Research and Application of HarmonyOS for Industrial Data Transmission Based on 5G Deterministic Networks

Sheng Xu Qianqian Yue Yanfa Xu

Department of Information Engineering, Shandong Polytechnic University, Weifang, Shandong, 261053, China

Abstract

With the acceleration of intelligent manufacturing towards digitization and networking, and the continuous deep application of domestic operating systems in the industrial field, higher requirements have been put forward for the latency and reliability of industrial data transmission in smart factories. Therefore, this paper designs an industrial data transmission system that deeply integrates 5G deterministic network and Hongmeng edge computing. The control end of the system uses the Hi3861 chip of the OpenHarmony operating system, and the data acquisition end uses industrial sensors from different scenarios; Utilizing 5G industrial gateway combined with optimized deterministic network technology at the transport layer to achieve ultra-high reliability and low latency communication; The backend of the system platform relies on the edge cloud collaborative architecture to complete data aggregation, analysis, and visualization. The performance test results show that compared to traditional WiFi, 5G deterministic network transmission reduces latency jitter and worst-case delay to 10.2ms and 41.7ms, respectively, significantly improving transmission reliability. This study verifies the feasibility of the "5G+HarmonyOS" collaborative technology path.

Keywords

5G; deterministic networks; HarmonyOS; edge computing; uRLLC

基于5G确定性网络的鸿蒙系统工业数据传输研究与应用

徐升 岳倩倩 徐延发

山东科技职业大学信息工程系，中国·山东 潍坊 261053

摘要

随着智能制造加速迈向数字化、网络化，以及国产操作系统不断深入应用到工业领域，对智慧工厂工业数据传输的时延和可靠性提出了更高的要求。因此，本文设计了一种深度融合5G确定性网络与鸿蒙边缘计算的工业数据传输系统。该系统控制端采用鸿蒙操作系统（Open Harmony）的Hi3861芯片，数据采集端采用不同场景的工业传感器；在传输层利用5G工业网关结合优化后的确定性网络技术实现超高可靠性、低时延通信；系统平台后端则依托边云协同架构，完成数据的汇聚、分析与可视化。性能测试结果表明，相较于传统WiFi，基于5G确定性网络传输将时延抖动与最坏时延分别降低至10.2ms和41.7ms，传输可靠性显著提升，该研究验证了“5G+鸿蒙”协同技术路径的可行性。

关键词

5G；确定性网络；鸿蒙；边缘计算；uRLLC

1 引言

随着智能制造数字化转型升级和工业数据安全的重要性凸显，5G+国产操作系统的工业互联网已成为高端制造工业场景下重要的解决方案，尤其以高精度运动控制、机器视觉实时质检、多设备毫秒级协同等先进工业应用，对工业数据传输需要端到端的时延、抖动和可靠性具备确定性的性能保障。为确保工业数据可靠性和安全性传输，中大型企业正积极探索以5G确定性网络和国产操作系统为核心的融合解决方案。一方面，5G技术，特别是其超高可靠低时延通信和网络切片能力，致力于在共享基础设施上构建可提供有界时延与高可靠性的“确定性网络”[1]。另一方面，终端与边缘侧的操作系统成为发挥5G潜力的关键。以华为鸿蒙为代表的新一代操作系统，其分布式架构、微内核及确定性调度引擎，为设备协同与端侧实时响应提供了系统级保障。

目前，5G确定性网络已逐渐应用到工业领域，尤其是智能电网、日常生活等场景相对比较成熟，但针对负责的工厂环境下工业数据传输问题依旧突出。其一，多数方案仅针对网络层或计算层进行局部优化，未能将 5G 网络的确定性传输能力与终端操作系统的底层能力进行深度融合与协同设计；其二，全面部署

【基金项目】潍坊市科技发展计划（竞争性创新平台）项目（项目编号：2024JZ0019）；潍坊市科技发展计划项目（项目编号：2025GX068）。

【作者简介】徐升（1991-），男，中国山东济宁人，研究生，助教，从事嵌入式、人工智能研究。

端到端时间敏感网络（TSN）仍受限于产业成熟度不足、现场改造成本过高等现实问题[2]；其三，国产嵌入式系统在工业领域应用相对较薄弱；因此，研究基于“增强型 5G +国产操作系统”协同的高确定性传输方案，具有重要的工程价值与应用前景。基于此，本文提出一种融合 5G 确定性网络与鸿蒙边缘计算的工业数据采集传输系统。该方案在工厂产线部署基于 OpenHarmony 的智能采集终端（Hi3861 核心模组），依托高灵敏度传感器采集工业数据和设备运行等相关数据，同时进行数据预处理，在传输环节，通过5G工业网关对工厂网络环境进行升级改造，实现数据高速传输。系统后台采用边云协同架构，在云端完成数据集中处理、智能分析与可视化展示，构建起“精准感知 — 确定传输 — 智能决策”的一体化闭环体系。本研究为 5G 与鸿蒙在工业核心场景的协同落地可赋能多种领域工业生产环境，为智慧工厂提供数据支撑，同时为国产操作系统在工业领域大规模应用提供了安全保障。

2 5G确定性与边缘计算协同关键技术

“5G+鸿蒙”协同实现“网络 - 计算 - 控制”闭环优化，提供工业场景的端到端低时延和高可靠性。如图1所示。

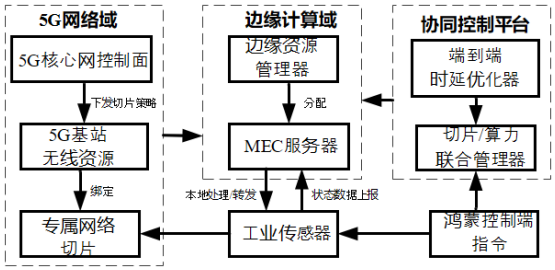


图1 5G与边缘计算的协同机制

（1）5G网络与边缘计算资源映射：为工业设备终端产生的数据资源绑定专属边缘计算资源（如 MEC 服务器）[5]，通过 SDN/NFV 技术实现网络带宽、计算资源的联合调度，避免跨域资源竞争。

（2）数据平面与控制平面解耦：5G UPF（用户面功能）下沉至边缘节点，将控制指令流与数据流分离。数据平面通过 5G 边缘业务网关甚至在基站内置业务处理模块，数据流经本地计算后直接反馈，减少核心网拥塞。

（3）端到端时延联合优化：利用 5G 确定性网络的时延保障机制（如预调度）与边缘计算的实时响应能力，构建“无线传输 - 边缘计算 - 控制执行”全链路时延模型，通过动态调整计算任务卸载策略（如部分任务本地执行、部分云端协同），实现时延与能耗的帕累托最优。

3 5G确定性与边缘计算协同关键技术

本系统由鸿蒙工业数据采集发送端和5G网络数据接收端构成，系统前端以搭载轻量化鸿蒙操作系统的Hi3861核心模组为控制中枢[5]，依托其低功耗、高实时性的特性，协同管理多类型工业传感器阵列，实现对设备运行状态（如开机、停机、报警）、工艺参数（如温度、压力、流量、电流）及负载性能（如扭矩、主轴负载、循环时间）的全方位采集。通过内置的ESP8266 WiFi模块或外接5G工业CPE，采集数据被高效封装并上传。在传输层，系统创新地运用了5G网络切片及uRLLC（超高可靠低时延通信）技术，针对工业数据流的不同业务特性与服务质量要求，进行差异化的网络资源调度。

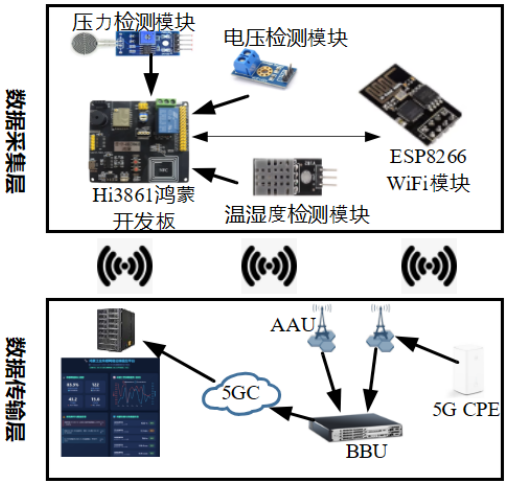


图2 系统总体设计方案

4 数据采集发送端设计

Hi3861是华为推出的基于鸿蒙（OpenHarmony）系统的核心开发板，专为资源受限的物联网终端设计。在本系统中，它作为工业数据采集与边缘处理的核心单元，搭载轻量化鸿蒙内核，负责直接驱动多类工业传感器、执行数据采集协议转换，并通过其集成的Wi-Fi或外接5G模组实现数据的高效封装与上传。其低功耗、高实时性的特性，确保了在工业现场复杂电磁环境下的稳定运行，为上层5G网络提供了可靠、规整的数据源，构成了“鸿蒙边缘感知+5G确定性传输”协同架构的底层硬件基石。

5 应用层可视化界面设计

在系统软件设计层面，针对多类型传感器采集的工业数据，通过程序化处理流程实现数据解析与可视化分析。该模块采用边缘计算架构，支持工业数据的本地化实时处理与动态可视化展示。其核心设计思路为：在邻近数据源的网络边缘侧，借助边缘服务器的计算资源，对经 5G 网络接入的海量、多源异构工业

数据进行实时解析、聚合与渲染，从而避免原始数据全量回传云端所引发的带宽开销与决策时延。如图3所示。



图3 鸿蒙工业传感网络边缘监控平台

该模块采用“流处理 + 微服务”的软件架构。工业数据经 5G 网络传输至边缘服务器后，先由流式数据处理引擎完成实时数据清洗、格式标准化及关键指标的快速计算。计算结果被分发至多个独立部署的可视化微服务单元，各单元分别承担专属展示功能，包括全局监控看板、产线实时运行拓扑、设备健康趋势曲线等。服务间通过轻量级接口完成交互，并基于 WebSocket 协议向浏览器端推送实时更新数据，使监控画面刷新时延稳定在毫秒级。该架构实现了从原始数据到业务决策信息的高效转换，同时以模块化设计降低系统耦合度，可面向离散制造、流程工业等不同场景快速完成可视化方案的定制与部署。

6 结束语

本文构建并验证了一种融合5G确定性网络与鸿蒙边缘计算的工业数据传输系统。通过将鸿蒙系统控制工业传感器进行数据采集，实现了数据安全性和稳定性；同时依托5G网络切片及uRLLC技术，实现了高可靠、低时延的无线传输，为大规模工业数据传输提供了保障。通过实验表明，该系统显著改善了传统无线传输的确定性问题，其中5G链路的时延抖动（10.2ms）与最坏时延（41.7ms）较WiFi均有数量级提升，验证了其在5G网络在工业数据采集传输的可行性。本研究为工业互联网的无线化、智能化升级提供了切实可行的技术参考。

参考文献

[1] 任杰.增强确定性网络关键技术研究[D].北京交通大学,2025.DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2025.000232.

[2] 黄蔚亮,李锦煊,余志文,等.确定性网络：架构、关键技术和应用[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2025,37(01):1-16.

[3] 宋贺帅.基于SDN的时间敏感网络配置管理技术研究[D].北方工业大学,2025.DOI:10.26926/d.cnki.gbfgu.2025.000123.

[4] 冯伊凡,吴畏虹,孙罡,等.天地一体化边缘计算网络服务迁移算法研究[J/OL].电子与信息学报,1-13[2025-12-27].https://link.cnki.net/urlid/11.4494.TN.20251225.1114.002.

[5] 曹勇凯.基于OpenHarmony的智能环境监测系统设计与实现[D].临沂大学,2025.DOI:10.44252/d.cnki.glydx.2025.000044.