



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 面向汽车制造的5G网络SLA 需求及保障技术报告

工业互联网产业联盟（AII）  
2024年10月





工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 面向汽车制造的 5G 网络 SLA 需求及保障技术报告

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2024 年 10



# 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn



## 编写说明

党中央和国务院高度重视战略性新兴产业的发展，多次强调“积极培育新能源、新材料、先进制造、电子信息等战略性新兴产业，积极培育未来产业，加快形成新质生产力，增强发展新动能”。加快培育和发展战略性新兴产业，成为促进我国经济高质量发展的重要抓手。

汽车制造业作为战略性新兴产业和未来产业发展的重要领域，涉及钢铁、石油、橡胶、电子、化工等诸多领域，集成新能源、新材料、新一代信息、先进制造等诸多新技术，符合数字化、高端化、智能化和绿色化发展方向。汽车制造业的发展，对于促进我国制造业的转型升级，提高附加值及全球竞争力，有着重大战略意义。

以 5G 为代表的新一代移动通信技术，与人工智能、大数据、云计算等新一代信息技术融合，将更好地为提升生产柔性化水平、生产效率、产品质量、服务水平提供保障，助力汽车制造业数字化、网络化、智能化转型升级。“5G+汽车制造”应用场景丰富，业务需求千差万异，众多场景对网络指标提出了个性化需求，因此需要针对场景及需求的特殊性和复杂性，提供符合场景需求的网络资源适配及服务保障。

本报告研究面向汽车制造的 5G 网络 SLA 需求及保障技术，梳理 5G+汽车制造典型场景、业务需求及参数，研究业务侧需求到 5G 网络侧需求转译、以及 5G/5G-A 分级保障技术，从而为汽车制造企业各生产流程运用 5G/5G-A 技术实现数字化智能化升级提供参考。

**编制单位及编写组成员（排名不分先后）：**

中国联合网络通信有限公司研究院：李文杰、齐飞、王源野、赵晨灵、李森、张余、王金石

重庆数智融合科技有限公司（中国联通汽车制造军团）：安岗、张艳

华为技术有限公司：卢小莉、辛波、包盛花

东风商用车有限公司：李宏伟、杨京鸿、肖志军、廖元川

重庆长安汽车股份有限公司：李鹏、姚建丰、戴志强、孙井会

中国第一汽车集团有限公司：李阳

中国联合网络通信有限公司吉林省分公司：黄健、时烁、陈美文、毕盛君

中汽研汽车工业工程（天津）有限公司：董方歧

中国电信集团有限公司天津分公司：黄秦、王俊久、杨帅

精诚工科汽车系统有限公司：王晓青

中兴通讯股份有限公司：高峰、楚俊生

北京紫光展锐通信技术有限公司：夏彦龙、张伟强、朱勇旭

深圳艾灵网络有限公司：刘旻

普天信息工程设计服务有限公司：陈昕

# 目录

一、 汽车制造 5G 网络服务保障需求 .....	1
(一) 5G/5G-A 在汽车制造中的价值体现 .....	1
(二) 汽车制造中 5G 网络个性化 SLA 保障的必要性 .....	2
二、 汽车制造领域 5G/5G-A 典型业务及指标 .....	2
(一) 业务质量参数分析概述 .....	2
(二) 5G+AGV 等运输控制类 .....	8
1. 业务概述 .....	8
2. 业务质量参数 .....	9
(三) 5G+机器视觉类 .....	10
1. 业务概述 .....	10
2. 业务质量参数 .....	11
(四) 5G+PLC 等生产控制类 .....	11
1. 业务概述 .....	11
2. 业务质量参数 .....	13
(五) 5G+视觉引导机器人 .....	14
1. 业务概述 .....	14
2. 业务质量参数 .....	16
(六) 5G+VR/AR 等辅助生产类 .....	17
1. 业务概述 .....	17
2. 业务质量参数 .....	18

三、 面向汽车制造领域典型场景的 5G/5G-A 网络需求 .....	18
(一) 应用场景业务参数到网络指标转译 .....	18
(二) 典型场景业务质量参数及网络 SLA 需求转译案例 ....	21
1. 产线生产节拍分析案例 .....	21
2. 5G+机器视觉网络 SLA 需求转译案例 .....	24
3. 5G+AGV 网络 SLA 需求转译案例 .....	24
(三) 网络指标验证及规划流程 .....	26
四、 面向汽车制造领域的 5G/5G-A SLA 保障技术 .....	28
(一) 网络高可用保障技术 .....	28
(二) 低时延高可靠保障技术 .....	30
(三) 速率保障技术 .....	31

## 一、汽车制造 5G 网络服务保障需求

### （一）5G/5G-A 在汽车制造中的价值体现

党中央和国务院高度重视战略性新兴产业的发展，多次强调“积极培育新能源、新材料、先进制造、电子信息等战略性新兴产业，积极培育未来产业，加快形成新质生产力，增强发展新动能”。战略性新兴产业代表新一轮科技革命和产业变革的方向，是引领国家未来产业发展的决定性力量，也是国家培育发展新动能、赢得未来竞争新优势的关键领域。未来产业代表着未来科技和产业发展方向，具有技术颠覆性强、产业关联度高、市场空间潜力大等特征，是大国产业竞争的战略焦点，也是塑造未来世界格局的重要力量。加快培育和发展战略性新兴产业和未来产业，成为促进我国经济高质量发展的重要抓手。

汽车制造业作为战略性新兴产业和未来产业发展的重要领域，涉及钢铁、石油、橡胶、电子、化工等诸多领域，集成新能源、新材料、新一代信息、先进制造等诸多新技术，符合数字化、高端化、智能化和绿色化发展方向。汽车制造业的发展，对于促进我国制造业的转型升级，提高附加值及全球竞争力，有着重大的战略意义。

以 5G 为代表的新一代移动通信技术，与人工智能、大数据、云计算等新一代信息技术融合，成为战略性新兴产业及未来产业发展的关键驱动力。5G/5G-A 具备高带宽、低时延和高可靠性特点，通过构建高质量的 5G 行业专网，结合 5G LAN、高精度定位等能力，提供覆盖实时、非实时、定位业务的网络能力；通过 5G-A 的毫秒级时延、上行大带宽、RedCap、无源物联、网业协同感知等特性及能力加持，

更好满足细分场景业务的差异化需求，全方位打造 5G 智能化产线。5G/5G-A 将更好地为提升生产柔性化水平、生产效率、产品质量、服务水平提供保障，助力汽车制造业数字化、网络化、智能化转型升级。

## （二）汽车制造中 5G 网络个性化 SLA 保障的必要性

5G+汽车制造应用场景丰富，业务需求千差万异，众多场景对网络指标提出了个性化需求，因此需要针对场景及需求的特殊性和复杂性，提供符合场景需求的网络资源适配及服务等级（SLA）保障。

本报告研究面向汽车制造的 5G 网络 SLA 需求及保障技术，梳理 5G+汽车制造典型场景、业务需求及参数，研究业务侧需求到 5G 网络侧需求转译、以及 5G/5G-A 分级保障技术，从而为汽车制造企业各生产流程运用 5G/5G-A 技术实现数字化智能化升级提供参考。

## 二、汽车制造领域 5G/5G-A 典型业务及指标

### （一）业务质量参数分析概述

汽车制造生产环节涉及冲压、焊装、涂装、总装及电池等车间，5G 应用场景多达上百种，典型场景如下表所示。

表 1 汽车制造生产环节典型场景

序号	汽车制造生产环节	场景名称	序号	汽车制造生产环节	场景名称
1	冲压	5G+机器人开卷落料码垛控制	15	其他（如机加、电池车间等）	5G+机器臂协同控制
2		5G+机器视觉钢材表面瑕疵质检	16		5G+AI 安全帽检测
3	焊装	5G+焊接机器人数据采集	17		5G+柔性工岛生产
4		焊装群控站数据回传	18		5G+AI 人车分流

5	涂装	涂装工艺信息交互	19		5G+新能源电池存储
6		5G+智能喷涂	20		5G+AGV 物料运输控制
7		漆面缺陷检测	21		5G+AGV 车身转运
8	总装	5G+智能柔性化输送线	22		机器人与机器人协同控制
9		5G+智能装配	23		远程维护机器人
10		5G+拧紧工具	24		工序间物料传输
11		5G+车辆装配过程中的无线扫码	25		远程调测可视化
12		5G+车辆质检机器视觉应用	26		5G+智慧生产一屏感知
13		5G+AI 车窗涂胶合规检测	27		能耗监控
14		5G+AI 车尾标识别	28		车间环境监测

通过梳理汽车制造主要生产环节中 5G/5G-A 应用场景可以看出，5G+AGV 等运输控制类、5G+机器视觉类、5G+PLC 等生产控制类、5G+视觉引导机器人、5G+VR/AR 等辅助生产类、安防监控类、信息采集类等典型应用，基本覆盖各环节典型场景，因此有必要梳理典型业务运行时需要的网络能力涉及的典型业务质量参数。

典型业务质量参数包括：生产节拍、工件型号、响应时间、识别精度、产线运动速度、切换稳定性等生产需求，图像/视频分辨率、色彩模式、视频编码方式、视频码率、帧率、视频路数、模型数据量、光学方案、视场角等终端光学相关参数，应用数据量、通信周期 CT、生存时间 ST、宕机时长等控制相关参数，以及组态节点密度、车间节点密度等部署相关参数。

典型业务质量参数说明如下：

### (1) 生产节拍

完成一个产品所需的平均时间，用于定义流程中某一具体工序或环节的单位产出时间。假设在净可用工作时间内，产线以恒定速率生

产制造产品，生产节拍即指产线上两个连续生产单元（或加工点位）之间完成工序所经过的时间量。

#### (2) 工件型号

指待加工/处理的工件标识。不同型号的工件，其材质、形状、待加工/处理的面积或工艺要求往往不同，这些因素将直接影响解决方案中硬件设备选型、进而影响网络需求。

#### (3) 响应时间

指系统对请求作出响应的的时间。

#### (4) 识别精度

识别测量或计算的准确程度。此处指视觉系统，识别目标空间位置或测量工件尺寸的精细程度。业务系统中对识别精度的要求高低，将直接影响图像分辨率、数据类型等指标要求。

#### (5) 产线运动速度

即生产制造过程中，设置的产线运动速率，多与生产节拍、工序复杂程度、产量需求互相影响。

#### (6) 切换稳定性

移动设备漫游过程中，从一个服务小区切换到另一个服务小区过程中允许业务中断的最大时间，该参数用于测算 5G 小区切换时延。

#### (7) 图像/视频分辨率

对图像/视频精密度的一种度量。既指设备所能显示的像素的数量，也指图像/视频中单位尺寸或面积包含的像素个数。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (8) 色彩模式

将某种颜色表现为数字形式的模型或一种记录图像颜色的方式，有彩色和黑白之分。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (9) 位深度

在记录数字图像颜色时，计算机实际上是用每个像素需要的二进制数值位数来表示的。如，黑白二色图像每个像素只有 1 位颜色，位深度是 1；真彩色，位深度是 24，能组合成 16777216 种颜色。

#### (10) 视频编码方式

通过压缩技术，将原始视频格式的文件转换成另一种视频格式文件的方式。视频流传输中最为重要的编解码标准有国际电联的 H. 261、H. 263、H. 264 等。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (11) 视频码率

数据传输时单位时间传送的数据位数，一般用的单位是 kbps。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (12) 帧率

以帧为单位的位图图像连续出现在显示器上的频率。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (13) 通道数

可以接入的信号通道数量。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (14) 三维模型数据量

数据格式包括深度图、深度视频、点云。该参数结合其它文本、图像、视频、音频等数据量参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (15) 视场角 (FOV)

又称视角，指在成像场景中，相机可以接收影像的角度范围，也称视野范围。视场角的大小决定了光学仪器的视野范围，视场角越大，视野越大，直接决定了用户的直观感受。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (16) 头部追踪的自由度 (DoF)

将用户的头部动作转化为电子信号，以实现对于虚拟现实、增强现实及人机交互等领域的控制手段。自由度是指物体在三维空间中移动的独立方式的数量，分 3 自由度 (3DOF)，6 自由度 (6DOF)。3DOF 侧重于旋转运动，跟踪用户头部围绕 X、Y、Z 轴的旋转（俯仰、偏航和滚动），不跟踪空间中的物理运动；6DOF 不仅跟踪头部旋转，还跟踪用户在空间中的身体运动，能够行走、跳跃、弯腰并与虚拟世界互动。该参数结合其它传感参数可用来测算 5G 终端的带宽指标。

#### (17) 渲染显示光学方案

目前智能眼镜的光学方案主要包括光波导、BirdBath、棱镜、离轴曲面、自由曲面。不同光学方案在视场角、分辨率等方面存在差异。该参数结合其它光学参数可用来测算 5G 终端的带宽指标、时延指标。

#### (18) 应用数据量

要求传输的应用数据量。周期性通信业务中，表示应用数据包在传输周期内发送的数据量；非周期性通信业务中，表示单次业务传输的数据量。

#### (19) 通信周期 CT

PLC 与设备侧 I/O、伺服的总线更新周期，该指标用来测算 5G 通信时延。

#### (20) 生存时间 ST

通信周期的倍数，倍数等于看门狗最大次数减 1，该指标用来测算 5G 单包可靠性。

注：看门狗是一个工业总线监视定时器，用来监视工业总线的状态，看门狗在程序的中断中拥有最高的优先级，看门狗一旦超时，PLC 就会停机报警。

#### (21) 宕机时长

两次宕机事件之间的连续工作时长（不包括网络设备类故障），该指标用来测算 5G 单包可靠性。

#### (22) 单连接 NRT 带宽

某场景下，每个连接需要预留的非实时带宽，该指标用来测算 5G 终端的 NRT 带宽及 5G 基站的 NRT 带宽。

#### (23) 组态节点密度

一定面积下，PLC 的组态节点数，该参数用来测算 5G 单包可靠性，以及 5G 小区的容量密度。

#### (24) 车间节点密度

在一定车间面积下，该类业务场景或节点的密度，该参数用来识别各类终端的占比，以及测算 5G 小区的容量密度。

## （二）5G+AGV 等运输控制类

### 1. 业务概述

AGV 是装备有电磁、光学、RFID 等装置、能够沿规定的导引路径行驶或按照自由路径导航行驶、具有安全保护以及各种移栽功能的自动运输车。在汽车工业生产线上，AGV 无人搬运小车可以承担原材料和成品的搬运任务，减轻工人的劳动强度，提升产品入库、出库、移库、盘点等物流全流程自动化水平，提高生产效率。5G 网络一方面可以改善 AGV 系统原有的无线局域网稳定性、移动性、覆盖等方面存在的问题，同时能够支撑 AGV 本地控制器上移，提高产线柔性化水平。

#### （1）5G+AGV 调度管理

AGV 自由路径导引车系统由带辅助装置的 AGV 车、地面导航系统、在线自动充电系统、周边输送系统、AGV 控制台和通讯系统等构成。AGV 控制台是 AGV 系统的调度管理中心，负责与监控计算机交换信息，生成 AGV 的运行任务，解决多 AGV 之间的避碰问题，同时将 AGV 系统的状态反馈给中心控制管理系统。AGV 控制台和各 AGV 之间组成无线局域网进行信息交换，传统模式中控制台与车体采用 WiFi6 或以下技术时，存在延时较高、网络抖动问题，可能引起接入受限、切换失败、易被攻击和干扰，覆盖距离短、无法支持大规模调度，边界切换容易掉线导致业务连续性无法得到保证。通过 5G 网络覆盖 AGV 运行区域，使 AGV 在跨越不同的区域时实现自动漫游，实现无缝连接。

#### （2）云化 AGV

目前 AGV 自带独立的 PLC 用于本地控制，5G 无线化取消 AGV 个体 PLC，支持远程 I/O 化，可节约硬件成本。另外，AGV 本地控制器

部署在终端，不利于产线的快速重构，通过云化算法，可实现 AGV 智能导航和调度。例如，目前部署 AGV 的导航主要采用磁导、二维码、激光等方式，磁导和二维码需要预先布置场景，灵活性较差；激光导航灵活性较强，但成本较高；直接采用视觉计算导航，灵活性高，成本可低于激光，但技术难度加高，数据计算量大，其计算资源需要相对高性能的计算机进行处理，因而单台 AGV 的成本较高。利用 5G 将实时视觉画面传输到云端服务器计算，并实时返回结果辅助 AGV 实时控制，则有助于 AGV 视觉导航方式的应用。

综合以上两个场景，通过 5G 网络对各产线的 AGV 实现集中规划、集中管理、集中调度以及接收 AGV 的状态指令信息，满足产线实时控制需求。例如，焊装车间 5G 云化 AGV，可以实现焊装车间冲压件、外购件及分总成件全流程智能化无人配送；仓储配件自动化配送 AGV，实现仓储配件在厂区冲焊涂总四大车间之间的自动化配送，克服了传统的工业网络覆盖范围小、切换掉线等缺点，体现 5G 网络广域覆盖、低时延等优点。

## 2. 业务质量参数

AGV 设备根据应用场景不同，对通信系统要求不同。5G 网络应满足 AGV 设备的实时定位和数据传输，以及不同区域、车间、室内外的网络稳定切换，同时需满足产线生产节拍要求。业务参数主要包含应用数据量、切换稳定性、通信周期 CT、生存时间 ST、车间节点密度等要求。例如：

- 应用数据量：总线类型 PROFINET，数据包大小 64byte，数量 1。
- 切换稳定性：切换时延小于等于 100ms，可靠性 99.99%。

- 组态配置要求：物流 AGV：CT ≥ 50ms、ST/CT=3；工艺 AGV：CT ≥ 16/32ms、ST/CT=3。
- 用户容量：工厂内宜支持 10 台/1000 m<sup>2</sup>的 AGV 同时作业。

云化 AGV 场景需要低时延、高可靠网络，5G 网络需支持 AGV 在运行过程中的信息同步，使 AGV 在运行过程中实时进行控制信息交互。业务参数主要包含：通信周期 CT、生存时间 ST，宕机时长、移动性、NRT 连接并发数，以及组态节点密度、车间节点密度。

### （三）5G+机器视觉类

#### 1. 业务概述

机器视觉在汽车制造业应用广泛，其需求场景多聚焦于产品质量检测和辅助生产过程，如焊接车间汽车零部件的焊接件检测、涂装车间汽车车门涂装质量检测、电池车间汇流排质量检测、总装车间方向盘拨片丝印质量检测、以及发动机缸体缸盖外观缺陷检测、天窗结构件铆钉检测、机舱焊点检测等。

（1）5G+机器视觉用于焊接车间汽车零部件的焊接件检测。在此车间中，点焊被广泛应用于车身制造，焊接的好坏直接影响了车身的强度，其质量尤为重要。此工序要求检测焊点处是否存在漏焊、咬边、焊瘤、弧坑、气孔、裂纹等焊接缺陷。

（2）5G+机器视觉用于涂装车间汽车车门涂装质量检测。涂装车间汽车车门的涂装质量直接影响到汽车的防锈蚀性能、安全性能。针对涂装后的汽车车门的检测，要求识别表面颗粒、缩孔、气泡等缺陷。

(3) 5G+机器视觉用于电池车间汇流排质量检测。电池车间汇流排的质量检测主要从焊缝长宽及高度、是否存在断焊、焊缝位置是否偏离、焊缝中是否存在击穿孔或凹坑，以及汇流排与极柱之间间隙是否达标这几方面进行检测。

(4) 5G+机器视觉用于总装车间方向盘拨片丝印质量检测。总装车间的方向盘拨片丝印质量检测要求识别移印图案的色差、断线、缺失、重影、偏位等不良情况。待检测视野范围约 66mm×44mm，精度要求±0.02mm。

## 2. 业务质量参数

5G+机器视觉质检业务中，在生产现场部署工业相机等质检终端，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，实时拍摄产品质量的高清图像，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，并有效记录瑕疵信息，为质量溯源提供数据基础。

典型场景涉及到的机器视觉终端业务质量参数包括生产节拍、工件型号、图像/视频分辨率、色彩模式、位深度、相机数量等。

## (四) 5G+PLC 等生产控制类

### 1. 业务概述

传统现场工控网以 PLC 为核心，采用主从式管理，通过有线网络（工业以太网、现场总线等）连接包括 PLC 与上位机（PLC 北向通

信)、PLC 与 PLC (PLC 东西向通信)、PLC 与 I/O 等现场设备 (PLC 南向通信), 实现信息通信。

汽车产线 PLC 北向通信实现上位机到 PLC 的数据采集与监控, 目前存在的问题包括: 有线布线复杂, 成本高, 产线调整困难, 柔性程度低, 无法匹配业务升级换代; 传统 PLC 生态封闭, 信息层级多, 存在信息孤岛, 数据利用度低; 有线网络 PLC 运维需大量人力物力, 易故障, 排障周期长, 影响车厂生产。PLC 北向 5G 无线化, 如云化 PLC 场景可实现分散控制器的集中化控制, 实现北向剪辫子, 提升柔性化生产能力, 提高部署及维护效率, 降低成本。

汽车产线 PLC 间东西向实时数据通讯场景, 采用总线 I/O 复制器, 该设备集成两个 I/O 从站从属于两个 PLC 内部 I/O 实时复制, 在有多多个 PLC 的线体需要多个总线复制器的情况下, 5G 无线化可简化有线现场总线架构, 减少硬件, 减少维护工作量。

汽车产线 PLC 南向通信涉及 PLC 与工业 I/O 模块、阀岛、变频器、机器人控制器等的实时通信, 这类场景采用有线连接存在网线铺设工作量大, 更换周期长, 成本高的问题, 且设备移动过程中存在网线磨损, 容易导致故障停产。引入 5G URLLC 可去掉有线束缚实现柔性化应用, 减少移动造成的通讯物理故障, 5G 的扁平化架构组网简单, 可提供 IT 非实时与 OT 实时多业务共用一张网的能力, 从而降本增效。现场网络 5G 化改造后 5G URLLC 典型应用包括工具切换、随行夹具、柔性滑台、立体库、升降台等 C2I0 类场景。

## 2. 业务质量参数

以汽车制造企业焊装车间和总装车间为例，其典型场景的业务质量参数包括通信周期 CT、生存时间 ST、0 宕机时长、移动性、单连接 NRT 带宽、组态节点密度和车间节点密度。例如，焊装车间的典型通信周期为 8ms，C2I0 典型 PLC 组态节点密度约为 100 节点/500 平方米，车间节点密度约为 5780 节点/3.3 万平方米；总装车间典型通信周期为 8ms，典型 PLC 组态节点密度约为 200 节点/2 千平方米，车间节点密度约为 5000 节点/5 万平方米。两车间典型业务质量参数需求如下表。

表 2 汽车焊装及总装车间 5G/5G-A PLC 类应用场景需求

网络区域	典型应用场景	CT/ms	ST/CT 倍数	0 宕机时长	移动性 轨迹速度 (m/s)-范围 (m)	单连接 NRT 带宽 /Mbps	组态节点 密度	车间节点密 度
焊装 车间	C2I0-工具切换	8	3	3年	3D-2-3	1	—	140个/3.3 万平
	C2I0-智能从站	8	3	3年	3D-2-3	10	100个 /500平	400个/3.3 万平
	C2I0-上、下料台 /夹具定位台	8	3	3年	—	1	—	180个/3.3 万平
	C2I0-集中/云化 PLC	8	3	3年	—	100	—	700个/3.3 万平
	NRT-能源监控	100- 200	3	3年	—	1	—	200个/3.3 万平
	C2C-控制器数据 耦合交互	8	3	3年	—	10	—	100个/3.3 万平
总装 车间	C2I0-EMS吊具	16/3 2	3	1-3年	3D-0.4- 400	10	30个/1千 平	100个/5万 平
	C2I0-升降滑板	16/3 2	3	1-3年	2D-0.4- 400	10	30个/1千 平	50个/5万平
	C2I0-线体驱动	16/3 2	3	1-3年	无	2	200个/2 千平	300个/5万 平
	C2I0-涂胶机	8	3	1-3年	无	10	2个/10平	10个/5万平
	C2C-工控机	100	3	1-3年	无	10	1个/2千 平	30个/5万平

## （五）5G+视觉引导机器人

### 1. 业务概述

视觉引导工业机器人是面向工业领域且配备机器视觉的多关节机械手或多自由度的机器人，通过视觉引导技术，机器人可以根据实时获取的图像信息自动调整自身的位置和姿态，实现精确、稳定的操作，确保制造和生产线的灵活性。在汽车制造过程中，视觉引导机器人被广泛应用于冲压、焊装、喷涂、总装车间的制造产线，覆盖点焊、螺柱焊、激光焊、搬运、码垛、装配、喷涂、检测等各项生产场景。5G/5G-A 为视觉引导机器人系统的数据传输提供了高效、稳定、可靠的网络保障，不仅能够避免传统终端的网络线缆磨损、延长设备使用寿命，而且使云化机器人控制成为了可能，有助于通过集约化建设，降低企业投入成本。

#### （1）汽车零部件上下料

在汽车制造过程中，将零部件从供应链中取出并装配到汽车生产线上的过程，包括从供应商处接收、存储、分配和装配零部件到汽车生产线上的各个工位。传统的机器人上下料操作通常依赖于预先编程的轨迹和位置信息，但这种方法在应对复杂的零部件形状和变化时存在一定的局限性。3D 视觉引导技术通过感知待检测区域内的深度信息，使工业机器人能够像人类一样感知、理解三维环境，从而实现更加精准和灵活的上下料操作，直接提升整个车身制造过程的自动化效率，已经被企业大规模应用于车间生产。以曲轴工件自动化上料为例，典型的工作流程为：叉车将曲轴放置到 3D 视觉识别工作区域，视觉

识别曲轴无干涉位置引导机器人抓取上料，并放置到对应的垛盘上，给到下一个工位的机器人进行抓取抛光打磨，实现自动化作业。

### （2）焊接场景

在汽车制造的焊装车间，四门两盖生产线和下部线、主线都是由细分的工位组成，每个工位一般 4-6 台机器人协同工作，是视觉引导机器人应用最多的、分布最广的区域。随着生产线向前推进，从一开始的前底板、后底板和机舱三大件主拼到中间的上左右 A 柱、后尾座、左右侧围、四门两盖到最后的天窗形成白车身，其中点焊、补焊占比近 60%。以车体焊接过程为例，汽车制造中车体焊接多采用的是点焊与弧焊技术，机器人进行车体焊接之前，需要 PLC 控制滑橇传输到位后下落完成，然后 PLC 触发机器人相应车型的程序，机器人便可以开始工作，整个过程无需人工参与。

### （3）喷涂场景

汽车喷漆时主要对车身表面，而涂胶是车身各板件的连接位置。在自动喷漆和涂料喷涂方面，尤其在汽车车身外观喷涂上，机器人不仅能在宽敞的空间内完成复杂的喷涂轨迹，还能伸入狭窄的空间进行精细作业。视觉引导型喷涂机器人能够根据车身形状的不同从而选择不同的喷涂工具，按照预先设定的喷涂程序进行工作。视觉引导机器人的应用，不仅能够有效提升喷漆、涂胶速度和质量，而且可以降低安全事故的发生。

### （4）零部件检测

工业机器人可以通过先进的传感器和视觉系统，对零部件进行详细的尺寸测量、质量评估和外观检查。自动化检测方式能快速识别出

尺寸偏差、表面缺陷或其他不符合质量标准的问题，确保每一件零部件都达到生产要求。视觉引导机器人提升了零部件的合格率，同时减少人工检测中可能出现的误差，提高了整个生产过程的质量控制水平。

## 2. 业务质量参数

典型的视觉引导机器人通常由机器人、视觉传感器和工控机等硬件设备组成，系统分为机器人运动控制子系统、视觉检测子系统和业务流程管理子系统。机器人运动控制子系统与视觉检测子系统可按主控通信、接口通信两种模式集成。主控通信模式下，视觉系统作为主站设备，机器人作为从站设备，视觉系统向机器人发送运动或者 I/O 指令，机器人持续监听并执行指令。视觉系统将控制机器人按照规划的路径执行相应的任务，例如工件上料或拆码垛。接口通信模式下，机器人侧作为主站设备，视觉系统作为从站设备，由机器人侧发送请求，视觉系统处理后返回响应（目标物体的位姿和标签信息）。根据请求的不同，视觉系统将返回视觉结果或规划的抓取路径。机器人根据视觉系统返回的响应做进一步决策或执行相应的任务。

上述两种模式中，5G/5G-A 网络可用于为视觉检测子系统和机器人运动控制子系统提供数据传输保障。例如，视觉传感器采集影像或点云数据后，数据经 5G 网络传输至 MEC 或中心云，由智能算法进行分析处理后，得到计算结果；机器人运动控制子系统基于视觉检测结果和工序流程，通过 5G 网络，实时下发运动指令数据，完成业务执行。因此，5G+视觉引导机器人的业务需求可以参照 5G+机器视觉和 5G+PLC 类应用的业务需求。其指标主要包含：生产节拍、响应时间、识别精度、产线运动速度、工件型号、宕机时长等。

## （六）5G+VR/AR 等辅助生产类

### 1. 业务概述

AR 系统包括数据处理、SLAM、显示、人机交互等技术环节，通过摄像头获取真实环境信息，结合传感器进行定位跟踪、交互，通过显示设备生成虚拟场景，叠加到现实场景。AR 工业应用创建了一个虚拟现实的交互式环境，通过智能设备获取真实环境图像，并将可视化数据集成在现实车间的实时场景上，对设备进行分析管理，针对需要解决的问题或需要完成的任务应用远程指导。

在汽车制造中，可应用双目式、单目式等可穿戴 AR 设备，用于冲压线 AR 远程诊断、涂装机器人 AR 远程诊断、总装环节 AR 装配作业指导等场景。例如，在总装车间，传统领域的汽车零部件装配过程中，由于零件的多样化以及操作的规范性，对于装配人员的专业技术要求以及规范程度要求较高，一般都需要进行长期的岗前培训，无法快速投入生产环节，同时经常产生装配差错。结合 5G 低时延、广连接的特性，以 MEC 边缘算法，操作人员通过 AR 智能眼镜，可以快速定位每个导线需要插入的位置，在眼镜中会叠加线路器上层图层，操作人员在操作过程中，依据图层的展示，把线材插入到集线器中，从而降低差错率，提升整体工作效率。

上述过程中，在空间数据采集过程中，可通过 5G 网络，将智能设备采集的现场音视频等数据实时回传；交互过程中，多个环节涉及从网络到终端的 5G 下行流量。例如，对各种生产零件进行 1:1 建模，内容生成后，将图像或 3D 模型提前下载到设备上；定位追踪，对输入图像提取特征点生成点云模型后，利用 5G 网络实时将模型数据及

匹配信息反馈到端侧；远程协助过程中，传输第一视角的通讯音视频、文字标注、共享的图片及文档等。

## 2. 业务质量参数

从终端到网络的上行流量通常包括图片、多路压缩视频以及空间和用户姿态追踪等信息。上行带宽取决于摄像头数量、分辨率、光学方案、视场角、头部追踪、空间定位等业务参数。

从网络到终端的 5G 下行流量包括 3D 模型、定位追踪数据、第一视角的通讯音视频、文字标注、共享的图片及文档等数据，下行带宽取决于图像分辨率、视频码率、视频路数、模型数据量等业务参数。

应用的交互延迟要求取决于多种因素，如应用的性质、运动速度、渲染显示光学方案，以及头显、边缘和云之间的处理分配方式等。

## 三、面向汽车制造领域典型场景的 5G/5G-A 网络需求

### （一）应用场景业务参数到网络指标转译

第二章梳理了汽车制造行业 5 大类典型业务，并给出了各业务场景的典型需求参数，如生产节拍、图像/视频分辨率、通信周期等。本章介绍典型业务场景涉及的网络指标，包括用户体验数据速率、5G 通信时延、单包可靠性、用户容量，并举例给出由业务需求参数到网络指标的映射方法。典型业务参数到网络指标映射关系如下图所示。

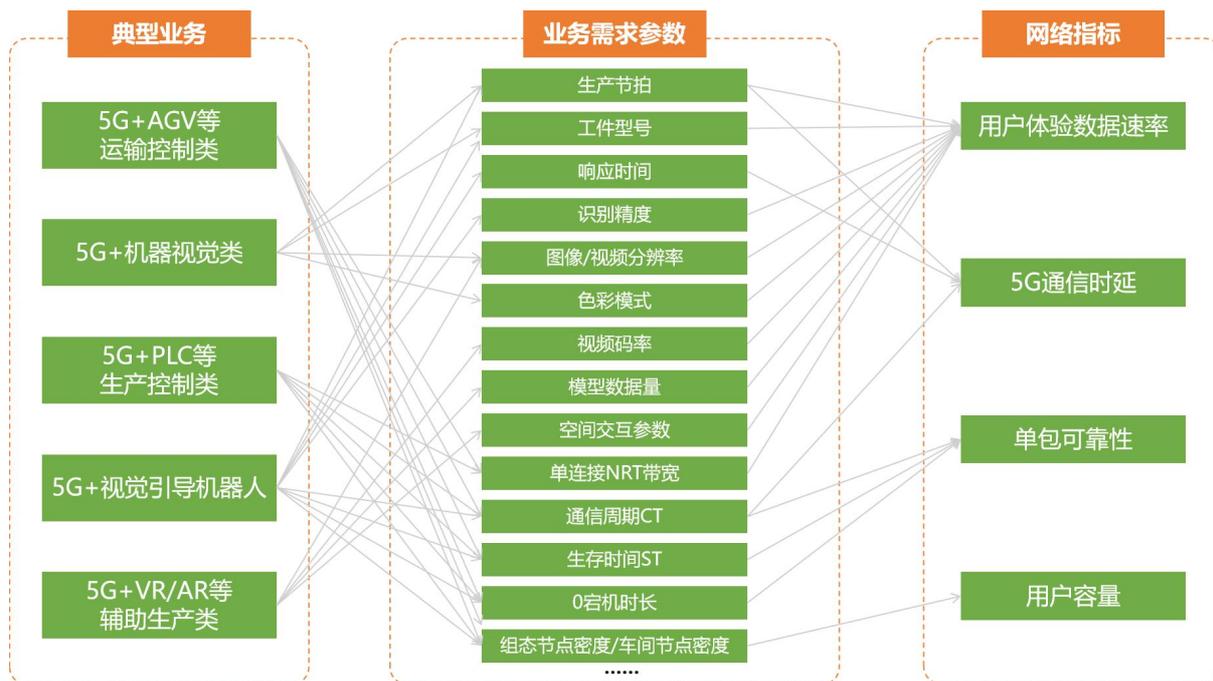


图 1 典型业务场景需求参数到网络指标映射示意图

(1) 用户体验数据速率。

实现业务质量体验所需的最低数据速率。表示网络可以传递数据的能力。用户体验数据速率通过应用数据量、传输周期测算。以机器视觉质检场景为例，某场景的上行用户体验数据速率通过各工序点位待传输数据量与生产节拍计算，该场景上行用户体验数据速率需求为：

$$BW_u = \frac{\sum_N IR * D * n}{PC * Z}$$

其中，相关参数说明如下：

表 3 用户体验数据速率相关参数说明

参数	参数名称	参数类别	单位
BW <sub>u</sub>	上行用户体验数据速率	输出参数	Mbps
IR	图像分辨率	输入参数	dpi
D	位深度	输入参数	bit
n	生产节拍时间内图像数量	输入参数	-
N	相机数量	输入参数	-
PC	生产节拍	输入参数	s
Z	单位换算	常数	

## (2) 5G 通信时延

5G 网络的通信时延，不包含业务层及其相关接口的处理时延。对于工厂自动化 C2IO 或运动控制，业务一般都是周期性发送的。对于传统有线，PLC 与设备侧 I/O、伺服的通信时延通常都小于更新周期，而 5G 连接可以根据客户的实际需求来确定，对于时间特别敏感的场景，通信时延小于更新周期，其他非敏感场景，也可选择通信时延大于设备更新周期。确定性是指发端到收端的通信时延是否稳定，即有界。C2IO 逻辑控制一般都是周期性的确定性通信，要求最大时延有边界。

## (3) 单包可靠性

单包可靠性为 5G 承载的单个业务包的可靠性。针对现场工控场景，除了看门狗机制对单包可靠性的影响，还需要考虑 PLC 对多个 I/O 设备控制，多条链路之间存在业务相关性，对于 5G 网络单包可靠性的影响。单包可靠性需求为：

$$R=1-\sqrt[m]{1-\frac{CSR*Y/CT-(m-1)}{\sqrt[n]{CSA}}}$$

其中，相关参数说明如下：

表 4 产线单包可靠性相关参数说明

参数	参数名称	参数类别	具体参数定义	单位
CSA	整产线可用性	输入参数	CSA=业务可用时间/总时间=1-故障时间/总时间	-
CSR	连续不宕机的年数	输入参数	表示连续CSR年不宕机	年
A	单节点可用性	中间参数	构成整个产线的某个单节点可用性，同3GPP定义CSA	-
n	宕机相关度	输入参数	整个产线由n个独立不相关的可用性为A的IO设备节点独立接入5G网络，则CSA=A^n	个
CT	通信周期	输入参数	Cycle Time, 总线更新周期	ms
Y	一年总时长	常数	一年总时长为: Y=365*24*60*60*1000ms	ms
ST	生存时间	输入参数	Survival Time	ms
m	看门狗计数器	输入参数	m = 1+ST/CT	-
R	单包可靠性	输出参数	R表示单包成功传输的概率	-

#### (4) 用户容量

用户容量表示每小区范围内容纳的无线终端数量，是表征无线通信系统能力的一个重要参数。

$$n = M * D$$

其中，相关参数说明如下：

表 5 用户容量相关参数说明

参数	参数名称	参数类别	单位
n	5G小区用户容量	输出参数	个
M	5G小区面积	输入参数	m <sup>2</sup>
D	节点密度	输入参数	个/m <sup>2</sup>

## (二) 典型场景业务质量参数及网络 SLA 需求转译案例

### 1. 产线生产节拍分析案例

天津某汽车发动机金属铸件的 5G 全连接工厂项目，其中 5G+AGV 作为一个重要场景，使用新一代通信技术赋能自动引导车辆对物料及成品的运输转运作业，以实现全面的自动化搬运。

通过部署无轨导航无人叉车，对接生产线、线边库、仓储取料区，实现专有物料在各区域自动点对点运输，改变现有人工驾驶叉车的运送方式，提高物流效率和物流准确率；利用 5G 技术实现定位、导航、呼叫以及运输过程的全程记录，在节省人力的同时，确保运输过程的标准化，合规化，减少产品运输风险。

案例选用 3D 激光导航无人叉车，用于与人配合的共同环境，自动/手动控制的双模作业模式，额定载重 1.4T，可提升 1.6m，最快直线运行速度可达 1.3m/s，转弯不停车。适用于仓库、生产线等货架取放、自动化滚筒线对接、高台取放货、堆叠等应用场景。

载具信息如下表所示:

表 6 载具信息

序号	现场载具类别	图片	物料类别	对应AGV车型	AGV对载具要求	AGV作业不符合项	作业方式
1	金属网笼_带轮		毛坯原料	XXX	<b>△载具尺寸及重量要求:</b> ①单层整托外形尺寸 (mm): $L_1 \leq 1280 * W_1 \leq 1100 * W_1 \leq 1150mm$ ②双层整托外形尺寸 (mm): $L_2 \leq 1280mm * W_2 \leq 1100 * W_2 \leq 2350mm$ (注_AGV沿长边进叉) ③重量: 2层叠托需 $\leq 1400KG$  <b>△墩特征及叉孔参数要求:</b> ①叉孔内宽a: $\leq 280mm$ ②叉孔外宽b: $\geq 750mm$ ③叉孔净高度c: $\geq 100mm$ ④单叉孔净宽度d: $\geq 220mm$ ⑤叉孔类别: 开放式叉孔/川字型叉孔 ⑥墩宽: $\geq 60mm$ ⑦墩的对称性: 沿托盘中轴线对称 ⑧墩角接触面: 保证货物放置横梁 货架有 $\pm 30mm$ 放货允差, 货物不掉 落货架。 ⑨叉孔未被缠绕膜遮挡  <b>△叠托重合度要求:</b> ①整托堆垛稳定, 堆角重合到位 无歪斜, 超托情况。 ③叠托除上下面, 其余4面与地面 垂直度为 $90^\circ (\pm 0.5^\circ)$	暂无	AGV拆垛 AGV车间上下线
2	大金属网笼 (开放式叉孔)		成品	XXX		暂无	AGV车间上下线 人工出入库
3	小金属网笼 (封闭叉孔)					①长短边_封闭式叉孔	人工车间上下线 人工出入库
4	小金属网笼 (开放式叉孔)					①短边_叉孔外宽 560mm不满足750mm ②长边封闭式叉孔	人工车间上下线 人工出入库
5	托盘 (川字底蓝色)					暂无	AGV车间上下线 AGV整垛上下货架
6	围板箱-异型墩					暂无	AGV车间上下线 AGV整垛上下货架
7	托盘-川字底黑色					暂无	AGV车间上下线 AGV整垛上下货架
8	围板箱-金属底托					暂无	AGV车间上下线 AGV整垛上下货架

设备及网络信息如下表所示:

表 7 设备信息

无人叉车相关硬件					
序号	项目	明细	数量	单位	备注
1	车体	大型前移式无人叉车	1	台	
		窄体托盘堆高式无人叉车	4	台	
2	电池	前移式无人叉车配套电池	4	台	
		窄体托盘式无人叉车配套电池	1	台	
3	充电桩	自动充电机24V100A	2	台	
		自动充电机48V200A	1	台	
系统相关硬件					
序号	项目	明细	数量	单位	备注
1	服务器	单节点2U机箱、含主板基础及标准上架套件	2	套	
2	机柜	600*1200*2000mm	1	个	
3	UPS	容量: 10kva/8000W, 输入输出220V	2	套	
4	交换机	48个万兆SFP+, 6个100GE QSFP28, 含1个600W交流电源) 交换容量2.56Tbps/25.6Tbps, 包转发率1620Mpps, 支持双电源, 支持扩Vxlan	1	台	

表 8 中控系统软件信息

中控系统软件				
序号	软件	所属模块	需求描述	备注
1	中控软件	中控系统车辆调度模块	车数5台	
2		中控系统库位管理模块	库位数 ≤ 2600个	
3		中控系统流程定制模块	流程数: 6个; 复杂流程数: 4个	
4		中控系统库存管理定制模块	库存属性数量: 6个	≤ 6个
5		中控系统出入库策略定制模块	入库策略: 1个 出库策略: 1个	
6		系统对接定制模块		
7		现场操作界面定制	PDA定制界面数: 10个	≤ 10个
8		自动门对接	设备数: 6个	
9		操作终端 (PDA) 对接	设备数: 10个	

表 9 网络配置信息

网络配置					
序号	项目	明细	数量	单位	备注
1	5G网络	5G信号覆盖	1	项	
2	5G专网服务 (UPF独享, 客户机房)	基于边缘UPF的数据分流能力, 可对特定用户及业务实施本地分流, 从而为用户可提供低时延、快速响应的专网服务	1	套	
3	DNN	通过定制DNN, 逻辑隧道实现用户流量与公网隔离	1	套	5G定制网接入标识
4	基础流量资费	5G定制网的流量费用	45	项	
5	物联网号卡费	消费级插拔卡	45	张	
6	摄像头	400万半球网络摄像机	16	个	
7	AI盒子	智能算法软硬一体机	1	个	支持16路AI算法
8	5G政企网关	融合了 5G 接入技术、WIFI 技术、路由技术、交换技术、安全技术等多种网络应用技术的新一代网络产品	40	个	

产线生产节拍分析时, 采用根据车数和部署方案倒推节拍的方法。针对机加车间毛坯上线、毛坯空框下线、成品空箱上线、成品下线, 以及成品仓库成品上下架等业务流程进行分析。

机加车间业务流程示例如下表所示。机加车间 4 个业务流程预计每小时节拍满足在 5 托/h, 总共搬运能力预计 20 托/h/3 台车。

表 10 机加车间 AGV 参数

机加车间AGV参数													
最大速度 (m/s)			前进 (m/s <sup>2</sup> )		后退 (m/s <sup>2</sup> )		转向 (s)	自适应操作时间增量 (s)	货叉抬升 (s)	非地面伺服操作时间增量 (s)	门架速度 (mm/s)	窄通道速度 (m/s)	
带载前进	空载前进	后退	加速度	减速度	加速度	减速度	直径0.7m					前进	后退
0.8	0.9	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	3.5	10	10	10	125	0.3	0.3

表 11 机加车间业务流程参数

机加车间业务流程参数																						
	带载前进 加减速 (次数)		空载前进 加减速 (次数)		倒车 (次数)		移动距离 (m)			窄通道距离 (m) (单边小 于200mm)		往返 转弯 总次数	举升 高度 (mm)	取放货 次数	设备对 接用时 (s)	搬运 用时 (s/托)	空放比 时间 (s) 20%	自动 充电 时间 (s) 1:3	流程循环总用时 (s)		AGV 车数 (自动 充电)	节拍 (托/h)
	加速	减速	加速	减速	加速	减速	带载	空载	倒车	前进	后退								手动 换电	自动 充电		
1、毛坯上线	3	3	3	3	2	2	110	77	6	0	0	8	200	2	15	353.43	70.69	116.63	424.12	540.75	0.75	5
2、毛坯空框下线	3	3	3	3	2	2	110	77	6	0	0	8	200	2	15	353.43	70.69	116.63	424.12	540.75	0.75	5
3、成品空箱上线	3	3	3	3	2	2	110	77	6	0	0	8	200	2	15	353.43	70.69	116.63	424.12	540.75	0.75	5
4、成品下线打包	3	3	3	3	2	2	110	77	6	0	0	8	200	2	15	353.43	70.69	116.63	424.12	540.75	0.75	5
合计																					3	20

公式说明：搬运用时(s/托)=带载加速用时\*次数+带载减速用时\*次数+空载加速用时\*次数+空载减速用时\*次数+倒车加速用时\*次数+倒车减速用时\*次数+带载匀速用时+空载匀速用时+倒车匀速用时+窄通道前进距离/速度+窄通道后退距离/速度+转向用时\*往返转弯总次数+（驻车时间+取放货时间+自适应时间+举升高度/门架速度）\*取放货次数+设备对接用时

成品仓库业务流程示例如下表所示。成品仓库 1 个业务流程，预计每小时节拍满足在 7 叠托/h，总共搬运能力预计 7 叠托/h/1 车。

表 12 成品仓库 AGV 参数

成品仓库AGV参数													
最大速度 (m/s)			前进 (m/s <sup>2</sup> )		后退 (m/s <sup>2</sup> )		转向 (s)	自适应 操作时 间增量 (s)	货叉 抬升 (s)	非地面伺 服操作时 间增量 (s)	门架速度 (mm/s)	窄通道速度 (m/s)	
带载前进	空载前进	后退	加速度	减速度	加速度	减速度	直径0.7m					前进	后退
0.8	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	6	15	10	10	200	0.3	0.3

表 13 成品仓库业务流程参数

成品仓库业务流程参数																						
	带载前进 加减速 (次数)		空载前进 加减速 (次数)		倒车 (次数)		移动距离 (m)			窄通道距离 (m) (单边小 于200mm)		往返 转弯 总次数	举升 高度 (mm)	取放货 次数	设备对 接用时 (s)	搬运 用时 (s/托)	空放比 时间 (s) 20%	自动 充电 时间 (s) 1:3	流程循环总用时 (s)		AGV 车数 (自动 充电)	节拍 (托/h)
	加速	减速	加速	减速	加速	减速	带载	空载	倒车	前进	后退								手动 换电	自动 充电		
1、成品上下架	4	4	4	4	2	2	70	70	5	0	0	8	3000	2	0	354.61	70.922	117.02	425.532	542.552	1.05	7
合计																					1.05	7

公式说明：搬运用时(s/托)=带载加速用时\*次数+带载减速用时\*次数+空载加速用时\*次数+空载减速用时\*次数+倒车加速用时\*次数+倒车减速用时\*次数+带载匀速用时+空载匀速用时+倒车匀速用时+窄通道前进距离/速度+窄通道后退距离/速度+转向用时\*往返转弯总次数+（驻车时间+取放货时间+自适应时间+举升高度/门架速度）\*取放货次数+设备对接用时

## 2. 5G+AGV 网络 SLA 需求转译案例

某车企工厂冲压、焊装、涂装、总装和电池电驱五大核心生产车间现存多家不同的 AGV 厂家，每个不同厂家 AGV 都采用独立组网的形式进行部署，导致了车间内网络干扰严重；另外由于车间内部架构问题，导致部分区域存在 WiFi 覆盖盲区。其中，总装车间后悬挂分装产线的 AGV 线上运行 13 台，采用 PLC 主控方式。由于总装车间内

WiFi 信号干扰较大和内部建筑结构问题，导致后悬挂分装产线 AGV 频繁掉线，因此提出 AGV 的 5G 化改造需求。

基于总装后悬挂分装产线 AGV 总体情况，结合工厂 5G 专网的网络架构，采用“PROFINET OVER EoGRE OVER 5G”方案，实现基于 5G 的 AGV 调度，AGV 车体内部通过 5G 终端挂载的方式与车体主机有线通信，AGV 线边服务器与现场 AR 路由器打通。在 5G 专网不具备 5G LAN 的情况下，利用现有设备二层组网方式，不改变应用现有 IP 地址规划，实现 5G 网络与企业生产网解藕。通过对完整产线 13 台 AGV 的 5G 改造，使 AGV 掉线率从 15%降低到了 5%。

相关参数示例如下：

表 14 网络 SLA 需求转译示例 - 业务参数

应用场景	CT	ST/CT 倍数	宕机时长	移动性	单连接 NRT 带宽	组态节点密度	车间节点密度
总装车间后悬挂分装产线	32ms	3	1年	0.5m/s	10Mbps	1/100m <sup>2</sup>	10台/1000m <sup>2</sup>

计算单包可靠性和 5G 通信时延：

表 15 网络 SLA 需求转译示例 - 网络参数

应用场景	CT	ST/CT 倍数	宕机时长	宕机相关性	单包可靠性	5G通信时延	节点密度	用户容量/小区 (5千平)
总装车间后悬挂分装产线	32ms	3	1年	13	0.9999	32ms,4个9	13/1000平	65

### 3. 5G+机器视觉网络 SLA 需求转译案例

5G+机器视觉质检业务中，在生产现场部署工业相机或激光器扫描仪等质检终端，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，实时拍摄产品质量的高清图像，

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。

表 16 网络 SLA 需求转译示例 - 机器视觉

业务场景	生产节拍	工件型号	图像/视频分辨率	色彩模式 (黑白/彩色)	相机数量	用户体验数据速率
焊接车间汽车零部件的焊接件检测	60s/件	2000mm× 1800mm× 1000mm	4096*3000	彩色	8 部	1536Mbps
涂装车间汽车车门涂装质量检测	80s/件	1100mm× 276mm	2592×2048	彩色	4 部面阵相机	480Mbps
电池车间汇流排质量检测	90s/件	900mm× 500mm	高速 3D 线激光轮廓传感器 2D 相机 500 万像素	彩色	1 部高速 3D 线激光轮廓传感器 1 部 500 万像素 2D 相机	482Mbps
总装车间方向盘拨片丝印质量检测	100s/件	66mm× 44mm	500 万像素	黑白	1 部	40Mbps

### (三) 网络指标验证及规划流程

利用转译工具，实现业务需求到网络 SLA 指标的转译，提供相应的网络规划，并基于 5G 网络+工控场景的模拟测试能力进行验证，从

而为工业用户提供可转化、可验证、可感知、可保障的业务级 SLA 保障能力。具体流程如下：

(1) 在需求转译平台中输入或自动获取业务需求及部署参数等，自动计算出 5G 网络指标需求，并对应到标准化的分级分档网络。

(2) 基于 5G 网络+工业场景的实验室测试验证能力，针对转译平台输出结果进行效果评估。评估方式如下：

① 基于真实 5G 网络设备，根据 5G 网络 SLA 转译结果，按需进行网络参数配置；

② 配备无线信道仿真仪表和定制无线信道模型，实现外场特定无线信道条件；

③ 基于以工业仿真为基础的设备孪生能力，完成任意工业设备虚拟化，实现工控项目的“无实物”组态；

④ 基于真实 5G 网络驱动的生产线仿真运行环境，根据项目需要，灵活配置信号传输方式。

(3) 根据验证结果，评估该能力是否可达成。

(4) 根据转译平台建议，评估对业务的影响程度，调整组态配置。

(5) 在业务运行阶段提供可视的业务级 SLA 感知及保障，按需进行精准的网络资源分配和优化保障，满足用户业务的 SLA 确定性保障需求。

## 四、面向汽车制造领域的 5G/5G-A SLA 保障技术

### （一）网络高可用保障技术

端到端的网络高可用性是网络业务功能链上所有各个节点的网元可用性的乘积。要提高端到端的网络可用性，必须要提高各网元节点的可用性，其中主备模式是提高网络可用性最有效的手段。

针对 5G/5G-A 中 RAN 网络可用性，可以通过单板级，链路级，网元节点级，以及网络级等冗余备份手段来提升。

#### （1）单板级

包括单板级（电源板、主控板、基带板）备份以及单板级负荷分担。单板级主备，当一块单板运行异常或者故障时另外一块备用单板接替工作，不会造成业务中断；单板级负荷分担，按照一定的负荷分担策略，将业务分配到不同的单板上进行处理，当检测到某个单板出现故障时，系统自动调整负荷分担策略，将故障单板上的业务分发到其他单板上进行处理。

#### （2）链路冗余

包括主备链路、链路负荷分担以及双发选收。主备链路，当主链路出现故障时，系统自动切换到备份链路继续传输；链路负荷分担，按照一定的负荷分担策略，将业务流量分配到不同的链路进行传输，当检测到某个链路出现故障时，系统自动调整负荷分担策略，将故障链路上的业务流量分发到其他链路上进行传输；双发选收，发送端将数据复制为双份，通过双链路并行发送，确保在一条链路出现故障时，另一条链路的数据仍然可以传输，从而确保业务的不中断。

### （3）网络节点级

包括 BBU 备份、RRU 备份以及基带池化等。BBU 备份，通过对整个机框进行备份，且建立一种故障检测和倒换机制，保证出现故障时的快速切换；RRU 备份，通过基带板和 RRU 之间数据的交叉连接，使一个小区两个发射/接收通道的数据分开在两路不同的光纤上传输和两个不同的 RRU 上处理，当某个光纤或 RRU 出现硬件故障时，小区从双发双收（2T2R）回退到单发单收（1T1R），维持小区继续正常工作，提高系统可靠；基带池化，通过冗余和故障转移机制，基带池化可以提高系统的容错能力，增强网络的高可用性。

### （4）网络级

包括采用 5G/5G-A 无线网络与有线网络的互备。有线与无线热备，指有线链路和 5G/5G-A 无线链路互为热备，当发现主用链路故障时，触发业务快速切换至备用链路，完成业务流量的毫秒级快速倒换；无线双层网络备份，指通过两张不同频段的无线网络同时工作，应用终端优先接入主用网络，当主用网络故障时，厂区内应用终端自动切换到备用网络，保障业务不中断。

针对核心网，可以通过高可用风筝方案，MEC 双站点容灾等方式提升可靠性。

针对传输网络，可以采用环形组网或者口字型组网增加可靠性。

不同层级的网络备份可提升不同等级的网络可靠，但同时带来不同的成本增加，需要根据需求设计各种等级的备份冗余方案。

## （二）低时延高可靠保障技术

5G uRLLC 低时延增强主要包括采用非时隙调度、上行免调度传输（上行配置授权）、上行预调度、下行资源抢占、下行多个 SPS（Semi-persistent Scheduling，半持久调度）配置、UE 间上行发送优先级/复用处理、UE 内业务优先级处理等技术缩短调度时间。

5G uRLLC 高可靠增强主要包括采用低码率 MCS (Modulation and Coding Scheme，编码调制方案) 表格 /CQI (Channel Quality Indicator，信道质量指示) 表格、PDCCH 高聚合等级、PDSCH/PUSCH 时隙级重复发送、PDCP 重复传输、PDCCH 增强、UCI 增强、PUSCH mini-slot 级重复发送、Multi-TRP 等技术提高数据传输可靠性。

5G 网络还可以进一步采用 UPF 下沉、边缘计算、5G 与 TSN 融合等技术进一步降低数据传输时延。为促进 5G 与 TSN 融合，3GPP 在 R16 中添加了对 TSN 的支持，提出了 5G 与 TSN 网络的协同；R17 版本引入了无需外接 TSN 网络的 5G 内生确定性通信，覆盖了更多更灵活的应用场景；R18 版本增强了 5G 网络的开放能力，增强了 5GS 对时钟源故障的感知和处理机制，增强了时间同步功能的高可靠机制，并引入广域网和三层网络的确定性，包括支持 DetNet，N3 确定性以及时间同步增强，进一步扩大了 5G+TSN 的应用场景，使得 5G 网络能够提供更具扩展性的确定性通信业务。

汽车制造可根据具有的应用场景、终端和基站支持的能力选择适合的 5G uRLLC 技术，以满足低时延和数据传输高可靠性的要求。

### （三）速率保障技术

为满足行业用户对上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高要求，可引入 3U1D 帧结构、上行载波聚合、补充上行等三种增强技术来提升大上行的能力，可根据业务需求和网络能力，分场景分频段灵活组合使用，向行业提供分级的大上行能力。

#### （1）3U1D 帧结构

5G 网络采用灵活帧结构设计，行业网可按需采用上行时隙配比多的帧结构。如采用 3U1D 帧结构，上行资源较公网典型配置增加 3 倍，可显著提升网络的上行速率和上行容量，现网实测单载波上行峰值可达 747Mbps。

#### （2）上行载波聚合

通过将多个载波聚合起来同时传输，大幅提升性能。载波聚合包括频带内和频带间，支持非同步的载波间聚合和终端 1T 到 2T 间的天线轮发。两载波聚合上行理论峰值速率可达 400Mbps，通过更多频段的载波聚合还可进一步提升性能。

#### （3）补充上行（Supplementary Uplink, SUL）

5G 网络基础覆盖采用中高频段，可能出现上行覆盖和速率受限的问题，通过 SUL 技术可以实现上下行频率解耦，充分利用存量低频率频谱资源，有效提升上行边缘速率，通过引入新的全上行频段，还可大幅提升上行峰值和小区容量。

#### （4）5G-A 上行超宽带方案

通过多 TRP 联合接收，高分辨率预编码、高阶空分复用、上行正交端口扩容、上行 8Tx 传输等上行 MIMO 增强技术，提高上行数据传

输的速率和质量。通过开展双工演进技术研究，提升了 TDD 频段的上行覆盖体验和频谱资源的利用效率。一方面，通过 5G-A 宏微异配比技术将室内工厂里使用相同频谱的微基站配置为上行时隙为主的 TDD 配比成倍提升行业专网的上行容量。另一方面，5G-A 子带全双工技术在同一个时隙中上行传输和下行传输机会同时存在，通过提供更多的上行传输机会、避免固定 TDD 配比导致的等待时延，提升上行速率、覆盖和容量。同时，5G-A 通过灵活上行频谱接入技术使终端动态灵活的使用更多上行频谱资源，包括 TDD、FDD 和 SUL 频段，提升上行体验速率。



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet