

5G 物联网在浙江智慧园区的通信架构优化方案

楼丹伟

中国电信股份有限公司宁波镇海分公司 315200

DOI:10.32629/ems.v8i6.20595

[摘要] 针对浙江智慧园区通信组网问题, 本文通过基于 5G 物联网网络切片、边缘计算、SDN 等虚拟化技术分层优化浙江智慧园区通信网络架构, 在考虑浙江省智慧园区产业结构布局下研究分析现有园区通信网络架构瓶颈, 提出接入层、传输层、平台层和安全层 4 层面的网络结构优化设计。针对性提出干扰优化、资源调度、数据分流、安全防护等优化措施, 结合浙江工业园区、科技园区实测案例, 完成方案可行性验证, 测试结果表明优化后智慧园区通信时延低于 10ms, 设备连接密度提升至 120 万/平方公里以上, 业务隔离度可达 100%, 网络丢包率可控制在 3% 以下, 在保障高密度海量通信连接需求的同时满足浙江智慧园区多样多量且可靠的服务需求, 为浙江省同类型园区网络通信改造提供重要参考。

[关键词] 5G 物联网; 智慧园区; 通信架构; 网络切片; 浙江

一、引言

近几年浙江省大力实施数字经济“一号工程”, 智慧园区作为集约化发展、数字化转型的重要平台, 在工业制造, 研发创新, 物流仓储等领域得到广泛应用。截至 2025 年底, 浙江省省级以上智慧园区已有 220 余个, 并且在各智慧园区中物联网传感设备、智能监控终端设备、AGV 搬运输送机器人以及远程运维设备呈现爆炸性增长的趋势。传统通信方式采用的有线宽带与 4G 组网技术, 存在网络带宽固定分配、接入设备过多造成拥堵现象严重、工业业务时延过高以及通过公网传输安全性较低等问题。特别是沿海区域存在因电磁干扰和潮湿引起的信号衰减问题。给园区的智能化升级带来了较大阻碍。5G IoT 技术因其低时延、高带宽、海量连接以及高可靠的技术特性, 能够满足智慧园区各种不同的通信需求。本文基于智慧园区的实际应用场景, 针对现有架构中不足, 提出相应的优化方案解决当前园区多业务混杂、网络拥塞以及传输安全性低等问题, 提高智慧园区的稳定性和适用度, 促进浙江省园区数字化及高质量发展。

二、浙江省智慧园区通信情况及问题

(一) 浙江智慧园区通信业现状

在浙江省内智慧园区主要分为三类: 工业制造类园区, 科创产业园区以及物流仓储类园区。不同种类的园区通信业务差异较大, 对于工业制造类园区主要集中在工业设备的远程调度, 自动化生产控制, 通信时延、可靠性要求比较高。而对于科技园主要是数据中心传输, 云端办公, 高清监控对带宽要求大, 而对于物流园区更多是设备位置信息跟踪, 货物监测, 设备需要广域接入^[1]。同时当前浙江大多数园区已经完成 5G 基

础站型覆盖部署, 但网络组网比较简单, 多以公网覆盖为主, 未根据业务分类进行网络切分, 并且物联网使用的设备型号复杂, 通信协议五花八门, 设备兼容性差。另外由于浙江沿海地区湿度较大雷雨较多, 容易受到电磁干扰影响信号稳定性, 在山区周围存在部分信号盲区, 通信质量不稳定。

(二) 现存通信架构问题

1. 分层不清晰, 业务隔离性不足

浙江智慧园区多数采取扁平的通信网络结构, 没有建立业务专信道, 监控视频、控制信息、访客 Wi-Fi 以及办公数据共用一个通信通道, 在流量高峰期 4K 高清监控占据了大量的带宽资源影响工业控制数据传输实时性造成设备间歇运行和调度失误等, 并且多种业务混合在同一个通信管道中容易产生数据干扰不能保证核心生产业务优先^[2]。

2. 终端众多, 网络拥堵

智慧园区部署大量温湿度传感器、红外探测器、智能电表、摄像头等 IoT 终端设备, 传统 4G 和简配 5G 组网的连接容量较低, 终端设备数量过多会引发数据丢包或断连等问题。浙江制造园区高密度设备多, 单 km² 有超过 80 万终端接入需求, 传统架构下很难实现高密度设备接入。

3. 传输时延过大, 缺乏边缘计算

通信结构为云集中计算, 园区采集的数据和生产数据远距离上传到云端服务器进行处理。其传输时延普遍在 30~50ms 左右, 难以满足 AGV 搬运、智能预警、实时风控等毫秒级业务需求。而大量基础数据的远程上传也会占用骨干网带宽, 增加数据传输消耗的能量。

4. 地域影响较大, 通信稳定性低

由于浙江沿海城市园区中存在较强的海盐腐蚀以及电磁干扰,因此该区域内的基站天线以及传输线路的损耗速度十分严重,导致通信网络覆盖不够全面,而在浙江内陆山区中的园区内又因地形阻挡的原因使得部分区域没有建设相应的基站设备,其基站覆盖率偏低且存在信号衰减的问题。而目前所建立的这些基站并没有对其进行相关的抗干扰优化处理,并且当遭遇恶劣天气时便会出现较大的丢包率现象,这无法确保全天候下稳定的通信要求^[3]。

5. 安全防护弱,数据风险大

多数园区没有建立自身的通讯安防机制,采用公网传输数据,没有数据加密和认证,缺乏入侵监测等安全防范手段。园区内的生产数据、人员数据、监控图像容易被窃听、篡改,而且物联网终端防护功能弱,易遭受网络攻击,造成数据泄漏或网络瘫痪等安全隐患。

三、5G物联网通信系统总体设计

(一) 接入层优化

智慧园区通信网络中接入层是最前线的感知单元,提高终端兼容性、增强信号稳定性是主要优化方向。由于浙江地区智慧园区物联网终端复杂多变、通信标准差异大,本文选择多模集成化方案,综合应用 NB-IoT、5G 及 LoRa 等通信模块,并统一对异构通信协议转换处理,从而保证了不同类型物联网终端之间的互联互通。针对浙江省沿海地区盐雾较大导致腐蚀较为严重和山区地形遮蔽影响等特征因素对基站布局进行差异化优化:在沿海智慧园区内设置防腐性强、高增益天线并增加相应的电磁屏蔽器件以避免外部设备干扰;而在山区智慧园区加设微型补盲基站,确保基站布局全覆盖。同时引入智能信号监测系统,持续收集外界影响相关数据,并据此动态地调整相应基站的发射功率与通讯频率值以减轻环境因素对信号传输的影响并实现终端设备的高效接入^[4]。

(二) 传输层优化

传输层作为数据中转、链路传输、资源调度的主体,在园区业务正常传送中发挥着承上启下的重要作用。为了缓解网络业务混乱、带宽占用、延迟发送等问题,传输层采用 5G 网络切片的技术,在物理基站下划分出工业生产切片、安防监控切片、办公服务切片和访客专属切片四大逻辑独立的 5G 切片,并将这些切片进行逻辑和物理双隔离,互不干扰、分别维护。根据浙江省的园区相关业务优先级规则分配各切片不同的带宽、时延和速率等不同网络资源,确保对重要生产控制类的工业业务传输的优先权。并且采用软件定义网络

(SDN) 技术,将网络控制层与数据转发层进行了分离开来,这样能够实现网络可视化并进行实时动态编排资源,系统能够监测各个切片的流量负载,在出现某一类切片交通拥塞、带宽不够等情况时,能够自动调用空闲带宽来进行资源补救,优化了链路的传输,避免了交通堵塞。为了避免单个链路故障导致的链路失效情况,骨干网传输采用的是光纤+5G 双备份的链路,平时采取负载均衡的形式,在极端状况下能够做到备用链路的自动切换功能来保证关键的园区业务的不中断运行,提升传输层面容错能力和可靠性能力^[5]。

(三) 平台层优化

平台层作为通信架构中的算力中心和管控中枢,主要实现数据处理、网络管控、资源调度与运维工作。为了克服传统结构下的云端传输时延较大、骨干网承载负荷较重等不足之处,在园区内部署 MEC (移动边缘计算) 节点,在业务前端下沉算力,可以就近对传感器采集的环境信息、工业设备运作情况以及监控视频进行分析处理,避免了将全部原始传感信息传输到远方,有效缩短数据传输路径,将核心业务的时延压缩到 10 ms 之内,满足了搬运 AGV、智能风控及实时监测等毫秒级需求。在边缘节点的基础上构建物联网管控平台,主要提供设备台账、流量监控、智能调度、故障诊断四个方面的功能,并以可视化手段呈现整个园区内终端接入状态、链路波动流量值以及基站参数。采用基于阈值判定的流量机制来实现告警预警工作,一旦超过 70% 预警值,自动采取分流策略优化带宽比;通过内置故障定位算法,能够精准发现故障并定位基站、链路迟滞及终端异常等问题,实现一键式定位告警,极大减少了人工运维成本,提升了园区内网智能管理层次。

(四) 安全层优化

安全层是架构防护罩,结合浙江省的地方数据安全管理条例建立从终端、传输和平台三层立体式网络安全防御。终端层面通过增加硬件身份认证和准入白名单机制,认证进入网络的物联网终端唯一标识,阻断非法终端、陌生终端设备连接网络,阻止了恶意终端的入侵源头。传输方面摒弃传统的通过公网明文传输的方式,采用 TLS 加密协议配合专用的 VPN 传输通道,对园区内部的机密的生产信息、人员信息以及监控视频等进行封装加密,在传输的过程中不被窃取或者更改或者劫持数据。平台端智能化部署了防火墙和入侵检测系统实时捕获和分析网络访问的行为并针对 SQL 注入、漏洞扫描和爬虫机器人进行精确地发现,并加以拦截阻止。定期

对本系统的平台、基站的端口以及终端的固件进行漏洞扫描,并自动进行补丁修复和漏洞修补。

四、主要优化方法和措施

(一) 精准控制 5G 网络切片技术

结合浙江园区具体流量特性制定差异化的切片参数。生产制造切片配置较低时延及高等待优先的切片参数,分配不低于 30%的带宽资源、小于 5ms 的端到端时延;安保切片占用较大的带宽资源,保障 4K 高清视频数据流畅传输,对办公和访客切片进行最高带宽限制,防止其影响核心业务切片。各切片之间物理隔离、零干扰,且支持对每个切片的灵活扩容。

(二) MEC 边缘计算本地化处理

基于工业园区、物流园区部署边缘计算节点,在本地处理设备调度、告警、视频分析等业务,将深度分析结果上传云端。边缘节点与 5G 基站联合进行数据分流,极大地降低骨干网压力,减少远距离数据传输产生的风险。在科创园区通过边缘节点搭建轻量算力平台,实现科研类实时数据的分析处理需求。

(三) 抗干扰及信号优化措施

对浙江环境痛点做专项治理。沿海园区使用不锈钢防腐外壳的基站,天线加上防盐雾涂装,并加上电磁屏蔽网来减少潮湿与电磁干扰的影响;山区园区采用优化了基站倾角和发射频率的方法,同时使用微波中继的方法,减少由地形遮挡导致的损耗问题;此外,使用 AI 信号优化算法,实时监测信号干扰源并自动调整信号频段,在恶劣天气下将丢包率维持到 0.05%以下。

(四) 智能的动态资源分配方法

基于管控平台构建 AI 调度算法,通过采集园区历史流量信息,研究办公时间、生产时间及夜间时间园区流量数据变化规律,预判高峰期流量。在工作时间段内分配更大的工业与办公带宽切片,在夜间对安防监控进行扩容,满足不同的需求。在设备非法接入及流量异常增长时自动预警并阻止相应的流量,保障园区平稳运行。

五、方案应用测试与效果分析

(一) 测试园区简介

以位于浙江杭州的 A 智能制造产业园为测试目标,该园区占地 12 万 m^2 ,制造类企业达 18 家,终端设备有物联网传感器(工业机床、AGV 设备)以及摄像头等共 6.2 万多个,并且存在通信架构高时延,设备经常掉线以及带宽拥堵现象等,是浙江一个典型的工业园区。

(二) 测试指标与环境

对改前后的测试进行两组试验,测试指标为时延、设备容量、丢包率、业务隔离性、排错时间,环境包括常规、雷雨潮湿天气,时间 30d。在相应时间采集网络信息数据。

(三) 优化效果分析

园区通信时延、接入、传输、管控、隔离五大指标显著优化:首先,时延减少,工业业务平均时延从 42ms 降到 7.8 ms 符合自动化生产实时控制要求;其次,能力增强,终端最大接入容量由 65 万 / 平方千米增至 120 万 / 平方千米无卡顿断连现象出现;再次,数据稳定常规天气丢包率 0.02%、极端气候下 0.04% 远优于优化前的 0.15%;然后,效率提升网络故障人工查找平均减少 85%具备自诊断功能;最后,隔离达标四类切片之间不存在串话核心生产业务优先级始终处于最高水平。本项目所提出方案适合复杂环境下的浙江园区运行需求,取得明显的效果。

六、结论

根据浙江省内智慧园区的地理、产业、通信特点,提出了 4 层分级 5G 物联网通信优化架构,在网络切片和边缘计算基础上融合 AI 调度及抗干扰优化技术,解决原有架构业务混杂、时延过大、稳定性不够强以及安全性不足等问题。经在产业园区实际测量测试,优化的 4 层分级 5G IoT 架构表现出较好的性能,适用于浙江地区工业、科技以及物流类型园区使用。具有较好的兼容性和拓展性。且改建成本较低,值得在浙江省范围内推广和使用,为长江三角洲类似的智慧园区通信改造提供借鉴。

[参考文献]

- [1] 梅超然. 物联网中 5G 通信技术的应用认识与实践[J]. 中国宽带, 2026, 22 (03): 40-42.
- [2] 綦晓春. 5G 驱动下智能电子与物联网融合的通信架构优化探索[J]. 中国宽带, 2025, 21 (04): 22-24.
- [3] 何治东, 李东辉. 基于 5G 通信的智慧矿山物联网架构研究[J]. 通讯世界, 2024, 31 (05): 28-33.
- [4] 刘端朝, 刘海燕. 基于 5G 通信技术的改进电力物联网架构研究[J]. 自动化仪表, 2023, 44 (02): 80-85.
- [5] 彭雄根; 李新; 王小鹏; 朱林; 贝斐峰; 王浩宇; 王强. 智电未来[M]. 人民邮电出版社: 202203. 203.

作者简介: 楼丹伟 (1996.12—), 男, 汉族, 浙江东阳, 本科, 研究方向: 5G 物联网在浙江智慧园区的通信架构优化方案。