求。设计标准化通信接口,实现与车间管理系统、生产控制系统的无缝对接;采用高效协议进行数据交互,确保数据快速准确传输。借助应用层,管理人员可实时监控生产状态,灵活调整生产计划,实现生产过程的智能化管理。

3.2 基于优化技术的车间无线通信组网设计

异构无线通信网络融合设计可充分发挥不同无线技术优势。结合5G高速率、低延迟特性与Wi-Fi大容量传输优势,以及ZigBee低功耗、自组网特点,构建多技术协同的异构网络。根据车间业务需求,将不同业务分配至合适网络,实现资源最优配置。动态自适应组网设计使网络能根据车间环境变化自动调整。当设备移动或新增设备接入时,网络自动重新规划拓扑结构,优化路由路径,确保通信畅通。通过实时监测网络状态,动态调整信道分配与传输功率,提升网络性能与稳定性。网络拓扑优化设计旨在提升网络可靠性与扩展性。采用分层分布式拓扑结构,将车间划分为多个子区域,每个子区域设置核心节点,负责区域内数据汇聚与转发。子区域间通过高速链路连接,形成高效通信网络。这种拓扑结构便于网络扩展与维护,降低单点故障风险。

3.3 通信安全保障架构设计

无线传输数据加密机制设计保障数据在传输过程中不被窃取或篡改。采用对称加密与非对称加密相结合方式,对重要数据进行高强度加密。在数据传输前进行加密处理,接收端解密后获取原始数据,确保数据传输安全性。加密密钥长度可采用128-256位,保证加密强度。节点身份认证与访问控制设计防止非法设备接入网络。为每个节点分配唯一身份标识,采用数字证书技术进行身份认证。只有通过认证节点才能接入网络,获取相应权限。同时设置访问控制策略,限制节点访问范围,防止敏感数据泄露,保障车间通信安全稳定运行^[4]。每个车间可管理1000-5000个节点,通过身份认证与访问控制确保网络安全。

4 优化技术支撑下的车间工业物联网无线通信应用拓展

4.1 设备互联与数据采集应用

在优化技术助力下,智能设备间协同通信更为高效流畅。不同类型设备突破通信协议壁垒,实现无缝对接与信息交互。例如,数控机床与机器人通过优化后的无线通信网络,实时共享加工参数与动作指令,机器人依据机床状态精准调整抓取与放置动作,提升加工精度与效率。这种协同通信打破设备孤立运行模式,构建起设备间紧密协作的智能生产单元。全要素生产数据实时采集传输应用得以全面实现。优化后的无线通信技术具备强大连接能力与高速传输特性,可同时连接车间内众多传感器、执行器等设备。温度、压力、振动等各类生产数据,通过无线节点快速采集,并经优化网络实时传输至数据中心。数据采集的全面性与实时性,为生产过程精准控制与质量追溯提供坚实数据基础。

4.2 生产过程实时监控与调度应用

生产设备状态实时监控通信支撑更为可靠。优化后的无线通信网络具备高可靠性与抗干扰能力,确保设备运行数据稳定传输。网络采用冗余设计,当部分节点或链路出现故障时,数据能够自动切换至备用路径传输,保障数据传输的连续性。管理人员通过监控终端,实时获取设备运行参数、故障预警等信息,及时发现潜在问题并采取措​​施,避免设备故障导致生产中断,提升设备综合利用率。生产任务动态调度通信保障更加灵活。基于优化后的通信网络,生产管理系统可根据订单变化、设备状态等因素,动态调整生产任务分配。任务指令通过无线通信快速传达至相关设备与人员,指令传达时间可缩短至毫秒级,实现生产资源优化配置,提高生产灵活性与响应速度,满足市场多样化需求。

4.3 车间柔性生产与协同作业应用

柔性生产线设备联动通信应用更加智能。优化后的无线通信技术支持设备快速重构与灵活调整,柔性生产线可根据不同产品生产需求,快速切换设备组合与工艺流程。设备间通过无线通信协同工作,实现生产流程无缝衔接,缩短产品换线时间,提升生产效率与产品多样性。多工位协同作业通信支撑更为高效。在复杂生产场景中,多个工位需紧密配合完成生产任务。优化后的无

线通信网络确保各工位间信息实时共享,人员与设备可根据整体生产进度调整作业节奏,避免出现工序等待或资源冲突问题,提升多工位协同作业效率与质量。

4.4 工业物联网与智能制造系统融合应用

通信数据与生产管理系统对接应用更为顺畅。优化后的无线通信技术提供标准化数据接口,实现通信数据与生产管理系统无缝对接。生产管理系统可实时获取车间生产数据,进行深入分析与挖掘,为生产决策提供科学依据。支撑智能制造决策的通信保障应用更为有力。基于优化通信网络传输的海量数据,结合大数据分析、人工智能等技术,可对生产过程进行智能预测与优化^[5]。通过对设备运行数据、生产质量数据等分析,提前预测设备故障与质量风险,为智能制造决策提供精准支持,推动车间向智能化、自动化方向持续发展。

结束语

通过无线通信协议、资源调度分配、信号传输抗干扰及低功耗通信等优化策略,构建起完善的工业物联网无线通信应用架构与安全保障架构。在优化技术支撑下,设备互联、生产监控、柔性生产及与智能制造系统融合等应用得以拓展,有效提升了智能制造车间的生产效率与智能化程度,为制造业高质量发展提供了坚实的技术保障。

参考文献

- [1]万君,孔一海.面向智能制造的工业物联网电子信息采集系统优化研究[J].电子元器件与信息技术,2025,9(05):43-45.
- [2]马丽丽,刘源.基于工业物联网的数字化生产车间设计[J].中国信息化,2024,(04):68-70.
- [3]王海申,赵春瑞,曲书杰.物联网技术在智能制造中的应用[J].科技与创新,2021(16):161-162.
- [4]王小明,李华.工业物联网技术在智能制造中的应用研究[J].制造业自动化,2023(5):45-48.
- [5]张悦,赵强.基于物联网的智能工厂系统架构设计与实现[J].信息技术与信息化,2024(3):56-59.