

The Intel logo is displayed in white on a dark blue background.The asmote logo consists of a circular pattern of dots followed by the word "asmote" in a sans-serif font.The SEER logo features the letters "SEER" in a stylized font above the Chinese characters "仙工智能".

基于 5G 毫米波通信的工业机器人 创新应用白皮书

(2025 年 3 月)

作者:

卫义仁¹, 周明¹, 张文珽², 周进峰³, 冉龙强³, 陈思仁³, 曾红李³, 姜渊志³,
赵鸾理³, 韦影娆 (Candy)³, 王爱喜³, 林丽莉³, 朱晟伟³, 瞿好聪³

公司:

¹ 智慧尘埃 (成都) 科技有限公司

² 上海仙工智能科技有限公司

³ 英特尔 (中国) 有限公司

目录

前言.....	1
缩略词.....	2
一、基于毫米波通信的工业 5G 应用背景.....	4
1.1 行业专频专网	5
1.2 通感算一体化	6
二、基于 5G 毫米波的工业应用.....	7
2.1 基于 5G 毫米波的 AMR 在工业行业的应用	7
2.2 基于毫米波通信的工业 5G 方案的技术实现	9
2.3 应用案例：英特尔成都工厂	10
总结与展望.....	13

前言

近年来，5G 在工业领域的应用日益广泛，在 5G 工业网络的支撑下，工业企业获得了高可靠、广连接、低功耗、低成本的无线专网数据传输服务，助力远程设备操控、无人智能巡检、现场辅助装配、生产现场检测等场景的落地。然而，基于公网的工业 5G 方案在时延、可靠性和覆盖能力等方面仍存在瓶颈，导致其在部分特定应用场景中可能会出现网络时延较高、稳定性不足等问题。

智慧尘埃、仙工智能、英特尔携手推出基于毫米波 (mmWave) 通信的工业 5G 方案，该方案充分利用了 5G 毫米波独立于公网的频段、专频专用、频率资源有保障等优势，能够更好地保障网络的专用性、安全性、可靠性、时延确定性以及抗干扰能力。方案采用英特尔® FlexRAN 参考架构，使用基于英特尔® 至强® 处理器的边缘服务器作为基站网络计算核心，能够在边缘端对网络数据进行高效处理，满足工业场景中自主移动机器人 (AMR) 等设备管理与调度的严苛要求，加速智能制造转型。

目前，基于毫米波通信的工业 5G 方案已经在 AMR 领域得到成功应用，并在英特尔成都工厂成功验证。该方案为 AMR 提供了高安全、高确定、高可靠的 5G 网络环境，成功降低了 AMR 应用中由于网络问题频繁导致的 AMR 碰撞与意外暂停等现象，显著提升了 AMR 的运行稳定性与物料搬运成功率。

缩略词

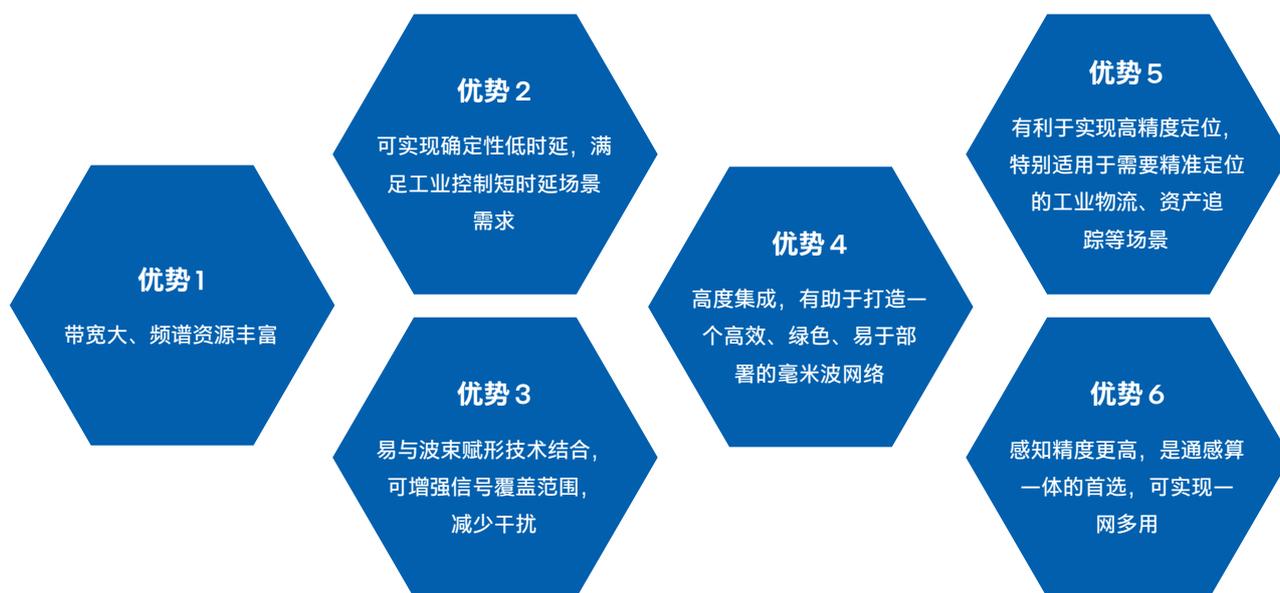
缩略词	英文	中文
3GPP	The 3 rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
5G	The 5 th Generation	第五代移动通信
AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
ADC	Analog to Digital Converter	模拟到数字转换器
AGV	Automated Guided Vehicle	自动引导车
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AIoT	Artificial Intelligence of Things	人工智能物联网
AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移动机器人
AP	Access Point	接入点
AR	Augmented Reality	增强现实
BBU	Baseband Unit	基带处理单元
CFR	Crest Factor Reduction	波峰因数削减
CPE	Customer Premise Equipment	客户端设备
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
DAC	Digital to Analog Converter	数字到模拟转换器
DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
DDC	Digital Down Converter	数字下变频
DDS	Data Distribution Service	数据分发服务
DMRS	Demodulation Reference Signal	解调参考信号
DPD	Digital Pre-distortion	数字预失真
DUC	Digital Up Converter	数字上变频
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
GPU	Graphics Processing Unit	图形处理单元
ISA	Instruction Set Architecture	指令集架构

缩略词	英文	中文
IIOT	Industrial Internet of Things	工业物联网
IT	Information Technology	信息技术
LLR	Log-likelihood Ratio	对数似然比
MAC	Media Access Control	媒体存取控制
MEC	Multi-access Edge Computing	多接入边缘计算
MMSE	Minimum Mean Squared Error	最小均方误差
MOM	Manufacturing Operation Management	制造运营系统
OT	Operation Technology	运营技术
QoS	Quality of Service	服务质量
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	物理上行共享信道
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RHUB	RRU HUB	无线电集线器
ROS	Robot Operating System	机器人操作系统
ROI	Return of Investment	投资回报
RRU	Remote Radio Unit	远程无线电单元
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	监控和数据采集
SDR	Software Defined Radio	软件定义无线电
SLBC	Smart Link Boundless Cell	智能无边界小区
SRS	Sounding Reference Signal	探测参考信号
UPF	User Plane Function	用户面功能
VR	Virtual Reality	虚拟现实
WMS	Warehouse Management System	仓储管理系统

一、基于毫米波通信的工业 5G 应用背景

5G 与工业互联网的深度融合应用已成为驱动经济社会数字化转型的重要力量，为推进新型工业化、建设现代化产业体系提供了坚强支撑。在行业应用层面，5G 毫米波专网在智慧工厂、智慧港口、智慧能源等领域，能够支撑大带宽连接和毫秒级时延的通信服务；在低空经济领域，能够提供高精度无人机探测和感知服务。同时，人工智能 (AI) 技术为毫米波在工业领域创新应用提供了智能化引擎，使网络资源按需配置更加精准，有效满足各行业对于专网架构的特定需求。

与 5G 中低频段相比，5G 毫米波频段具备超大带宽、超低时延、易与波束赋形技术结合、高度集成、能够实现高精度定位与感知等技术优势，这些优势使得 5G 毫米波技术能够较好地应用于越来越多的工业智能化场景需求，为各行业转型升级提供有力支撑。



5G 毫米波的工业领域创新应用方向主要分为行业专频专网以及通感算一体化。

1.1 行业专频专网

随着行业智能化程度不断提升，出现了许多工业领域的行业创新应用，对网络也提出了新的要求。例如工厂的多机器人作业协同、卡车大规模调度等新应用场景，都需要结合行业的场景需求差异与特点提供解决方案。基于公网的 5G 网络在工业互联网应用中的瓶颈主要包括以下几点：

- **网络稳定性不足** — 公网 5G 可能受到其他用户流量的影响，导致时延波动和可靠性降低，难以满足工业级应用的严格要求。
- **时延较高** — 尽管 5G 具备低时延特性，但公网 5G 受基站负载和核心网架构影响，难以实现超低时延（如 ms 级别），对高精度工业控制不利。
- **带宽资源受限** — 公网 5G 频谱资源共享，工业应用可能因流量竞争而无法获得稳定的高带宽支持，影响高清视频监控、AI 检测等应用。
- **数据安全性风险** — 通过公网传输的工业数据容易受到网络攻击、窃听和泄露风险，企业难以完全掌控数据安全。
- **缺乏本地化边缘计算支持** — 公网 5G 依赖运营商核心网，缺乏企业专属 MEC 能力，影响实时数据处理和本地化 AI 推理的效率。
- **虚拟专网难以定制** — 虽然 5G 支持虚拟专网技术，但基于公网的虚拟专网资源需与其他行业共享，难以实现工厂级别的专属优化。
- **成本与投资回报 (ROI) 不确定性** — 长期使用公网 5G 需支付较高的流量费用，同时无法确保稳定性和长期 ROI，影响企业部署决策。

这就需要一种全集成、按需加载、能够实现整体交付的一站式专网解决方案，以实现更好的行业自主性，更高的资源分配灵活性，更强的网络传输确定性以及更高的网络安全性。

更好的行业自主性

是指企业可基于 5G 毫米波专网构建独立、专用的通感算一体化网络。各行业基于业务需求的不同，在同区域内对网络需求动态调整。专网可提供对网络资源的可配置可编程能力，允许企业根据自身需求灵活配置和优化网络参数，从而避免与公网共享资源可能导致的服务质量 (QoS) 和安全问题。

更高的资源使用灵活性

是指企业可以根据业务负载变化，基于 5G 毫米波专网进行灵活的资源分配，确保关键业务在需要时能得到充足且稳定的带宽保障。5G 毫米波专网可以设定严格的服务等级，确保诸如远程控制、实时监控等重要应用获得确定性网络资源，降低网络拥塞对关键业务的影响。

更强的网络传输确定性

是指 5G 毫米波通信采用窄波束技术，在复杂多变的工业环境中也能保持高传输质量，提高了通信的可靠性和稳定性。5G 毫米波专网可根据行业特点设立多重备份和容错机制，提供高于 5G 公网的传输可靠性。

更高的网络安全性

是指 5G 毫米波可在指定区域内构建高度定向、抗干扰性强的无线网络，实现数据的高速、低时延传输。在工业环境中，5G 毫米波专网可以限定通信范围，避免非法侵入和监听的风险，提高数据传输的保密性和完整性。

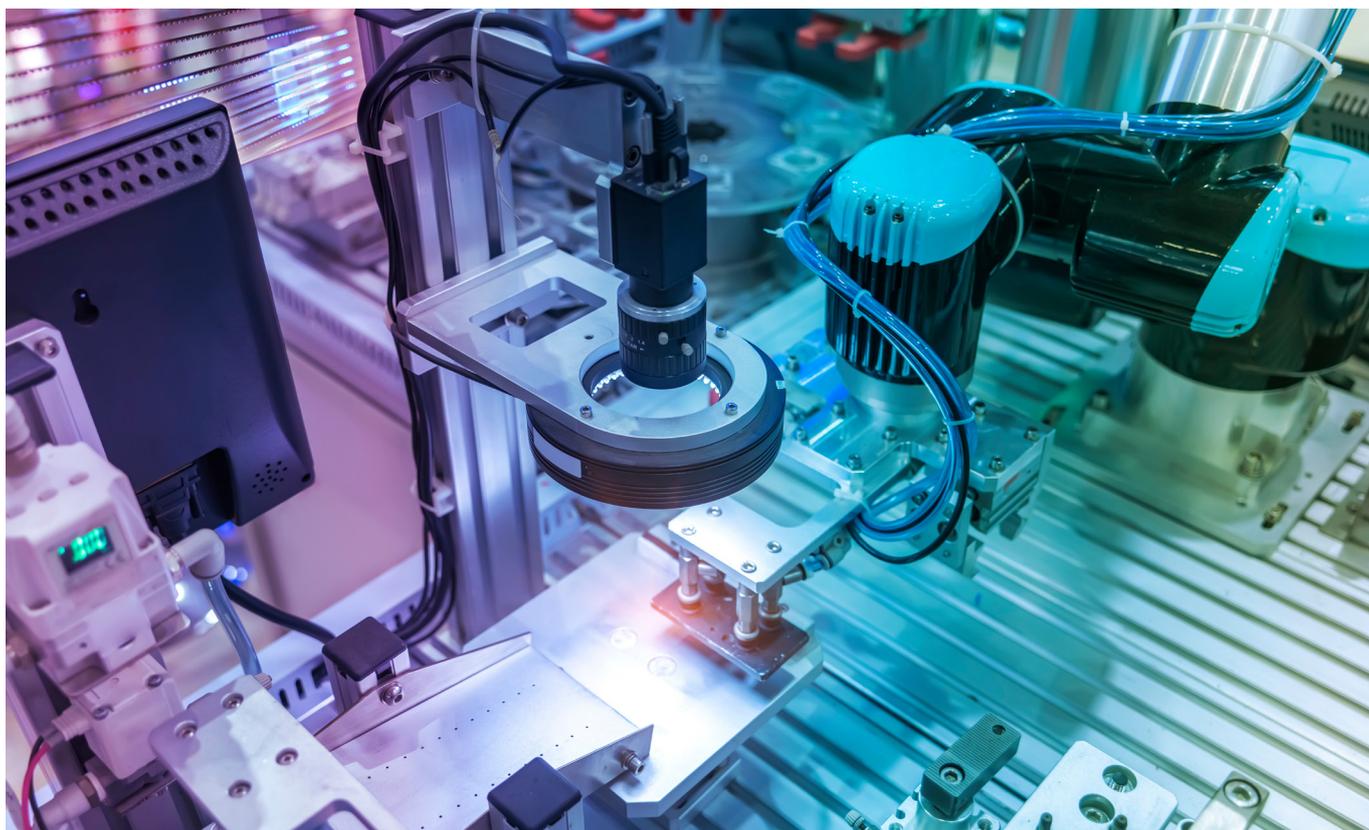
1.2 通感算一体化

5G 毫米波组网架构创新聚焦于集成通信 (Communication)、感知 (Sensing) 和计算 (Computing) 功能于一体的通感算一体化网络架构，这种架构能够实现一网多用的统一网络，满足工业在安全生产、资产追踪、设备运维等典型工业场景的需求。

感知功能集成是指 5G 毫米波专网可以用于雷达和成像等感知应用，通过精细的波束赋形技术，实现精确的空间定位、物体识别和运动检测等功能，为智慧仓储、无人机导航等场景提供强大的感知能力。

通感算一体化网络通过灵活的频谱资源管理和智能调度，可以实现通信、感知和计算功能在同一网络中共享频谱资源，依据业务需求动态分配，达到资源的最大化利用，实现一网多用的效果，为用户降低建网成本，避免重复建设。

统一网络计算架构是指通过 5G 毫米波通感算一体化，使得 5G 毫米波无线组网能够构建一个 AI 内生的可编程、可扩展、高度灵活的统一网络架构，各类应用无需再单独建设和维护独立的通信和感知网络，从而降低运维成本，提高网络的整体智能水平与应用能力。





二、基于 5G 毫米波的工业应用

2.1 基于 5G 毫米波的 AMR 在工业行业的应用

自动移动机器人 (AMR) 是物流机器人的一种, 常见于工厂、工地等场景, 是一种用于物料搬运的运输设备, 其通常具备较大的尺寸与较高的续航, 能够满足工厂内/外的运输需求。随着业务对于物料运输效率要求的不断提升, 以及人力搬运成本的升高, 越来越多的企业加大了对 AMR 的部署力度。AMR 支持采用自动或人工方式装载货物, 按设定的路线自动行驶至指定地点, 再通过自动或人工方式装卸货物。

AMR 依赖于 AMR 自身的自动识别、控制、行进等能力, 以及统一的路径规划与协同管理系统。路径规划与协同管理系统能够通过动态全局协同规划, 进行多 AMR 路径搜索和交通管制, 可令 AMR 有效躲避拥堵, 提升效率, 同时提供优化的任务分配方案, 尽可能提升 AMR 运输资源的利用率。系统还能够实现对整个厂区机器人及智能设备运作情况的实时监控, 促进智能化与数字化转型进程。

英特尔针对 AMR 推出了三款边缘平台, 英特尔® 工业边缘控制平台、英特尔® 工业边缘洞见平台和英特尔® AMR 开发平台, 实现在边缘端对 AMR 机器人运动控制和智能化应用。

● 英特尔® 工业边缘控制平台

融合了信息技术 (IT) 和运营技术 (OT), 公司可以远程部署和控制, 降低成本并缩短部署时间, 同时预先验证的系统硬件允许将新的工作负载添加到现有的计算资源中, 使新的同类最佳产品可以快速、大规模地部署。另一方面, 通过在系统升级和故障期间自动执行工作负载迁移, 英特尔® 工业边缘控制平台能有效减少设备停机时间, 高效复工。

● 英特尔® 工业边缘洞见平台

基于微服务、容器化、灵活总线、支持自行开发的特征, 提供完整的开发工具, 可以满足用户个性化快速开发的需求。平台还支持英特尔全系列硬件, 增强了软硬件之间的耦合度, 实现了系统性优化。

● 英特尔® AMR 开发平台

该平台架构如图 1 所示, 平台基于开源系统 ROS 2 和 DDS 消息总线, 提供集成和优化的驱动、中间件、算法及开发工具, 让不同场景、不同需求下开发和部署 AMR 解决方案变得快速和便捷。其基于模块化的软件和微服务架构, 使开发者可以使用 AMR 开发平台作为整个容器或独立的模块来开发产品的特定功能。这一平台还支持跨英特尔平台完全复用代码, 包括 CPU 和 GPU 等。同时, 基于边缘端和云端的支持, 该平台可以使跨 AMR、边缘和云软件的工作负载编排更加容易。

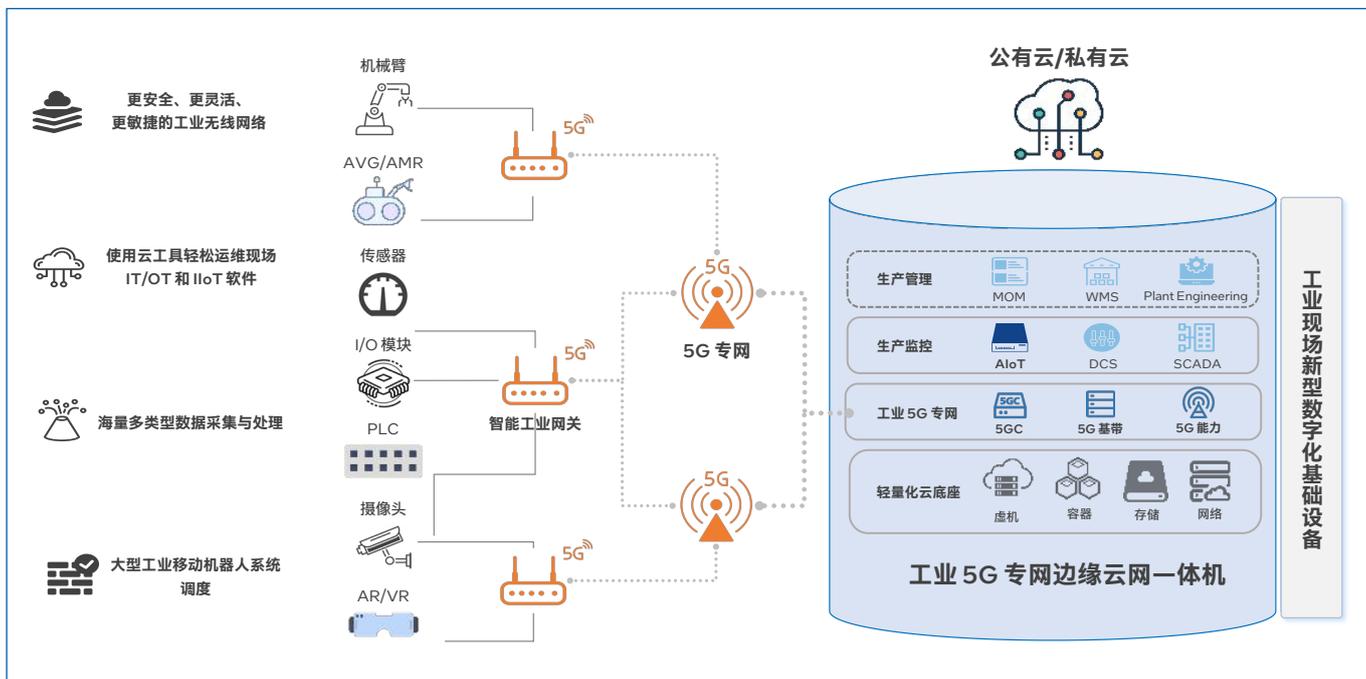


图 1. AMR 云网边端架构

在 AMR 开发过程中，网络对于保证路径规划与协同管理系统的稳定、顺畅运行，确保系统与 AMR 之间流畅互通至关重要。同时，要实现不同分支机构 AMR 的统一管理，也需要云边端的网络支持。由于 AMR 需要承担部分工厂外部的运输任务，而工厂外部通常缺乏 Wi-Fi 网络覆盖。此外，在多个 Wi-Fi 无线接入点 (AP) 之间切换时，可能会出现网络响应延迟，从而影响 AMR 的路径规划与协同管理。此类网络不稳定性可能导致 AMR 发生碰撞或意外暂停，影响运行效率和安全性。

基于 5G 专频专网技术的 AMR 将有助于解决上述问题，其实现了远超 Wi-Fi 网络的覆盖范围，避免了 Wi-Fi AP 切换带来的卡顿等问题。而与 4G 网络相比，5G 网络在时延、带宽等方面具备更高的优势，可制成实现高效的 AMR 管理。

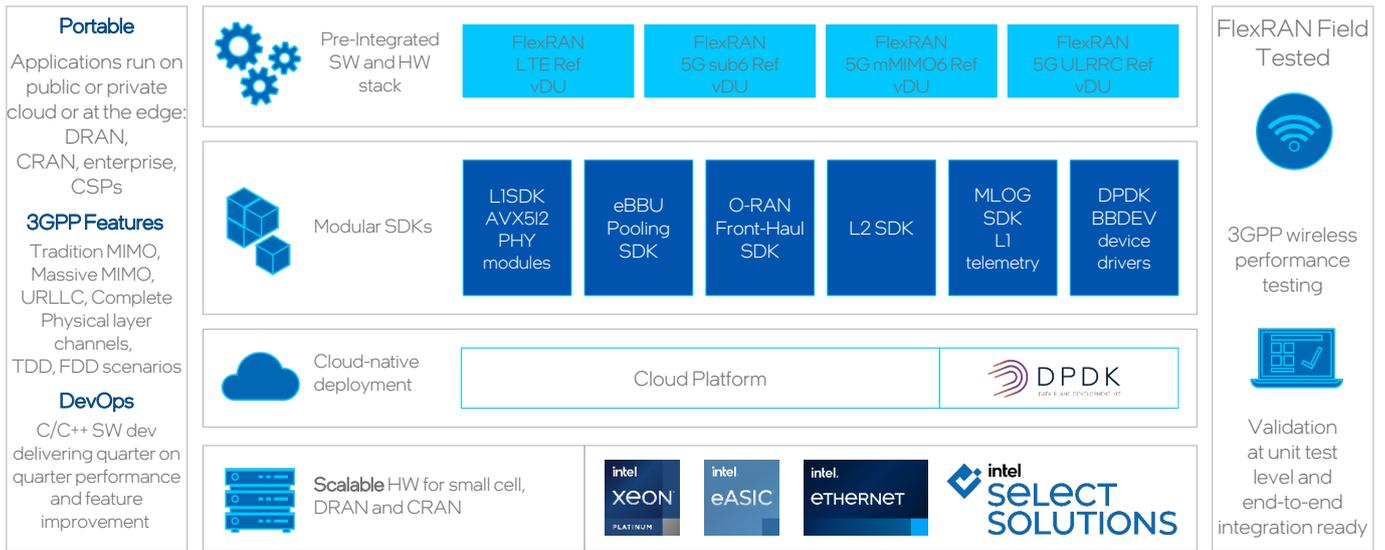


2.2 基于毫米波通信的工业 5G 方案的技术实现

智慧尘埃、仙工智能、英特尔面向 AMR 场景，联合开发了基于毫米波通信的工业 5G 方案。该方案参考了英特尔® FlexRAN 架构，结合智慧尘埃的 5G 毫米波专网技术，设计了一套高效的 5G 毫米波专网方案。方案能够利用轻量化的独立核心网，结合用户面功能 (UPF) 及无线基站，实现专网独立组网。5G 毫米波专网为仙工智能的 AMR 等机器人及自动化设备统一资源调度系统提供了高可靠、高安全、低时延的网络支撑，能够实现设备的高效协同规划、智慧调度。

英特尔® FlexRAN 是一个面向 4G/5G 无线接入网 (RAN) 开发的参考平台，旨在通过基于通用硬件 (如英特尔® 至强® 处理器) 的高性能、模块化架构支持灵活的无线基带处理。其开放的设计理念让设备厂商和运营商能够面向低频广覆盖、高频热点、工业专网等 5G 场景，快速开发和部署符合需求的网络解决方案。下文将重点探讨其软件架构，以及其灵活性、可扩展性和高性能的实现方式。

英特尔® FlexRAN 架构如图 2 所示，其主要包括 3 个主要元素：基带单元、无线电集线器 (RHUB)、远程无线电单元 (RRU)。其中，RRU 基于英特尔® FPGA，能够为多个天线实时部署数字上变频 (DUC)、数字下变频 (DDC)、波峰因数削减 (CFR) 和数字预失真 (DPD)。RRU 中的英特尔® FPGA 还部署了连接高速模拟到数字转换器 (ADC) 和数字到模拟转换器 (DAC) 所需的 JESD204B/C 接口。此外，英特尔® eASIC 结构化 ASIC 产品为 RRU 设计提供了低成本和低功耗的替代方案，让用户可以迅速构建全面虚拟化的无线接入网。



FlexRAN is a SW and HW reference architecture to enable the Open RAN ecosystem to build and deploy highly optimized, feature rich, 4G/5G scalable cloud-native RAN solutions on Intel® architecture

图 2. 英特尔® FlexRAN 参考架构

在本方案中，UPF 采用了面向物联网边缘的英特尔® 至强® 可扩展处理器，该处理器搭载 RAN 加速技术，可实现面向 5G 的前向纠错 (FEC)，并具备新的 5G 指令集架构 (ISA)，可通过半精度 (IEEE754) 16 位浮点数据类型处理的支持，实现性能加速，并通过乘积累加计算等支持加速复杂数据操作处理，从而高效支持 MAC 调度器层映射器、资源元素映射器、预编码、前端格式化、特征波束形成、SRS 信道估计、LLR 去映射、PUSCH 信道估计、MMSE 均衡、DMRS 生成等 5G 负载。本方案的 5G 毫米波专网架构如图 3 所示，其通过采用英特尔® 至强® 可扩展处理器，为 5GC 等设备提供强大的算力支持。

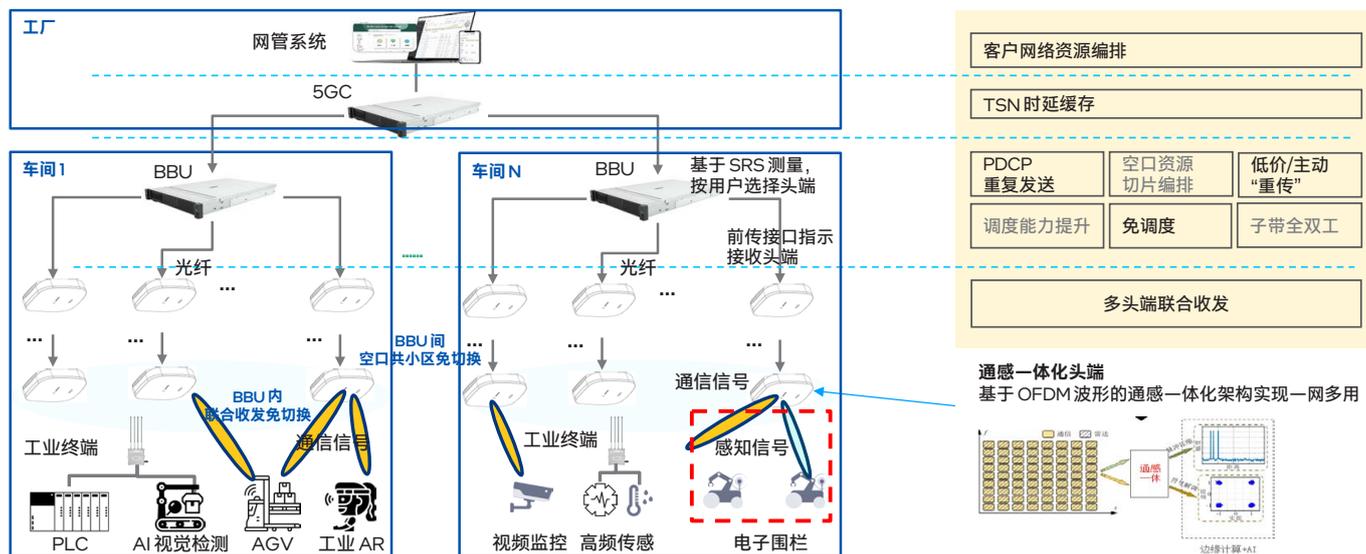


图 3. 5G 毫米波专网架构

2.3 应用案例：英特尔成都工厂

自 2018 年起，英特尔成都工厂采用了 AMR 系统以提高物料搬运效率。该系统通过运营商的公共网络连接，使用户能够远程下达系统指令。AMR 会自动将物料运输到指定的工厂区域，但是，基于公用网络不可控的时延和有限度的覆盖，AMR 经常会遇到与墙壁碰撞或意外暂停的现象。实测数据显示，之前部署的 4G 公网在大多数情况下的时延在 100 毫秒左右，远远超过了 AMR 系统最低时延要求，这给工厂的运维和效率带来了严重的困扰，也给 AMR 的路线规划带来了不可预见的挑战。

为了解决上述问题，英特尔决定建设 5G 毫米波专网，结合仙工智能机器人及自动化设备统一资源调度系统，以更及时便捷地掌握 AMR 物流运输情况，提供更加稳定的运行环境，提高生产效率，同时为未来更多的智能制造应用场景提供基础设施。

相比于运营商的 5G 虚拟专网模式，5G 毫米波采用独立于公网的频段，专频专用 [1]，频率资源有保障，系统完全独立于公网。对于有特殊安全需求的厂商，5G 毫米波专网通过有效的物理隔离和逻辑隔离，保障网络的专用性、安全性和可靠性。

英特尔成都工厂室外物料搬运的整体网络规划如图 4 所示，其分为设备终端/CPE、基站端、基带处理单元 (BBU) 端和 5GC 核心网四个部分，并提供 iNav 网管平台，为企业提供一体化网络管理能力，实现业务的快速开通和定位。

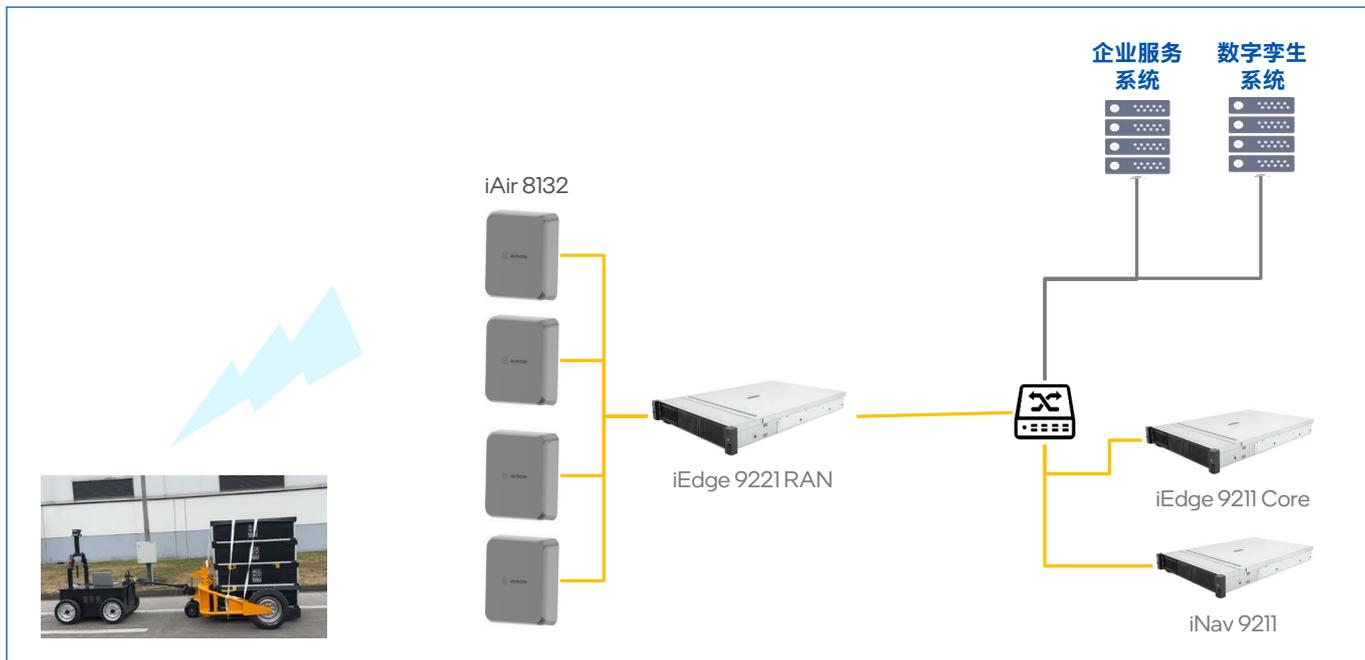


图 4. 英特尔成都工厂面向 AMR 的 5G 毫米波专网部署网络拓扑图

英特尔成都工厂面向 MHV 的 5G 毫米波站点部署和覆盖如图 5 所示，英特尔首先选择了室外 AMR 连接作为应用场景，并在成都工厂的 X、Y、Z 号楼分别部署了四个基站端，以实现 AMR 路线的全覆盖。同时，AMR 将集成 CPE，通过毫米波基站，将 AMR 数据上传到公司内部网络系统中的管理后台，保障生产作业的正常进行。通过毫米波+有线组网，用户最终可以在后台实时查看终端的生产信息，进行实时操作和远程控制等业务，实现无人化的应用。

为实现 AMR 路线的全覆盖，在部署时通过机械下倾、电下倾等方式减少覆盖近端盲区。如图 6 所示，部署时头端 1 和头端 4 通过机械下倾 22.5°，实现近距离覆盖；头端 2 和头端 3 通过电下倾（毫米波波束指向下倾 8°）实现百米级覆盖。为保障业务的连续体验、提升可靠性，智慧尘埃采用了智能无边界小区 (SLBC) 技术，保证 AMR 移动过程中 0 切换，实现了 AMR 的确定性用户体验速率和确定性时延能力。

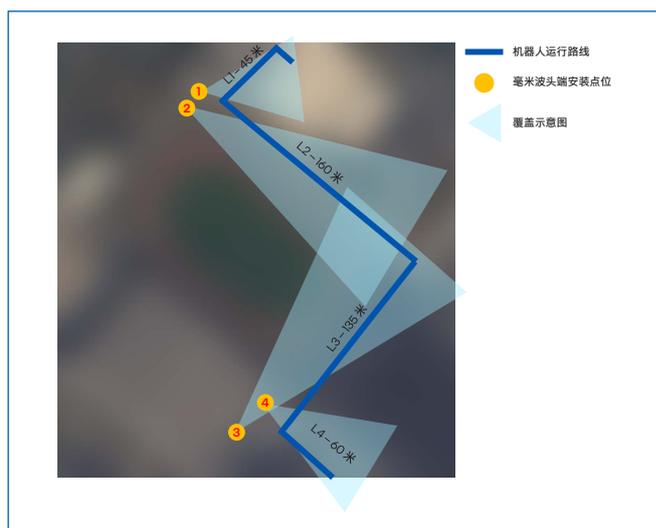


图 5. 英特尔成都工厂面向 MHV 的 5G 毫米波站点部署和覆盖示意图



图 6. 英特尔成都工厂面向 AMR 的 5G 毫米波站点安装图

所有 5G 网元及配套传输、网管等均由工厂独立建设。5G 控制面和用户面全部下沉到厂区，专网专用。基于这种模式，实现了 5G 端到端的可管可控，可以针对厂区内各种不同工业场景的话务模型需求，进行定制化的优化适配，并且可以根据工业现场的实际需求，设计合适的 5G 冗余可靠架构，满足工业级确定性严苛要求。

5G 毫米波专网建设完成后，通过部署的 5G 毫米波工业终端 CPE、基站 AAU、基带 BBU 及 5GC 核心网系统，实现 AMR 机器人的数据实时回传。用户最终可以在管理后台实时查看订单信息，保障生产作业的正常运行，进行实时操作和远程控制等业务，实现无人化的应用。如表 1 所示，5G 毫米波专网的时延和可靠性可达 20ms@99.99%，组网容量上行峰值吞吐量超过 1.94Gbps，下行峰值吞吐量超过 2.92Gbps；此外，专网下沉到英特尔成都工厂园区，让工厂员工可以自主控制每个网元，真正实现“数据不出园区”。

表 1. 5G 毫米波专网/5G 公网实测数据对比 [2]

	5G 毫米波专网	公网
网络时延	20ms@99.99%	100ms
上行吞吐量	峰值: 1.94Gbps	97.00Mbps
下行吞吐量	峰值: 2.92Gbps	194.16Mbps

相较于传统的网络解决方案，5G 毫米波专网提供了低时延、高确定性的网络能力，在 AMR 调度与管理中发挥了至关重要的作用，保证了园区 AMR 运行的高效流畅。未来，我们将探索如何将 5G 毫米波专网赋能人形机器人等应用，释放该技术在远程设备操控、无人智能巡检、现场辅助装配、生产现场检测等场景的应用潜力，期望进一步提升生产效率与安全。

— 王波
英特尔产品（成都）有限公司
资产与项目管理经理

总结与 展望

在 AMR 等场景的应用效果显示，基于毫米波通信的工业 5G 方案在时延、稳定性、安全性等方面相较于基于公网的 5G 工业专网有着显著的优势，可满足工业互联网的严苛要求，加快推动 5G 专网在工业领域的普及，同时也展现了该方案在人形机器人、远程设备操控、无人智能巡检、现场辅助装配、生产现场检测等场景的巨大应用潜力。

以人形机器人为例，在政策鼓励、技术进步与市场需求三大板块的加持下，中国人形机器人到 2030 市场规模预计可达 379 亿元，销量可达 27 万台。而工业领域也迎来新的变革，新能源、汽车、3C 电子、半导体等行业纷纷开始新的机器人布局。而在具身智能技术的加持下，人形机器人或类人形机器人有望在非结构化、复杂的生产环境中执行更灵活、更细致的任务，成为工人的得力助手，并帮助企业提升整体生产效能，从而在激烈的市场竞争中保持技术和成本优势。

要满足人形机器人操作和互动需求，需要实现多路深度视觉、听觉、触觉等多源数据采集与处理，同时处理的数据规模可达 Gb 级，要保证数据端到端的快速处理，实现人员控制指令毫秒级反馈，就需要高带宽、低延时的网络支持。

基于毫米波通信的工业 5G 方案可以支持操作人员以更低的时延、更高的稳定性实时控制人形机器人，从事灾难现场救援、核设施维护等任务。多个人形机器人还可通过基于毫米波通信的工业 5G 方案实现高效协作，共同完成复杂任务，如在大型建筑施工中协同搬运重物。

随着 5G 毫米波技术的不断发展和人形机器人的应用场景不断拓展，两者将深度融合。未来，人形机器人将通过 5G 毫米波技术实现更高效的环境感知和决策，更自然的人机交互，更复杂的任务执行。同时，5G 毫米波技术将为人形机器人提供更强大的通信支持，使其在复杂环境中的应用提供更广阔的空间。

在当前工作成果的基础上，智慧尘埃、仙工智能、英特尔将携手对于基于毫米波通信的工业 5G 方案进行进一步的创新，包括采用英特尔® Edge Insights (英特尔® EIS)，将 5G 毫米波工业网络能力融入到更广泛的边缘工业平台中；在方案中扩展 AI 应用，实现 AMR 等设备的自动规划规划，依托智能化转型进一步推动工业企业的降本增效；实现虚拟化的工作负载整合，将更多负载集中在同一边缘平台进行处理，从而简化基础设施设计并降低成本；以及实现多个节点的集中管理，增强对于平台的可视性与可管理能力，确保平台处于高效稳定的运行状态。

在智能制造转型大潮中，5G 毫米波专网将有望扮演更加重要的角色，赋能行业的深度变革。

参考文献

1. TD 产业联盟，5G 产业和市场发展报告 2023Q4 [R]，2024。
2. 工业和信息化部，2023 年通信业统计公报 [R]，2023。
3. 全球移动通信系统协会，5G 毫米波技术白皮书 [R]，2020。
4. 英特尔 FlexRAN。

注释

[1] 26GHz 毫米波频段经过了管理部门关于无线电实效发射试验活动临时用频的批复。

[2] 5G 毫米波专网的上行峰值基于带宽 400MHz、2:3 配比；下行峰值基于带宽 400MHz、4:1 配比。



英特尔致力于尊重人权，坚决不参与谋划践踏人权的行爲。参见英特尔的《[全球人权原则](#)》。英特尔的产品和软件仅限于不会导致或有助于违反国际公认人权的应用。

实际性能受使用情况、配置和其他因素的差异影响。更多信息请见 www.intel.com/PerformanceIndex

性能测试结果基于配置信息中显示的日期进行测试，且可能并未反映所有公开可用的安全更新。详情请参阅配置信息披露。没有任何产品或组件是绝对安全的。

具体成本和结果可能不同。

英特尔技术可能需要启用硬件、软件或激活服务。

英特尔未做出任何明示和默示的保证，包括但不限于，关于适用性、适合特定目的及不侵权的默示保证，以及在履约过程、交易过程或贸易惯例中引起的任何保证。

英特尔并不控制或审计第三方数据。请您审查该内容，咨询其他来源，并确认提及数据是否准确。

© 英特尔公司版权所有。英特尔、英特尔标识以及其他英特尔商标是英特尔公司或其子公司在美国和/或其他国家的商标。其他的名称和品牌可能是其他所有者的资产。