

5G 与工业互联网融合应用发展 白皮书

工业互联网产业联盟（AII）

5G 应用产业方阵（5G AIA）

2019 年 10 月

目 录

第一章 5G+工业互联网应用发展现状.....	1
1.1 全球 5G+工业互联网政策及应用现状.....	1
1.2 我国 5G+工业互联网政策及应用现状.....	3
第二章 5G+工业互联网应用场景及需求	5
2.1 概述.....	5
2.2 5G+超高清视频	6
2.3 5G+AR.....	8
2.4 5G+VR.....	8
2.5 5G+无人机	9
2.6 5G+云端机器人	11
2.7 5G+远程控制.....	12
2.8 5G+机器视觉.....	13
2.9 5G+云化 AGV	14
第三章 5G+工业互联网应用的网络架构	16
3.1 概述.....	16
3.2 切片网络架构.....	17
3.3 边缘计算网络架构.....	19
第四章 5G+工业互联网应用的典型案例	21
案例 1：5G+电子制造	21
案例 2：5G+港口	23
案例 3：5G+电网	27

案例 4：5G+家电制造	29
案例 5：5G+物流仓储	31
第五章 5G+工业互联网应用的主要挑战	32
5.1 工业场景基础设施数字化改造有待增强.....	32
5.2 ICT 与 OT 企业跨行业对接不足	33
5.3 产业发展驱动存在问题	34
第六章 5G+工业互联网应用的发展建议	35
6.1 加大 ICT/OT 行业的对接交流.....	35
6.2 提供融合应用政策保障，完善产业发展体系.....	36

第一章 5G+工业互联网应用发展现状

5G 是新一代移动通信系统，5G 与工业融合之后，逐步成为支撑工业生产的基础设施。5G 与工业生产中既有研发设计系统、生产控制系统及服务管理系统等相结合，可以全面推动 5G 垂直行业的研发设计、生产制造、管理服务 etc 生产流程的深刻变革，实现制造业向智能化、服务化、高端化转型。

1.1 全球 5G+工业互联网政策及应用现状

目前，世界各国都在以制定政策和成立联盟的方式加快推动 5G 与工业互联网的融合发展，并已开展了 5G+工业互联网应用的初步探索。

2017 年起，美国就开始着手 5G 的应用并逐步扩大，美国联邦通信委员会（FCC）通过设立 5G 基金等方式推进 5G 向精准农业、远程医疗、智能交通等领域渗透。“5G 美洲”是美国的一个工业贸易组织，主要由领先的电信服务提供商和制造商组成。“5G 美洲”通过发布涉及 5G+工业应用的白皮书来推动 5G 技术在美洲工业领域的应用，例如在 2018 年 11 月发布了垂直行业内用于自动化的《5G 通信白皮书》和《5G 高可靠低时延通信支持的新业务和应用》白皮书，在 2018 年 3 月发布了《蜂窝 V2X 通信到 5G》白皮书。与此同时，美国电信运营商也加快了 5G 与制造业融合的应用实践，例如美国电信运营商 AT&T 与三星电子在德克萨斯州打造了美国第一个专注于制造业的

5G 应用测试平台，并且探索了工业设备状态监测、员工培训等 5G 应用。

欧盟早在 2016 年就发布了“5G Action Plan”，并在 2018 年启动了 5G 规模试验。2018 年 4 月，欧盟成立工业互联与自动化 5G 联盟(5G-ACIA)，联盟集合了 OT 龙头企业、ICT 龙头企业、学术界等完整的生态系统，共同推进对工业需求的理解并向 3GPP 标准导入，同时探讨 5G 用于工业领域所涉及的话题，包括组网架构、运营模式、频谱需求等。2018 年 7 月，欧洲 5G 研究计划——5G 公私合作伙伴关系（5G PPP）正式启动了第三阶段的研究，其中 5G Verticals 创新基础设施项目通过提供端到端（E2E）设施，支持工业、港口等垂直行业应用的端到端试验。德国作为工业 4.0 的发起国，更是通过“5G Strategy for Germany”和“Digital Strategy 2025”推进 5G 在德国的应用，尤其是在工业领域，以西门子、博世为代表的 OT 企业积极推进 5G 服务工业的应用研究与实践，并在汉诺威工业展上展示了基于 5G 的 AGV 应用等研究成果。欧盟各国电信运营商也纷纷与制造企业合作开展 5G 应用探索，如英国伍斯特郡 5G 工厂，探索使用 5G 进行预防性维护、机器维护远程指导等应用。

在亚洲，日本确定了 2020 年东京奥运会实现 5G 大规模商用部署的目标，5GMF 组织推动了 5G 规模试验，同时日本发布了“White Paper on Manufacturing Industries”以推进 5G 在工业领域的应用。韩国于 2018 年底成为全球第一个向公众提供基于 3GPP 标准的 5G 商用服务国家，同时韩国发布了“Manufacturing Industry Innovation 3.0”，

推进制造创新发展。韩国在 2019 年 4 月发布 5G+战略，确定五项核心服务和十大 5G+战略产业，其中智慧工厂是五项核心业务之一。韩国三大电信运营商在 2018 年 12 月推出的 5G 网络服务主要聚焦在企业侧，首批用户均为制造厂商。韩国 SK 电讯的第一个 5G 客户锁定为汽车配件商明化工业，为其提供 5G+AI 机器视觉质检服务，资费模式因客户而定制。LGU+的第一个 5G 客户是从事工业机械和先进零件的公司斗山工程机械，LGU+与其共同开发了 5G 远程控制挖掘机。

此外，加拿大(“Digital Canada 150”)、澳大利亚(“Digital Economy Strategy”)、新加坡(“Smart Nation 2025”)、沙特阿拉伯(“Vision 2030 supports digital economy growth”)、印度 (“Made in India" and "Digital India" for the future)、巴西(“Efficient Brazil Strategy”)、俄罗斯(“Digital Economy Strategy”)、泰国 (“Thailand 4.0”)、马来西亚 (“Digital Malaysia”)等发达国家以及发展中国家也都制定了数字化战略，直接或间接地为 5G 服务工业提供了国家战略支持。

1.2 我国 5G+工业互联网政策及应用现状

我国高度重视 5G 与工业互联网的融合发展，各省市也纷纷制定政策推进 5G+工业互联网的应用示范落地。

2017 年 11 月，国务院印发《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，明确将 5G 列为工业互联网网络基础设施，并开展 5G 面向工业互联网应用的网络技术试验，协同推进 5G 在工

业企业的应用部署。

2019 年 1 月，工业和信息化部发布《工业互联网网络建设及推广指南》，工作目标中指出到 2020 年，形成相对完善的工业互联网网络顶层设计，初步建成工业互联网基础设施和技术产业体系。5G 作为工厂外网及内网重要组成部分，将在标准、标杆网络、公共服务平台、测试床等方面获得国家项目及政策支撑。2019 年，工业和信息化部在工业互联网创新发展工程中设置工业互联网企业内 5G 网络化改造及推广服务平台项目，支持 5 家国内工业企业及联合体开展 5G 内网部署模式、应用孵化推广、对外公共服务等方面开展探索。2019 年 8 月，工业和信息化部在上海中国商用飞机有限责任公司召开“5G+工业互联网”全国现场工作会议，会议首次提出落实“5G+工业互联网”512 工程，加强试点示范、应用普及、培育解决方案供应商，加快“5G+工业互联网”在全国推广普及。

同时我国已有十几个省市地区发布了 5G 产业规划，北京、上海、广东、深圳、浙江、福建等地都将 5G 与工业的融合应用作为产业规划的重点。浙江省明确提出开展“5G+工业互联网”试点示范，在重点企业打造人、机、物全面互联的工厂物联网网络体系，推进 5G 与物联网、人工智能的融合应用。

在 5G+工业互联网的应用方面，我国以 5G 应用产业方阵和工业互联网产业联盟为跨界合作交流平台，以“绽放杯”5G 应用征集大赛为抓手推动 5G 向工业互联网领域渗透，涌现出一大批优秀的 5G+工业互联网应用示范企业，如中国上飞、杭汽轮、精功科技、青岛港、

南方电网等。依托 5G 网络，中国上海飞机制造有限公司实现了大飞机制造的智慧工业园区，青岛港已成为全球首个 5G 试点智慧港口，南方电网实现了电力场景采集和控制类关键业务的智能化改造。

中国电信、中国移动、中国联通三大电信运营商纷纷制定计划，推进 5G 应用的落地和发展。中国电信正在积极推进 5G+工业互联网的创新研发工作，坚持 SA 发展方向，引领行业发展，通过 5G 网络切片、行业 MEC、工业互联网平台等自主研发成果，助力企业数字化转型。中国移动全面实施“5G+”计划，通过推进 5G+4G 协同发展、5G+AICDE 融合创新、5G+ Ecology 生态共建，实现 5G+X 应用延展，推动 5G 融入工业互联网等行业，目前已在 14 大行业与头部企业开展探索，在 2020 年将打造 100 个标杆示范应用。中国联通先后成立了中国联通 5G 应用创新联盟、中国联通工业互联网联盟，面向制造业数字化、网络化与智能化升级进行了深入的研究与探索，结合自身的通信管道技术、云平台服务以及资源优势赋能工业企业创新转型升级，在港口、钢铁、电子家电等行业进行了基于 5G+工业互联网的技术验证与应用，取得了良好的示范效果。

第二章 5G+工业互联网应用场景及需求

2.1 概述

5G 是数字化从个人娱乐为主推向全连接社会的起点，是移动通信行业的机遇。然而 5G 与工业互联网的融合也对现有移动通信技术

提出了挑战。5G 与工业互联网融合应用出现了八大类新型场景，分别为 5G+超高清视频、5G+AR、5G+VR、5G+无人机、5G+云端机器人、5G+远程控制、5G+机器视觉以及 5G+云化 AGV，相应应用场景对 5G 网络提出了新的需求。在应用场景发展节奏方面：5G 与超高清视频的融合应用已进入应用成熟期，将成为 5G 在工业互联网领域的第一批应用场景；5G+AR、5G+VR 以及 5G+机器视觉等应用已进入高速发展期，经济价值逐渐显现，未来 1-2 年将成为工业互联网的主流应用场景；5G+云化 AGV、5G+无人机等应用受限于与设备深度融合的需求，还需等待产品成熟，未来 2-3 年将有较快发展；5G+远程控制和 5G+云端机器人等应用由于涉及工业核心控制环节，目前还处于探索期，有待进一步的测试验证。

2.2 5G+超高清视频

超高清视频是继视频数字化、高清化之后的新一轮重大技术革新，将带动视频采集、制作、传输、呈现、应用等产业链各环节发生深刻变革。高清视频被认为是 5G 时代应用最早的核心场景之一，加快发展超高清视频产业，对满足人民日益增长的美好生活需要、驱动以视频为核心的行业智能化转型、促进我国信息产业和文化产业整体实力提升等具有重大意义。

随着技术发展，超高清视频已不局限于监视、录像、回放等传统功能，开始向字符识别、人脸识别、行为分析、物体识别等智能化方向发展，对视频流的清晰度以及流畅度提出了更高的要求，而 5G 网

络的承载力成为解决这些需求的有效手段。在工业环境下，高清视频的主要应用在于智慧园区的安防、人员管理等场景，通过 5G 高速率的特性，将采集的监测视频/图像实时回传，实现视频、图片、语音、数据的双向实时传输，同时结合 5G MEC 统一监控平台，实现人员违规、厂区的环境风险监控的实时分析和报警，大大提高作业安全规范性。

超高清技术是高清技术的延伸，代表了近年来音视频产业发展的主要方向。与高清技术（1920×1080，约 200 万个像素）相比，4K（3840×2160，约 830 万个像素）超高清像素数为高清的 4 倍，理论清晰度为高清的 2 倍；8K（7680×4320，约 3300 万个像素点）超高清分辨率为高清的 16 倍，理论清晰度为高清的 4 倍。超高清视频提升了分辨率、亮度、色彩、帧率、色深、声道、采样率等指标，这些技术指标的提高虽然可以给观众带来极为清晰、逼真和沉浸感的画面，但是也使音视频数据量成倍增长。按照目前超高清视频产业主流标准，4K/8K 视频对网络速率要求至少为 12-40Mbps，甚至可达 48-160Mbps。

超高清视频对于 5G 网络的需求

典型应用	分辨率	通信速率 (压缩后)	编码格式	帧率 (fps)	通信时延	应用范围
高清视频 实时上传	1080p	2-10Mbps, 蓝光视频约 20Mbps	H.264、H.265	30、60	<30ms	图片视频信息 采集传输
	4K	12-40Mbps	H.264、H.265	30、60	<30ms	人脸识别等 高清视频采 集等
	8K	48- 160Mbps	H.264、H.265、 H.266	60、120	<20ms	超高清检测 等

2.3 5G+AR

增强现实（AR）是人工智能和人机交互的交叉的学科，是一种实时地计算摄影机影像的位置及角度并加上相应图像、视频、3D 模型的技术，也是一种把真实世界和虚拟世界信息有机集成的技术。AR 把原本在现实世界一定时空范围内很难体验到的实体信息（主要包括视觉和听觉信息）通过计算机模拟仿真后叠加，将虚拟的信息应用到真实世界并被人类感官所感知，从而达到超越现实的感官体验。

目前 AR 的应用已融入到了工业制造的交互、营销、设计、采购、生产、物流和服务等各个环节，典型的应用包括 AR 远程协助、AR 在线检测、AR 样品展示等。利用基于 5G 的 AR 远程协助，后台专家可以通过语音视频通讯、AR 实时标注进行远程协作，实现了现场人员和远程专家的“零距离”沟通，大大提高了工业生产、设备维修、专业培训等价值链的效率。

AR 远程协助对于 5G 网络的需求

典型应用	通信速率	通信时延	应用范围
维修指导	>50Mbps（下行）； >20Mbps（上行）	<20ms	工厂设备维保
辅助装配	>50Mbps（上行）	<10ms	设备辅助装配于远程协助

2.4 5G+VR

虚拟现实（VR），是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统，利用计算机生成一种模拟环境，使用户沉浸到该环境中。虚拟现实技术就是利用现实生活中的数据，通过计算机技术产生的电子信

号，将其与各种输出设备结合使其转化为能够让人们感受到的现象，并通过三维模型表现出来。

目前 VR 的在工业互联网中主要应用在虚拟装配、虚拟培训、虚拟展厅等场景：VR 虚拟装配是工业设计必不可少的审核环节，可以在设计接口、部件外观大小等方面最大化优化产品实际装配时的能效；VR 虚拟培训相较于传统的课堂更能全面、及时反馈，相比于教科书里面难懂的文字和需要考验学生想象力的平面图，虚拟现实的场景表达更直观，并传递更多的信息；VR 虚拟展厅将展厅及展示产品 3D 化，带给观展者足不出户就能身临现场的体验。

基于 5G 的 Cloud VR，结合眼球跟踪渲染技术、GPU 定点渲染、LED 高 PPD 屏幕技术，VR 终端可以完全实现无线化和轻量化；由于云端内容与无线 VR 直连，不能被本地复制，进一步保护了内容版权；用户互动数据传输到云端并进行计算，再反馈回本地终端，大大降低 VR 的成本。

VR 对于 5G 网络的技术需求

典型应用	沉浸等级	速率要求	时延	应用范围
VR 虚拟应用	初步沉浸	25Mbps	<40ms	虚拟展示等静态展示
	部分沉浸	100Mbps	<30ms	虚拟培训等交互场景
	深度沉浸	400Mbps	<20ms	虚拟装配等强交互场景
	完全沉浸	1Gbps	<20ms	强交互，全沉浸场景

2.5 5G+无人机

无人机作为高新科技发展的产物，目前在我们周边的应用已经越

来越广泛。从应用领域来说，无人机可分为消费级无人机和工业级无人机，相对于已经较为成熟的消费级无人机，工业级无人机的应用还处在不断探索的阶段。目前，工业级无人机被广泛的应用在智慧物流、智慧园区、设备巡检等领域。

以智慧园区安防为例，安保人员需要按照固定的岗位和流动的岗位分别安排并进行厂区安全巡视，内容包括人员、财产、治安、消防安全。为了确保厂区每一个角落都能得到合理的监控，需要大量的摄像头设备进行固定视角的管控，对于摄像头的盲区，需要安排安保人员定期巡检。这种传统方式往往存在固定视角监控不到位、安保人员人工费用成本高以及昼夜交替等原因带来的管理问题。

通过 5G 无人机平台，可以实现厂区范围内规范化、常态化的空中安保巡视和设备点检。利用 5G 的高速率、高可靠低时延无线网络，可以将搭载在无人机上的摄像头视频（可见光高清、红外等）实时传送到厂区综合控制中心。通过对视频图像进行基于人工智能的物体识别、模式识别分析，判断所巡检的地点是否存在安保异常或火警异常并实现智能提示，最大限度降低安保人员日常劳动强度。

从设备巡检的角度来说，工业领域有大量的设备工作在位置较高或条件较为恶劣的环境下，以冰箱的发泡工艺环节为例，设备最高处达到 5m，传统的人员巡检不仅浪费时间，还带来人身安全隐患。传统的基于 4G 的无人机时延大，画面不清晰，而采用 5G 的无人机设备巡检有两个优势：一是 5G 的上行速率可达 200Mbps，可以支持 4K、8K 甚至全景的视频回传；二是 5G 毫秒级的低时延高可靠特性可以

有效地保障无人机的精确控制和精准定位。

无人机对于 5G 网络的需求

典型应用	上行速率要求	下行操控速率	控制时延	应用范围
智慧园区安防/设备巡检数据回传	>25Mbps (4K)	600kbps	<10ms	厂区无人机安防
	>100Mbps (8K)			设备巡检

2.6 5G+云端机器人

2017 年发布的《人工智能时代的机器人 3.0 新生态》白皮书把机器人的发展历程划分为三个时代，分别称之为机器人 1.0、机器人 2.0、机器人 3.0。在机器人 2.0 的基础上，机器人 3.0 实现从感知到认知、推理、决策的智能化进阶。2019 年 6 月，《机器人 4.0 白皮书》发布，机器人 4.0 时代是在机器人 3.0 时代加上自适应能力，对三维环境语义的理解，在知道它是什么的基础上，把看到的信息变成知识，让存储就变得更加合理，而且可搜索、可查询、可关联、可推理。

近几年来人工成本不断提高，不但使得工业企业的利润持续降低，而且大量的人工操作不利于产品质量控制和企业管理。机器人成为了解决人工成本的优秀替代方式，很多制造业工厂都开始加快机器人应用的步伐，尤其是一些操作工序复杂或精密度较高的工作。传统的工业机器人存在不足，比如工作范围受限、工作内容有限、设备成本高等问题。随着人工智能、云计算等技术的不断成熟，云化机器人将逐渐成为主流。云化机器人将控制“大脑”放在云端，根据本地机器人的不同工作内容和工作地点针对性控制，真正实现机器人的自主服务和自主判断。同时由于“大脑”放在了云端，“大脑”可以将所有机器人检

索的信息进行整合，完善自身的学习能力和自优化能力。随着云端学习能力的提升和数据共享，本地机器人本身不需要存储资料信息，也不需要具备超强的计算能力，这样一来机器人的开发成本和时间也会大大缩减。

实现云端机器人大规模密集部署和应用拓展，对 5G 网络提出了两个需求，即：满足通信调度及业务数据实时交互需求和集成其它视觉应用的通信需求。云端机器人系统包括室内及室外应用场景，可满足工业高可用指标 99.9999%，通信时延 10~100ms。目前单个机器人安装 10~20 个摄像头（实现视觉导航、视觉检查等多种功能），移动速度提升到 2~3m/s，因而网络上行带宽需求小于 1Gbps（随着低时延的视频压缩和解压技术成熟，可以在机器人端实现视频压缩预处理，节省上行带宽），时延 10~100ms。

云端机器人对于 5G 网络的需求

典型应用	上行带宽	通信时延	应用范围
云端机器人调度通信	1Mbps-10Mbps	10-100ms	机器人端处理机器人语音、视觉、遥控操作协同。
云端机器人实时操控或协作集成其它视觉应用需求	10Mbps-1Gbps	10-100ms	通信调度及语音、视觉、遥控操作协同等业务数据实时交互，机器人本体完成终端传感器预处理（网络需求按移动速度、预处理方案不同而不同）

2.7 5G+远程控制

远程控制一直是工业生产中保障人员安全、提升生产效能、实现多生产单元协助的必要手段。由于远程控制会直接关系生产环节的产品质量和生产效率，目前工业上大多数远程控制还是基于有线网络。虽然有线网络稳定，但也限制了生产的灵活性，同时也在一定程度上

限制了生产过程的控制范围。

为了达到远程控制的效果，受控者需要在远程感知的基础之上通过通信网络向控制者发送状态信息。控制者根据收到的状态信息进行分析判断并做出决策，再通过通信网络向受控者发送相应的动作指令。受控者根据收到的动作指令执行相应的动作，完成远程控制的处理流程。为了保证控制效果，通信网络时延和可靠性就更加重要。

在工业生产中某些环境场合确实不适宜人工作业，比如高温、高空、环境指标差等场合。甚至有的工作人工无法完成，比如工厂内大件货物或港口集装箱的装卸，都需要远程控制机械来实现。要实现远程控制，不仅需要足够高清晰度视频提供视觉支持，还需要实时稳定的网络保证操控的灵敏度和可靠性。这些对现有工业网络和 4G 技术来说是一个挑战。考虑远程控制的需求，5G 网络的优势一方面在于高速率可以满足高清视频回传的要求，另一方面也可以在保证可靠性的前提下满足远程控制对于时延的要求。

远程控制对于 5G 网络的需求

典型应用	通信速率	平均时延	应用范围
图像/视频流上传	上行>50Mbps（8K）	<20ms	远程控制图像回传
PLC 控制指令下达	下行>50kbps	<10ms	控制指令下达

2.8 5G+机器视觉

机器视觉是人工智能的一个重要分支，在工业上的应用极为广泛，可以有效提高生产的柔性和自动化水平。适用于一些人工作业的危险工作环境或者人工难以满足要求的场合。

目前机器视觉的应用主要包含五大类，包括图像识别、图像检测、视觉定位、物体测量、物体分拣等。

为了保证判别结果的准确性和应用的正常运作，整套系统的信号传输是一个关键的因素。通过 5G 网络，机器视觉系统实现以移代固，将视觉系统单元配置为无线传输来替代传统有线连接方式；图像采集自由分布于多个工位且共享图像处理单元，共同实现高速，低成本自动化检测生产线。同时通过 5G+MEC 搭建的“5G 虚拟专用网”将生产过程数据的传输范围控制在企业工厂内，满足生产数据安全性要求，确保了网络安全和生产安全。

基于 5G 虚拟专网和万物互联部署，机器视觉系统可以实现实时远程监测功能。依托 5G 高速率、大连接特性，不用进车间即可通过移动终端和便携终端监视制造企业生产过程执行管理系统（MES），获取视觉检测系统的运行状态，如正常运行时间，有效运行时间，故障原因等。

机器视觉对于 5G 网络的需求

典型应用	通信速率	通信时延	应用范围
图像信息实时上传	>50Mbps (8K)	<10ms	所有图像信息采集传输应用场合
MES 系统信息反馈	>1Mbps	<100ms	所有数据反馈应用场合

2.9 5G+云化 AGV

自动导引运输车（AGV），指装备有电磁或光学等自动导引装置，能够沿规定的导引路径行驶，具有安全保护以及各种移载功能的运输车。AGV 不需驾驶员，以可充电之蓄电池为其动力来源，一般可透

过电脑来控制其行进路线以及行为。AGV 的活动区域无需铺设轨道、支座架等固定装置，因而在自动化物流系统中能充分地体现其自动性和柔性，实现高效、经济、灵活的无人化生产。在制造业，多台 AGV 组成柔性生产搬运系统，运行路线可以随着生产工艺流程的调整而及时调整，大大提高了生产的柔性和企业的竞争力。对于港口、码头和机场等密集搬运场所，AGV 被赋予了更为强大的并行化、自动化、智能化等特性。在一些特殊环境要求的场景，如医药、食品、化工，甚至危险场所和特种行业，AGV 除了基本的搬运工作外，还自带多种传感器，可以执行检查、探测、自动识别等工作。

所谓云化 AGV，是把 AGV 上位机运行的定位、导航、图像识别及环境感知等需要复杂计算能力需求的模块上移到 5G 的边缘服务器，以满足 AGV 日益增长的计算需求，而运动控制/紧急避障等实时性要求更高的模块仍然保留在 AGV 本体以满足安全性等要求。这相当于在云端为 AGV 增加了一个大脑，除 AGV 原有的复杂计算以外，各种各样的 AI 能力扩展成为可能。

实现云化 AGV 大规模密集部署、大范围无缝切换以及应用拓展，对 5G 网络提出了相关需求：即满足通信调度及业务数据实时交互需求，以及集成其它视觉应用的通信需求。云化 AGV 系统包括室内及室外应用场景，室外覆盖范围约 2km；满足工业高可用指标 99.9999%，通信时延小于 100ms。目前的双目视觉 AGV，网络需求为上行带宽 144Mbps（如果 AGV 端视觉预处理，上行带宽要求不高），时延 30~40ms。未来 AGV 安装 6~10 多摄像头（视觉导航、视觉检查等多

种功能), 移动速度提升到 2~3m/s, 网络上行带宽需求小于 1Gbps (随着低时延的视频压缩和解压技术成熟, 可以在 AGV 端实现视频压缩预处理, 节省上行带宽), 时延约为 20ms。

云化 AGV 对于 5G 网络的需求

典型应用	上行带宽	通信时延	应用范围
云化 AGV 调度通信	~1Mbps	<100ms	AGV 调度通信、状态管理等。室外覆盖范围 2km。
云化 AGV 实时通信需求 (SLAM)	1Mbps-200Mbps	20-40ms	通信调度及业务数据实时交互 (网络需求按移动速度、终端传感器预处理方案不同而不同)
云化 AGV 集成其它视觉应用需求	10Mbps-1Gbps	10-100ms	AGV 集成其它应用通信 (与终端传感器、应用密切相关)

第三章 5G+工业互联网应用的网络架构

3.1 概述

5G 服务于工业场景的网络架构设计主要考虑以下几个方面:

- **基本的业务实现需求:** 工业会有 eMBB、uRLLC、mMTC 等多种业务并发的场景, 需要从架构设计上确保资源、算法的协调/隔离, 确保并发场景下的性能保障; 另外, 部分工业应用需要数据在尽可能靠近现场的近端闭环, 部分工业应用则更期望集中处理。架构设计需要考虑如何灵活适配这些不同的业务要求。

- **业务安全的需求:** 对于具备一定敏感度或机密性的业务数据, 行业不希望数据进入公网, 认为这会增加被窃取或被攻击破坏的风险, 因此数据不出园区通常是一个基本的需求。在网络架构设计时, 就需要确保数据的输出端口被限制在园区内, 并且根据需要采取与外部网

络的隔离措施，例如防火墙的设置等；

● **投资经营类需求：**包括行业的战略定位、商业模式、成本与收益三个方面。这三个方面会相互影响，并且会影响到包括行业客户、运营商等在内的多个产业链实体。产业链各方的战略定位会决定性地影响他们的合作商业模式，继而影响成本投入与后期的收益，而商业模式及成本收益诉求的实现，在技术上对网络架构的设计有重要依赖。基于运营商网络提供行业服务，可以缩短行业在引入 5G 上的时间并降低投资成本，而在网络架构上需要考虑如何确保运营商网络同时服务于行业（2B）和消费者（2C）两个不同的群体，从且确保他们的业务各自得到合适的保障。

综合国际牵头产业链企业（ICT&OT）在标准组织、联盟、项目、技术合作等平台所提供的信息或观点，切片和边缘计算是关键的基础网络架构需求，已经形成行业共识。

3.2 切片网络架构

切片是一种按需组网的技术，独立组网（SA）架构下将一张物理网络虚拟出多个不同特性的逻辑子网络，可满足不同场景诸如工业控制、自动驾驶、远程医疗等各类行业业务的差异化需求。传统的 4G 网络只能服务于单一的移动终端，无法适用于多样化的物与物之间的连接。5G 时代将有数以千亿计的人和设备接入网络，不同类型业务对网络要求千差万别，运营商需要提供不同功能和 QoS 的通信连接服务。网络切片将解决在一张物理网络设施上，满足不同业务对网络

的 QoS 要求。

基于 5G SA 架构，采用虚拟化和软件定义网络技术，可以让运营商在一个物理网络上切分出多个虚拟的、专用的、隔离的、按需定制的端到端网络，每个网络切片从接入网、传输网到核心网，实现逻辑上的隔离，从而灵活适配各种类型的业务要求，实现一网多用，不需要为每一个服务重复建设一个专用网络，极大降低成本。图 1 给出了切片网络架构的示意图。

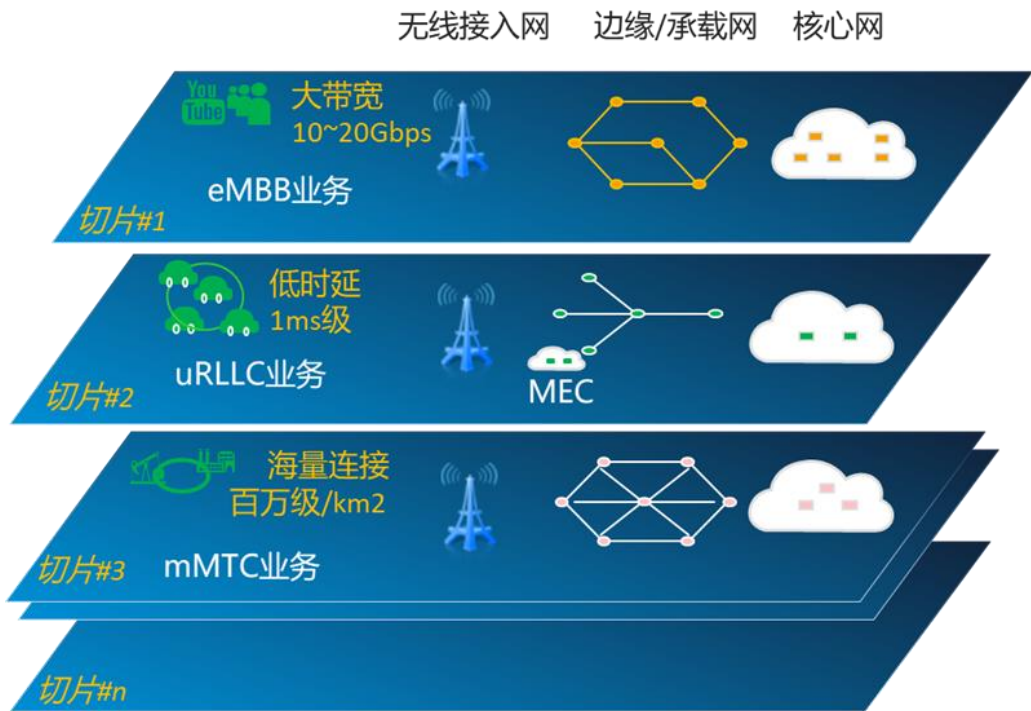


图 1 切片网络架构

5G 的网络切片关键特征包括：

1) 按需部署：5G 网络功能将会采用基于云的服务化架构，5G 核心网可以根据不同业务服务等级的要求（SLA）对网络功能进行自由组合和灵活编排，并且可以选择网络功能部署在不同层级的 DC 数据中心。

2) 端到端 SLA 保障：网络的 SLA 指的是不同的网络能力要求，网络切片需要端到端网络共同进行 SLA 的保障。其中，无线和传输网保障和调配资源，核心网为不同的业务提供差异化的网络能力和业务体验。

3) 按需隔离：5G 网络切片是一个逻辑上隔离的网络，根据应用的不同，切片可以提供部分隔离以及逻辑隔离，也可以提供独立的物理隔离，需要根据行业特性，在综合考虑投资成本的基础上做出选择。

4) 运维自动化：5G 网络中会存在很多个网络切片，管理维护会及其复杂，必须要提供全生命周期自动化运维的能力。

综合商业视角，切片网络的目标架构包括商业层、切片管理层和网络层。商业层为垂直行业客户提供切片设计服务以及购买入口；切片管理层提供跨域的切片调度、管理和实例化；切片网络层就是支撑上层应用的物理设备和逻辑功能模块。

对运营商来说，切片是进入具有海量市场规模的垂直行业的关键推动力，与独立网络相比，通过切片实现的统一基础设施网络能够适应差异化业务的需求，可大大减少投资，实现业务快速部署。每个网络切片还可以独立进行生命周期管理和功能升级，网络运营和维护将变得非常灵活和高效。

3.3 边缘计算网络架构

多接入边缘计算（MEC）是将多种接入形式的部分功能、内容和应用一同部署到靠近接入侧的网络边缘，通过靠近用户处理业务，配

合内容、应用与网络的协同，提供低时延且安全可靠的服务，达成极致用户体验。

在 5G 服务工业互联网领域，边缘计算在基本业务实现、业务安全保障、商业模式支撑等方面都具备价值。

从业务实现角度看，核心网用户面功能下沉到边缘部署，可降低网络时延，支撑 uRLLC 场景端到端低时延高可靠业务。时延需要在空口、传输、应用服务等多环节实现端到端保障，引入 MEC 后业务可以直接部署在离基站较近的位置，有助于端到端低时延的实现。

ETSI 定义的 MEC（对应 3GPP 的 local UPF 本地用户面网元）同时支持无线网络能力开放和运营能力开放，通过公开 API 的方式为运行在开放平台上的第三方应用提供无线网络信息、位置信息、业务使能控制等多种服务，实现电信行业和垂直行业的快速深度业务融合和创新，为移动视频加速业务、AR/VR 低时延业务、企业专网应用、需要实时响应的 AI 视频分析业务等提供支持。

从业务安全角度看，核心网用户面下沉到企业园区，实现企业业务数据不出工厂，可为企业提供更高的安全保障。

从商业角度看，MEC 可以节省传输资源，尤其针对视频类存在大量数据传输需求的应用，数据能够实现在园区内的本地存储和运算，节省边缘到核心网和 Internet 的传输资源开销和商业成本。

5G 核心网架构原生支持 MEC 功能，控制面和用户面完全分离，支持用户面下沉于 MEC，典型的组网架构如图 2 所示。

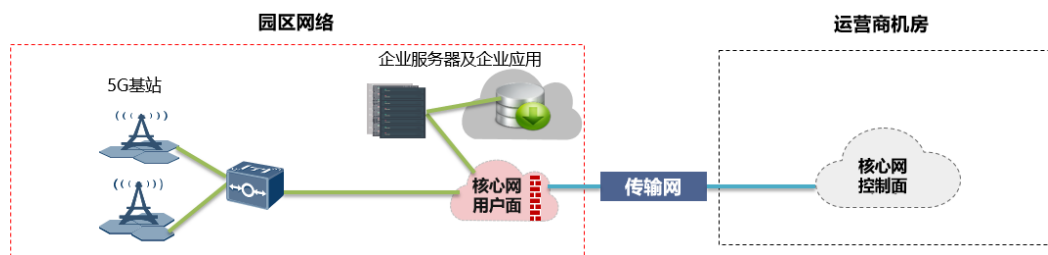


图 2 边缘计算网络架构

第四章 5G+工业互联网应用的典型案例

案例 1：5G+电子制造

● 5G+电子制造的应用背景和需求

电子制造是典型离散生产模式的行业，柔性化、自动化、智能化生产是增强企业竞争优势、提高生产效率的必然选择。中兴通讯长沙工厂是工信部智能制造示范基地，主要生产机顶盒、客户终端设备（CPE）等家庭信息终端等产品。

● 中兴电子制造工厂的应用示范场景

中兴通讯在长沙工厂构建了 5G 工业物联、5G+MEC 的视觉导航+云化 AGV 调度、基于 5G 机器视觉的产品质量检测、5G AR 远程辅助指导等多个生产场景，实现了基于 5G 的电子产品制造业务智能工厂的应用示范，如图 3 所示。



图 3 中兴 5G 智能工厂应用示范场景

1) 5G 工业物联：通过 5G 网络重塑工业互联，实时采集并监控工厂车间内温度、湿度、工位静电、粉尘、气压等参数，进而提升制造合规率、促进节能降耗、减少静电释放及粉尘危害，保障产品制造的质量。

2) 5G+MEC 视觉导航+云化 AGV 调度：这一环节采用视觉及低成本激光融合导航，利用 5G 网络进行调度和视觉、传感信息的传输；在 MEC 进行视觉 SLAM 及指挥调度。目前基于 5G+MEC 视觉导航的 AGV 已经投入实际生产，这种 AGV 的优势有两个方面：一是与传统磁条 AGV 相比灵活度具有很大提升；二是相对激光导航 AGV，单台成本可节省 10%以上。

3) 5G 机器视觉产品质量检测：这一环节基于 5G+MEC 技术将机顶盒上盖检测、装配检测、包装盒体检测等工位采集的机器视觉图片传送到 MEC 侧集中处理，随后将检测结果下载到各个工位。此模式与传统单工位自动光学检测（AOI）设备相比，不仅单台成本至少降低 50%，还较大增强地了部署产品换线生产算法处理的灵活性。

4) 5G AR 辅助远程指导：在生产、运维等环节，当一线人员遇到疑难杂症时，可使用 AR 眼镜呼叫后方专家远程指导。该技术的优势是在解放双手的情况下可以通过远程高清音视频沟通。此外，这一技术可以实现基于电子白板的图像共享，快速提升现场作业效率。

案例 2：5G+港口

2-1 德国汉堡港应用案例

● 汉堡港的应用背景和需求

德国汉堡港占地约 8000 公顷，拥有一个复杂而密集的交通网络，其中包括水路、道路、118 座桥梁和 300km 铁路。然而，随着汉堡港规模的不断扩大，预测到集装箱海运量将呈现 2 倍增长，这对其发展提出了新的需求：需要优化海上水面运输网络以及航线、需要有效控制港口陆地车辆运输、需要建立有效机制来跟踪货物并能主动预测货物高峰、需要新的手段提供远程技术支持和快速响应，以应对突发的紧急复杂情况。

2018 年，汉堡海港局在德国汉堡港的真实工业环境中测试了 5G 技术，主要的应用示范场景如图 4 所示。

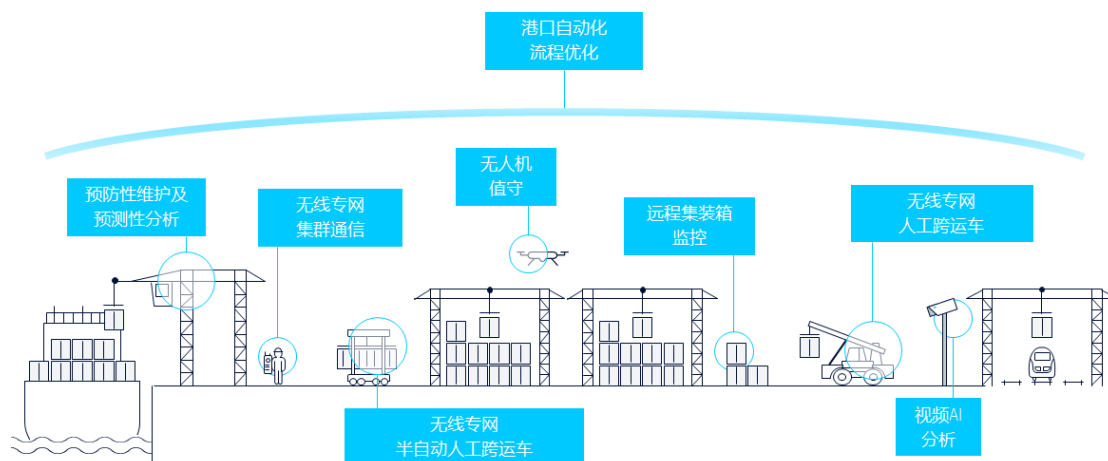


图 4 德国汉堡港 5G 应用示范场景

● 汉堡港应用案例解决方案

1) 引入网络切片功能：为保证海港特定应用及所需的网络质量和安全要求，汉堡港的 5G 网络切片包括支持管理水上和陆地交通信号灯、实时收集并处理环境测量数据以及使用 AR/VR 对工程团队现场支持等。同时每个切片分别支持相应应用案例，所有切片都使用相同的 5G 无线基础设施。

2) 引入 MEC 功能：为了进一步减小海港各种业务的时延、提高网络运营效率和业务分发传送能力，汉堡海港引入了 MEC 功能，即在距离用户最近的位置提供业务本地化和边缘业务移动性能力。

3) 引入 5G 无线双连接功能：汉堡港使用 700MHz 许可频段部署了 5G NR 海港通信网络，在使用双连接加专用切片的基础上，终端（传感器）可以同时建立连接两个独立基站的链路来保障海量传感器数据传输的可靠性。

● 汉堡港的应用效果

目前，汉堡海港的通信网络测试及运营已经超过 1 年，其优势已

逐步显现：水面港口的货物吞吐量大幅提高，每年增加大于 25000 泊位利用次数，增加了 7-10%港口集装箱吞吐率；地面车辆运行效率显著提高；通过部署传感器并实时收集、处理环境测量数据，降低了 30% 的人力和 90%的货物损失率；网络自动化运营过程中每辆跨车的年可利用时间增加了 49 小时以上；降低了人力审查成本及 10-15%的维护开销；采用 AR/VR 技术有效地实现了远程故障监控和现场指挥；基于无人机的空域检测，实现了资产监测简洁化和应急反应快速化。

2-2 青岛港应用案例

● 青岛港的应用背景及需求

青岛港是目前世界上较大的综合性港口之一，其吞吐量居世界第七位，货物吞吐运输需求日益变大，这对港口的货物装卸能力与装卸效率提出了更高的要求。一直以来青岛港的岸边作业设备依靠工人的现场操作，但是作业环境复杂、作业效率较低且人工成本高，同时有一定的安全隐患。解决这一问题的有效方法是将传统的人工操作方式转换成远程控制方式。青岛港网络连接方式是以有线形式的光纤网络连接为主，而部署光纤实现通讯需要对岸桥吊车设备进行改造，这样的网络部署结构复杂且费用高。即便建成，在后续日常作业过程中损耗较大导致维护成本升高。面对这些问题，现有的 4G、WIFI、特定频段专网等无线网络均无法满足，而 5G 的大带宽、低时延、高可靠的特性恰好能良好满足港口中远程控制信号的传输、高清视频的辅助控制以及全港区复杂环境监控等场景的网络性能需求，。

● 青岛港应用案例解决方案

以 5G 网络为基础，结合物联网、移动边缘计算、人工智能等技术的创新应用，青岛港引入了远程控制、无人驾驶、智能物流等场景来构建 5G 智慧港口。

1) 在远程控制方面，利用 5G 的无线传输方式取代了原有主控 PLC 到起吊设备 PLC 之间的有线通信方式，通过 5G 工业控制网关实现与原有工业控制协议的适配。5G 网络特性满足了 PLC 控制信号超低时延要求以及高清视频回传的带宽要求。同时为了进一步保障控制信号与高清视频回传的实时性，在青岛港港区内部署了 MEC 边缘云，MEC 边缘云的分流处理有两方面优势：一方面减少了数据从终端传输到核心网的传输路径，降低了时延；另一方面也保证了港口数据的封闭及安全。

2) 在港区的交通运输方面，通过 5G 与 MEC 的结合开发了远程辅助驾驶系统，从而实现了网联车进行远程辅助驾驶和监控。该系统的驾驶服务部分部署在边缘云上，当驾驶端和车辆端距离较近时，可通过 MEC 进一步降低操控和数据传输时延，以提升远程辅助驾驶的效率。此外，针对无人驾驶车辆感知成本高以及感知盲区的问题，在路边部署感知设备，实时感知路况和道路信息等，利用 5G/V2X 技术实现感知信息共享，从而辅助车辆实现决策和控制等功能。这样一来增加了感知范围，降低了感知成本，丰富了感知信息，实现了 5G 与智能交通系统的深度融合。

● 青岛港的应用效果

青岛港案例不仅充分利用了 5G 大带宽、低时延、高可靠性的特

点，还验证了 5G 在智慧港口的建设应用。通过 5G 无线网络的连接与控制，实现了作业现场的无人化操作，提升了操作的灵活性和可靠性，节省了 70% 的人力资源，改善了工人的作业环境，综合看来，港口的作业效率显著提高。5G 与工业互联网新技术的结合使得港口业务更加的多元化、高效化和智能化。

青岛港案例的验证与试运行，必将有效推动我国港口向机械设备自动化、物流调度智能化以及信息数据可视化的智慧港口方向发展。

案例 3：5G+电网

● 5G+电网的应用背景和需求

随着我国电力行业中大规模配电网自动化、低压集抄、分布式能源接入、用户双向互动等业务的快速发展，各类电网设备、电力终端和用电客户的通信需求出现爆发式增长。因此，迫切需要一个技术先进、安全可靠、性能稳定、运行高效的无线通信网络支撑电力系统。5G 正是这样一种能更好地支撑智能电网发展需求的通信技术，可以从泛在接入、安全可靠、可管可控等方面助力智能电网典型业务的应用。

5G 智能电网应用示范场景总体上分为控制和采集两大类：控制类场景包含智能分布式配电自动化、分布式能源调控等；采集类场景主要包括高级计量等。其中：控制类业务场景的连接模式将出现更多的分布式点到点连接，随着用电负荷需求侧响应、分布式能源调控等应用的出现，主站系统将逐步下沉，出现更多的本地就近控制、且与

主网控制联动的需求，网络时延需求将达到毫秒级；采集类业务场景对采集频次、内容、双向互动等方面提出更高的要求。

● 5G+电网的应用示范场景

1) 智能分布式配电自动化的通信时延要求为 50ms，通过 5G 低时延、高可靠特性可以保障差动保护业务信号的传输，从而实现配电网的差动保护控制。差动保护控制可以通过继电保护自动装置检测配电网线路或设备状态信息，快速实现配网线路区段或配网设备的故障判断及准确定位，快速隔离配网线路故障区段或故障设备，并对非故障区域恢复供电。

2) 分布式能源调控系统主要利用 5G 来实现大规模分布式能源业务的海量接入及管理，这一系统可以提供数据采集处理、电压有功功率调节、电压无功功率控制、孤岛检测、调度与协调控制等服务，因此实现了对分散电力需求和资源分布的统一调控，减少了输配电网升级换代所需的巨额投资。分布式能源调控系统与大电网互为备用，提高了配电网的可靠性、灵活性及效率。

3) 高级计量以智能电表为基础，开展用电信息深度采集，以满足智能用电和个性化客户服务需求。5G 网络与现有远程抄表、负荷监测、线损分析、电能质量监测、停电时间统计、需求侧管理等业务进行结合，将扩展更多新的应用需求，如支持阶梯电价等多种电价政策、用户双向互动营销模式、多元互动的增值服务、分布式电源监测及计量等。

● 5G+电网的应用效果

南方电网完成了国内外首例基于 5G 网络的智能分布式配网差动保护业务外场测试，测试结果显示其时延控制在 8-9.8ms，网络授时精度小于 300us，可以快速实现配网线路区段及配网设备的故障判断及准确定位，快速隔离配网线路故障区段或故障设备，供电恢复时间从分钟级缩短到秒级。

在分布式能源调控的场景下，可以实现分布式能源的海量接入。随着屋顶分布式光伏、电动汽车充换电站、风力发电、分布式储能站的发展，网络连接数量将达到百万乃至千万级。

依托高级计量应用，智能电表、智能插座等直采的方式将逐步推广，主站系统下沉到用户侧后，网络连接数量将提升 50-100 倍，呈现出采集频次提升、采集内容丰富、双向互动三大趋势。

案例 4：5G+家电制造

● 5G+家电制造的应用背景及需求

随着竞争的加剧以及人们对美好生活的向往，家电制造业在面临较大用工成本压力的同时，也面临越来越多的用户定制化等新需求。家电制造工厂涉及的生产流程较多且监管复杂，亟需通过工厂智能化来提升生产效率并增强行业竞争力。随着 5G 网络的部署，可以有力促进工厂的智能化、网络化、数字化，进而为相关企业带来更好的技术和产品。

海尔作为家电制造行业的龙头企业，其在工厂智能化方面开展了相关探索，并基于 5G 网络打造了一个 5G 家电制造智能园区，验证

了一批典型应用场景，有效提升了其天津家电制造园区的运营效率。

● 5G+家电制造案例的解决方案

海尔天津园区通过 5G 网络实现的主要应用场景包括：天津 5G 园区智能监控平台、AR 眼镜安保、机器人(地面)巡逻、无人机(高空)巡逻、生产线视觉检测、智能讲解机器人、成品库无人夹抱车搬运、智能物联网（井盖、垃圾桶、路灯照明、烟感、停车）等。

1) 智能监控平台：借助 5G 边缘计算 MEC 就近部署了园区智能监控平台，实现了针对异构物联网设备的实时跟踪检测、大数据分析、告警预警等。

2) AR 眼镜安保：通过 5G 的低延迟特性实现了 AR 眼镜安保，解决了以往对重要区域内非法进入人员的辨识完全依靠安监人员的“人眼”识别和“人脑”判断的问题，大大提高了准确性和工作效率。

3) 机器人(地面)巡逻：通过 5G 大带宽特性，实现了机器人(地面)巡逻，把园区巡逻的高清视频回传到“5G 园区智能监控平台”查看并分析，提高了巡逻效率减轻了安保人员劳动强度。

4) 生产线视觉检测：通过 5G 室内覆盖，实现了生产线视觉检测，解决了原来对冲压钢板品质检查依靠质检人员完成而易疲劳漏检的问题。

5) 成品库无人夹抱车搬运：借助 5G 网络，用于成品洗衣机搬运的无人夹抱车可以在不同信号覆盖区域无缝切换，提高了运行效率和工作区域员工的安全性。

● 5G+家电制造的应用效果

在海尔天津园区的智能化提升过程中，综合运用了 5G 的大带宽、低延时等特性和边缘计算、无缝切换等技术，有效改善了传统工厂运营过程中遇到的效率、安全、人工成本等问题，满足了工厂智慧运营的需求。为未来实现成品库的全程无人化、智能化奠定了网络基础。

案例 5：5G+物流仓储

● 5G+物流仓储的应用背景和需求

目前物流仓储 AGV 一般采用分布式控制，主要导航方式有磁条导航、电磁导航、视觉标记导航和激光导航。磁条和电磁导航方式均需花费较高成本对 AGV 的工作环境进行改造，并且灵活性较差，适用于流程和场景固定的场合，而激光导航成本较高，不利于工厂降低成本。

随着视觉识别定位技术的发展，视觉导航逐渐成为一种可行方法，这种方法能够基于较低成本的传感器实现 AGV 的定位与控制，但是其需要较大计算量，传统低成本嵌入式计算无法满足其运算需要。

● 5G+物流仓储案例的解决方案

浙江兆丰在 5G 网络环境下对 AGV 在仓储和生产线进行试验应用，如图 5 所示。借助 5G 网络低时延、大带宽的技术特性，将 AGV 所需计算资源通过 5G 网络进行云化，在园区实行层级部署；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 运行效率，提高仓储物流管理、运送的灵活性。



图 5 浙江兆丰 5G+云化 AGV 试验应用场景

在兆丰机电项目中，落地的 5G 云化 AGV 系统，包含了一个中小规模的集中式云化 AGV 集群和相应控制系统，在一个扇区内可包含大约 10-20 辆中小型 AGV。集群的规划与控制由 5G MEC 云端统一执行。MEC 通过 AGV 上传的图像以及传感器信息，能够实现对所有 AGV 的全局定位和实时控制；同时仓储管理人员能够通过云端系统直接介入操作，实时远程驾驶其中一台 AGV。单台 AGV 小车均只带有基本的低成本图像传感器、惯性测量单元、执行机构以及 5G 移动终端，具有较为明显的成本优势，有利于仓储物流园区大规模部署。

第五章 5G+工业互联网应用的主要挑战

5.1 工业场景基础设施数字化改造有待增强

5G 与工业的融合应用首先制约于工业场景基础设施的数字化水平。根据两化融合服务联盟的统计数据，截止到 2019 年第二季度，参评的 15 万家工业企业在生产设备数字化率、关键工序数控化率分别为 47%和 49.2%，而工业企业智能制造就绪率仅为 7.6%，这其中

绝大多数为规模以上企业，全国设备数字化率和联网率依旧有待提高，工业企业的生产设备数字化改造需持续推进。此外，工业软件普及工作应配套开展，使重点行业企业加快应用计算机辅助设计（CAD）、制造执行系统（MES）、产品生命周期管理系统（PLM）等工业软件。

5.2 ICT 与 OT 企业跨行业对接不足

5G 进入工业互联网领域，ICT 企业是供应端，OT 企业是消费端。5G 作为新一代的移动通信技术，其标准进展、发展节奏、当前及未来可交付的路标能力、网络建设细节等环节，对于 OT 企业的传导还在比较初级的认知传播阶段。而工业作为 5G 的消费端，由于其行业细分门类众多，各细分门类内更加细化的应用场景及需求差异较大，其真实网络需求对于供应端的 ICT 企业也处于非常初级的理解阶段。

供需主体之间相互的行业认知现状，客观上导致 3GPP 对行业需求的输入不足，因此也导致了 5G 解决方案针对行业的研发不够，客观上阻碍了 5G 在工业领域的应用。其中包括：1）在视频监控、机器视觉等 eMBB 类应用中存在大量的上行数据传输的要求，而在 3GPP 第一个版本 Release 15 中所定义的 eMBB 业务，仍然是以下行为主要带宽开销方向的业务模型；2）工业应用对端到端可靠性要求极高，而无线网络在可靠性上的设计逻辑（如重传机制）还无法满足工业级硬实时控制的要求；3）芯片/模组/终端产品在与工业场景需求和工业技术特性对接上存在不足，还不能满足各种工业场景对终端/模组可靠性、工作温度、终端形态等方面的技术要求。

正因如此，跨行业之间的各类交流、合作、研讨、联合研究、实验试点是 5G 服务于工业互联网当前最迫切需要加强的环节。从跨行业交流中识别需求、理解彼此，并在此基础上联合探索如何跨行业融合设计 5G+工业互联网应用，对完善 3GPP 标准、指导商业解决方案开发都至关重要。

5.3 产业发展驱动存在问题

无线通信在过往 2G、3G、4G 时代面向消费者的市场中，在产业链角度建立了成熟的大管道模式，即 ICT 设备商向运营商提供产品解决方案，运营商从城市到乡村，多波次逐步建立全国覆盖的无线通信网络，消费者通过流量等计费模式向运营商支付服务费用。在终端侧，消费者、手机厂家、代理商、网络运营商之间的商业关系也已非常清晰。

工业经过长时间的发展，也形成了从消费者到生产方案提供商、工业网络服务提供商、工业集成商、甚至再到前端的设计服务提供商的清晰供应关系。

当 5G 进入工业领域，开启了两种模式融合的全新课题。主要挑战包括：工业 5G 网络建设的建设主体还未明确；工业 5G 网络运行维护主体还不清晰；产业链中收费模式及收费标准仍有待探索。这些商业模式上的挑战缺乏可参照的案例，客观上也让 5G 进入工业领域尽管呼声高涨，但商业闭环案例较少。目前，急需产业链各环节的龙头企业开展商业模式的探索，建立对各方都有益的商业模式，具备可

持续可复制的特征。

此外，市场空间阻碍了网络侧及终端侧的供应投资。目前 5G 网络及终端都从消费者市场先行商用，而当面向工业行业，由于市场的碎片化，需求的不清晰，导致无论是网络侧还是芯片模组终端领域，在针对行业投资开发上都不够积极。

第六章 5G+工业互联网应用的发展建议

6.1 加大 ICT/OT 行业的对接交流

5G 凭借大带宽、低时延及可靠性、具备一定带宽及时延保障的连接数等方面的性能，以及在网络架构上的灵活性，让它相比于以往任何一代无线通信技术都更能满足行业所需。而工业对于无线连接的诉求，直接影响着生产网络的变革，以及包括柔性化生产、预测性维护、服务化延伸等在内的关键行业价值的兑现。供给侧和需求侧的双轮驱动，让 5G 在工业领域前景非常广阔。

需求、商业模式、跨产业集成是 5G 服务工业互联网当前所面临的基础性挑战，解决方案以及产业链都对这几种基础的挑战具备依赖关系。其中需求部分依赖 OT 及 ICT 企业的紧密协作，来突破行业语言障碍，达成需求与解决方案的衔接，依托更多龙头企业的联合案例研究、项目试点等多样化方式加强交流，促成需求的快速传导。商业模式受技术及非技术因素综合影响，建议通过更加丰富的以商业闭环为目标的项目研究，为行业提供商业实践，让一系列可参考、可复制

的商业模式尽快在行业内形成共识。对于 ICT 与 OT 的跨界应用，跨产业集成商无论是在促进需求对接，还是补齐产业链缺口方面，都有巨大的发挥空间。因此建议具备 OT 和/或 ICT 行业基本认知的集成服务提供商积极参与到 5G 在工业的应用中。

同时，5G 服务工业互联网所面临的基础性挑战能够借助 5G 应用产业方阵和工业互联网产业联盟，对接并协同各地 5G 产业联盟及工业互联网相关联盟，联合 ICT 和 OT 企业共同开展 5G 与工业互联网融合应用研究，规划 5G 应用与网络协同推进路线图，制定包含通信模组、终端、解决方案、网络部署模式等内容的融合应用标准体系，支持鼓励运营商、软件企业及制造业合作，不断探索不同场景下的 5G 融合应用，探索企业协作模式和商业模式，实现长期可持续发展。

6.2 提供融合应用政策保障，完善产业发展体系

研究制定支持 5G 与工业互联网融合应用发展的政策、法规、监管、金融措施，发挥政府规划引导作用，营造 5G 应用发展良好政策环境。国家在 5G 网络建设配套设施资源上能够出台相关优惠政策，如开放部分公共基础设施资源、同时在电费单价及房屋租金上给予优惠等。国家在资金扶持、税收等方面对运营企业予以支持，并在选择确定工业互联网或智能制造试点示范项目时，增加 5G+工业互联网项目比例，适当加大此类项目资金、网络建设支持力度，加强业务指导，并通过龙头企业的试点示范，增强中小传统企业投入 5G+工业互联网的积极性和主动性。

坚持政策引导与企业主体相结合，支持和鼓励行业龙头企业、科研机构、通信企业建立跨领域 5G 应用创新中心或实验室，培育吸引多方创新主体和中小企业的开放生态，加速推动 5G 与工业互联网融合应用创新成果的转化与推广，同时鼓励中小企业借助创新中心资源开展 5G+工业互联网应用解决方案研发和集成服务，形成一大批云服务或集成服务商。探索推动 5G+工业互联网融合示范区建设，以“绽放杯”5G 应用大赛为牵引，鼓励开展创新应用示范项目，以试带用，形成技术、标准、产业、应用的良性循环。

贡献单位

