
基于 5G 蜂窝技术的工业传输解决方案

华为技术有限公司

网络改造技术篇/前沿技术/工厂内网改造

1 概述

1.1 背景

制造业正在向数字化、柔性化等方向发展，促进生产效率和市场规模的不断提升。而设备的广泛连接，是实现数字化和柔性化的重要一环。

在传统模式下，制造商依靠有线技术来连接应用，但由于数据网络布线、设备移动性等限制，有线设备的连接数和场景具有局限性。

近些年无线解决方案逐渐增多，Wi-Fi、蓝牙等近距通信无线技术已经在制造车间立足，随着连接需求的发展，这些无线解决方案在带宽、可靠性和安全性方面的限制，难以适应更高要求的工业传输需求。

随着移动通信技术的发展，5G 网络将从传统以人为中心的服务拓展至以物为中心的服务。根据不同的传输需求，5G 定义了三大场景：增强移动带宽(eMBB)、超高可靠低时延通信(uRLLC)和大规模机器类通信(mMTC)，适用于能源、车联网、工业控制等物联网行业的不同应用场景。聚焦到工业领域，5G 致力于为工厂

内的从设备层到企业层的设备提供可靠、安全、可保障的通信机制。

1.2 实施目标

本项目的目标是通过 5G 蜂窝技术承载工业应用的业务数据，提供工厂全连接的无线网络，用以满足多种工业设备的入网和通信需求。同时，通过 5G 蜂窝技术和 OPC-UA 相结合，提供工厂内由上至下的工业通信解决方案，支持多种类型工业设备的互联互通。

通过 5G 蜂窝的解决方案，能够促进工厂的智能化和数字化改造，使得生产制造系统具有高度灵活性；工厂车间的网络架构可以快速调整优化，有效提升网络化协同制造与管理水平。

1.3 适用范围

基于 5G 蜂窝技术的工业传输解决方案提供了工业领域的无线通信技术，针对 eMBB, mMTC 以及 URLLC 三类场景的解决方案，适用于制造业的以下场景中：

表 1 5G 在制造业的应用场景示例

类别	应用场景
运动控制	例如：大型打印机，数控车床，包装设备
机器间控制	多台独立机器间协作
移动面板	装配机器人（或机床），移动式起重机
工业 AR 及监控	高清视频，全高清视频
大规模连接	各种传感器连接等，传输的数据量小、连接数多
移动机器人	精准运动控制，机器间控制，协作驾驶，远程视频控制，运行路径管理

5G 蜂窝技术除了适用于上述工业设备间的通信，通过和 OPC-UA 的结合还适用于工厂的设备层、控制层和企业层之间的通信，将设备层数据直接传输到企业层或者云端，企业的生产监控设备可以实时获得设备的运行状态，及早将故障设备剥离出生产系统，避免对生产造成的影响。

1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

本解决方案适用于图中工厂内部和工厂外部的通信，即：智能机器与工厂控制系统、在制品与智能机器、在制品与工厂云平台、智能机器与智能机器、工厂控制系统与工厂云平台、工厂云平台与用户、工厂云平台与协作平台以及智能产品与工厂的通信。基于 5G 蜂窝通信技术提供的高可靠、低时延的数据传输保障，可以减少数据传输线路的部署、适用于多种环境以及工业设备移动的应用场景。

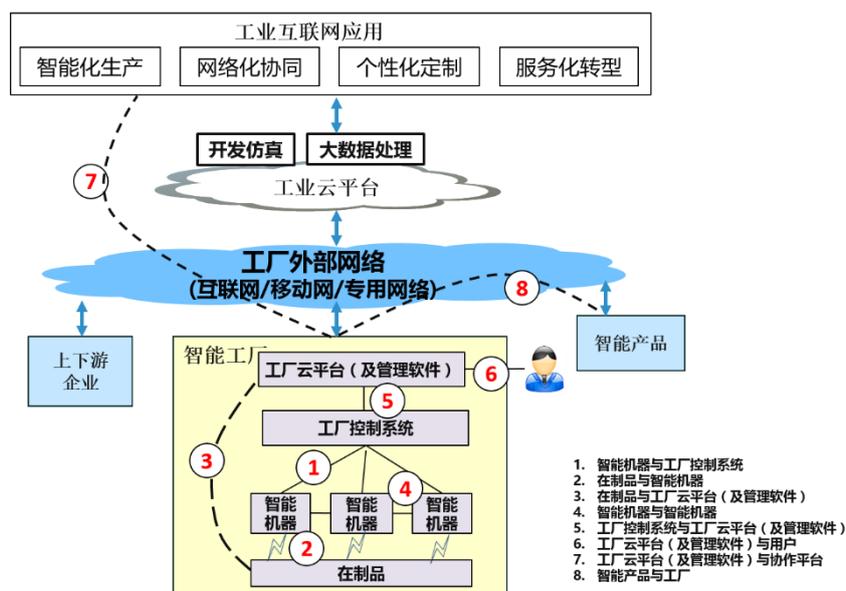


图 1 工业互联网互联示意

2 需求分析

5G 蜂窝网络应用于多种工业场景，以及单一工业场景的不同设备之间的通信时，对 5G 蜂窝网络的传输提出了不同的需求。下表列出了比较典型的工业应用的传输需求：

表 2 典型工业应用的传输需求

类别	传输需求
运动控制	运动控制类对传输网络的要求较高：传输时延小于 5ms，传输抖动为微秒级别；传输可靠性要求为 99.9999%，数据包小于 100 字节。
机器间控制	传输时延小于 10ms，数据包 1K 字节，传输抖动为微秒级别；传输可靠性要求通常小于 99.9999%。
移动面板	传输时延小于 10ms，数据包几百字节左右，传输抖动为毫秒级别；设备有小范围移动的需求。
工业 AR 及监控	由于是视频传输需求，业务数据包较大，传输速率需求达到 Gbps 级别，可靠性要求 99.9% 左右。
大规模连接	连接数多，包含各种传感器数据的传输，传输时延要求通常在 50ms 以上。需要注意的是，大规模连接中不同设备的传输需求差异较大，该类业务中基于安全应用的传输时延要求在 10ms 以内。
移动机器人	根据移动机器人不同的应用，传输时延在 1ms~1s 的范围内，多数应用的传输可靠性要求为 99.9999%，对传输网络具有移动性的需求，移动过程中业务不要中断。

在满足上述工业传输需求的基础上，5G 蜂窝网络应用于工业场景，可以不受限于存量设备预留的数据端口限制，满足存量设备智能升级需求。通过 5G 蜂窝网络将各种工业设备数据上传到监控端，不受网络布线的限制，可以实时确定设备的健康状况，及早将故障设备剥离出生产系统，实现对工业设备的预测性维护。

3 解决方案

3.1 方案介绍

基于 5G 蜂窝网络的工业解决方案是以 5G 蜂窝网络作为工

业应用的传输承载网络，完成不同工业设备之间通信的解决方案。同时，基于 5G 蜂窝网络和 OPC-UA 的结合，提供由工厂底层到高层之间的不同层之间的通信以及同一层设备之间的通信，实现工厂内设备的全连接。

基于 5G 蜂窝网络的工业解决方案包含蜂窝网络设备以及工业终端设备。其中，蜂窝网络设备还包含蜂窝网络的基站设备和核心网设备。工业终端设备可以为 SCADA，PLC 以及各种工业输入输出设备。

工业数据通过蜂窝网络传输时，工业设备需要集成蜂窝模组，并实现工业应用和蜂窝模块的互通。

基于 5G 蜂窝网络的工业解决方案中还包含边缘计算模块，基于该模块可以实现网络 and 应用的融合，获取应用的多样数据传输需求，同时应用的边缘部署实现了对工业数据的快速分析和超低时延响应。

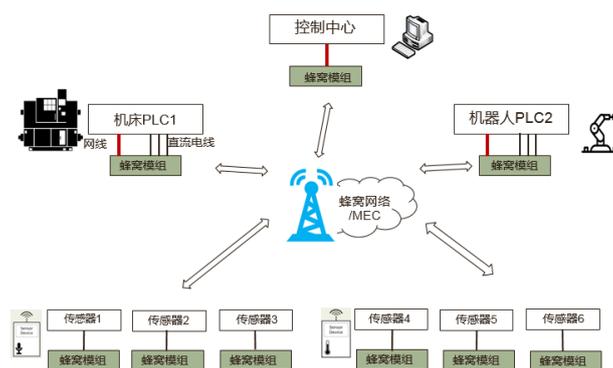


图 2 工业无线蜂窝网络部署

基于 5G 蜂窝技术的工业传输解决方案主要包含以下创新点：

- 基于 5G 蜂窝技术的数据传输机制

根据不同的工业传输需求，提供数据包传输路径，并为不

同的业务提供对应的 Qos 保障。5G 蜂窝网络既能保障传输的高确定性和可靠性，也能支持大量工业设备的连接场景。

- 基于 OPC-UA 的传输网络互连和传输控制机制

主要包括基于 OPC-UA 和蜂窝网络的映射，完成蜂窝网络对工业数据传输的支持，以及支持蜂窝网络和其他工业通信网络的互连，支持不同工业场景下传输资源的配置和对工业数据传输的控制。

进一步地，支持工业应用在边缘侧的部署，作为网络和应用融合的平台，有效提高工厂的智能化水平。

3.2 系统架构

基于 5G 蜂窝网络的工业解决方案的总体架构如图 3 所示。主要由：工业平台/应用、基于 5G 蜂窝技术的传输网络和工业终端设备组成，构成了数据采集、业务数据分析、工业设备控制的端到端总体解决方案系统。



图 3 基于蜂窝技术的工业传输解决方案总体架构

3.3 网络拓扑设计

5G 蜂窝网络支持星型拓扑结构，包含一个中心（工业蜂窝网络设备）以及多个工业设备（工业蜂窝终端设备）。终端设备通过无线空口与网络设备交互完成数据通信。

其中，蜂窝网络设备是由网关设备（核心网络）、工业蜂窝网络设备（接入网络设备，基站）构成。

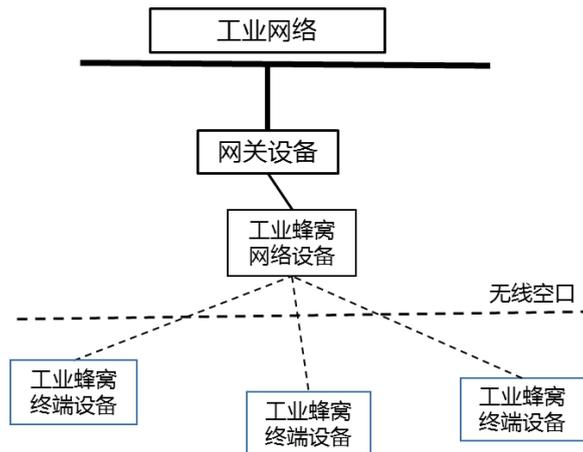


图 4 工业无线蜂窝拓扑结构

3.4 功能设计

5G 蜂窝网络中核心网络和接入网络具有不同的功能，协同完成整个蜂窝网络对传输的支持。

蜂窝网络接收到业务数据包之后，数据包在蜂窝网络内部的传输流程如下图 5 所示。从网络侧来看，业务数据包首先经过核心网络内部节点的有线传输，然后数据包通过空中接口发送到终端设备。

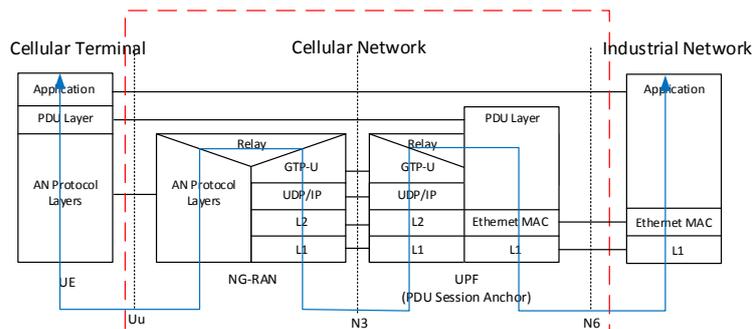


图 5 蜂窝网络的用户面数据流

作为传输网络，5G 蜂窝网络主要支持的功能如下：

- 支持数据协同和汇聚，将汇聚的数据传输到通信对端；
- 支持以 4G 移动通信、5G 移动通信等通信接入方式中的一种或多种，包含核心网和接入网功能；
- 支持对 IP 或 MAC 格式的工业数据传输；
- 支持对工业蜂窝网络设备和蜂窝终端设备的认证、设备管理安全机制；
- 支持对网络的配置和组网；
- 支持 RJ-45，RS485 等物理接口；
- 支持“即插即用”的工作方式；
- 支持版本升级失败后回退到前一个可正常工作的版本。
- 在蜂窝网络中，终端设备的主要功能如下：
 - 支持将数据通过无线方式传递到蜂窝网络设备；
 - 支持对工业蜂窝终端设备的认证和安全功能；
 - 支持对终端设备的参数和软件的配置；
 - 支持对工业蜂窝终端设备的性能和状态监测；
 - 支持“即插即用”的工作方式。

3.5 蜂窝网络和 OPC-UA 的集成

OPC-UA 是目前较广泛的工厂内应用使能技术，定义了一套通用的数据描述和语法表达方法（信息模型），每种系统都可以将采用 OPC-UA 的信息模型，从而可以被其他系统所获取和集成。

在本解决方案中，通过 5G 和 OPC-UA 的结合获取业务传输需

求以及完成传输协议的映射，支持 5G 对不同工业场景业务数据的传输，保障不同工业业务的传输性能，满足多种场景的业务需求。

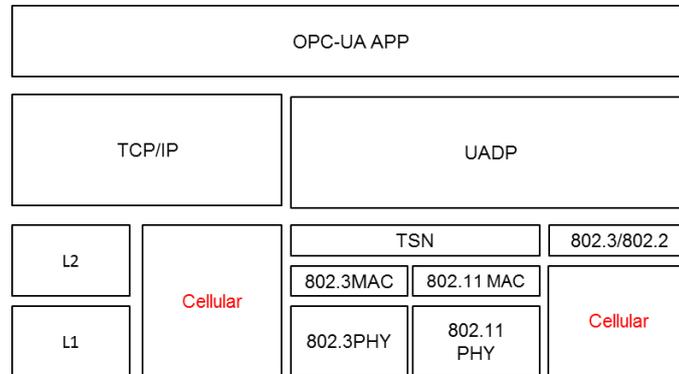


图 6 OPC-UA 和蜂窝的集成方案

基于 5G 蜂窝和 OPC-UA 的结合，5G 传输网络实时的获取待传输工业业务的传输需求，并提供对应的传输资源，更好的保障不同类别业务的传输性能。其中，图 7 给出了工业业务传输需求获取以及对应不同需求的蜂窝承载示意图。

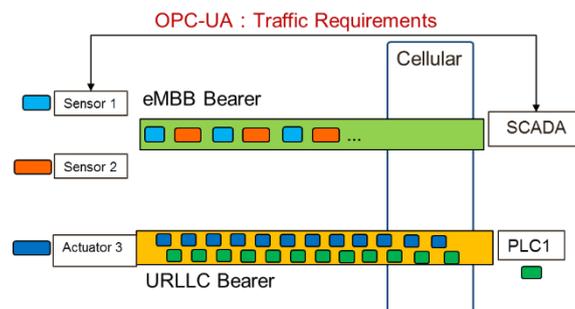


图 7 基于 OPC-UA 的业务需求获取机制

3.6 5G 蜂窝网络的安全及可靠性

1) 5G 蜂窝网络提供安全的数据传输机制

蜂窝网络提供多层次的切片安全保障，为不同类别的工业业务提供差异化的隔离服务。同时，蜂窝网络支持数据加密，完整性保护，抗重放，鉴权（认证）等功能，通过对空口数据进行加密和解密，确保数据不被窃听、篡改，保障数据传输的安全性。

2) 蜂窝网络的传输可靠性

蜂窝网络支持系统级和链路级的两类可靠性保障机制。

- 系统级可靠性保障：蜂窝网络可以提供备份链路和备份节点，保障整个蜂窝系统作为数据传输节点的工作。
- 链路级可靠性保障：数据传输过程中，网络设备提供多个数据传输链路，保障单个业务数据包在蜂窝内部传输时的高可靠性。

3.7 无缝移动性支持

蜂窝网络支持终端设备移动过程中业务数据包传输的连续性，保障无数据包的丢失。

根据终端设备移动范围的不同，分为终端设备在接入网络（AN）之间的切换和终端设备在核心网络之间的切换。

以移动过程中跨越接入网络节点为例，切换过程的流程如下：

- 1) 终端设备向源接入网络发送无线测量报告，源接入网络判断终端设备的接收质量以及移动的位置；
- 2) 源接入网络节点确定终端设备需要变更接入网络节点，则向目标接入网络节点发送终端设备信息，指示目标接入网络节点准备该终端设备的资源；
- 3) 目标接入网络节点为终端设备配置数据传输所需的资源，并向源接入网络节点确认切换准备完成；
- 4) 源接入网络节点向终端设备发送切换到目标接入网络节

点的命令；终端设备接入目标接入网络节点。

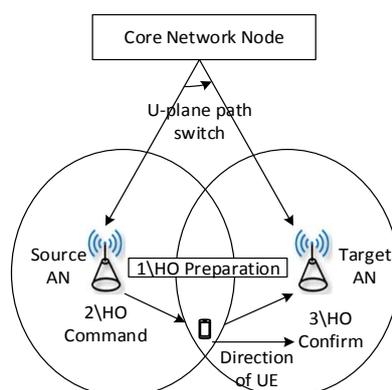


图 8 无缝移动性流程

通过上述过程，5G 蜂窝网络在不中断终端设备的现有业务的前提下，完成接入网络节点的切换，保障了工业有移动性需求的应用的数传性能。目前，5G 蜂窝网络还正在进一步的提升切换时数据传输的性能，保障终端设备在高速运动的情况下仍然能够保障数据传输的连续性，完成接入节点的切换。

4 成功案例

目前 5G 尚未商用，为了验证 5G 对工业业务的承载性能，目前正在和上海某大学的工业实验室进行基于 5G 蜂窝实验网络承载工业场景以及 5G 和 OPC-UA 结合的验证工作。预计 2019 年中验证完成，后续在相关工厂进行推广使用。

本项目中选定了流水线、机器人和机床共同组成的工业制造场景，验证 5G 蜂窝支持工厂设备和 PLC 之间、PLC 和 PLC 之间以及 PLC 和监控系统之间的通信。

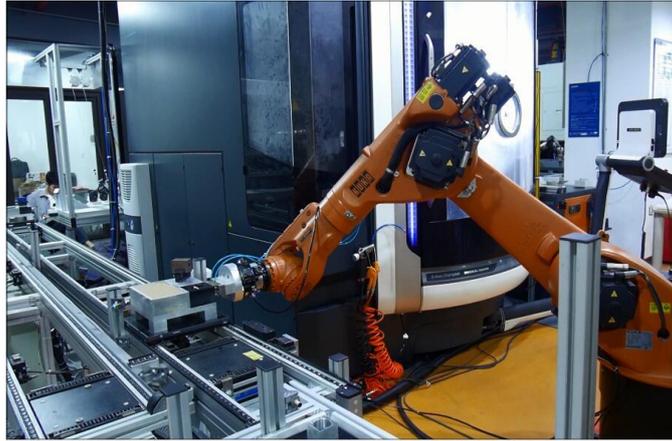


图 9 5G 蜂窝网络承载工厂内通信场景

在该实验室，机床中内置与外置的传感器用来采集信号，其中传感器包括位置传感器，温度传感器，振动传感器等等。现在工业设备常用的通信方式为 Ethernet 通信，为了验证蜂窝技术对现有设备传输保障，本方案进一步的考虑了将不同类型的 Ethernet 数据包封装为无线蜂窝数据包，通过蜂窝网络进行传输的方案，也便于后续支持存量设备的升级改造。

通过本项目，验证 5G 蜂窝网络对不同工业场景的支撑情况，同时验证 5G 蜂窝网络和 OPC-UA 的结合，实现不同层级的蜂窝设备之间的互联互通，推进工厂尤其是具有大量存量设备的工厂可以通过蜂窝技术，快速的完成数字化和智能化升级。