

导读:以数字化、网络化、智能化转型为主要特征的新工业革命和数字经济浪潮正席卷全球。5G技术与实体经济深度融合,利用新技术、新模式、新管理促进产业转型升级,推动产业迈向全球价值链中高端,5G灵活、高效融合、开放的特性使得创新业务在媒体娱乐、能源、交通和工业等各个行业加速融合,使得垂直行业的应用更加多样化,孕育新型信息产品和服务,重塑产业发展模式。为了促进5G通信技术交流,推动我国5G通信技术发展,《电子技术应用》杂志2021年第11期推出“5G垂直行业应用”主题专栏,论文内容聚焦行业需求和应用场景,重点探讨5G在物流仓储、装备制造、钢铁制造、自服务专网等领域的应用方案与实践案例,期待为5G时代垂直行业应用部署提供有益的借鉴。



特约主编:朱雪田,北京邮电大学工学博士,教授级高级工程师,中关村国家自主创新示范区高端领军人才,现就职于中国联通研究院。长期从事5G/6G移动通信技术与业务创新研发工作,作为项目组长先后负责多个5G/6G领域的移动通信国家重大项目,发表学术论文超过100篇,发明专利100余项,个人专著4本。

## 5G在装备制造业的应用研究

靳欣欣<sup>1,2,3</sup>

(1.深圳赛西信息技术有限公司,广东深圳518057;  
2.中国电子技术标准化研究院,北京100176;3.中国信息通信研究院,北京100191)

摘要:装备制造业涉及航空制造、汽车制造、船舶制造等多个重要领域,产品生产工艺复杂、构件规模大、生产设计不确定性大,对于协同性、精密性、安全性等要求较高。5G技术具有低延时高可靠、大带宽高速率、软件架构等特点,结合边缘计算、人工智能等技术,能够在设计、生产、运维等不同环节赋能装备制造业。分析了装备制造业在各个环节面临的主要痛点以及对5G的应用需求,介绍了典型场景应用方案及效果,并对装备制造业进行5G应用面临的难点进行分析,提出了相关建议。

关键词:5G应用;装备制造;共性场景

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211837

中文引用格式:靳欣欣.5G在装备制造业的应用研究[J].电子技术应用,2021,47(11):1-5,10.

英文引用格式:Jin Xinxin. Research on the application of 5G in equipment manufacturing industry[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 1-5, 10.

### Research on the application of 5G in equipment manufacturing industry

Jin Xinxin<sup>1,2,3</sup>

(1.Shenzhen CESI Information Technology Co., Ltd., Shenzhen 518057, China;  
2.China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China;  
3.China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Equipment manufacturing industry involves many important fields, such as aviation manufacturing, automobile manufacturing, and shipbuilding. Its product production process is complex, whose component scale is large and production design is uncertain. So the requirements of equipment manufacturing for coordination, precision and safety are strict. 5G has the characteristics of low delay, high reliability, large bandwidth and high speed. It also has software architecture. Combined with edge calculation, AI and other digital technologies, 5G can enable the equipment manufacturing industry to upgrade in different links such as design, production, operation and maintenance. The paper analyzes the main pain points faced by the equipment manufacturing industry in each link and the application requirements of 5G. Then it introduces the application schemes and application outcome of typical scenarios. Finally, it analyzes the difficulties faced by the equipment manufacturing industry in 5G application, and puts forward relevant suggestions.

**Key words:** 5G application; equipment manufacturing; common scene

## 0 引言

装备制造业涉及航空制造、船舶制造、汽车制造与工程机械制造等重要领域,具有产品构件规模大复杂化、设计不确定性大、生产“小批量定制化”、质量检测种类多等特点,迫切需要通过提高设计可靠性、生产装配的协同性与精密性等,数字化、网络化、智能化、精益化升级潜力巨大。本文对装备制造业各个环节面临的痛点及对 5G 的需求进行研究,梳理 5G 主要应用场景,介绍远程协作、视觉识别与检测、AGV 物流、生产流程透明化等典型场景中 5G 的应用与效果,最终对装备制造业开展 5G 应用面临的主要问题进行了分析并提出建议。

## 1 装备制造业在各个环节面临的主要痛点

在设计环节,航空航天、汽车制造等装备制造业设计任务繁重,除了装备的配件、结构件、材料等构成复杂外,还面临着紧急订单、插单等临场问题,需要更加灵活协同可靠的设计模式。

生产制造环节涉及采购、制造、安调以及试验等,延续时间长。产品结构复杂度高、产品体型大,具有技术要求高、安全标准严格、成本投入大等特点,对百万量级生产资源的协同生产和泛在感知需求较高,需要信息覆盖更加全面、加工过程信息参数控制更加精密的模式和手段。另外,装备制造业产品组装较为复杂,对于工人素质与协同性要求较高,需要有效的手段实现快速、专业组装。

在质量检测环节,近些年,用工成本升高,需结合新一代通信技术、人工智能等技术替代人力,实现产品质量、装配准确性等的快速识别、定位,提升质量检测的可靠性和效率。

在产品运维环节,装备制造业的产品运维环境复杂、多样化,人员素质参差不齐、设备分布分散、运维环节复杂,造成服务无法标准化、时效性不足、专业性不足等问题。需结合新一代信息技术、VR/AR、人工智能等实现产品及时有效维护。

## 2 装备制造业对于 5G 的需求

面向“小批量、多样化、个性化”的整体生产趋势以及“全链条、多维度”的供应链协同趋势,需能够满足多线程灵活调配、全链条智能监控、广泛数据可靠传输等需求的手段,实现生产、供应链管理、安全管控等的网络化、自动化、智能化、无人化、远程化<sup>[1-2]</sup>。如表 1 所示,装备制造业在供应链协同、生产柔性化、灵活化、高效传输等方面对于 5G 存在需求。装备制造业对于 5G 的需求大致可分为信息采集与工业控制、柔性化需求、远程协同、视觉识别与检测。

在信息采集方面,工业设备自动化、智能化水平不断提升,一是控制器、传感器和执行器等存在海量网络连接需求,加之 AI 在柔性生产、质量检测、故障预警等场景加速应用,大规模信息传输与处理需要高效网络支

表 1 装备制造业面临痛点对 5G 的需求

| 装备制造业痛点                       | 5G 的特点                             | 对 5G 的需求                     |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| (1)链条复杂,协同难;                  | (1)无线网络连接柔性;                       | (1)机器人、AGV 等柔性连接、灵活部署        |
| (2)安全标准严格,管控需全面细致;            | (2)软件架构灵活部署;                       | (2)多线程信息跟踪与追溯;               |
| (3)装配流程长,小批量个性化,设计常变更;        | (3)结合边缘计算更能满足工业控制及关键数据回传低延时、高可靠需求; | (3)高清视频传输、全景监测、AR 强交互;       |
| (4)工艺复杂技术要求高;                 | (4)大带宽高速率满足超高清视频传输、AR 协同需求;        | (4)不同场景带宽资源分配保障关键任务;         |
| (5)配件、原料规模大而杂,质量检测任务重;        | (5)切片技术提供资源分配与网络安全保障;              | (5)专网建设保障信息安全;               |
| (6)技术要求高,产品及环境复杂,运维专业水平及效率需提升 | (6)广连接、大容量为未来全要素连接奠定基础等            | (6)结合虚拟技术,引入专家资源,提升维护效率与专业水平 |

撑;二是装备工业对安全与协同效率要求高,对于网络延时要求高,工业控制一般要求时延应小于 20 ms;三是大带宽与实时传输并行的普遍场景要求。以视觉识别为例,单机处理能力有限,设备利用率也相对有限;服务器模式下以太网传输协议时延较大且不稳定,识别效率受限;另外识别准确度和图像的清晰度息息相关,但图像清晰度越高,所占内存越大,现有网络无法同时满足图像传输的高清与低延时需求,引入 5G 技术后,可以在保障高清图像基础上,保障高清图像传输的低时延。再用于安全监控的 360°4K+ 视频为例,要求网络速率大于 60 Mb/s。因此,装备信息业需 5G 提供有效、可靠的信息数据采集基础保障,保障高清图像、视频、数据等多种信息实现可靠的实时传输,为大规模数据的汇聚分析提供支撑,用于设备的预测性维护、人员安全的智能预警、云化机器视觉识别检测/巡检、资产的有效监管等。

在柔性应用方面,机器人、无人机等智能化设备在物流、柔性生产有广泛应用,目前采用工业 Wi-Fi 等网络连接方式实现 AGV 小车的定位与数据回传,但 Wi-Fi 切换会使得 AGV 在调度过程中会出现丢包的情况,另外环境变化会影响激光定位,带来识别冲突。利用 5G 网络,AGV 小车通信可靠性提升,抗干扰性更强,丢包率低。另外,在时延方面,以巡防无人机为例,时延一般应小于 20ms。5G 结合边缘计算技术,将推动柔性化生产,加快不同设备、不同环节的无缝连接,在工业控制、物流追踪、柔性制造等场景起重要支撑作用<sup>[3]</sup>。

在远程协同方面,已有一系列成熟的研发设计技术(如 CAD、CAE、CAM、CAPP、PLM 等),实现计算机辅助下的设计、仿真、试生产,降低样品试制成本,缩短产品研发周期。但是此类技术仍不能有效整合较为分散的设计人才、设计资源,协同起设计、生产等不同环节的需求。VR/AR 技术能够将设计模块虚拟后,在 5G 支撑下,结合协同设计平台,实现不同地点、不同环节的资源、人员协同,实现全环节、全时段的信息共享,提升设计的效率

和可靠性。

另外,供应链协同要求工厂间实现高质量无线连接,对工厂外的公网覆盖质量提出要求。同时,出于竞争和安全的考虑,企业对网络自主建设提出更高要求,并要求将数据控制在企业内部。通过虚拟专网与切片等技术能够实现网络的分隔和资源分配,保障数据安全和不同业务的需求。

### 3 5G 在装备制造业的典型应用场景

5G 网络较传统 Wi-Fi 网络有授权频谱,干扰相对较小;有较完备的移动性管措施,切换、重选、漫游,满足工业移动性要求;有基于集中多用户调度的 QoS 保障措施;支持双向认证,安全更有保障<sup>[4]</sup>。面向装备制造业生产资源规模大、工艺复杂、技术要求高等特点,结合 AR/VR、高清视频、人工智能等技术,5G 可以应用在协同设计、远程运维、生产全流程追溯、视觉识别与检测、安全监控等多个场景。5G 在装备制造业可应用的业务场景主要如图 1 所示。

下面以远程协作、柔性物流、视觉识别等几个典型场景为例,说明 5G 在装备制造业应用。

#### 3.1 5G 在 AR/VR 设计与协作的应用

结合 5G、3D 建模、VR/AR/MR 等技术,由计算机提供强大的建模和仿真环境,使产品的零部件从设计到工艺到生产及装配过程各环节的内容都在计算机上仿真实现,进行优化或系统设计,使产品研发的信息贯穿至各环节充分共享,实现在设计环节的实时仿真、虚拟装配,在设计接口、部件外观大小等方面有效衔接产品实际装配、产出时的能效,提升设计效率,减少设计失误。中国商飞与中国联通合作,建成基于 5G 和 AR/VR 技术的协同研发设计场景,实现设计研发装配以及跨区域的快速协同,缩短了 20%设计周期,压缩了 30%设计成本<sup>[5]</sup>。

以协同运维为例,5G+AR/VR 远程运维系统性能一般可以支持超高清 4K 分辨率,视频码率可至 40 Mb/s;支持 P2P 音视频传输协议,远程协助系统端到端总延迟不超过 1 s;支持视频实

时传输、实时语音通话,丢包率小于 10<sup>-5</sup>。网络部署方案如图 2 所示。

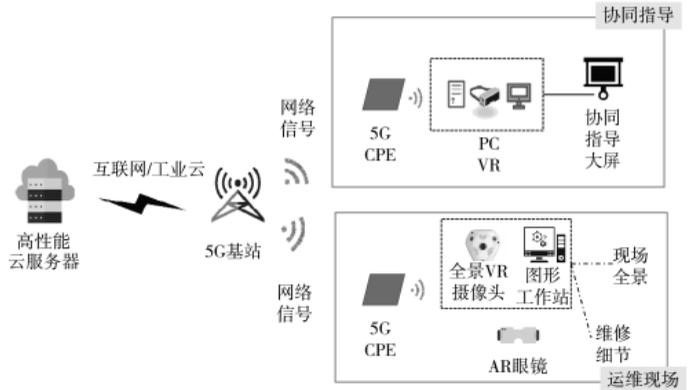


图 2 远程运维网络拓扑示意图

如图 3 所示,5G 协同运维系统分为远程指导与协同、现场运维、云服务 3 个部分。远程运维系统通过 5G 网络,实现端到端的有效传输,云 VR 将内容存储及图像渲染迁移至云端,VR 头显设备只需具备解码、呈现及网络接入的能力,5G 网络可为云 VR 定制大带宽与低时延的网络,以保证云 VR 用户的良好体验。另外,结合 MEC 可根据云 VR 用户接入的位置进行边缘节点寻址,实现终端到边缘节点的路径最优,从而降低传输时延,以保证云 VR 用户的良好体验<sup>[6]</sup>。

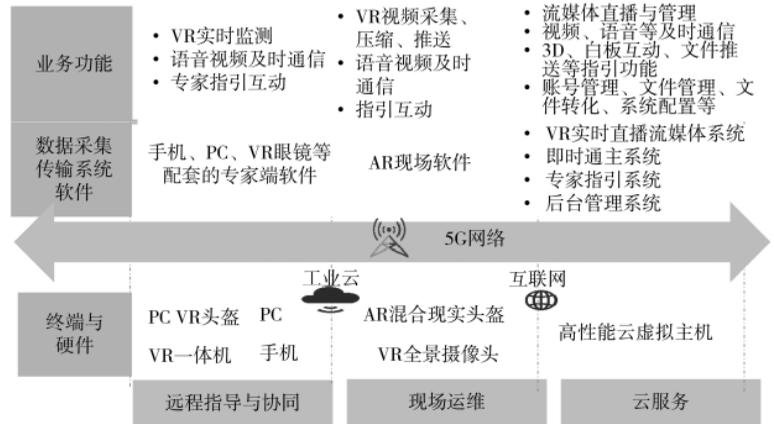


图 3 5G AR/VR 远程协同系统架构示意图

#### 3.2 5G 在 AGV 物流的应用

5G 在 AGV 物流应用的网络拓扑示意图如图 4 所示。部署 5G 室外宏站和室分系统,结合 MEC 部署 UPF 满足延时要求,融合大数据、人工智能、云计算等技术,集成超高清智能识别摄像头、视觉导航系统、物流装卸设备等,将 AGV 小车打造成为实时感应、安全识别、多重避障、智能决策、自动执行等多功能的新型智能工业设备。

对于 5G 技术在 AGV 场景的应用,经过研究对比,如表 2 所示,在连接设备较多、移动场景下,5G 技术的优势显著强于 Wi-Fi<sup>[4]</sup>。

| 设计  | 生产   | 物流   | 运维   |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>协同设计</li> <li>视觉识别检测</li> <li>远程控制</li> <li>.....</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>生产过程可视化</li> <li>基于标识解析的异构数据连接</li> <li>远程控制</li> <li>视觉识别检测</li> <li>云化AGV</li> <li>云化机器人</li> <li>大规模设备网联</li> <li>.....</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>生产过程可视化</li> <li>基于标识解析的异构数据连接</li> <li>远程控制</li> <li>视觉识别检测</li> <li>云化AGV</li> <li>云化机器人</li> <li>智能仓储</li> <li>大规模设备网联</li> <li>.....</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>设备预防性维护</li> <li>远程检修维护</li> <li>全要素数据连接</li> <li>工业园区安防</li> <li>大规模设备网联</li> <li>.....</li> </ul> |
| 推动企业数字化、智能化升级   |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>实时仿真,对设计结果进行精准预演,加强设计与实际制造环节契合度</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>提升柔性化水平,拓展设备能力;</li> <li>提升全链条数字化、智能化水平,提升生产效率与安全</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>提升物流仓储智能化水平与效率;</li> <li>降低人力成本,避免安全事故</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>提升设备预测保养能力;</li> <li>引入专业资源,提升检修效率与专业化水平;</li> <li>提升园区安全水平</li> </ul>                              |

图 1 5G 在装备制造业应用的典型场景

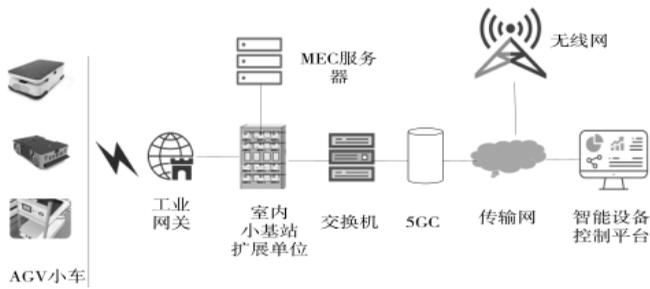


图4 5G在AGV应用的网络拓扑示意图

表2 5G在AGV应用中与Wi-Fi性能对比<sup>[4]</sup>

| 网络 | 时延/<br>ms | 单设备连接             |                   | 3台设备同时连接        |                     |                     |      |
|----|-----------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------------------|------|
|    |           | 上行<br>速率/<br>Mb/s | 下行<br>速率/<br>Mb/s | 平均<br>时延/<br>ms | 平均<br>上行速率/<br>Mb/s | 平均<br>下行速率/<br>Mb/s |      |
| 静止 | 5G        | 11                | 118               | 335             | 14                  | 116                 | 312  |
| 场景 | Wi-Fi     | 12                | 10.1              | 17.6            | 25.3                | 16.3                | 11.1 |
| 移动 | 5G        | 15                | 118               | 289             | 17.3                | 118                 | 24.0 |
| 场景 | Wi-Fi     | 26                | 10.6              | 16.4            | 27.3                | 11.1                | 12.1 |

利用5G+MEC+AI视觉识别代替激光雷达等,不受场地和限制,部署更加灵活,提高安全性和效率。AGV能够实时接收/发送位置信息到管理平台,后台基于大数据运算,精准地设置AGV专属路线,AGV前往指定货架,并搬运货架到装载区,承包“粗活重活”,节省货物运输的时间。通过5G和云计算,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,实现AI能力的灵活拓展。

### 3.3 5G在视觉识别与检测的应用

5G在视觉识别与检测应用的网络拓扑示意图如图5所示。通过内嵌5G模组或部署5G网关等设备,实现工业相机或激光扫描仪的5G网络接入,实时拍摄产品的高清图像,通过5G网络传输至部署在MEC上的专家系统,专家系统基于人工智能算法模型进行实时分析,对比系统中的规则或模型要求,判断物料或产品是否合格,实现缺陷实时检测与自动报警,并有效记录瑕疵

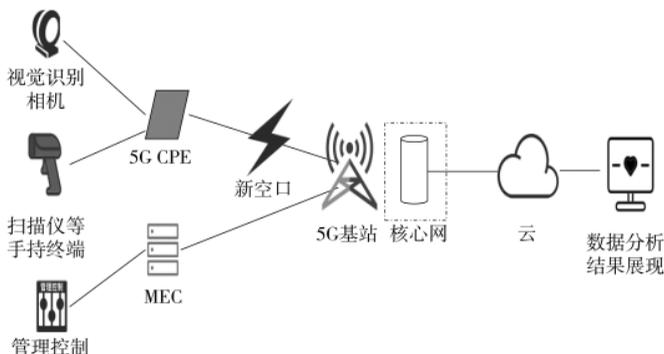


图5 5G在视觉识别应用的网络拓扑示意图

信息,为质量溯源提供数据基础。同时,专家系统可进一步将数据聚合,上传到企业质量检测系统,根据周期数据流完成模型迭代,通过网络实现模型的多生产线共享。

经应用测试,在MEC环境下,5G在视识别与检测应用能够有效提高质检过程的安全性、准确性、稳定性与效率,降低人工成本。对于数量识别、标签文字识别、标识识别、颜色识别、正反识别以及表面裂纹、磨削废料、压力损伤、挫伤等的准确率基本能够达到99%以上<sup>[7-8]</sup>。

### 3.4 5G在安全监控的应用

如图6所示,在生产区域部署摄像头与MEC网关,支持多协议,充分利用园区原有的监控设备、传感设备,内置5G模组或部署5G网关等设备,将传感器、摄像头、数据监测终端接入5G网络,对环境、人员行为工作、设备运行状态等数据进行采集监测。在云端进行模型训练,在边缘侧进行分析处理与响应,对设备不正常状态、人员不安全行为、环境不安全因素等进行实时监控与紧急预警,有效降低设备监控成本、提高设备运行稳定性,实现对生产现场的全方位智能化监测和管理,为安全生产管理提供保障。

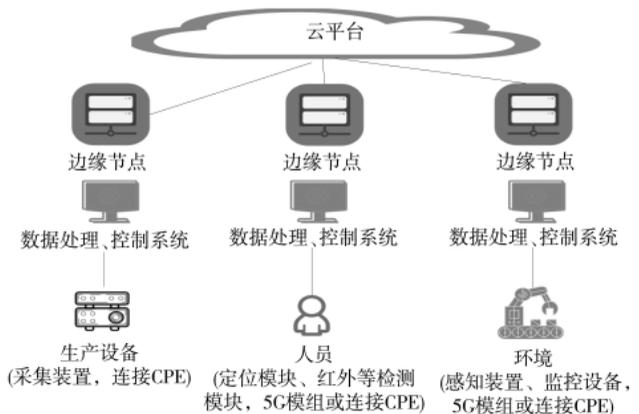


图6 5G在安全监控应用的网络拓扑示意图

经过研究,结合云计算、边缘计算等技术搭建的5G安全监控系统,定位精度小于10m,时延小于10ms,可靠性在99.9%以上,检测准确性可达到99%,与之前相比提高了3%<sup>[8]</sup>。

### 3.5 5G在生产全流程透明化的应用

装备制造业的生产工艺复杂,生产过程数据采集不完全、不同步等会造成订单进度不透明、多线条生产协同差等问题,造成生产效率低、库存成本高等。如图7所示,综合应用5G、人工智能、网络虚拟化等技术,改造升级协同作业设备及系统,通过智能传感器、智能摄像头、智能装备等设备对生产过程数据进行采集,通过内置的5G模组或者部署5G网络实现数据的实时传输,结合AI、仿真技术等实现对现场实际生产的模拟、分析、优化等,将生产现场不连续的、间断的、分散的数据连接起来按需灵活组成一个协同工艺,并且逐步能够实现自优化

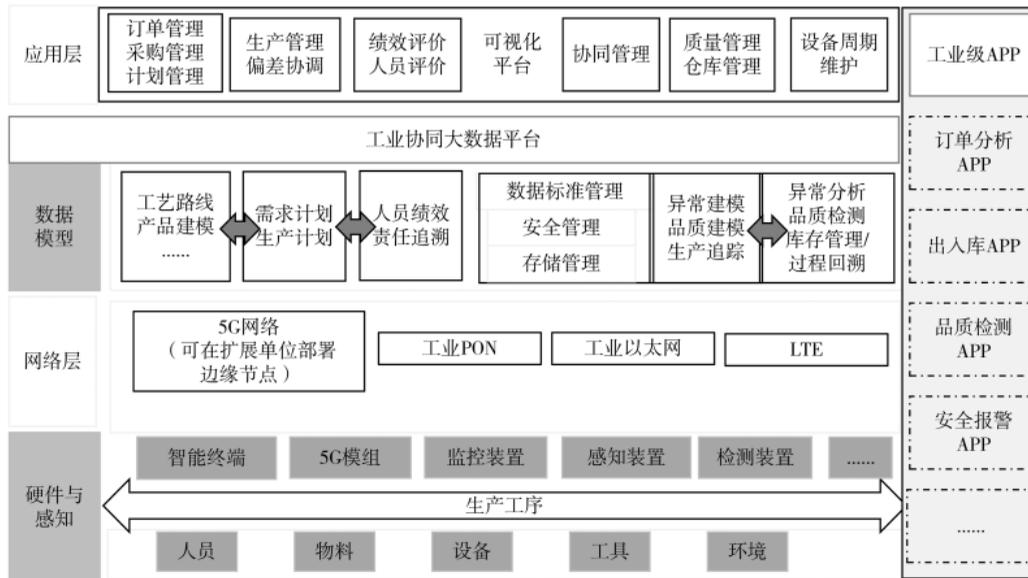


图 7 5G 在全流程应用示意图

的体系,从而缩短规划与生产周期、缩短制品停滞期、缩短异常处理周期,提升生产计划及时达成率,提升设备利用率,提升数据可追溯性、完整性,降低能耗。

整合人员、物料、工具、方法和环境,连接生产过程,通过 5G 设备数据采集、网络计算分析,形成数据模型,在可视化平台、工业 APP 等应用层进行呈现;可借助 MEC 分流作用,降低数据及控制命令传输的时延。

#### 4 装备制造业开展 5G 应用的难点与建议

##### 4.1 装备制造业开展 5G 应用的难点

装备制造业开展 5G 应用面临着前期数字化改造基础不足、运维成本高、企业热情低、技术验证的不完全确定、复合型人才不足等问题:

(1)前期数字化改造基础不足,各行业数字化发展参差不齐,整体来看目前我国工业企业设备数字化率和联网率有巨大的提高空间,很多生产设备和产线尚未完成信息化甚至自动化改造,阻碍了网络的进一步接入、优化,造成数据孤岛<sup>[9-10]</sup>。

(2)系统存在复杂性,尤其对于装备制造业,设备类型较多、来源较复杂,大型设备投入成本高,企业一般使用周期相对较长,存在异构数据、协议不兼容等问题。

(3)技术验证的不完全确定。目前 5G 逐步在工业领域开展试点性、示范性应用,但是应用的场景的深度、广度都未能完全验证 5G 在效益与安全的优越性,这也是许多企业在考虑是否开展 5G 改造的担忧。另外,目前适用于关键装备的 5G 模组仍需进一步研发、试验,关键技术仍待进一步突破。

(4)复合型人才的缺乏。5G 可以加速机械制造行业的智能化水平,需要大量的系统规划、应用开发和服务人才,尤其是既懂企业业务又懂 5G 等新一代信息技术的复合型人才。

##### 4.2 对于装备制造业开展 5G 应用的建议

对于装备制造业开展 5G 应用的建议如下:

(1)充分调研,在原有基础上进行改造。对企业现有信息化现状进行充分调研,采集层部署云服务、边缘服务等服务相关的设施,以 MES 等原有系统已有的物联网网络为基础,结合企业信息化系统已积累的经营数据、生产数据、产品数据等,通过信息化系统柔性集成、互联互通,实现数据的融汇贯通,便于上层业务对于数据的充分利用,减少重复开发等问题。

(2)与原有网络结合发挥 5G 优势。5G 网络优势显著,适用于超高清视频、物流实时追踪、低延时柔性产线、AR 协作等场景。但对于一般的数据采集与传输,例如环境信息采集占用容量较小的一般数据可通过原有的工业 Wi-Fi、LTE 网络传输数据,另外,5G 不能满足装备制造业所有场景的需求,因此可以结合成本和实际情况,逐步进行 5G 网络改造。要充分利用 5G 优势,对于不同业务场景需求,可以应用 5G 切片技术实现对不同场景的支撑,将终端、智能装备等通过 CPE 或 5G 模组接入 5G 网络,通过 UPF 分流,与管理控制系统相连。

(3)根据技术趋势分阶段改造。短期,可以开展高清视频、机器人柔性化、安防、无人车等场景的应用,在现有信息系统的基础上,对生产线进行流程监测与回溯分析,探索总结云化机器人/AGV 小车、AR/VR 在设计、生产等环节的成熟应用。中期,随着边缘计算、切片技术等技术的成熟以及装备智能化升级,结合云计算,推动云化机器人/AGV 小车、AR/VR 在设计、生产等环节的成熟应用。长期,随着 5G 大规模连接技术标准的成熟,探索大规模连接在工厂的应用,建设全柔性产线、全要素连接工厂,实现设备的大规模网联监测,通过开放性平

(下转第 10 页)

- 技术, 2021(4): 28, 33-34.
- [3] 张敏, 李昆仑. 5G 网络能力开放及平台部署研究[J]. 电信技术, 2018(12): 30-35.
- [4] 杜加懂. 5G 行业虚拟专网逐浪前行[J]. 通信世界, 2021(5): 30-32.
- [5] 中国信通院, 中国电信, 中国移动通信, 等. 5G 行业虚拟专网网络架构白皮书[Z]. 2020.
- [6] 林奕琳, 单雨威, 刘龙龙, 等. 5G MEC 网络能力开放架构研究及实践[J]. 广东通信技术, 2021(5): 29-37.
- [7] 朱斌, 林琳, 胡悦, 等. 面向行业的 5G 网络能力开放发展策略研究[J]. 邮电设计技术, 2020(7): 1-6.
- [8] 陈志恒, 李俊璋. 5G 融合计费模式设计研究[J]. 中国电信业, 2019(10): 34-37.
- [9] 张卓筠, 贺晓博, 高功应, 等. 5G 网络能力开放需求和解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2016(7): 9-11.
- [10] 杨红梅, 林美玉. 5G 网络及安全能力开放技术研究[J]. 移动通信, 2020, 44(4): 65-68.
- [11] 邢真, 邵伟翔, 高峰. 5G+工业互联网能力开放进展和研

(上接第 5 页)

台, 接入不同设备厂商的设备, 实现大规模设备网联等场景。

(4) 增强创新意识, 营造良好氛围与产业生态。企业, 尤其是有一定基础实力和创新能力企业, 主动了解新技术, 与信息集成企业、运营商、技术研究开发机构等合作, 主动应用 5G 技术赋能企业生产制造与管理, 同时政府加强政策引导, 营造良好创新氛围<sup>[11]</sup>, 推动市场合作、新业态培育, 抓住 5G 发展契机, 提升企业生产经营成效, 拉动行业与区域发展。

## 5 结论

装备制造业具有小批量、多品种、复杂化、规模化的特点, 各环节之间联系紧密, 对协作性、效率、准确性、灵活性等方面要求较高, 5G 具有柔性连接、灵活部署、低延时高可靠、高速率大带宽、广连接等特点, 在装备制造业中有较为广阔的应用前景。经过落地验证, 5G 能够保障装备制造业在生产、物流等环节中的高速传输与低时延等要求, 进一步提升了供应链协同水平、生产装配的灵活性与效率、设计装配的可靠性等, 但仍然面临行业前期数字化程度不足、异构化数据、技术不成熟等问题, 需要加快技术研发与验证, 营造创新氛围、加强创新意识, 并根据具体行业、个体的实际情况进行阶段化应用。

另外, 5G 并不能解决装备制造业所面临的所有信息化问题, 目前验证得到的性能指标对于工业控制等部分场景尚有不足, 市场模式、参与主体的专业化程度、5G 收费等行业与市场问题也有待进一步研究、验证与解决。但 5G 对于装备制造业的数字化转型仍有可预见的较为显著的推动作用, 并且将进一步推进切片技术、

研究[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 7-10.

- [12] 龙昱磊. 基于 5G 网络的网管能力开放实践[J]. 广西通信技术, 2018(3): 32-35.
- [13] 李红祎, 赵一荣, 李金艳, 等. 基于能力开放的 5G 网络切片管理研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(1): 1-5, 11.
- [14] 陈林, 刘重军, 杨波. 垂直行业 5G QoS 解决方案研究[J]. 通信技术, 2021, 54(7): 1683-1689.
- [15] 孙慧, 金嘉亮, 甘雨莹. 面向工业互联网的新型工厂网络研究[J]. 通信技术, 2021, 54(4): 898-903.

(收稿日期: 2021-08-25)

## 作者简介:

朱红绿(1984-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 4G 网络 EPC 技术、室内覆盖解决方案、5G 小基站技术、5G 核心网等。

孙丽楠(1983-), 通信作者, 女, 博士, 工程师, 主要研究方向: 5G 无线技术、5G 家庭小基站、5G 核心网、5GC 网管等, E-mail: sunlin6@chinatelecom.cn。



扫码下载电子文档

边缘计算、人工智能等技术在装备制造业相关场景的融合应用与发展。

## 参考文献

- [1] 杨波, 赵雄飞, 宁远明. 高端装备制造业数字化转型的思考[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(1): 34-37.
- [2] 王健全, 李卫, 马彰超, 等. 5G 工业互联网赋能智慧钢铁[J]. 钢铁, 2021, 56(9): 56-61, 73.
- [3] 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.
- [4] 张芳, 吕鹏, 陶伟宜. 基于 MEC 的 AGV 解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(2): 58-61.
- [5] 工业和信息化部. 关于发布“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践情况的通知[Z]. 2020: 12-13.
- [6] 靳欣, 戴英豪. 5G 赋能云 VR 直播迎来新一轮发展契机[J]. 通信世界, 2020(14): 21-23.
- [7] 郭熹, 李斌, 马文辉, 等. 基于 5G 的工业 AI 视觉检测系统应用[J]. 邮电设计技术, 2021(4): 73-78.
- [8] 丁鹏, 薛裕颖, 熊小敏, 等. 5G+边缘计算在智能汽车柔性制造中的应用[J]. 电子技术应用, 2020, 46(12): 26-31.
- [9] 刘震. 我国泛工业领域数字化转型发展潜力巨大[N]. 中国电子报, 2021-05-28(006).
- [10] 周宝冰, 左宗鑫. 工业数字化需因业施策、分层实施[N]. 中国工业报, 2021-05-18(003).
- [11] 靳欣欣. 区域 5G 应用培育策略体系的研究及应用[C]// 中国通信学会. 2020 中国信息通信大会论文集(CICC 2020). 北京: 人民邮电出版社电信科学编辑部, 2020: 5.

(收稿日期: 2021-06-04)

## 作者简介:

靳欣欣(1992-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: ICT 产业发展与技术应用。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所