中国移动 China Mobile | 研究院 CMRI

行业现场网
数字孪生白皮书

中国移动通信研究院

2021

前　言

本白皮书针对行业现场网规划、建设和管理的现存问题，提出了基于数字孪生技术构建的行业现场网全生命周期能力体系。面向能力体系构建的关键需求，研发行业现场网数字孪生全生命周期管理平台（DT-NLM），对涉及的核心技术进行详细介绍，并提出实际的行业现场网数字孪生应用场景用例，最后通过未来展望对产业发出倡议。本白皮书旨在为产业在规划设计相关产品和解决方案时提供参考和指引。

目　录

1.基于数字孪生的行业现场网管理体系概述 4
1.1　数字孪生助力行业数智化转型 4
1.2　行业现场网概述 5
1.3　行业现场网运维存在的问题 7
1.4　基于数字孪生的行业现场网全生命周期能力体系 8
2. 行业现场网数字孪生平台（DT-NLM） 9
2.1　DT-NLM 平台简介 9
2.2　DT-NLM 平台关键技术 10
2.2.1 行业现场网数据采集技术 11
2.2.2 数字孪生建模技术 12
2.2.3 智慧运维技术 14
2.2.4 数字孪生可视化技术 15
3.行业现场网数字孪生应用场景用例 17
3.1　5G 融合工业现场网数字孪生用例 17
3.2　分布式 RFID 创新方案与运营商网络协同用例 19
4.未来展望 20
5. 缩略语 21

1.基于数字孪生的行业现场网管理体系概述

1.1 数字孪生助力行业数智化转型

长期以来，使用虚拟的模型来优化流程、产品或服务的想法并不新鲜。但随着具有更复杂的仿真和建模能力、更好的互操作性和 IoT 传感器以及可视化的数字化仿真平台和工具的广泛使用，使企业逐渐意识到创建更精细、更具动态感的数字化仿真模型成为可能。数字孪生是以数字化方式创建物理实体的虚拟实体，借助历史数据、实时数据以及算法模型等，模拟、验证、预测、控制物理实体全生命周期过程的技术手段。数字孪生技术在传统行业如服务业、数字经济等场景均有应用，具体如下：

构建全产业链的数字孪生体：促进产业向“服务型制造”转型。服务型制造是制造与服务融合发展的新型数字化产业形态，未来制造业数字化转型升级的重要方向。定制化生产是“服务型制造”的典型方式之一，主动将顾客引进产品设计、制造、应用和服务过程，主动发现顾客需求，展开针对性服务。企业间基于平台合作，主动为上下游客户提供生产性服务和服务性生产，协同创造价值。构建从顾客、市场需求、供应链和物流体系、维护保障等全产业链的数字孪生体，基于各领域模型的系统工程整合，有助于促进传统产业向定制化生产模式转变，实现更为敏捷和柔性的商业模式。例如在消费品行业，Adidas、Nike 等制鞋头部企业成立其数字化战略部门，通过对 IT 和 DT 厂商的并购整合，建立围绕鞋产业的数字孪生体，实现定制化生产和网络营销。从传统分销运动鞋的商业模式，延伸至包括跑团社交、训练培训、相关装备营销、赛事活动组织等运动产业。

构建实体经济的数字孪生体：促进数字经济发展。数字经济在推动产业经济发展、提高劳动生产率、培育新市场、发掘产业新增长点、实现包容性增长和可持续增长等

诸多方面，都发挥着重要作用。数据经济的核心在于“数据”驱动发展，而不像工业经济是“石油”和“机械”。通过建立实体经济的数字孪生体，对“数据”进行资产化，并建立一整套金融等数字化服务体系，在模拟决策、引导资源快速优化配置与再生等方面，可以极大地降低社会交易成本，提高资源优化配置效率，提高产品、企业、产业附加值，从而推动社会生产力快速发展。例如阿里巴巴构建了聚集消费者、供应链和制造商的网络电商平台，成为一个年营收超过世界 80%国家 GDP 的经济体。阿里巴巴同时也构建了一个共智的数字孪生经济体，消费者和供应商等每个个体都是其中的一个数字孪生体，通过精准画像建立信用体系、支付系统和个性化金融等服务产品。秀品牛数字孪生工厂拥有经过实践验证的数字孪生技术，整合物联网、大数据、人工智能、数据三维可视化和虚拟仿真技术采用三维可视化数字沙盘式管理，集成对接所有，运维管理数据，实现运维管理的智能化、调度一体化、生产数据透明化，广泛应用于工业生产制造，工程运维管理，海洋，军工，航天等领域，已在中国交建、中船重工和东方日产等企业落地应用。

数字孪生是构建新一代数字基础设施的使能技术，正成为助推经济社会“五纵三横”发展的中坚力量和相关行业的研究热点，并在各类行业中立足，它在整个价值链中革新了流程，可以持续提高效率，最大程度地降低故障率，缩短开发周期，并开辟新的商机。换句话说，它可以创造持久的竞争优势。

1.2行业现场网概述

行业现场网是行业现场端侧设备网络接入技术的统称，它们连接行业现场末端的各类终端、机器、传感器和系统，满足行业现场对传感、数据、定位、控制、管理等

的多样业务需求。常见的行业现场网技术包括工业以太网、现场总线、WiFi、蓝牙、ZigBee 等短距离通信技术，NB-IoT、LoRa、SigFox 等低功耗广域网通信技术，以及 5G、TSN、毫米波、无源 RFID、UWB 等通信技术。

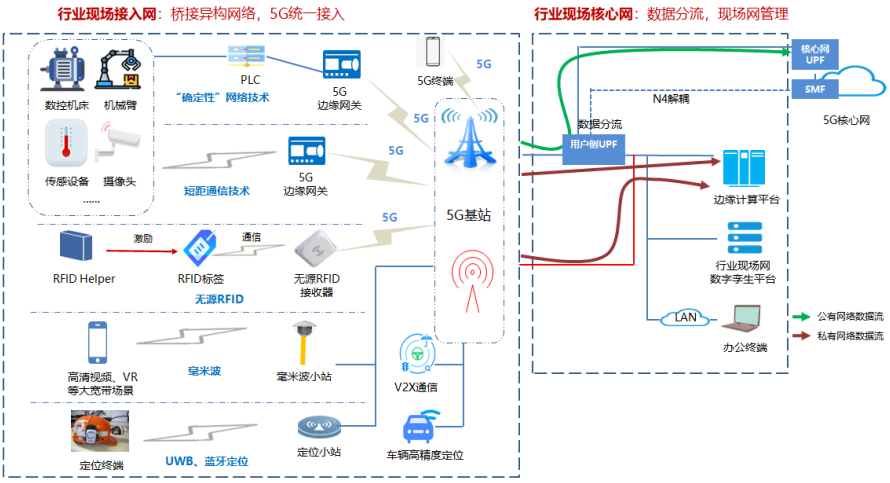

图 1-1 行业现场网体系架构

行业现场网包括行业现场接入网和行业现场核心网两大部分。行业现场接入网可桥接异构的行业现场网络，如无源通信、短距通信、蓝牙、TSN 等，行业现场核心网主要指部署在行业现场边缘侧的 UPF，进行数据分流，业务部署在 MEC 侧处理 5G 上传的现场作业数据，实现对整体现场网的管理。

行业现场接入网有五大核心技术，包括确定性网络技术、新型短距通信、新型无源通信、毫米波、UWB/蓝牙高精定位。其中确定性网络兼具确定性网络和的优势，在满足通信高可靠与确定性要求的同时，解决了现场布线施工复杂问题；新型短距通信基于全新的无线空口设计，在实现点对点通信的同时，可满足超低时延、高可靠、精同步、高并发、高效率和高安全等需求；新型无源通信采取激励和通信分离的系统架构，标签激励采用射频通信，控制指令下发和信息回传均采用 5G，提升了 RFID 组网性能，实现资产管理等场景下信息的高可靠、高效读取；毫米波可在保障区域覆盖的同时实现重点区域的定点覆盖，提升上行传输能力、增加可靠性、安全性；UWB/

蓝牙高精定位可在保障大带宽、低时延、广连接网络能力的同时，解决传统利用信号载波强度定位的精度低，对环境适应性差等问题，满足垂直行业设备协同工作、远程控制、移动设备轨迹跟踪等场景中高精度定位的需求。

行业现场核心网利用部署在行业现场边缘侧的 UPF 网元对本地数据进行分流，满足行业客户数据不出场、超低时延等需求，实现数据传输、处理和结果反馈整个过程终结于本地。

行业用户除了对现场网一网收编、数据不出场等需求，对复杂的网络系统运维也提出了智能化、自动化的更高需求。

1.3行业现场网运维存在的问题

随着千行百业进入数字化转型的时代，面对终端联网规模激增，组网模式复杂多样，业务运行对网络故障处理和恢复时间容忍度降低的新趋势，传统以设备为中心、消防员式的网络运维模式不再适用于行业现场网网络管理新需求。

首先，终端联网数量急剧增长，联网方式多种多样，终端运行状态监控将作为网络管理的一部分。以 IoT 终端为例，2018 年的全球物联网联接数量已达到 70 亿，仍然在以 17%的年增长率增长。其中 80%为无线个域网和无线局域网，现场联网方式包含了 NB-IoT、蓝牙、WiFi、Lora、RFID 等。终端的运行状态直接影响到网络的运行质量，需要通过探针等手段感知终端网络运行情况，加强网络端到端管理。

其次，面对多样化的应用场景和多元化终端形态，行业现场组网方案和配置方案定制化程度高，客户网络感知意愿强。终端类型、操作系统类型、业务类型、QoS 要求的多样化，导致组网方案定制化程度高，需要一事一议和专门的组网仿真工具辅助。不同业务场景的 SLA 对网络性能要求不同，需要对 SLA 做精细化管理和确定性保障。

此外，客户对网络感知意愿强烈但专业程度低，需要直观、实时、立体地展现客户可理解、可感知的网络性能指标和运行状态。

最后，网络作为数字化的基座，客户对故障的处理和恢复时间容忍度大大降低，传统被动式故障恢复模式无法快速响应需求。越来越多的行业将数字化引入生产和客户服务环节，如仓储 AGV 小车、超市无人支付系统、矿山自动化掘煤装置等。网络是应用正常工作的前提，传统运维以网络设备为中心，各类设备管理系统各自独立，数据隔离，故障排查和定位困难，自动化运维手段和工具不足，运维过程中人工参与环节多，故障发生后从投诉到现场排查周期长，很难满足故障快速恢复的需求。

1.4基于数字孪生的行业现场网全生命周期管理能力体系

数字孪生不但助力行业数智化转型，也将在现场网全生命周期管理发挥价值。首先可视化能力可解决客户需要直观、实时、立体地展现网络性能指标和运行状态的问题；其次网络规划及仿真能力可解决行业现场组网和配置复杂且多样化，导致组网方案定制化程度高、成本高的问题；最后智能化运维能力可解决传统被动式故障恢复模式无法快速响应需求，故障发生后从投诉到现场排查周期长，很难满足故障快速恢复的问题。如上所述故需要构建行业现场网全生命周期能力体系，具体能力规划如下：

1）行业现场网数字孪生可视化能力：面向行业现场网全生命周期提供数字孪生多维可视化功能，涵盖网络设计、网络运营和维护等各个阶段，既为行业客户提供定制化和可视化的端到端网络解决方案、网络组网规划及网络建设进度监控等功能，也能提供网络运行状态、网络配置、网络覆盖等可视化能力。

2）行业现场网方案规划及仿真能力：构建基于新型无源、新型短距、蓝牙、TSN 等网络技术的行业现场网络拓扑数字仿真模型，通过仿真模块的“拖拽式”操作，便

捷高效地实现行业现场网方案规划及仿真功能，以快速实现频段专享、上行高速率传输、高精定位、定制全面覆盖、高可靠传输等组网要求，满足行业客户在复杂应用场景下不同生产或管理环节对异构网络架构和组网的需求。

3）行业现场网数字孪生智能化运维能力：基于智能运维算法，结合行业现场网基础设施运行参数、业务数据、历史故障、告警日志等数据，通过孪生仿真等技术提供行业现场网故障诊断、故障预测及自愈性维护等服务。

4）行业现场网数字孪生建模能力：提供行业现场网运行设备、行业现场网终端、行业现场网网关等设备的孪生建模，包含物理空间模型、机理模型、语义模型等，实现数字空间和物理实体的关联，在“规划、建设、运维、优化”网络全生命周期中，为行业现场网数字孪生的仿真、可视化及智能运维能力提供基础能力支撑。

2. 行业现场网数字孪生平台（DT-NLM）

2.1 DT-NLM 平台简介

基于如上背景，对行业现场网数字孪生平台（DT-NLM）进行功能规划，整体架构如图 2-1 所示，核心业务模块包括数据获取及管理、孪生建模等，以此实现设备可视化管理、网络规划仿真、网络实时监控、网络智能运维等功能，其核心思想是通过网络数字孪生理念对行业现场网的全生命周期过程进行管理，提供以网络数字化为核心的低成本试错和高质量行业服务。功能视图如下：

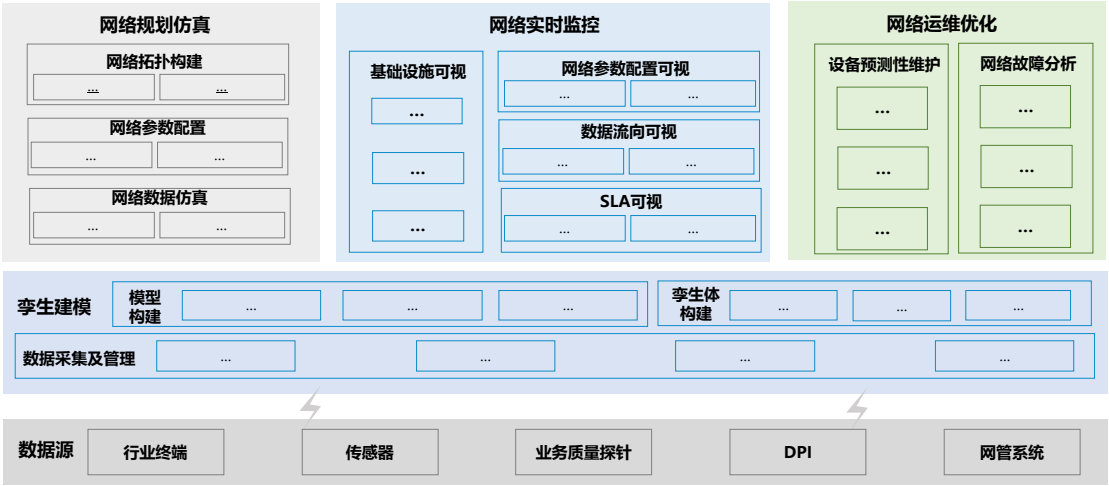

图 2-1 DT-NLM 平台功能架构

2.2 DT-NLM 平台关键技术

通过平台功能架构及能力的规划，聚焦平台研发涉及的核心技术如下图所示，行业现场网核心技术包括：数据采集（探针监测分析平台+探针）、数字孪生建模、智慧运维等。通过对这些技术进行重点研究，为网络管理能力体系和平台迭代研发提供技术基础。

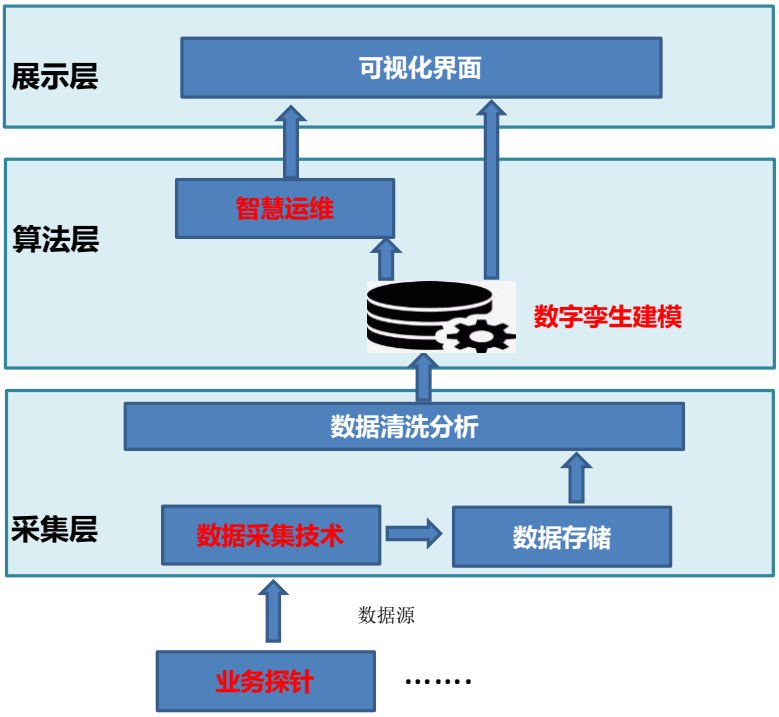

图 2-2 DT-NLM 平台核心技术

2.2.1 行业现场网数据采集技术

1. 基础概念及架构

数据采集与分析是网络运维与管理的核心内容，传统面向网络运维的数据采集手段包括：基于侦听网络数据包的包分析模式、基于路由器 MIB 库的 SNMP 代理模式、基于安插网络探针技术的 IP 流量数据捕获形式、基于网络数据流技术的数据流捕获形式等。但以上数据采集方式主要面向网元的网络流量信息获取，尚未考虑端侧数据信息的采集。

中国移动研究院提出了基于 5G 端侧业务质量探针进行端侧数据采集，为行业现场网实时提供终端设备、网络以及行业客户的业务质量动态情况，从而进行主动业务质量预警、监控、网络分析与优化，有效弥补了端侧信息的缺失，进一步开展有效的业务传输保障，保证行业客户的使用感知。

5G 端侧业务质量探针系统由探针 SDK 中间件和监测分析平台两部分构成，目前已经完成研发工作，正在和 5G 网关进行联调优化。系统架构图如图 2-3 所示：

1）探针 SDK 中间件：探针 SDK 中间件主要负责行业现场级关键数据信息的采集与监测。探针 SDK 中间件在终端中有两种部署方式：一是探针 SDK 中间件与 5G 模组结合，直接在模组中进行数据采集。二是探针 SDK 中间件与终端的 AP 结合，由终端处理器控制数据采集。

2）监测分析平台：监测分析平台是整个系统的神经中枢，主要负责数据的收集和存储，下发监测策略配置，负责实现数据分析、转发、展示、设备管理等功能。对于敏感的设备数据和探测数据，需将拨测服务器和监测分析平台部署于园区内部平台，实现生产数据不出区域专网；对于不敏感的非生产数据，可将测试服务器和监测分析平台部署于园区外部平台，使用 5G 公网传输数据。

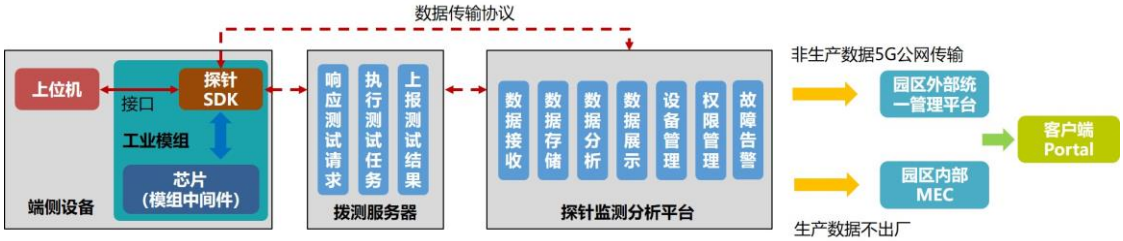

图 2-3　5G 端侧业务质量探针系统架构图

2. 5G 端侧业务质量探针数据采集类别

面向行业客户的 5G 或物联网业务数据采集需求，5G 端侧业务质量探针系统需要提供现场级设备状态、网络覆盖、业务质量等关键信息的采集与监测分析服务，进一步开展有效的业务传输保障，保证行业客户的使用感知。

1）终端设备数据采集：涉及采集的终端设备数据主要包括网关基本信息（如网关 SN、CPU 型号等）、网关状态信息（如开机时间、CPU 占有率等）及下挂设备信息（如设备名称、设备 IP 等）。

2）网络覆盖数据探测：涉及的网络覆盖数据主要包括网络信号质量参数（如 SINR 等）、吞吐量性能参数（如上下行峰值速率等）、小区相关信息（如接入小区 ID、切片 ID 等）。

3）业务质量数据监测：涉及的业务质量数据主要包括通用型业务质量信息（如网络带宽、网络时延等）、视频类业务质量信息（如视频分辨率、视频帧率等）、远程控制类业务质量信息（如丢包率、时延等）。探针 SDK 中间件通过调用工具实现通用型业务质量信息探测功能。

2.2.2 数字孪生建模技术

数字孪生建模技术实现了物理空间中的实体向虚拟空间孪生体的映射，并通过在虚拟空间进行分析和决策，形成交互指令对物理空间进行干预和调控，使整个物理系

统保持良好的运行状态。在行业现场网中，数字孪生建模是将人（网络运维人员）、机（网元设备）、网（5G 网络和现场网络）、法（运维手册、操作指导等网络知识）、环（现场环境）等物理实体映射到虚拟空间的原子数字模型，并根据网络拓扑关系和业务需求对原子模型进行编排组合，支撑行业现场网智能化的可视、可管、可控的要求。其中，网络的可视化可以直接在虚拟空间完成，网络的管理和控制需要将虚拟空间分析和决策的指令反馈到物理空间，实现对网络物理实体的管控（如故障告警、工单派发、网络修复、网络优化等）。行业现场网数字孪生建模整体框架如图 2-4 所示。

行业现场网数字孪生模型包括几何模型、信息模型和机理模型。几何模型是通过在虚拟空间以二维或三维图形的形式来表示与物理空间的实体及实体之间存在的交互关系，实现对网络设备、网络拓扑、网络故障等信息的可视化。信息模型实现了物理实体的属性、能力、接口以及数据流的规范化语义描述。通过信息模型，可以将从物理空间采感知的数据以标准化的方式传输给虚拟空间，进行可视化和智能分析。构建机理模型的目的是真实地反应物理空间的客观规律，在此基础上对物理空间的实体进行管理控制。机理模型主要分为以下三类：

1）能够通过明确数学公式表达的设备或系统的运行机制；

2）基于领域专家在工作过程中总结的经验形成的规则集或知识图谱；

3）基于大数据的机器学习算法训练的 AI 机理模型。

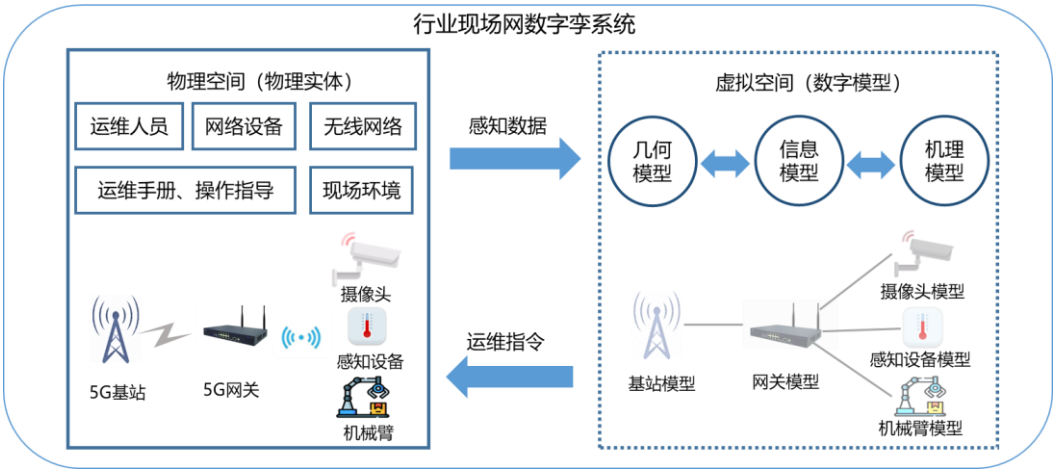

图 2-4 行业现场网数字孪生系统框架

2.2.3 智慧运维技术

行业现场网具有组网复杂、用户需求多样等特点，运营商在网络运维方面将面临越来越大的压力和挑战。以人工为主的传统运维模式与网络本身的先进性已经产生差距，运维方面的困难和挑战也日益凸显，故障分析定位、根因追溯困难，现有的被动响应运维模式效率低、客户体验差，亟待引入智能的行业现场网运维技术，对运维业务进行赋能，形成以客户和业务为核心的自动化和智能化运维能力，提升运维效率、改善客户网络体验，最终形成高价值网络运营管理体系。

在现场网中，行业终端设备（如数控机床、机械臂、传感设备等）通过 Wifi、ZigBee 等网络连接至 5G 边缘网关， 5G 边缘网关通过 5G 网络与 5G 基站相连，共同构成现场网的网络系统。行业终端、5G 网关、基站等网元设备的性能以及这些网元之间的网络状态是影响行业业务运行以及行业客户网络体验的主要因素，是现场网智能运维的关键对象。基于故障出现的位置，可以将行业现场网中典型的故障分为 5G 专网故障和现场网故障两类，具体如表 2-1 所示。

现场网故障类型	故障名称
5G 专网故障	基站参数配置异常、天馈线故障、设备复位问题、软件问题、硬件模块故障（电源模块故障、载波单元故障、主控板故障、光模块故障）等
现场网故障	覆盖、干扰、接入、认证、漫游以及设备故障（终端设备故障、网关设备故障）等

表 2-1 行业现场网典型故障类型

基于现场网网络特点，通过对现场网中运维对象、典型故障等进行综合分析，形成面向现场网+5G 专网的行业现场网智能运维方案。本方案图 2-5 所示基于业务质量探针数据（设备基础数据、网络覆盖数据和业务质量数据）、统一网管系统数据（KPI、MR、KQI、现网故障、性能异常信息）和终端侧数据，采用智能运维算法训练行业现场网智能运维模型，实现故障定界、故障场景识别与根因定位、故障预测等智能应用。

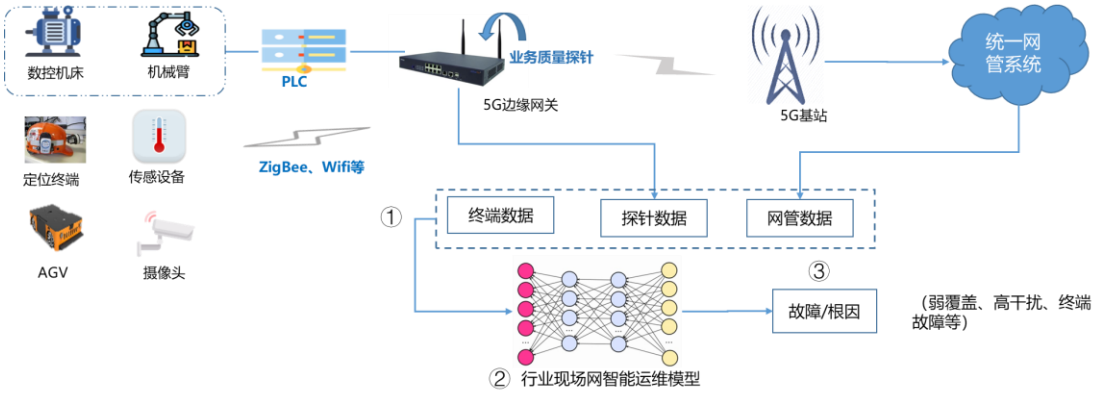

图 2-5 行业现场网智能运维框架

2.2.4 数字孪生可视化技术

数据可视化：

简单来说是关于数据视觉表现形式的科学技术研究。它是一个不断演变、边界不断扩大的概念，主要指借助图形手段和可视化技术处理基本信息，通过三维场景实时

渲染和数据建模，对数据加以可视化解释，展现实时数据，实现可视化交互。数据可视化与信息图形、信息可视化、科学可视化以及统计图形密切相关。

基于数字孪生的数据可视化决策：

"数字孪生"强调仿真、建模、分析和辅助决策，侧重的是物理世界对象在数据世界的重现、分析、决策，而可视化做的就是对物理世界的真实复现和决策支持。

1.大规模全量多源数据整合

数字孪生的关键特征之一是多源异构数据融合，可视化决策系统同样注重多源异构数据的整合和综合应用。可视化决策系统对各行业实际运行中产生的数据进行整合，从而为行业运行研判提供数据参考支撑。

2.可视分析，决策支持

数字孪生可以为实际业务决策提供依据，可视化决策系统最具有实际应用意义的就是可以帮助用户建立现实世界的数字孪生。在本身拥有海量数据信息的基础之上，通过数据可视化建立起业务决策模型，能够评估当前事务发展状态、诊断过去发生问题，并对未来趋势进行预测，从而为管理者的决策提供全面、精准的决策依据。

3.构建数字孪生，助力智慧决策

任何新技术的最终落地，都需要从理论转向实际应用，数字孪生也是如此。并且随着时代的发展、信息技术的不断进步，数字孪生被赋予了新的意义，数字孪生也会在越来越多的行业领域及应用场景发挥重要价值。

数据可视化技术：

可视化涉及技术含GIS地理信息系统、3D可视化（unity3D、WebGL/canvas）、BIM等。

GIS地理信息系统：它是一种特定的十分重要的空间信息系统。它是在计算机硬、软件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。

3D可视化：unity3D，Unity 是实时3D互动内容创作和运营平台 。包括游戏开发、美术、建筑、汽车设计、影视在内的所有创作者，借助Unity将创意变成现实。Unity平台提供一整套完善的软件解决方案 ，可用于创作、运营和变现任何实时互动的2D和3D内容；WebGL，WebGL（全写Web Graphics Library）是一种3D绘图协议，这种绘图技术标准允许把JavaScript和OpenGL ES 2.0结合在一起，通过增加OpenGL ES 2.0的一个JavaScript绑定，WebGL可以为HTML5 Canvas提供硬件3D加速渲染；canvas，HTML5 的标签，用于绘制图像(通过脚本,通常是 JavaScript。canvas元素本身并没有绘制能力仅仅是图形的容器，需要使用脚本来完成实际的绘图任务。

BIM：BIM一般指建筑信息模型。建筑信息模型（Building Information Modeling）是建筑学、工程学及土木工程的新工具。建筑信息模型或建筑资讯模型一词由Autodesk所创的。它是来形容那些以三维图形为主、物件导向、建筑学有关的电脑辅助设计。

3.行业现场网数字孪生应用场景用例

3.1 5G 融合工业现场网数字孪生用例

工业行业现场场景较复杂，普遍存在网络异构、定制化现象，企业用户除了对现场网提出一网收编、数据不出场等需求，对复杂的网络系统运维也提出了更高需求，

传统运营商网管和代维团队无法满足行业网络的运维和管理需求。

面向智能制造的行业现场网络不仅需要去考虑多样化的无线接入技术，以满足工业现场多网并存的行业网络的运维和管理需求，也要考虑如何高效汇聚到 5G 蜂窝网络，以解决物联网现场连接“最后 100 米”问题。图 3-1 是 5G 融合工业现场网技术总体架构图，该架构主要包括行业现场接入网和行业现场核心网两大部分。其中，行业现场接入网可桥接异构的行业现场网络，如无源通信、短距通信、蓝牙、TSN 等，行业现场核心网主要指部署在行业现场边缘侧的 UPF，进行数据分流，处理 5G 上传的现场作业数据，实现对整体现场网的管理。通过 5G 蜂窝广域通信技术与各种现场网技术的协同，既拓展无线覆盖范围，完成生产数据本地分流和上云，并实现 5G 对短距通信的统一接入和统一管理，提升工厂的运维效率。

行业现场网数字孪生平台基于数字孪生的网络服务，定义支持自优化能力的完整工业网络和流程，包括无线连接、工厂网络以及 5G 网络之间的交互，提供面向工业现场网的信息建模、标识解析、基于模型驱动智能化网络运维，实现网络可视、可管、可控，极大地降低驻场运维成本，提升行业现场网服务效率。

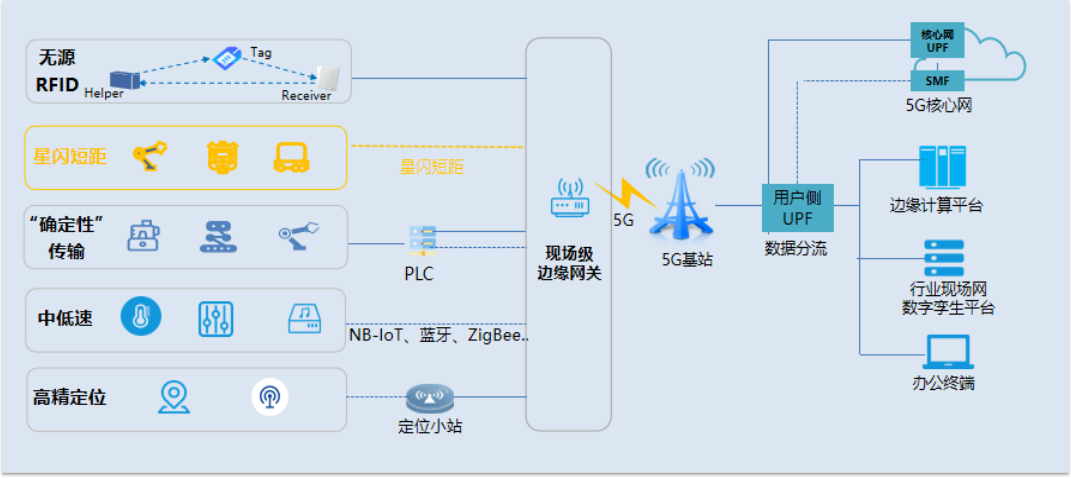

图 3-1 5G 融合工业现场网技术总体架构

在 5G 融合新型短距通信中，短距负责现场无线通信，替换现场总线和工业以太等有线网络，5G 延展无线通信范围，助力数据上云。星闪短距凭借在低时延、可靠

性和抗干扰等方面的改进，与 5G 蜂窝技术的协同通信，不仅提高组网灵活性、降低布线成本，还实现 5G 业务进一步向工厂生产核心环节延伸，提供更高阶的柔性制造，缓解过去 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、WIA、WirelessHART 等短距离无线通信技术因为时延和可靠性的先天不足，难以进入工业生产关键环节的难题。

图 3-2 5G 融合新型短距通信

3.2分布式 RFID 创新方案与运营商网络协同用例

传统 RFID 无源技术在传统服装、物流等成本超敏感行业需求广泛，但其存在自干扰，通信距离短，难组网等问题。5G+新型无源通信采取激励和通信分离的系统架构，标签激励采用射频通信，控制指令下发和信息回传均采用 5G，提升 RFID 组网性能，实现资产管理等场景下信息的高可靠、高效读取。

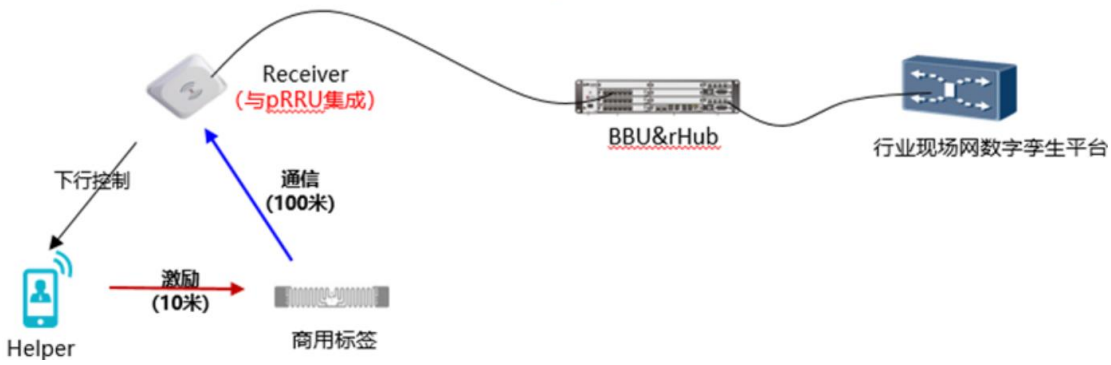

图 3-3 5G+新型无源现场网数字孪生

分离架构创新方案已在汽车工厂和物流仓库完成系统性测试验证，突破行业应用中读的全、读的快、定位准等关键业务需求。基于 Receiver 多天线及多 Helper 协同等关键技术，可以实现出入库 99.99%的读取成功率，大幅人工损耗，提高工业生产效率。在出入库多道口场景，一个 Receiver 可以携带多个 Helper，通过标签被 Helper 激活的时间先后关系，可以做到出入库方向 99%的判断准确率。并且由于 Receiver 可以对多个 Helper 协同管理调度，在实际商用部署中，无需在出入库道口安装屏蔽门，也可有效解决多道口之间的标签信息串读问题。

Receiver 在硬件上与远端射频单元(Pico Remote Radio Unit,pRRU)集成，供 pRRU 站点和传输资源。室内蜂窝小基站将无源通信设备作为其中一个原子能力连接外部数据网络，行业现场网数字孪生平台负责 PDU 会话层及相应的地址管理、移动性、QoS、策略、安全性等功能，实现网络的统一部署和运维管理。

4.未来展望

随着业务需求的多样化，垂直行业应用场景逐渐复杂，普遍存在网络异构化、定制化现象，传统的网管系统和运维体系无法满足行业网管理需求，运营商需转变面向垂直行业的网络管理思路，由传统的公网建设维护向定制化行业网的全生命周期管理（NLM）演进，基于数字孪生技术从“规划、建设、运维、优化”维度构建行业网管理能力体系，提供以客户服务和业务保障为核心的低成本试错、高质量运维和智能辅助决策能力。

DT-NLM 平台基于三维可视、数据分析、孪生仿真等实现全业务流程的“可视、可管、可控”，从全生命周期管理角度构建完善的行业网络能力，全面支撑政企线条解决方案落地，提升行业客户的网络感知和地市公司的网络建设运维效率，为企业带

来低成本试错、智能化决策和高效率创新三大核心价值，助力企业数智化转型。

未来通过 DT-NLM 平台与行业合作伙伴紧密合作，共同制定行业终端、网络设备等数字孪生模型标准推动行业标准化工作，开放平台数字孪生建模及编排仿真能力，打造适用于不同场景的基于数字孪生的行业现场网全生命周期解决方案，实现合作共赢。

5. 缩略语

IOT	Internet of things	物联网
NB-IOT	Narrow Band-Internet of Things	窄带物联网
WIFI	Wireless Fidelity	无线网络通信技术
Lora	Long Range	由 semtech 公司研发并推广的一种
RFID	Radio Frequency IDentification	射频识别技术
QOS	Quality of Service	服务质量
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
TSN	Timesensitive Network	时间敏感型网络
UWB	Ultra Wide Band	超宽带
DT-NLM	Digital-twin	基于数字孪生技术的网络全生命周期
E-RAB	Evolved Radio Access Bearer	演进无线接入承载
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
BLER	block error rate	误块率
SNMP	Simple Network Management Protocol	简单网络管理协议

RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度
RSRP	Reference Signal Receiving Power	参考信号接收功率
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	信号与干扰加噪声比
WIA	Wireless Networks for Industrial Automation	工业无线网络
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元

版权声明

本白皮书版权属于中国移动，并受法律保护。任何单位和个人未经中国移动书面授权，不得以任何目的（包括但不限于学习、研究等非商业用途）修改、使用、复制、截取、编纂、上传、下载等方式转载和传播本书中的任何部分，授权后转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国移动”。违法上述声明者，将被追究其相关法律责任。

编写单位及作者

中国移动通信有限公司研究院 物联网技术与应用研究所：

肖善鹏、牛亚文、范晓晖、薛峰、王曦泽、万鸿俊、李小涛、赵睿、龙容、石祚夫、杨博涵、游树娟、曲薇、罗达、王迪、张春天