



专栏：5G 技术与组网应用

## 物流智能仓储的 5G 专网性能

董石磊, 赵婧博, 黄鹏

(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

**摘要:** 智能仓储通过在物流仓储环节引入智能作业终端的方式, 实现流水线自动化执行各类仓储业务需要依托于高质量的网络服务实现实时数据感知、调拨和作业控制等任务。在不同的仓储作业流程和作业区域中, 存在差异化的智能终端、作业场景和通信需求。结合实际仓储场景, 实现智慧仓储 5G 专网覆盖, 深入探索 5G 专网与仓储行业深度融合机制下的网络质量保障, 并提出了区域化网络部署定制方案, 对全面落地基于 5G 专网的智能仓储系统起到了标杆示范作用。

**关键词:** 5G; 物流智能仓储; 网络质量; 行业应用

**中图分类号:** TN929

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2021151

## Performance of logistics intelligent storage scene in 5G private network

DONG Shilei, ZHAO Jingbo, HUANG Peng

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

**Abstract:** Intelligent warehousing introduces intelligent operation terminals in the logistics warehousing link to realize the automation of the assembly line to execute various warehousing business and it needs to rely on high-quality network services to realize tasks such as real-time data perception, allocation, and job control. In different warehousing operation processes and operation areas, there are differentiated intelligent terminals, operation scenarios and communication requirements. The actual warehousing scenarios was combined to achieve 5G private network coverage for smart warehousing, network quality assurance under the deep integration mechanism of 5G private network and warehousing industry was explored, and a customized regional network deployment plan was proposed, which plays a role as a benchmark model for the full implementation of the 5G private network-based intelligent storage system.

**Key words:** 5G, logistics intelligent warehousing, QoS, industry application

### 1 引言

5G toB 融合发展已然成为推动传统制造业创

新改革的新动力, 具有低时延、确定性、绝对安全性等特性的 5G 专网为工业物联网由自动化向智能化的转变奠定了坚实的基础<sup>[1]</sup>。5G 技术

收稿日期: 2021-03-23; 修回日期: 2021-07-15

通信作者: 董石磊, dongshl@chinatelecom.com



的高速发展促使工业传统工业存在网络复杂度高、前端接入性差、设备互通性低等问题，因此，全面运用 5G 技术提升工业设备智能化水平成为工业信息化建设过程中的关键环节。本文基于国内某物流企业实际工业场景，以满足客户高标准通信需求为出发点，完成物流智能仓储 5G 专网部署，助力企业智能化转型<sup>[2]</sup>。与此同时，深入研究高水平技术融合网络环境下的网络质量保证问题，并对网络性能提出定制优化方案。

## 2 智能仓储行业通信现状

仓储是现代物流的关键环节。随着新兴通信技术的高速发展，仓储信息化在 5G 通信技术支撑下进一步发展。尽管目前仓储自动化取得了阶段性的成就，但其向行业智能化的转型仍处于初级阶段<sup>[2]</sup>。

### 2.1 仓储智能化系统

仓储是物流的一个业务环节，是一个涉及多个业务流程的复杂流程。仓储业务种类繁多，每种业务在其生命周期中都存在各种不确定性。所以，只有保证仓储系统具备可靠、稳定、安全、确定性的网络感知能力，及时下发调度安排任务，才能保障作业按期交付，提升物流效率、降低物流服务成本。智能作业设备终端的引入为仓储业务流程自动化提供了技术基础，信息系统通过有效整合各环节智能终端和作业的实时数据，确保企业及时准确地掌握库存的真实数据，打造信息一体化的物流智能仓储。

在 5G 工业物联网高水平融合的环境下，仓储业智能化也取得了重大突破，现阶段的仓储智能化系统架构如图 1 所示。其系统架构主要分有数据层、系统层及作业层。位于数据层的仓储数据系统利用 5G、边缘计算等技术支持智慧仓储系统的实时计算，提供多元数据融合、算法驱动的决策；位于系统层的仓储管理系统及分拣管理系统

完成日常生产流程各个环节的管理任务，仓储控制系统为 WMS、DMS 与终端设备之间的信息枢纽，实现信息交互，实时向智慧终端下发任务指令。

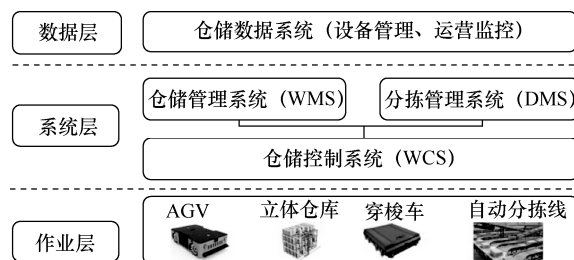


图 1 仓储智能化系统架构

### 2.2 仓储智能化发展难点

面对仓储智能化对网络服务质量的严苛要求，已有的网络部署技术难以满足智慧仓储对确定性、安全性、开放性及经济性的需求。以下简要阐述网络部署在满足这 4 个特性需求时存在的技术难点。

#### （1）确定性

以往的智慧终端通常采用 Wi-Fi 技术进行通信，然而 Wi-Fi 接入容易存在切换丢包、网络稳定性差等问题，降低仓储生产线的工作效率。因此，高质量的网络服务是支撑仓储智能化转型的基础，网络部署应满足仓储通信对低时延、高可靠性等通信指标的高要求。

#### （2）安全性

严格保障园区网络数据的安全性，实现用户数据本地灵活卸载，满足客户数据不出园的需求，采用业务隔离的方式保障用户业务安全。

#### （3）开放性

在信息网络与工业产业高度融合的行业情况下，需提高网络的灵活性及开放性以支持仓储园区更多元化的技术能力开放。

#### （4）经济性

在保障高质量网络服务的前提下，还需控制网络建设速度及成本以及更高性价比的网络维护成本。

### 3 5G toB 专网融合智慧仓储通信

对时效性要求极高的物流仓储行业，对于通信指标也有着严苛的指标需求，其不仅需要信息流动及时、稳定、可靠，还要承载大规模设备接入带来的复杂的网络结构。这些问题无疑对工业网络的部署制造了诸多困难。融合专网为生产作业流水线与云端数据库提供连接枢纽，贯彻信息管理一体化。面向企业客户需求打造的 5G 定制化服务网络凭着其低时延、高带宽、业务隔离等特点，避免通信问题导致的生产故障发生，保证网络高质量服务，确保生产作业按时交付，显著提升了仓储园区的物流效率。

#### 3.1 5G 智慧仓储专网覆盖实施

结合国内某物流企业实际工业场景，依照客户提出的服务需求，完成 5G 专网部署，落实物流仓储行业的智能化转型，为 5G 专网在各类垂直行业中的应用奠定坚实基础。

##### 3.1.1 独立 5G 专网组网架构

工业互联网作为传统制造业改革创新的重要组成部分，其应用前景广阔，对网络服务质量要求极高。具有低时延、高可靠、高安全特性的独立 5G 专网恰好能辅助工厂快速组网与灵活调整<sup>[3]</sup>。

5G 独立专网架构如图 2 所示，独立专网部署集成 SA 核心网、MEC 及 gNB，构成一个灵活的自建网络。园区 UPF (user plane function) 及 MEC 平台可以部署于邻近企业园区的运营商机房内，亦可直接部署于企业园区的机房内。前者根据客户提出的网络服务需求和业务特征，选择独享或与其他企业共享 UPF；后者采用私有化部署的实现方式，达成数据不出园区的业务要求。通过用户面园区 UPF 本地部署，减少端到端时延。为了保障用户业务安全，通过定制 DNN (deep neural network) 或者专用切片标志来区分

数据网络与路由隔离，依照定制 QoS 提供差异化 SLA (service level agreement)，根据客户签约的隔离级别提供差异化的隔离方式。边缘部署及本地部署这种部署方式构成一套独立的物理专网，具备可保障企业数据的绝对安全、超低网络时延等优点。通过用户面园区 UPF 本地部署，减小端到端时延。部署于边缘机房的 MEC 下沉算力，使得大带宽消耗的计算工作在靠近数据源的边缘完成，让数据在本地进行处理或卸载，提升效率。通过切片专线保障用户体验，达成业务隔离；采用入云专线为 5G 网络快速入云提供安全保障通道，根据实际网络能力引入 EVPN、SRv6 等新技术，保障业务快速发放、网络可编程和客户业务访问体验。

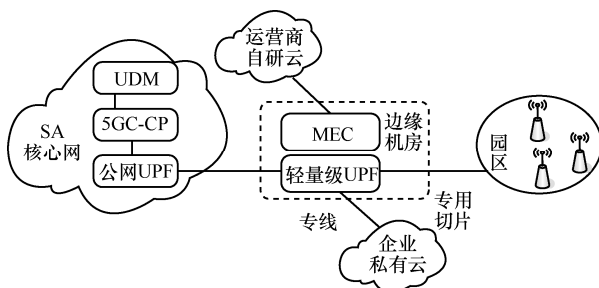


图2 5G 独立专网架构

以为行业客户打造一体化定制融合服务为出发点，基于 5G 专网，实现云网一体定制，满足垂直行业客户的数字化转型过程中对网络、边缘、云、应用等方面的差异化需求。

##### 3.1.2 智能仓储车间 5G 专网搭建

为了帮助仓储物流车间的智能化转型，基于 5G 定制服务网，搭建仓储融合专网，实现生产流程全生命周期的自动化、可视化、数据化<sup>[4]</sup>。借助定制网提供的高质量网络服务，确保企业及时掌握仓储数据，准确下派作业任务，保障物资和订单高效、稳定地生产。

智能仓储按照功能类型可分为储存区、拣选区和分拣区 3 类区域。

- 储存区，通常以立体仓库形式存在，用于



物品的储存,区域内的智能终端基于 WMS (warehouse management system)、WCS (warehouse control system) 对库存和出入库任务进行综合调度和管理,为用户提供高效率、高度自动化、存拣一体化的储存。

- 拣选区,主要完成拣选物品的任务,在 WMS 调度下,按照派送订单拣选出物品,并自动按订单目的地执行搬运任务,实现库内无人化拣选。
- 分拣区,用于物品自动化传送、分播和分拣,将打包好的物品划分到不同的目的区域。

由于智能终端对业务处理的时延要求较高,为单个智能仓储园区内的智能终端提供服务的 WCS、5G 专网监测系统及本地仓储数据系统更适合部署在本地 MEC (园区级或区域级) 中。本地 MEC 和 5GC 之间通过 5G 入云切片专线来保障业务连接的稳定性,入云切片具有独立 DNN 配置且带宽满足所有智能终端峰值带宽需求的总和。服务于多个物流智能仓储园区和整个系统的 WMS、DMS 及集中仓储数据系统,对成本比较敏感,更适合部署在公有云中。公有云上的集中仓储数据系统与本地 MEC 中部署的本地仓储数据系统通过企业专线实现互通,协同管理仓储数据系统。

以拣选区内的智慧终端 AGV (automated guided vehicle) 为例,仓储数据通信专用网络如图 3 所示,专网部署的侧重点是保障园区内数据的安全性,实现数据不出园区、高度业务隔离。采用独立 UPF 切片,使核心网用户面功能下沉至客户侧边缘与 MEC 组成边缘节点。在园区本地或客户侧边缘运行商机房部署 MEC,园区用户附着激活后由 SMF 根据定制 DNN 选择厂区 MEC 与 UPF 组成节点,对边缘业务进行园区数据本地流量卸载。为了保持与智慧终端的稳定接入,核心网控制层中的 UDM 为固定 IP 地址用户分配固定 IP 地址,边缘节点中的轻量级 UPF 为动

态 IP 地址用户分配动态 IP 地址。以提高仓储物流管理的灵活性为立足点,保证智慧终端在线率,为 AGV、穿梭车这类灵活度高、跨区活动较多的终端分配动态 IP 地址,为自动分拣线这类物理位置稳定的终端分配固定 IP 地址。

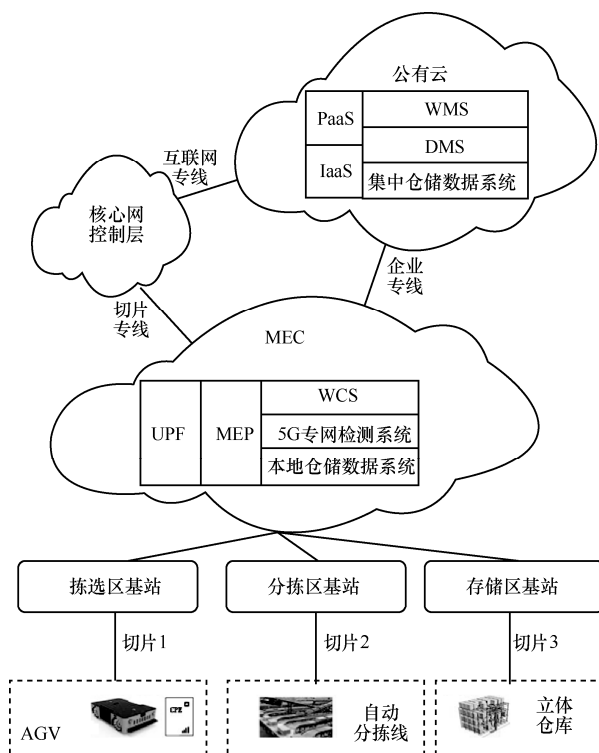


图 3 仓储数据通信专用网络

凭借 5G 网络低时延、大带宽的技术特性,通过 5G 网络将 AGV 所需的计算资源进行云化,在园区实行层级部署,部署高可靠的边缘计算,降低设备复杂度,增强系统稳定性;并借助 5G 网络无缝切换的移动性,实现在线实时协同调度,大幅度提高人机信息交互和反馈处理速度,降低仓储 AGV 的掉线率,提升 AGV 的运行效率,提高仓储物流管理、运送的灵活性<sup>[5]</sup>。

### 3.2 定制化设备选型方案

在专网部署的基础之上,本文考虑对不同区域的无线基站设备部署提出优化方案以确保高质量的网路服务。图 3 中,为针对不同区域智慧终端设备提供通信服务的 5G 专网基站,需根据区域

空间环境情况及生产作业通信需求提供定制化的设备选型方案。除了依照功能划分区域以外,某个特定功能区域可根据其区域内包含的终端设备情况及业务特征对区域进行细化。定制化设备选型方案需结合智能无人仓业务的迭代升级需求考虑设备的长期演进规划、多频段支持能力、超级小区、切片、节能、易优化、可更换等能力,为每个区域选择合适的独立设备和功能,根据干扰和独享资源等需求定制切片方案、精准调节信号的天线方案,可用于功率调节和附加增值软件功能较多的设备。在最低的建设成本下,保证网络设备部署的持续可用。实际场景应用中备选的设备性能参数见表 1。

根据园区指定区域的空间物理环境特点及生产作业通信需求,选定合适的设备与终端保持实时连接。以下依据设备的功率、MIMO 数、支持频段、载波数及网络制式等性能参数,为工作区域作出定制化设备选型方案。

例如考虑区域工作面积小、单终端业务模型容量不高且测试设备密度较大、背负式货架衰减大、与相邻区域同处开放空间需要控制干扰、业务开发迭代快、对性价比要求高等因素,则选择较低功率设备 1;考虑区域与相邻区域类似,需在主测试区避免信号干扰,并在边缘相邻形成弱信号测试和切换测试环境等因素,因此需选择与相邻区域相同的设备;考虑区域内工作面积小且业务模型对上行带宽要求很高,可能需要开启载波聚合等特殊功能等因素,因此选择低功率、多载波的设备 1。

考虑区域内终端设备动线短,但货物和货架

对信号遮挡较严重,业务模型上行速率较大且需考虑与相邻区域的切换测试等因素,因此选择中功率、高容量、低时延的设备 2;考虑区域需在室内模拟室外信号环境,测试区中间有隔断墙、业务模型要求时延低、建设成本敏感等因素,因此选择中功率、低时延的设备 2。

考虑区域作业工作面积狭长,且与其他区域紧密相邻,互相干扰严重,单终端业务模型上行速率较大,且测试设备对切换时延敏感等因素,因此选择大功率、高容量、低时延的设备 3。

考虑区域的高密度多穿立体仓库对信号的衰减大,设备运行高度高,单终端业务模型容量不高,测试设备密度较小等因素,因此选择大功率、低容量的设备 4。

### 3.3 网络性能评估

基于实际生产中的仓储物流专网场景,提取园区区域小区用户面通信指标以评估网络性能,验证 5G 专网的搭建足以支持敏感场景仓储行业对服务质量的高需求。

采用接入性指标 RRC 连接平均建立时长及保持性指标无线接通率作为衡量网络质量的参数指标。小区 RRC 连接平均建立时长如图 4 所示,以 15 min 为粒度、6 h 为测试时间区间,提取出小区 RRC 连接平均建立时长,观察图 4 可以发现,平均建立时长基本稳定在 22.4 ms 左右。小区 RRC 连接平均建立时长分布情况如图 5 所示,延长测试时间跨度至 48 h,提取测试园区小区 RRC 连接平均建立时长指标分析并绘制时延分布图,共 264 个频次大于 0 ms,其中 3 个

表 1 设备性能参数

| 对比项  | 单通道最大发射功率 | MIMO 数 | 支持频段                       | 载波数           | 网络制式    |
|------|-----------|--------|----------------------------|---------------|---------|
| 设备 1 | 0.25 W    | 4TR    | 3.5 GHz+2.1 GHz+1.8 GHz 频段 | 2NR(+1NR+1NR) | TDD     |
| 设备 2 | 20 W      | 4TR    | 3.5 GHz+2.1 GHz 频段         | 2NR(+1NR+1NR) | FDD+TDD |
| 设备 3 | 50 W      | 8TR    | 3.5 GHz 频段                 | 2NR           | TDD     |
| 设备 4 | 100 W     | 2TR    | 3.5 GHz 频段                 | 2NR           | TDD     |



小区时延大于 40 ms, 并且每个小区只重复出现 1 个。所有测试数据中时延不超过 43 ms, 满足仓储对时延的需求。考虑仓储车间中终端的移动性, 提取小区的保持性指标无线接入率, 观察表 2 可以看出小区的无线接通情况良好, 由于终端移动导致的高频次小区接入切换现象并没有影响到终端与基站之间的通信。

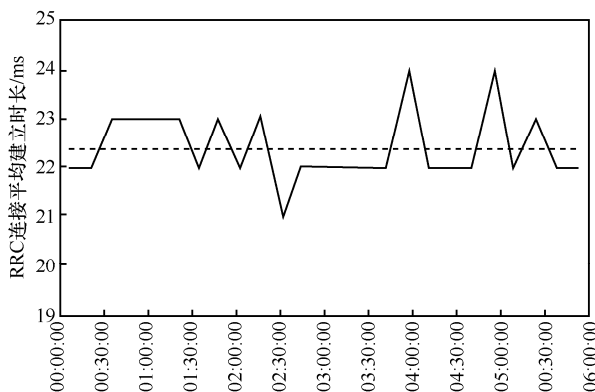


图 4 小区 RRC 连接平均建立时长

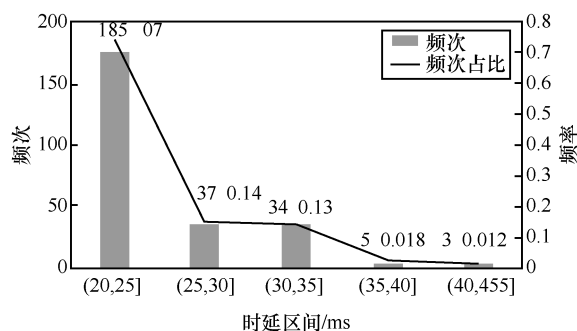


图 5 小区 RRC 连接平均建立时长分布情况

表 2 小区无线接通率分布情况

| 无线接通率 | 100%  | 低于 100% |
|-------|-------|---------|
| 频次    | 2 294 | 11      |
| 频次占比  | 99.6% | 0.4%    |

## 4 结束语

5G 专网在低时延、可靠性、网络安全及能力开放管理等方面具有明显优势, 是智能仓储信息化建设的技術基础。本文结合实际场景, 搭建物流智能仓储 5G 专网, 验证 5G 专网部署方式可满足智慧仓储工业领域的高标准通信需求, 并针对

专网组网场景提出了定制化设备选型方案。在专网实际部署中, 需考虑生产作业通信需求、网络成本等因素以完成 5G 专网组网覆盖实施。5G 专网可按需部署, 满足行业客户对高质量服务的需求, 未来将会应用于各类垂直行业场景中。

## 参考文献:

- [1] 工业互联网产业联盟. 5G 与工业互联网融合应用发展白皮书[R]. 2020.  
Alliance of Industrial Internet. White paper on integration and application of 5G and industrial Internet[R]. 2020.
- [2] 肖子玉, 吕红卫, 赵存, 等. 面向垂直行业的 5G 网络规划设计方法论及产品化解决方案[J]. 电信科学, 2021, 37(6): 143-149.  
XIAO Z Y, LV H W, ZHAO C, et al. 5G network planning and design methodology for vertical industry and product solutions [J]. Telecom Science, 2021, 37 (6): 143-149.
- [3] 中兴通讯. 5G 智慧工厂云化 AGV 应用解决方案[J]. 通信世界, 2019(29): 26-27.  
ZTE. 5G smart factory cloud AGV application solution [J]. Communications World, 2019(29): 26-27.
- [4] 孙念, 傅为. 对 5G 工业互联网的边缘计算技术架构与应用探讨[J]. 数字通信世界, 2020(7): 211-213.  
SUN N, FU W. Discussion on the architecture and application of edge computing technology for 5G industrial Internet[J]. Digital Communication World, 2020(7): 211-213.
- [5] 陈斌, 陈武军, 樊忠文, 等. 5G+MEC 专网智能制造工厂[J]. 通信技术, 2021, 54(1): 215-223.  
CHEN B, CHEN W J, FAN Z W, et al. 5G + MEC private network intelligent manufacturing factory[J]. Communications Technology, 2021, 54(1): 215-223.

## [作者简介]



董石磊 (1980—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为 5G 行业应用、5G 定制网、数字孪生。

赵婧博 (1981—), 女, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为 5G 定制网、5G 行业应用。

黄鹏 (1979—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为 5G 行业应用、5G 定制网。