

# 摘 要

行业现场网技术作为工业、医疗、交通等场景现场网络与设备间的最后"一百米",是未来设备低时延传输、高精度室内定位、高可靠本地通信系统的基础,是行业专网的重要组成部分,也是未来各行业现场业务信息化升级的核心。本白皮书介绍了中国移动对未来行业现场网的理解与认识,并根据市场、产业、技术需求等综合方面给出未来行业现场网技术演进及行业发展的整体建议。

本白皮书的编写收到各行业专家、企业及研究机构的大力支持,特别感谢华为、中兴、紫光展锐、联发科技、翱捷科技、新华三、京信、徐州重型机械集团有限公司、首钢集团、南京钢铁股份有限公司、宝信软件、华菱湘潭钢铁有限公司、阳泉煤业(集团)有限责任公司等行业的专家们提出的真知灼见和宝贵修改意见。

# 目 录

1.	行业:	现场网	既述	. 1
	1.1	行业现	<b>见场网内涵及特征</b>	.2
	1.2	行业现	l场网技术发展背景	2
	1.3	行业现	l场网需求与价值定位	.3
	1.4	国内外	卜行业现场网发展现状	4
		1.4.1	新型无源通信	4
		1.4.2	新型短距通信	5
		1.4.3	确定性网络	6
		1.4.4	高精度室内定位	6
		1.4.5	毫米波通信	7
		1.4.6	中低速通信	7
2.	行业:	现场网:	技术组成	8
	2.1	融合运	营商能力的行业现场网总体架构	8
	2.2	新型无	·源通信	9
		2.2.1	新型无源通信概念	9
		2.2.2	新型无源通信方案整体框架及关键技术点1	0
		2.2.3	分布式 RFID 创新方案与运营商网络协同方式1	0
			新型无源通信方案未来的发展方向1	
	2.3	新型短	亞距通信技术 1	1
	2.4	确定性	E网络1	4
		2.4.1	确定性网络概述1	4
		2.4.2	确定性网络关键技术1	4
		2.4.3	演进趋势1	8
	2.5	高精度	<b>夏室内定位</b> 1	9
		2.5.1	高精度定位的概念和整体技术框架、技术点1	9
		2.5.2	高精度定位和运营商 5G 的整合方式2	21
		2.5.3	高精度定位未来的发展方向2	22
	2.6	毫米波	8通信2	23
		2.6.1	5G 毫米波通信方案概述及关键技术点2	23
		2.6.2	5G 毫米波通信方案与运营商网络协同方式2	24

		2.6.3 5G 毫米波通信方案应用简述	25				
		2.6.4 5G 毫米波通信方案未来的发展方向	27				
	2.7	中低速通信	28				
		2.7.1 中低速物联网概述	28				
		2.7.2 AFH 技术					
		2.7.3 低功耗功率控制技术	29				
		2.7.4 时间同步技术	30				
	2.8	行业现场网数字孪生	31				
		2.8.1 行业现场网数字孪生的意义	31				
		2.8.2 行业现场网数字孪生技术构成	33				
3.	行业3	见场网典型应用场景	34				
	3.1	工程机械制造	34				
	3.2	矿山行业	36				
	3.3	电力行业	37				
	3.4	钢铁行业	40				
	3.5	智慧楼宇	41				
	3.6	智慧港口	43				
	3.7	医疗养老	45				
4.	行业	见场网技术与产业发展展望	48				
		吾					
附录	附录 1.参考文献						
떠	财录 2 联合编写单位及作 <del>者</del> 5/1						

## 1. 行业现场网概述

#### 1.1 行业现场网内涵及特征

根据 ISO 对行业现场网的定义,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、管理等多样业务需求。

常见的行业现场网技术包括工业以太网(EtherNet/IP、ProfiNet、EtherCAT等),现场总线(ProfiBus、CC-Link、CAN等),Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等短距离通信技术,窄带物联网(Narrow Band Internet of Things,NB-IoT)、远距离无线电(Long Range Radio,LoRa)、SigFox等低功耗广域网通信技术,以及时间敏感型网络(Time Sensitive Network,TSN)、毫米波、无源射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)、超宽带(Ultra-Wide Band,UWB)等通信技术。

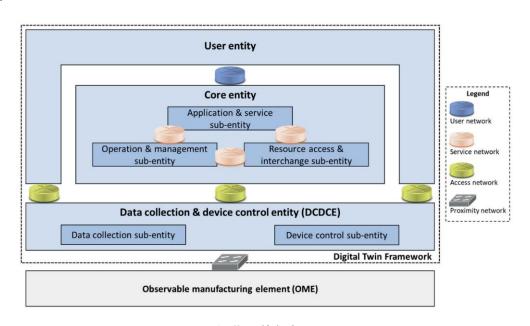


图 1-1 行业网络框架(ISO 23247)

## 1.2 行业现场网技术发展背景

随着 5G 技术全球商用以及智能制造、工业互联网的蓬勃发展,行业现场网迎来空前的

市场需求,也引发了行业现场网技术的创新发展。

智能制造和工业互联网的发展,进一步倍增了行业现场网技术的迫切性。智能化生产,催生了设备信息采集、设备远程控制、设备健康管理、基于视觉的表面缺陷检测、工业机器人智能分拣、机器人及无人小车(Automated Guided Vehicle,AGV)应用、远程辅助等典型应用场景,对行业现场的传感、数据、定位、控制、管理等提出了较高需求;同时,不同行业的特殊应用场景,比如地下矿井、核电站、车间、炼化厂的网络覆盖及数据采集、抗电磁干扰,工厂内极限数量的设备连接等,也对行业现场网技术提出新课题,需要针对性的解决这些难题。

众所周知,相对 4G 技术,对企业(To Business,2B)业务是 5G 技术的主要应用场景,5G 大带宽、低时延、大连接的特性,实现了工业数据快速传输和服务上云,使企业的现场生产管理、上下游供应链打通、企业间协同合作,以及企业与客户定制化需求与服务延伸成为可能,为企业的管理、生产、物流、销售、服务打开了巨大空间。这也相应要求企业行业现场必须打破以前"黑盒"和"盲哑"的状态,企业行业现场的设备、机器和系统能够更加透明和智能,需要提供更加丰富和强大的网络接入技术。

在 2021 年 1 月,工信部印发的《工业互联网创新发展行动计划(2021-2023 年)》中明确的提出,加快工业设备网络化改造。支持工业企业对工业现场"哑设备"进行网络互联能力改造,支撑多元工业数据采集。提升异构工业网络互通能力,推动工业设备跨协议互通。这些任务和目标的完成,也都强力的推进行业现场网技术的研究和发展。

### 1.3 行业现场网需求与价值定位

行业现场网技术的发展,需要考虑行业现场现有系统和设备的"利旧"性。在现有的行业现场,设备之间通过工业以太网、现场总线、WLAN、蓝牙等方式进行网络通信,传统的工业设备专用程度高、网络化改造成本大,企业对投入产出效益较为敏感,不可能完全舍弃现在系统和技术,现场网技术的演进必须基于现有技术进行逐步改良。

从智能制造、工业互联网的典型业务应用来看目前行业现场对确定性数据传输、广泛的设备信息采集、高精度室内定位、高速率数据上传、极限数量设备连接等技术存在迫切需求,

比如,工业生产远程控制要求时延在 1-10ms,远程作业中超高清机器视觉的数据上传带宽要求在 500Mbps 以上,机器人、AGV 导航或机器臂操控精度希望精确到厘米级,工厂内同时连接的 AGV 或传感器数量上万等,这些应用场景是企业或工业互联网解决方案中的重点需求和难点问题,也成为当前行业现场网技术首当其冲需要解决的问题。

5G 作为蜂窝移动通信技术具有高速率、大带宽、广覆盖的典型特点,可以远距离、高速率的进行数据传输,实现数据上云和业务上云,实现产业链各环节智能协同,为智能生产的网络接入和传输提供高性能、高可靠、高灵活、高安全的网络服务。

根据当前智能制造和工业互联网的技术现状和上述发展需求,可以将 5G 与行业现场网相结合,形成优势互补,针对行业现场对低时延、高可靠性、高精度定位、低功耗、抗干扰等功能的极致需求,用 5G 桥接各类行业现场的异构网络,打造集成了短距、无源、TSN、毫米波、定位等技术的一体化行业现场网,支持企业对行业现场的"哑设备"进行网络互联能力改造,支撑多元工业数据采集,促进多网并存,提升异构工业网络互通能力,降低网络无线化改造门槛,形成贴近行业现场生产的 5G+工业现场网整体解决方案,实现信息技术(Internet Technology, IT)网络与运营技术(Operation Technology, OT)网络融合,更好的满足智能制造新需求。

## 1.4 国内外行业现场网发展现状

针对当前行业现场最迫切的低时延、高可靠性、高精度定位、低功耗、抗干扰等问题,新型无源通信、新型短距通信、确定性网络、高精度室内定位、毫米波通信、中低速通信等技术成为行业现场网技术的研究热点。

### 1.4.1 新型无源通信

RFID 技术可通过无线电讯号识别特定目标并读写相关数据,而无需识别系统和特定目标之间建立机械或光学接触,在仓储物流、资产盘点、智能巡检领域拥有广泛应用。RFID 的产业链主要由芯片设计、标签封装、读写设备的设计和制造、系统集成、中间件、应用软件等环节组成。目前 RFID 产业主要集中在 RFID 技术应用比较成熟的欧美市场。飞利浦、西门子、

ST、TI 等半导体厂商基本垄断了 RFID 芯片市场; IBM、HP、微软、SAP、Sybase、Sun 等国际巨头占据了 RFID 中间件、系统集成研究的位置; Alien、Intermec、Symbol、Transcore、Matrics、Impinj 等公司则提供 RFID 标签、天线、读写器等产品及设备。RFID 读写器设计与制造的发展趋势向多功能、多接口、多制式、并向模块化、小型化、便携式、嵌入式方向发展。

新型无源 RFID 技术,着力研究 RFID 激励和通信功能分离技术,解决复杂的干扰对消及通信距离近的难题,降低 RFID 读写器复杂度和成本,提升通信距离,实现无源 RFID 与 5G 组网覆盖。

#### 1.4.2 新型短距通信

Wi-Fi、蓝牙是目前工厂内应用最为广泛的两种短距无线通信技术,其共同点是部署和维护成本低,但通信距离有限,稳定性、组网能力、安全性较差,功耗较大。

在国际 Wi-Fi 联盟的推动下,Wi-Fi 技术每 4-5 年实现一次迭代升级,最新的 Wi-Fi 6 标准于 2018 年推出市场。在 Wi-Fi 6 标准中,正交频分多址 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access,OFDMA)技术、多用户-多输入多输出(Multi-User Multiple-Input Multiple-Output,MU-MIMO)技术分别在频率空间和物理空间上提供多路并发技术支持,显著提升网络整体性能与速度,降低网络时延,优化用户体验。BSS 着色机制可降低同频道干扰,有效提升频谱资源利用效率。Wi-Fi 6 标准还通过引入目标唤醒时间(Target Wake Time, TWT)技术降低终端设备功耗,有利于 Wi-Fi 技术在物联网领域进一步应用推广。

蓝牙技术版本由美国蓝牙技术联盟制定并发布,自 1999 年以来总共发布了 12 个版本,每一代蓝牙版本都会在传输速度、传输距离、稳定性、安全性等方面得到提升; 2016 年推出的蓝牙 5.0,传输速度提升两倍达到 48Mbps,有效传输距离提升四倍达到 300M,支持室内定位导航,实现 Mesh 组网功能,目前已经发展到 5.2 版本。

新型短距通信技术也在不断涌现,2020年成立的"星闪联盟"正在主导制定 SparkLink 短距通信技术,通过将网元分为 G 和 T 两种网络节点, T 节点是普通的末端网元, G 节点负责局部短距通信域中各 T 节点的通信调度和数据透传,从而实现微秒级低时延、抗突发干扰

等功能,并推动 SparkLink 技术和 5G 网络进行融合,构建公、专网一体化的网络架构。

#### 1.4.3 确定性网络

通信的确定性在工业领域是一个广泛的需求,5G技术和确定性网络技术融合成为业界研究热点。5G技术本身为了实现超可靠低时延(Ultra Reliable Low Latency Communication, uRLLC)场景的低时延需求,3GPP在R15阶段定义,以5QI为基础框架,配合支持灵活的帧结构、支持更小的调度周期 Mini-Slot、灵活的物理下行控制信道(Physical Downlink Control Channel,PDCCH)配置以及采用边缘计算技术将用户面功能(User Plane Function,UPF)用户面功能下沉到用户侧;在R16阶段,3GPP又进一步提出uRLLC低时延增强解决方案,采用上行免授权配置、HARQ反馈增强、支持时间敏感网络TSN和5G网络对接。

时间敏感网络(TSN)是一种基于 IEEE 802.1 的实时以太网标准,它可以确保信息在固定且可预测的时间内从一个点移动到另一点,其低抖动、低延时、确定性传输的特点,能满足对传输可靠性和时延有较高要求的应用场景。

5G+TSN 能解决网络传输层的确定性统一通信问题,可通过 5G NR 无线替代或延长工厂内的有线网络,让工业生产更加柔性化。

在 R17 阶段开始, 3GPP 已经开始定义在外部无 TSN 网络的情况下, 5G 系统可独立部署, 实现确定性通信。这将进一步增强在行业现场网独立部署 5G 的灵活性和适用性。5G 将会持续完善的确定性通信网络在独立部署场景的能力。

OPC 基金会推出的新一代 OPC 统一架构(OPC Unified Architecture, OPC UA)标准统一了工业协议层的互操作接口,能解决泛在工业协议业务层在语义层互联互通的问题,进一步提升设备间的互操作性,5 G 与 TSN、OPC UA 结合,就可以打通从通信到应用的互通,已经成为产业研究热点。

## 1.4.4 高精度室内定位

高精度室内定位技术在员工管理、物资监管、远程监控、机器导航上有广泛的应用需求,

目前应用较多的是基于蓝牙和 UWB 的定位技术。蓝牙定位一般采用三角定位法,只要有三个 Beacon 信标设备,就能计算出位置,精度可以达到米级。UWB 定位利用事先布置好的已知位置的锚节点和桥节点,与新加入的盲节点进行通讯,利用三角定位或者"指纹"定位方式来确定位置,UWB 的定位精度可达到 0.1m-0.5m。

#### 1.4.5 毫米波通信

毫米波通信具备频率高、波长短、可靠性高、方向性好等特点,主要应用场景集中在 5G 网络中的小基站间替代光纤回传,热点地区数据传输覆盖,设备之间的高清视频大容量数据传输等。毫米波通信系统设计关键技术主要为大规模天线和波束赋形技术、波束管理技术、传播特性和穿透损耗机理等。毫米波波段的波长远小于传统 6GHz 以下频段,相应天线的尺寸也较小,更适合在移动设备上配备毫米波的天线阵列,为基于毫米波通信提供了广阔的应用前景。

#### 1.4.6 中低速通信

中低速物联网泛指下行传输速率在 10Mbps 以内,上行传输速率在 5Mbps 以内的物联网连接。目前已广泛应用的既包括工作在授权频谱的 NB-IoT、Cat.1、基于 LTE 演进的物联网技术(LTE enhanced MTO,eMTC)等,也包括工作在非授权频谱的 BLE、ZigBee、LoRa和 Sigfox等。运营商主导的工作在授权频段的移动物联网从 2G 时代开始就已经萌芽。随之,一系列针对传输速率、覆盖、容量等进行了专门优化的低功耗广域网(LPWA,Low Power Wide Area)通信技术应运而生,如工作在授权频段的 NB-IoT、eMTC等,它们具有低功耗、大连接、低成本等特性,能大幅缩减网络布建成本,带动智慧城市、资产追踪、共享经济等领域的物联网应用的快速落地。另一方面,工作在非授权频谱的 BLE、ZigBee、LoRa和 Sigfox、Z-Wave等已经在不同的行业领域广泛应用。然而,这些通信技术在覆盖能力、安全保障等方面普遍存在缺陷。未来有机会与 5G 等蜂窝网络在可靠性、低功耗、数据同步等方面加强协同,进一步提高远距离传输的可靠性。



## 2. 行业现场网技术组成

### 2.1 融合运营商能力的行业现场网总体架构

5G 广泛赋能传统行业的同时,也对网络的能力下沉、时延、定位、可靠性等提出了更高的要求,5G 需与连接行业业务和应用触手的行业现场网结合,从而在各个行业场景中发挥更大的作用和价值。

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,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 5G+确定性网络技术、5G+新型短距通信、5G+新型无源通信、5G+毫米波、5G+UWB/蓝牙高精定位。其中 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;5G+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;5G+确定性网络兼具确定性网络和 5G 的优势,在满足通信高可靠与确定性要求的同时,解决了现场布线问题;5G+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;5G+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。

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和本地处理,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。基于核心网 UPF 的业务感知能力可以进一步加强 UPF 本身甚至现场接入网的业务调度效率。此外,3GPP 在 R16 中定义了 5G-LAN 组网功能,通过核心网即可支持行业现场网的层二组网而无需额外的网关路由设备。

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 更高需求。目前,行业现场场景复杂,普遍存在网络异构、定制化现象,传统网管和代维团 队无法满足行业网络的运维和管理需求。行业现场网技术中的基于数字孪生的网络服务通过 信息建模、智能运维、数字孪生现场网服务平台可以实现网络可视、可管、可控,降低驻场 运维成本,提升行业现场网服务效率。

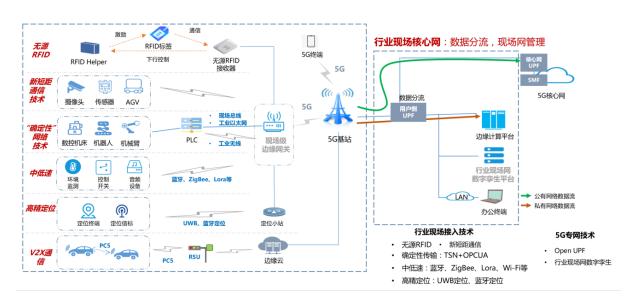


图 2-1 行业现场网技术架构

### 2.2 新型无源通信

### 2.2.1 新型无源通信概念

大多工厂都有物料资产定期盘点需求,而当前的管理手段还非常原始,有少数企业尝试用 RFID 来做盘点,比如在出入库环节自动盘点,但实际使用读取性能较差、不能规模推广应用。

新型无源通信创新方案的基本思路是打破传统 RFID 对标签的激励和通信一体化架构,采取激励和通信分离的系统架构,提升 RFID 组网性能,实现工业场景下高可靠读取。这个方案有 2 个特点:标签侧是直接使用商用 RFID 标签,可以实现产业上快速切入商用落实;网络侧运用蜂窝 5G 的上下行解耦、多天线等创新思想,提升传统 RFID 组网性能。

## 2.2.2 新型无源通信方案整体框架及关键技术点

传统 RFID 读写器是收发一体架构,需要进行干扰对消,因此距离近,成本高。分布式 RFID 将标签的激活和通信分离,避免复杂的干扰对消,可以降低 Helper 成本,同时提升 Receiver 的读取性能。

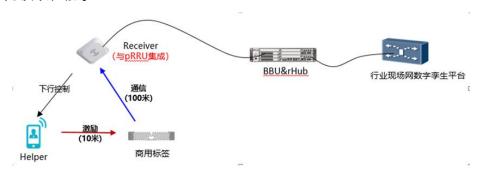


图 2-2 增强型 RFID 框架图

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。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。

## 2.2.3 分布式 RFID 创新方案与运营商网络协同方式

新型无源通信方案可以很好的与室内蜂窝小基站结合。分离后,Receiver 的接收灵敏度可以到-105dBm,在工厂室内场景实际测试距离 20-30 米,和蜂窝小基站覆盖相当。 Receiver 在硬件上与远端射频单元(Pico Remote Radio Unit,pRRU)集成,作为其中一个原子能力,供 pRRU 站点和传输资源,降低企业网路部署成本,一张网实现人的连接和物的连接。

## 2.2.4 新型无源通信方案未来的发展方向

新型无源通信未来发展方向将从室内走向室外,使室外杆站甚至宏站拥有无源物联能力,成为 5G 海量机器类通信(Massive Machine Type of Communication,mMTC)下一跳。技术上,关键是突破远距离无源通信,如距离能做到 100 米以上,支持温湿度传感,就可以使能室外广域很多行业应用。

远距离无源通信的实现则需要设计新型无源标签,相比 NB-IOT,新型无源标签最大的特征是免电池,成本也较 NB 终端降低 1 个数量级。新设计空口波形和协议,将无源空口成为 5G 网络 NR 空口的一个部分,在时频资源调度上做切片,拿出部分子载波做无源物联业务。室内基带处理单元(Building Base band Unite,BBU)、传输等处理资源与其他业务共享,也无需新增核心网网元,通过软升级实现标签的认证、安全等功能。

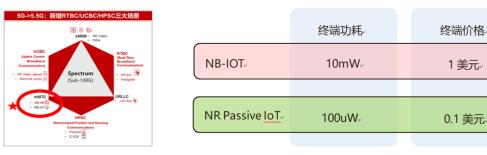


图 2-3 新设计无源标签与 NB-IOT 功耗与成本比较

这类室外无源物联的典型应用场景包括电力、农业等诸多领域。电力需要实时监控设备运行状态,诊断故障与健康监测,在接头等位置温度监测,防火灾故障,在电网运行环境,无源物联更安全。精准农业的关键是,需要对生长环境的信息感知互联,也只有无源免电池才能做到可抛弃,满足环保要求。

### 2.3 新型短距通信技术

短距无线通信泛指在较小的区域内(通常小于 100 米)提供点对点的无线通信,是典型的行业现场网网络,主要用于设备间的小范围互连,具有部署简单、成本低等优势。随着智能泛在连接的快速发展,智能汽车、智能制造等场景对大带宽、抗干扰、高可靠通信已经提出了极致性能需求,然而现有的传统短距通信技术多采用非授权频段,并受限于基于竞争的

资源分配机制,频段干扰严重且无法保障信道资源的高稳定性,难以实现微秒级低时延、抗 突发干扰等特性。在此背景下,"星闪联盟"在 2020 年 9 月份发起成立,致力于推动具有自 主知识产权的新一代短距通信技术创新和产业生态的全球化。

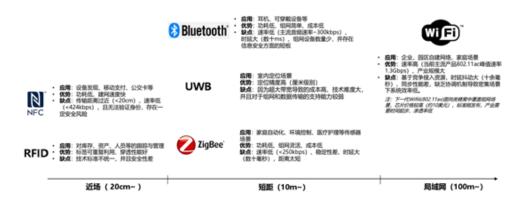


图 2-4 现有短距通信技术无法满足新场景下低时延、高可靠等要求

星闪联盟主导制定的短距通信技术(下称 SparkLink 技术)基于全新的无线空口设计,预期可以更好地支持超低时延、高可靠、精同步、高并发、高效率和高安全等,满足智能制造、智能汽车、智能家居、智能终端等场景下确定性服务质量保障业务的需求。具体来说,SparkLink 利用创新的帧结构设计,引入极简协议栈和跨层透传机制,基于业务特性使能半持续调度,实现单向用户面传输时延小于 20us,是目前业界唯一能达到 100us 以下传输时延的无线技术。同时,引入先进的信道编解码技术 Polar 和 RS,针对随机干扰和突发干扰进行优化,结合物理层快速反馈重传机制和灵活的干扰侦听避让机制,实现复杂电磁环境下的高可靠传输。SparkLink 技术还引入基于管理节点的时分双工,通过同步序列和资源映射优化,实现中低信噪比下仍小于 1us 的同步精度,有效支持高同步要求的业务需求。此外,还基于 OFDMA 接入方式,引入非竞争接入机制和更精细化的资源映射和指示方式,实现对于多路并发业务的高效支持。此外,SparkLink 还引入对于多天线、多载波和高阶调制方式的支持,进一步提高单位带宽的利用效率,同时基于精同步能力和优化的信道划分方案,使得密集部署场景下信道利用率显著提升。

中国移动正在推动新短距技术和 5G 网络的协议融合方案。在 SparkLink 技术和 5G 网络融合部署方案中,G 节点(管理节点)作为一个路由/桥接节点将 T 节点(通信节点)与 5G 网络链接起来,5G 核心网透过协议适配层可感知所有 T 节点的设备状态,包括网络状态、

业务信息、流量使用等,此外 T 节点不需要做蜂窝网络的入网鉴权。数据格式方面,系统通过层二中继的方式,在数据链路层以上做适配层,定义数据面和控制面协议的数据格式、数据集,可部署在边缘 UPF、归属用户服务器(Home Subscriber Server,HSS)等位置,实现现场级的数据上云,并实现 5G 网络对 SparkLink 短距通信域中 G 节点和 T 节点的可达,可管理、可配置。

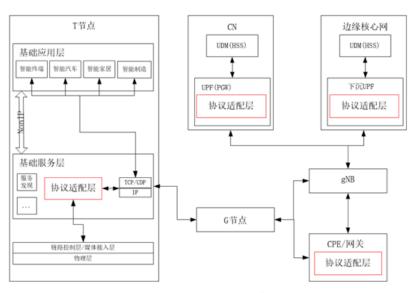


图 2-5 5G 与短距通信技术的网络融合框架图

5G 与短距通信技术的网络融合,将助推公、专网一体化的网络架构的构建,实现异构网络的紧密融合和更高效便捷的网络运维。SparkLink 和 5G 网络的融合不仅能扫除 5G 覆盖盲区,推动短距通信和广域通信的融合,还能进一步带动"端边网云"等网络基础设施的互联互通、数据传输和智能业务的承载,促进增强移动通信技术与垂直行业的深度融合,助力CHBN 各领域的创新发展。

作为端到端通信的末端神经,新一代短距通信技术将是未来柔性网络的重要体现,是空天地一体化的关键组成部分。发展短距通信技术,将会对蜂窝网络的动态服务能力进行弥补和扩展,满足垂直行业在生产运营中对通信连接灵活、动态、快速部署的需求。为满足未来柔性网络的架构需求,建议在下一代物联网通信体系中统筹考虑短距通信技术,提前布局标准和专利,更好地满足未来 CHBN 多场景通信需求。



#### 2.4 确定性网络

## 2.4.1 确定性网络概述

现场网确定性网络是指能保证业务的确定性带宽、时延、抖动、丢包率指标的网络。这里的确定性是指指标可预期,比如确定性时延 10ms,时延的抖动在±10μs。

对确定性网络的需求在工业通信领域广泛存在。传统工业现场网络中的现场总线技术如 ProfiBus、CAN、CC-Link、Lonworks,或者工业以太网技术如 EtherNet/IP、Profinet、 EtherCAT、PowerLink等都在一定程度上解决了该问题。但因通信协议标准多而杂,导致彼此之间通信兼容性不佳,技术实现封闭,可复用性较差,制约了工业网络互联互通的发展,并导致工业网络部署成本长期居高不下。此外,有线的连接方式,也存在场景应用有限等问题。

支持超低时延、高可靠通信的 5G 技术的出现,为工业领域提供了新的通信选择。如果现场网络能兼具有线确定性网络和 5G 的优势,满足通信高可靠与确定性要求的同时,解决现场布线问题,那么长期困扰工业现场网络的问题将迎刃而解。如何将 5G 技术和确定性网络技术融合成为业界研究热点,5G+TSN 实现端到端的确定性是当前的一个重要技术方向。

#### 2.4.2 确定性网络关键技术

3GPP R16 定义的 TSN Bridge 架构利用 5G 高精度时钟授时技术,通过核心网解决 5G 和 TSN 网络衔接问题。同时,5G 空口 URLLC 系列技术、承载网络的优化技术等逐步增强空口以及承载网的时延确定性,也是未来 5G+TSN 组网的重要组成部分。下面章节分别具体介绍现场网确定性网络关键技术。

#### 2.4.2.1 确定性 5G +TSN 网桥技术

为满足无线接入网络支持应用 TSN 技术的确定性工业网络互联的需求, 3GPP R16 已经考虑并定义了 5G 系统作为 TSN 逻辑网桥的架构, 完成与 TSN 网络的组网与互联。利用 5G

延展现场网络既有的 TSN 网络的覆盖。5G TSN 逻辑网桥架构如下图所示:

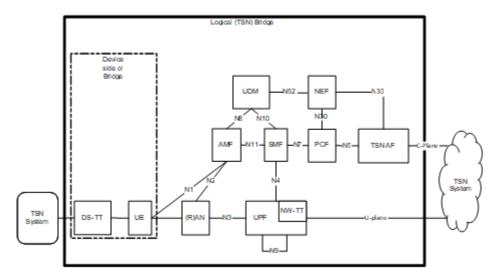


图 2-6 3GPP 定义的 TSN 逻辑网桥系统架构图

为了实现 5G TSN 逻辑网桥和 TSN 网络的对接, 5G 系统扩展了如下 3 个功能模块:

#### 1) DS-TT

终端侧 TSN 转换器(Device-side TSN translator),用于连接终端侧的 TSN 系统。

#### 2) NW-TT

网络侧 TSN 转换器(Network-side TSN translator),用于连接网络侧的 TSN 系统。

#### 3) TSN AF

TSN 的应用功能(Application Function), 用于连接 TSN 网络的 CNC 控制器。

此外,为了实现 5G TSN 逻辑网桥的功能,5G 系统需要支持如下关键技术:

第一,5G 系统需要为 TSN 业务提供其所需的超高精度时间同步能力。整个 E2E 5G 系统可以视为 IEEE 802.1AS "时间感知系统",UE/DS-TT 和 UPF/NW-TT 需要支持 IEEE 802.1AS 操作,实现与 DN 网络的 TSN GM 间的 TSN 时间同步。此外,5G gNB 和 UPF 间也需要提供基于5G 系统时钟的高精度时间同步。

第二,5G 网络需要为 TSN 工业互联网应用提供确定性低时延流调度能力,包括:无线资源的优化调度技术,UE/DS-TT 和 UPF/NW-TT 基于 IEEE 802.1Qbv 标准定义的流调度能力等。

第三,5G系统需要与TSN网络间协同交互,实现5G系统作为TSN逻辑网桥的配置和

管理等功能,包括:UE/DS-TT 和 UPF/NW-TT 需要支持 LLDP 协议进行链路发现,5G 系统通过 TSN AF 向 CNC 上报 5G 网络的状态信息、及接收 CNC 对 5G 系统的路径编排与预留等。

同时,5G作为一种的确定性网络,也可以直接作为现场网的接入技术。为了进一步提升确定性,增加应用范围,3GPP的 R17版本正在定义无需外部的 TSN 网络,5G 可以独自提供确定性网络传输功能。预计在后续的 R18中,3GPP将进一步增强独立的确定性网络功能。这对于进一步简化行业现场网的网络架构提供了强力的支撑。

#### 2.4.2.1 确定性 5G 空口 URLLC 技术

凭借灵活的帧结构、Mini-Slot、上行免授权调度和 PDCP duplication 等关键技术保障,5G 定义的超高可靠超低时延的业务场景下,网络性能空口时延与可靠性大幅改进。5G 为了实现低时延高可靠,对空口帧结构进行优化改进,采用参数可灵活配置统一帧结构技术(Unified Frame Structure,UFS),一方面通过减少 TTI 长度、降低 CP 长度、增加子载波间隔、改进调度流程、降低调度时延应对低时延高可靠业务,另一方面又可以针对不同频段、场景和信道环境,选择不同的参数进行配置,如带宽、子载波间隔、循环前缀、传输时间间隔和上下行配比,满足时延方面的需求或者带宽方面的需求。

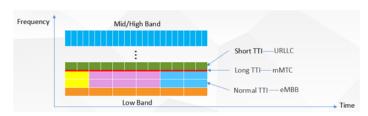


图 2-7 统一帧结构

时隙结构上使用 Mini-Slot 时隙架构,其上下行不一致,下行可以在(2,4,7)个 OFDM 符号上任意配置,上行可以在 1-13 个符号中任意配置,这样以更少的符号数为调度单元,尽可能短的时间内保证物理层的迅速响应,实现更小调度粒度,减少调度符号数目,实现快速传输,从而降低时延,增加可靠性。同时上下帧调度使用快速接入免授权调度,避免采用调度申请请求和调度许可,快速接入信道,降低时延。

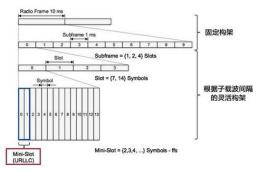


图 2-8 Mimi-Slot 时隙结构

上行免授权调度,提供了一种基于非动态授权的传输方式,通过激活上行配置的周期性授权,并基于此授权配置可进行多次上行传输。上行免授权调度对于时延敏感业务以及控制信息开销方面均有所帮助。在 NR 协议中,进行了 2 种上行免授权传输配置类型的定义,称之为 Type-1 与 Type-2。Type-1 的方式通过 RRC 信令配置周期、频域资源、时域偏置、调制编码等参数。而终端设备,接收到 RRC 信令后,随即根据时域偏置进行授权配置的激活。而 Type-2 的方式同样通过 RRC 信令进行周期的配置,而通过 PDCCH 激活指示的传输参数与授权配置。

PDCP duplication,即将 PDCP packet 复制到不同载波的 RLC 实体,通过不同的空口 发送相同的数据,在不增加时延的基础上,进一步提高可靠性。3GPP R15 标准已支持 PDCP Duplication 功能,但仅支持 2 个副本。R16 标准提案中建议支持 4 个副本。在对时延要求 较高的场景下,可以提高传输可靠性。

#### 2.4.2.3 确定性业务统一承载技术

承载针对行业现场网 TSN 类业务承载互联的需求,支持 TSN+确定性网络承载方案,即 UNI 侧接入 TSN 类确定性现场网业务流量,将承载网虚拟成 TSN 虚拟网桥提供确定性精准 连接。承载网可以在 Detnet 网络架构和模型中采用不同的连接技术提供精准网络连接(如图 所示),从应用角度精准网络连接等同于虚拟的"光纤"连接,转发时延和抖动是确定性的。



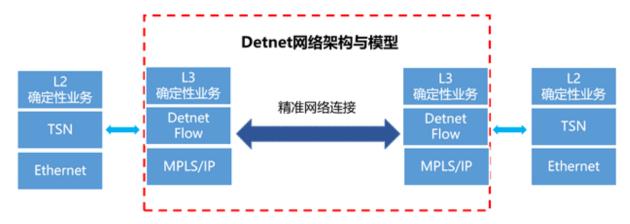


图 2-9 承载确定性网络架构与模型示意图

精准网络连接支持从网络 L1-L3 提供不同特性的连接技术,包括以太网 L1 层硬隔离 TDM 的 ITU-T MTN 技术,L2 层以太网软隔离的 PWE3 仿真技术,L3 层 IP Qos 保障技术等。不同的连接技术可以提供不同的隔离特性,转发时延和抖动特性以及可靠性等。用户可以根据业务的差异化需求选择合适的连接技术,其选择过程可以通过智能化管控自动完成。精准网络连接同时支持精准质量指标检测功能,具备实时检测连接的丢包、时延和抖动等关键指标,保障连接质量并简化运维。

承载网络切片技术是支持现场网络综合承载的基础能力,基于统一的承载网络基础设施,针对行业现场网络的差异化承载需求进行网络切片,为行业应用提供合适的网络资源保障,进而为行业应用要求的确定性承载提供有保障的虚拟专网服务。

## 2.4.3 演进趋势

5G 与 TSN 解决了网络传输层的确定性统一通信问题,OPC 基金会推出的新一代 OPC 标准 OPC UA(Unified Architecture,统一架构),则统一了工业协议层的互操作接口,使信息在任何时间,任何地点对每个授权的应用,每个授权的人员都可用;OPC UA 这种功能独立于制造厂商的原始应用,编程语言和操作系统,解决泛在工业协议业务层互联互通问题。

5G与TSN、OPC UA组合提供了一个实时、高确定性并真正独立于设备厂商的完整的工业通信解决方案。随着5G和TSN产业链的成熟,该方案将有望逐渐成为工业现场通信的最佳实践。



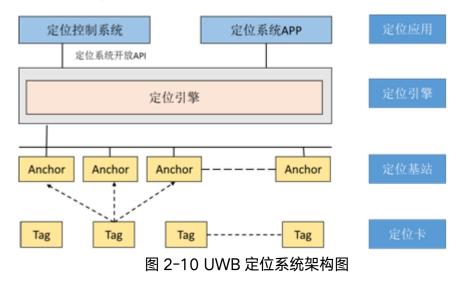
#### 2.5 高精度室内定位

### 2.5.1 高精度定位的概念和整体技术框架、技术点

现场网采用的传统的定位方式一般是利用信号载波强度,即 RSSI(Received Signal Strength Indication)来做三角定位,其特点是精度低,对环境适应性差,但实现相对简单,比如基于 Wi-Fi 信号 RSSI,或是基于蓝牙 iBeacon 信号 RSSI 的,精度为 1/3 或者 1/4 基站间距的粗略定位。过去一段时间,工业产业内部对人员,可移动资产和设备检测和控制的需求越来越多。产业界发展出对高精电子围栏,高精度轨迹,三维定位的几类高精定位需求。针对这些需求业界发展出了两种技术方向:

#### 2.5.1.1 UWB(Ultra-WideBand)

UWB 是一种全新的、与传统通信技术有极大差异的通信新技术。它不需要使用传统通信体制中的载波,而是通过发送和接收具有纳秒或皮秒级以下的极窄脉冲来传输数据,从而具有 GHz 量级的带宽。超宽带系统与传统的窄带系统相比,具有穿透力强、功耗低、抗多径效果好、安全性高、系统复杂度低、能提供精确定位精度等优点。因此,超宽带技术可以应用于室内静止或者移动物体以及人的定位跟踪与导航,且能提供十分精确的定位精度。实验室理想情况可以实现 10cm 左右的高精度定位,实际环境精度能达到亚米级。UWB 定位系统框架如下:



每个定位标签以 UWB 脉冲重复不间断的广播发送数据帧到周围的基站;

每个定位基站利用高敏度的短脉冲侦测器测量每个定位标签的数据帧到达接收器天线的时间:

定位引擎参考标签发送过来的校准数据,确定标签达到不同定位基站之间的时间差,利用 ToF 或者 TDoA 算法来计算标签位置。

#### 2.5.1.2 蓝牙

以蓝牙为代表,基于天线阵列的角度定位(AoA/AoD),是基于收发信号之间角度测量的高精度定位方案。根据基站或终端上特殊设计的天线阵列(ULA 均匀线阵, UCA 均匀圆阵, URA 均匀方阵)上不同天线链路上的相位差,基于相位 MUSIC 算法计算得到信号收发端之间的相对角度,理想情况下精度也可以做到亚米级。得益于蓝牙产业链的成熟,基于蓝牙角度定位在一定精度范围内更具有成本优势。蓝牙高精度定位系统的框架跟 UWB 类似,唯一的区别是最终位置的解算是通过不同基站产生的角度信息,而不是 UWB 里使用的时间信息。

集成蓝牙定位技术的室内分布系统如图 1 所示,包括蓝牙室分天线、蓝牙网关、室分设备管理平台、室内定位能力平台和室内定位业务平台

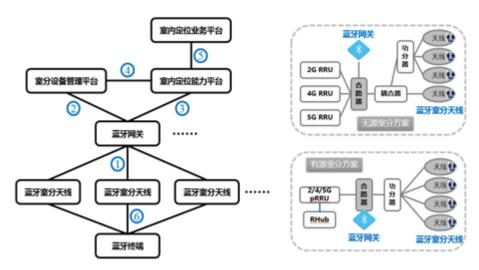


图 2-11 集成蓝牙定位技术的室内分布系统图

#### 2.5.2 高精度定位和运营商 5G 的整合方式

5G 技术大大提升了移动网络性能,提供大带宽、低时延、广连接的网联能力,为垂直行业的数字化提供必要的技术保障,蓝牙、UWB 高精度定位可以达到厘米级别定位精度,结合现场网对于通讯和定位精度的需求,5G 融合高精度室内 UWB、蓝牙 AoA 等室内定位解决方案应运而生。本方案主要考虑定位基站与 5G 分布式皮基站结合共同部署,定位基站复用 5G 皮基站的站址资源、供电资源和传输资源,同时结合边缘计算、大数据等领先技术,提供亚米级定位精度,满足智慧园区、交通枢纽、工业智能制造、大型展馆等室内场景下的各种定位业务需求。

5G 融合 UWB/蓝牙 AoA 定位方案定位基站连接 5G 智能室分的级联口,提供定位基站设备的供电,同时 UWB/蓝牙 AoA 基站的数据经过 5G 智能室分系统(BBU、PB 和 PRRU),最终传输到部署在 MEC 上定位解算服务。

该系统融合由硬件层、网络连接层、数据解算层和应用层四部分组成。5G 融合 UWB/ 蓝牙 AOA 定位融合方案组网架构如图所示:

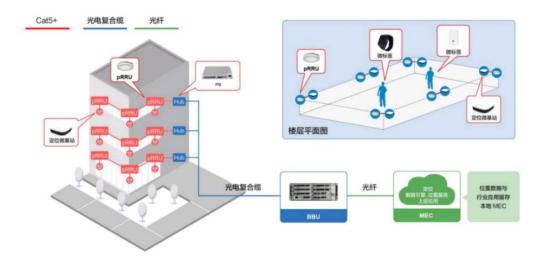


图 2-12 5G 融合 UWB/蓝牙 AOA 组网架构

## 2.5.3 高精度定位未来的发展方向

#### 2.5.3.1 多种定位技术相互融合

5G NR 一开始就提出了定位场景和需求,在 3GPP R16 中制定了室内 3m 室外 10m 级的定位标准,R17 会提出小于 30cm 的定位规格,只是实现的难度和芯片成熟度显著高于当前 UWB 实现。未来也可能将 UWB 具有的纳秒或皮秒级以下的极窄脉冲应用在 5G 或者 6G上,使其具备高精度定位的能力。

随着 5G 产业链的不断发展,未来可能在特定场景下使用特定定位技术,以延伸高精度定位的适用区域,降低用户整体覆盖成本,比如室内通过 UWB 定位,室外基于基站或者差分 GPS 定位。又比如:飞行时间和天线阵的结合,虽然还没看到商业产品,但一些芯片厂家已经在硬件上预留了能力,未来可以通过信号飞行时间和角度信息结合进行位置解算,比起仅适用飞行时间或者仅适用角度信息,定位系统的精度,抖动会变得更小,对环境和适应性变得更强。

#### 2.5.3.2 业务层上 GIS 技术和高精度定位结合

当前做高精度定位的厂商通常不具有地图技术,定位应用的前端界面简单依赖定位引擎的计算结果进行位置映射。在处理偶发的点位跳动,道路附着,轨迹美化方面有着先天的不足。参考室外 GPS 定位产业的发展方向,高精度定位产业后续的发展一定离不开室内高精地图技术的发展与融合。

#### 2.6 毫米波通信

## 2.6.1 5G 毫米波通信方案概述及关键技术点

#### 2.6.1.1 5G 毫米波通信方案概述

和中低频段相比,5G 毫米波具备多个突出优势。这些优势使得5G 毫米波备受业界关注,被认为是用户体验革命性提升和各行各业数字化转型的关键使能技术。也是行业现场网的迫切需求之一

5G 毫米波技术的最重要的优势,是频率资源丰富、带宽极大。5G 毫米波之所以受到重视,是因为其相较于 5G Sub-6 GHz 频段(FR1)具有更丰富的频谱资源(如图 1 所示),是 5G 网络提供千兆连接能力的主要方式,是实现 5G 最初愿景的有力保证。毫不夸张地说,要达到 5G 最高速率要求,就必须使用 5G 毫米波频段。

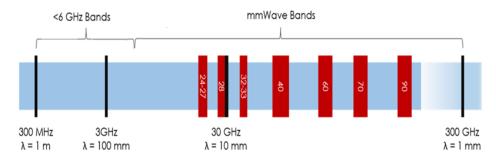


图 2-13 5G 毫米波频谱资源

5G 毫米波网络可轻易实现 Gbps 级别的峰值吞吐率。比如在 26 GHz 频段内分配连续 800MHz 频谱,采用四个单载波 200MHz 实现载波聚合传输(4\*200MHz),基于 3GPP

标准可用的信道宽度和调制方式,结合先进的天线设计和射频处理技术,在 DDDSU 帧结构下,5G 毫米波系统最高可获得13 Gbps 的峰值数据吞吐率。

#### 2.6.1.2 5G 毫米波通信方案关键技术点

#### 1) 大规模阵列天线技术结合

5G 毫米波的频段高、波长短,使得其在设计和部署上有空间优势,非常适合与大规模阵列天线技术(Massive MIMO)相结合,提升波束赋形增益,增强性能并降低干扰。大规模阵列天线技术通过波束赋形,利用信号叠加提高增益,可在单根天线功率很低的情况下,依然提供很好的信号质量。由于波长较短,5G 毫米波设备的天线阵列可在有限尺寸空间内放置更多天线阵子,特别是 5G 毫米波基站的天线阵子数量可以达到 256、512 甚至更多,因此无论上行下行均可获得极大波束赋形增益。

#### 2) 灵活的波束管理方案

波束管理方案包括波束搜索、波束跟踪以及波束切换等,使 5G 毫米波系统能在信号阻挡的情况下迅速捕捉新波束并动态地实施波束切换。

受益于大规模阵列天线和波束赋形技术,5G 毫米波信号通信距离大幅增强,可以用于短距传输和室内热点覆盖之外的更多场景。

## 2.6.2 5G 毫米波通信方案与运营商网络协同方式

5G 毫米波由于高频段带来的传播特性决定其不适合连续组网,因此必然会面临与 Sub-6 GHz 共存的问题,主要的问题是如何进行协同的网络规划和灵活的业务负载分担。目前的主流演进路线是 DC 和 CA。相对来讲 DC 的方式更易实现,终端支持难度稍低,而 CA 的方式效率更高,实现更深层级的协同。因此,如果是仅仅是增加容量的热点区域,使用 DC 就可以满足要求。面向长期演进,且对下行覆盖连续性有一定要求,可以考虑使用 CA 方案。

5G 毫米波与 Sub-6 GHz 的共存的另一个技术挑战是 5G 毫米波与 5G Sub-6 GHz 在载波聚合场景下的同步问题。由于通信器件的硬件差别,5G 毫米波与 5G Sub-6 GHz 载波的定时很容易出现误差,导致载波聚合系统的同步出现问题。目前,3GPP 标准已针对非同

步的载波聚合系统带来的问题进行优化。

另外,在 5G 通信系统中,5G 中低频和 5G 毫米波基站通常会出现同站共存,终端也会同时支持 5G 中低频和 5G 毫米波网络。不同系统共存的物理限制,比如空间限制,散热等,也是毫米波与 Sub-6 GHz 系统共存的技术挑战之一。比如, 5G 终端既需要支持 5G 网络上的毫米波信号,也需要支持 5G 中低频信号。然而,中低频信号传输较长波长, 与 5G 毫米波无法使用一个天线覆盖,因此,为了 5G 中低频和 5G 毫米波的共存,终端需要安装多组不同功能的天线。而如何放置 5G 天线,使其适合移动设备,平衡有限的物理空间和保证不同信号的覆盖需求,又不影响彼此的性能,成为新的设计挑战。

## 2.6.3 5G 毫米波通信方案应用简述

根据 3GPP TR 38.913 定义,与高频段应用相关的几个场景分别为:室内热点、密集城区、宏覆盖、高速铁路接入与回传以及卫星扩展到地面。国外当前应用比较成熟的是美国和韩国的热点覆盖和 FWA(固定无线接入)的应用方案。

#### 1) 典型热点应用场景



图 2-14 热点覆盖应用场景

## 2) FWA 应用场景

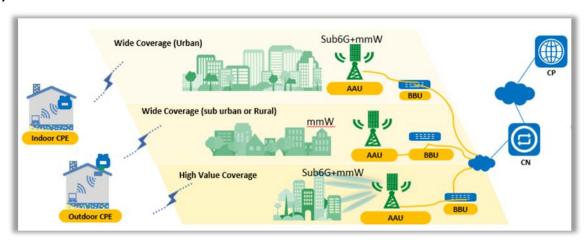


图 2-15 FWA 场景示意图

## 3) 企业园区专网

通过和边缘计算、人工智能等前沿技术结合,5G 毫米波在大带宽网络基础上叠加丰富多样的增值服务,可以为像园区、厂区、码头、港口等覆盖区域提供定制化的园区服务。



图 2-16 企业园区专网场景示意图



### 2.6.4 5G 毫米波通信方案未来的发展方向

未来 5G 毫米波的技术和产品演进主要有以下几个方向:

#### 1) 推动 5G 毫米波高频器件产业化发展

高频器件的能力指标决定了 5G 毫米波系统的设备能力和系统的功耗能效, 高频器件的产业化成熟度决定了 5G 毫米波系统的设备成本, 对未来的部署方案和落地应用产生重要影响。目前国际企业支持高频段射频器件和芯片的频段和种类比较完备, 技术成熟, 产业能力强, 而高频模拟器件与芯片是中国通信产业的短板, 适用于民用通信的器件材料工艺成熟度与全球领先企业存在较大差距, 需要产业界汇聚产学研用力量共同推进国内高频模拟器件的产业发展, 打造成熟的高频段射频器件与芯片产业链。

#### 2) 完善 5G 毫米波测试方案

5G 毫米波基站设备空中下载技术 (Over The Air, OTA)射频指标标准化趋于成熟的同时,指标测试方案的可行性、可靠性、准确性、成本和效率等都面临新的问题和挑战。测试场地成本、测试效率以及测试准确度等都是 OTA 测试方案需要考虑并给出解决方案的问题。目前行业内相关机构和厂商都在该围绕该技术方向进行探索研究,需要整个产业界从测试环境、仪表器件和算法设计等多方面共同努力,克服阻碍问题,推动 5G 毫米波基站 OTA 射频指标测试技术的突破与进展。

#### 3) 支持更高的频段

毫米波高频段拥有丰富的频谱资源,是满足未来大容量通信需求的必由之路。3GPP NR Rel-15 中定义的毫米波频段 FR2 上限为 52.6 GHz,目前 3GPP NR Rel-17 已经开展对 52.6 - 71 GHz 毫米波频段的通信研究,将优先考虑面向新扩展的 60 GHz 频段制定 5G NR 标准,而 60 GHz 近期已被世界无线电大会确定为部分国家和地区的国际移动通信(IMT)频段。在 3GPP NR Rel-18 及以后,首先会考虑支持 100 GHz 附近的毫米波频段,比如设计支持到 114.25 GHz 毫米波频段的空口特性。这些 5G 毫米波频段比现有 FR2 的毫米波频段更为丰富,所提供的峰值吞吐量会更高。预计未来 5G 毫米波的发展方向必将扩展到 100 GHz 以上,甚至达到 300 GHz 的毫米波频段。更高频段 5G 毫米波通信被认为会在很多方面带来

变革,比如移动数据分流、短距机器通信、宽带分发网络、IAB 组网、工业互联网、AR/VR、智能交通、数据中心无线连接等。与之同时,更高频段 5G 毫米波通信也会带来复杂的技术问题,比如更强的相位噪声、更严重的路损、更严重的空气吸收、更低的功放效率等,这些将是 5G 毫米波技术未来面临的挑战。

#### 4) 开展 5G 毫米波射频算法演进研究

面向未来 5G 毫米波系统进一步性能优化、功耗降低和能效提升等技术难题,除了推动和提升高频关键器件与芯片的产业能力之外,也需要开展关键射频算法的技术研究。研究方向包括针对大带宽信号的峰值因子消减算法,欠采样数字预失真算法,混合赋形架构下的数字预失真算法和多通道校准算法实现方案等。上述算法研究工作的开展和可行方案的开发实现,对于未来 5G 毫米波设备的网络部署和落地应用有重要意义,是下一阶段 5G 毫米波射频技术需要重点关注和研究的工作方向。

随着 5G 建设加速推进和应用终端日益丰富,5G 毫米波市场也将迎来广阔的发展空间。 总而言之,5G 未来图景让人倍感兴奋,更多 5G 创新正在孕育之中,5G 毫米波网络将赋能 未来十年及以后的持续性科技突破。

## 2.7 中低速通信

## 2.7.1 中低速物联网概述

中低速物联网是下行传输速率在 10Mbps 以内,上行传输速率在 5Mbps 以内的物联网连接。根据 Machina Research 预测,2025 年全球物联网连接数将达到 270 亿,中低速物联网有望占据蜂窝物联网总体连接规模的 90%,承载绝大部分物联网业务应用。为满足中低速物联网应用的发展需求,多种网络制式的物联网技术已经涌现,目前已广泛应用的既包括工作在授权频谱的 NB-IoT、Cat.1、eMTC等,也包括工作在非授权频谱的 BLE、ZigBee、LoRa 和 Sigfox 等。

其中,工作在非授权频谱的 Lora、Zigbee、BLE 等受限于覆盖有限,可以与运营商蜂 窝网络进一步协同,进一步满足那些需要远距离传输、通信数据量少、且需电池供电长久的 物联网应用。

#### 2.7.2 AFH 技术

AFH(Adaptive Frequency Hopping)即自适应跳频,其工作原理是通过设计信道选择算法建立信道质量分析机制进行频率的自适应控制,拒绝使用曾经用过但是传输不成功的跳频频率集中的频点,即实时去除跳频频率集中被干扰的频点,使跳频通信在无干扰的可使用的频点上进行,从而利用干扰躲避来提高系统的抗干扰能力,提高跳频通信中接收信号的质量。

AFH 实现过程为: 首先进行设备识别,确定通信双方的设备是否支持 AFH 模式。接着进行信道分类,按传输质量对信道进行分类,按信道的质量,把信道分成"好"信道与"坏"信道。接着进行分类信息交换,通过分类把信道分为好信道、坏信道、未用信道,然后把信道分类情况告知网络中的其他成员,并周期性地维护跳频集。最后完成自适应跳频,选择合适的跳频频率,避免输出频率与其他有干扰的频率相碰撞。

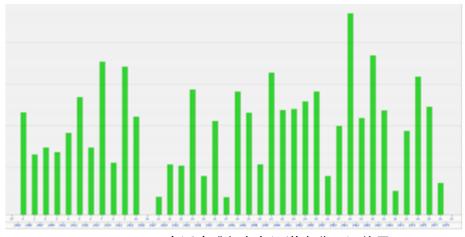


图 2-17 自适应跳频在各通道上分配通信量

## 2.7.3 低功耗功率控制技术

LEPC (low energy power control) 即低功耗功率控制技术, 其基本原理是根据当前链路影响接收端信号接收电平、发射功率/接收端灵敏度等变量指标, 建立功率动态控制的机

制,降低功率控制调节到期望目标电平的步长、时间等,以提高功率控制的反应速度和准确性。对接收器而言,只有信号强度落在一定的不太强也不太弱的区域,他的性能才能达到最佳状态。比如,不会因为信号太强而饱和,也不会因为信号太弱而产生解码错误。

在中低速近端网中,经常有新的通信建立或撤消,信道在不断变化,所以必须进行信道维护,周期性地重新对信道进行估计,当近端网络中工作设备较少时自动调整功率,以节省能量。例如,LoRaWAN 网络主设备通过速率自适应方案来控制数据传输速率和每一终端从设备的射频输出功率。而 BLE 5.2 中还规定了发射功率的动态控制机制,通过对接受信号强度指标 RSSI 的监控来通知发射方增加或减少发射功率,这对于在使用时设备之间的距离经常处于变化中的应用来说能够有效节省功耗。

### 2.7.4 时间同步技术

时间同步就是通过对网络设备本地时钟的协同操作,达到为分布式系统提供一个统一时间标度的过程。在 5G+中低速异构融合网络中,同步信道就是要解决近端网络设备因为本地时钟的计时速率、运行环境存在不一致性带来的局域网设备时间难以保持统一精准的问题。

同步信道可以实现多接收方同步获取数据机制,保证接收方收取的数据满足时效要求,也可以实现重复发送机制,定义发送方在允许的时间外丢弃数据,以提供有时间依赖的数据传输通道和传输策略。例如,在 BLE5.2 针对 LE Audio 数据流传输定义了低功耗音频同步机制,保证同一个组内的数据是同步的。其中,定义了 LE Isochronous Channels 以实现同一个 Group 内的数据是同步的,不同的 LE-CIS 组成 CIG(Connected Isochronous Groups),而同一个 CIG 内的 CIS 具有相同的时间戳。

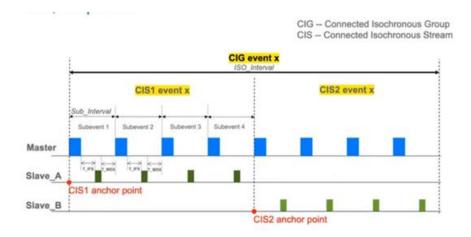


图 2-18 BLE5.2 的 LE Isochronous Channels

### 2.7.5 未来的发展方向

未来,中低速物联网近端网络与 5G 等运营商蜂窝网络有机会在可靠性、低功耗、数据同步等方面加强协同,进一步提高中低速网络的远距离传输能力。

具体来说,可靠性方面,中低速物联网近端网络往往工作在 868M、915 M、2.4G 等 ISM 频段,与运营商授权频谱不可避免的存在干扰问题,利用中低速物联网技术普遍具备的 HFSS、CSS 等跳频技术能有效避开蜂窝网络的邻近工作频段,解决近端网络与 5G 等运营商蜂窝网络共存问题。此外,快跳频和短分组技术有机会共享空闲资源的分组调度,提高中低速网络的可靠性。低功耗方面,通过加强跨设备域的链路功率预算及功率控制机制,进一步降低近端物联网设备在网络交互过程中不必要的功耗开销。时间同步方面,同步信道可提供有时间依赖的数据的传输通道和传输策略,解决近端网络与 5G 等运营商蜂窝网络保持收发时间同步的问题,确保系统的发送不影响其他系统的接收。

## 2.8 行业现场网数字孪生

## 2.8.1 行业现场网数字孪生的意义

行业现场网应用场景复杂,普遍存在网络异构化、定制化现象,传统网管系统和代维团 队无法满足行业网的运维和管理需求。依托数字孪生技术可在行业网交付、管理、运维和优

化等阶段提供差异化服务,实现低成本试错、高质量运维和智能辅助决策,改善用户体验。 运营商需尽快转变网络运维思路,由传统的大网维护向异构现场网的运维管理演进,通过数 字孪生技术手段提供以客户和业务为核心的可视化、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维管理体系。

#### 1) 解决行业网异构网络复杂问题

行业网络面对多样化的应用场景和多元化终端形态,组网方案和配置方案定制化程度高,网络架构复杂:一是网络架构多样,优专尊 5G 行业专网与短距/无源/毫米波等现场网融合组网,网络拓扑复杂。二是定制化配置,网络切片、频率、服务质量(Quality of Service,QoS)和子帧配比等参数依据业务按需配置,定制化程度高。三是网络模块虚拟化,网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)、微服务架构带来网络模块分层解耦,网元模块数量多,故障的定位定界难度大。

#### 2) 解决行业客户对网络诉求增多问题

网络是行业客户实现信息化的生命线,客户需要有途径随时感知网络质量,网络故障发生时得到及时响应。一是网络感知: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。二是服务级别协议(Service Level Agreement, SLA)保障:行业场景众多,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。三是故障响应:网络故障发生时第一时间通知运维人员,排障过程可实时追踪,进一步实现故障预测防患于未然。

#### 3) 解决传统运维模式不再适用问题

传统烟囱式的运维团队和非自动化的流程模式无法满足行业网运维要求。一是运维系统割裂:运维系统间各自独立,数据隔离,故障排查和定位困难。二是被动式运维:故障发生后从投诉到现场排查周期长,既往大网运维经验难以应对 5G 行业网新问题,故障处理耗时长。三是自动化程度低:缺乏自动化运维手段和工具,运维过程中人工参与环节多,运维效率低、人力成本高。

#### 2.8.2 行业现场网数字孪生技术构成

针对行业现场异构网络管理难、网络运维效率低等问题,基于行业现场网的网络、设备、应用特点,构建"端-边-管-云"一体化的行业现场网数字孪生系统架构,制定基于数字孪生技术的行业现场网综合服务解决方案,提升面向行业应用的网络运维管理和服务能力。行业现场网数字孪生系统主要有 4 大类技术构成:

#### 1) 基于业务质量探针的数据采集

面向行业现场网业务部署和网络精细化运维需求,通过端侧探针提供设备状态、网络覆盖、业务质量等关键信息的监测、分析和告警服务,有效开展的行业现场网 SLA 保障。

#### 2) 行业现场网信息模型构建

一是标识体系:网络物理对象的标识编码和标识解析技术,将异构标识的物理对象描述信息映射到统一的信息模型,支撑数字化信息模型构建。二是信息模型:对行业现场网基础设施的数字化定义及设备间逻辑关系的描述,实现对工厂各个区域的无线、有线网络设备的统一管理。

### 3) 模型与数据融合的智能运维

基于 AI 技术对行业现场网数字孪生信息模型与数据进行深度融合,实现高效、智能的网络监控、运维分析、和资源调配和配置优化,保障网络系统有序运行和管理。

#### 4) 三维可视化

提供三维可视化展示界面,集成各类图表,方便客户掌握网络拓扑结构、网络性能数据、 网络故障信息等。

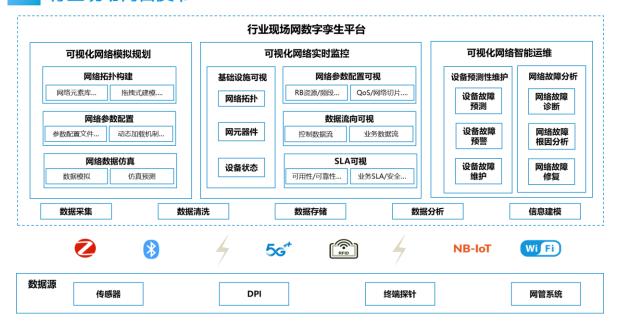


图 2-19 行业现场网数字孪生架构

## 3. 行业现场网典型应用场景

## 3.1 工程机械制造

工程机械制造是我国制造业中一个重要的分支,工程机械装备可以直接影响国家基础建设的效率及质量,但受限于场景复杂度及网络技术,当前制造流程中人工占比仍然较大,而现场网技术的引进,可以深入传统网络无法触及的场景,推动智能化的机械制造。

以模具管理为例,模具是制造企业主要的生产资源,需频繁记录模具上机时间、成型周期、开合模次数、异常停机时间等重要信息,但传统的模具盘点由资产管理员实施,采用人工寻找和手工记录的方式,耗费时间及人力,且人工统计可能造成数据缺漏或误差,在后期反馈时会干扰管理层对真实产能、操作流程、人员绩效等多方面的判断,乃至整个企业的战略决策。传统模具管理模式还存在效率过低的问题,管理人员仅能对当前信息进行记录,模具使用总次数、保质期等信息更新滞后,导致未来的生产质量存在隐患。

机械制造园区中,金属设备较多导致信号损耗严重,5G 信号在复杂地形仅能覆盖 200 至 300 米,且因其造假昂贵,无法对每个模具部署 5G 终端,传统网络虽然损耗较小但无法

支撑上万台模具设备的大范围连接,而 RFID 每个标签仅 0.3 美分,在同等部署密度下可以有效降低成本。同时,无源 RFID 标签依靠读写器发出的射频信号激励供电,可以支持十年超长待机,避免因更换电池导致的网络后期维护成本,无源、轻量化的特性也可支持 RFID 标签即贴即用,快速部署。 模具管理所需的数据对时延和带宽要求较低,5G、蓝牙、Wi-Fi 等网络的性能参数远高于需求,造成资源浪费,且此类网络基站功耗较高,会提高后期运营的电力成本。

现有无源 RFID 技术已可满足大部分应用需求,但因其采用激励和通信一体化的方式,导致 RFID 标签在上下行时需要读写器近距离供电,大部分情况下仍需人工手持读写器扫码,距离远时标签上行信噪比低,导致读写器无法解调标签信号。因此,一种新型无源 RFID 技术被提出,以打破传统 RFID 技术通信距离过近的制约。新型 RFID 技术将读写器拆分成 Helper 和 Receiver,实现激励和通信分离,避免收发信号干扰对消,且 Helper 可提升标签的激励距离至 50 米、通信距离至 200 米。工厂可将 Helper 部署在厂区顶部,通过 receiver 下达指令使其定时发送激励信号至 RFID 标签,标签受激励后会立刻反馈载有模具数据的信号至 receiver,通过此方式 receiver 可周期性读取并刷新模具当前位置、合模次数、成形周期、使用物料和产品等信息,完全取代人工扫码,且 Receiver 控制 Helper 之间时频调度资源,可高密度连续组网。

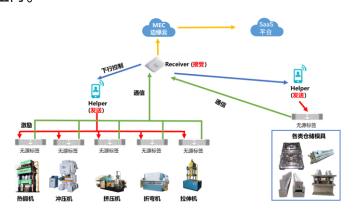


图 3-1 RFID 模具管理架构

新型 RFID 技术还可与 CPE 结合,以 CPE 作为有源中转节点进一步延伸通信距离。通过 RFID 标签上报核心数据至边缘云,可满足制造产区业务与数据的本地化处理和安全要求,且数据上云有效打通整个生产线、各车间、各厂之间的数据隔阂,形成统一资产管理 SaaS 平台,实现模具从购置、使用、维修、报废及其处置等全生命周期的管理,解决了现有管理

模式下的诸多管理盲点,有效增大投资边际效益和提高资产使用率,减少无谓的设备投资和闲置浪费、保障资产状况 100%受控。

### 3.2 矿山行业

采矿业在我国国民经济中占有重要地位,2018年采矿业的年产值超过6万亿元,占全国GDP的7%,是我国产业中主要的行业大类。伴随着通信技术和新一代物联网技术的发展,为矿山行业赋予智能化信息采集、传输、控制提供了基础,依靠行业现场网的相关技术能力支撑,满足为矿山行业应用场景的不同需求。

在矿山应用架构中,行业现场网在矿山现场网中发挥了重要作用,行业现场网是指在的在行业园区内最后的网络部分,贯穿整个网络层。面向矿山的行业现场网采用分布式、多层体系架构,自顶向下分为展示层、应用层、平台层、网络层、接入层,共计五层,如下图所示,现存的智慧矿山数字孪生平台均是以此架构为参考进行设计。



图 3-2 矿山现场网架构

在矿山行业方面,矿山开采流程根据开采方式的不同,可分为露天开采和井下开采两种作业方式,在这两种开采作业中的应用场景、业务需求、网络要求与行业现场网结合点均不相同。以井下开采业务应用场景中的无人化采掘为例,无人化采掘是通过在采矿机械上安装远程操控系统、监控设备和感知设备,通过控制台实现对机械设备的实现远程操作控制。矿山行业的远程控制设备包括但不仅限于刮板输送机、转载机、破碎机控制系统、前进作业面

掘进机等。当前的井下开采作业过程,还是严重依赖人工操作,且人力主要集中在掘进机、输送带、井下气体传感器数据查看作业上,由于作业时粉尘非常多,有害气体多,环境恶劣、危险性大,导致企业管理困难、成本高、风险大、效率低等一系列问题,亟需低时延、高可靠、大范围连接的无人远程操控设备技术代替现场人工操作,助力矿企安全高效生产。

在通信方面,目前井下的通信方式相对落后,均采用有线的方式传递信息。大量的视频 监控设备和传感器安装在工作面的液压支架上,线缆多且杂,由于井下环境复杂,并且通信 大多是采用光纤、动力线缆载波技术,使用过程中容易造成线缆破损,数据中断,从而导致 运维工作量大。除此之外,工业 Wi-Fi、3G/4G 等无线通信手段无法达到矿山行业应用的要 求,比如工业 Wi-Fi 和井下的蓝牙、Zigbee 等处于同一频段,在远程操作设备时容易被干扰, 而使用 5G 的网络切片技术可以有效地保障远程操作业务隔离。最终实现将操作人员从危险 的地下作业场所解放出来,实现矿山作业流程的远程安全操控。根据矿山业务场景的不同梳 理出对行业现场网的不同的业务需求,比如传感器信息采集类业务需要有高的可靠性和较大 的带宽,对时延和上下行速率并不敏感,然而在远程控制类应用场景中,是需要具有极高的 可靠性,超低时延,在井下视频监控和井下通信类时则需要大的带宽和较高的上下行速率。

行业现场网作为区域性网络的最后一步,为采矿业的智慧化发展提供保障。未来面向矿山的现场网的 SLA 分级能够满足可靠性的要求,通过多种定位方式协同实现现场的厘米级精准定位。但是我们也看到在采矿业上的发展还有诸多的限制,例如通信设备的 5G 隔爆和本安认证,通信功率的限制、无线网络的可靠性和确定性传输等问题,仍然在通信技术中进行技术突破。

## 3.3 电力行业

## 3.3.1 场景描述及业务需求

电力领域中涉及确定性网络需求的典型现场网应用场景为配网差动保护。为了提高电力供电的可靠性,要求高可靠性供电区域能够实现电力不间断持续供电,将事故隔离时间缩短至毫秒级,实现区域不停电服务。配网差动保护将原来主站的处理逻辑分布式下沉到智能配

电化终端,通过各终端间的对等通信,实现智能判断、分析、故障定位、故障隔离以及非故障区域供电恢复等操作,从而实现故障处理过程的全自动进行,最大可能地减少故障停电时间和范围,使配网故障处理时间从分钟级提高到秒级甚至毫秒级。

配网差动保护基本原理:配电自动化终端 DTU (Distribution Terminal Unit)定期给同一条配网线路上的其它终端发送电流矢量值,DTU 终端通过比较两端或多端同时刻的电流矢量值,当电流差值超过门限值时判定为故障发生,并就地执行对应的差动保护动作;每一个保护终端都通过通信通道将本端的电气测量数据发送给对端,同时接收对端发送的数据并加以比较,判断故障位置是否在保护范围内,并决定是否启动将故障切除。

上行带宽	下行带宽	E2E 通信时延	授时精度	通信频次	连接数	安全隔离	可靠性	其他需求
						区		
2.5Mbps	≽	≤15ms	10us	0.833ms	10-100个	安全生产	99.999	支持基于
	10Mbps	(注2)		(注3)	/km2	Ι区	%	MAC 的层 2
	(注1)							和基于 IP 的
								层3组播

表 3-1 配网差动保护对通信网络的技术要求

注 1: 下行带宽取决于每条配网线路中的 DTU 数量。由于每条配网线路中的 DTU 都采用组播方式进行通信,因此假设该配网线路中有 N 个 DTU 终端,则每个终端接收组播消息的下行带宽需求为(N-1)\*2.5Mbps,按照工程经验值这里建议≥10Mbps(即 N>5)。

注 2: 取决于电网要求的时延冗余度不同, E2E 通信时延要求为 15~20ms。电网一般要求通信时延尽可能小,给电力设备冗余的时延尽可能多,因此这里取 15ms。

注 3: 配网差动保护的通信频次可配置,这里按照工程经验值,按照每工频周期(50HZ,即 20ms)内采样 24 次进行计算,得到消息包发送间隔为 0.833ms。

### 3.3.2 现状及问题

由于差动保护对于 E2E 通信时延的要求较高,此前只有光纤通信方可满足要求。根据 IEC61850 协议规定,光纤通信的 E2E 通信时延要求≤10ms,可以完全满足差动保护对通

信时延的要求。但光纤通信的部署成本高、工程周期长、特殊地形覆盖难等问题,决定了此前差动保护业务只在电力主网进行了大规模部署,而针对点多面广的配网场景,基于光纤通信的差动保护只在小范围内进行了少量试点验证,远未达到规模部署阶段。

2018年以来,随着南方电网、国家电网等 5G+智能电网试点示范项目的推进,基于 5G 无线接入的配网差动保护试点验证开始提上日程。5G 原生的超大带宽、超低时延超高可靠性 以及海量接入特性,结合 5G 特有的网络切片、MEC 边缘计算等差异化解决方案,为点多面 广、全程全域覆盖的配用电网提供了泛在、灵活、安全、可靠、低成本的通信解决方案,可 以更好的匹配电网行业数字化需求。为了适配 5G 无线接入网络天生的时延不确定性配电自 动化 DTU 终端上内置的分布式处理软件,采用了增加消息包时间戳、加大消息包接收缓存区、提供 survival time 消息丢包重传保护机制等方式进行容错处理,以牺牲业务处理性能、增加终端成本为代价,在一定程度上降低了对 5G 网络时延抖动的敏感度和依赖性。

### 3.3.3 演进方式

5G 确定性网络基于移动网络,为特定应用提供确定性传输性能,即有界的时延和低抖动,极高的可靠性,以及端到端高精度的时间同步,从而真正实现从"应用适配网络"到"网络适配应用"的转变。

#### 1) 有界的时延和低抖动

5G 系统(5GS)采用黑盒方案与 TSN 系统集成,管理逻辑交换节点,实现应用层的确定性需求向 5G QoS 模型的映射;同时用户面通过为 TSN 流预留缓存和带宽资源,同时增强转发调度机制、保障 TSN 流确定性传输、消除无线网络的传输抖动。

#### 2) 极高的可靠性

通过 E2E 冗余路径, 提供高可靠传输。



图 3-3 高可靠路径传输

#### 3) 端到端高精度时间同步

差动保护的差流计算需要两侧同一时刻的电流采样值比较计算,依赖乒乓原理进行采样同步,要求收发时延一致。5GS 作为 802.1AS 中定义的透明时钟方案向下游设备同步 TSN时钟,支持时间戳机制、多时钟域最优时钟源选择、TSN 域与 5G 域时钟偏移确定、时钟同步帧信息校准等功能,从而提供 us 级高精时钟同步授时功能。

需要注意的是,3GPP R16 定义的 5G TSN 是将整个 5GS 作为 TSN 系统的黑盒交换机, 采用桥接模式,需要上游 TSN 系统提供对应的 TSN 策略(如 TSN 流转发及调度规则)和时钟源输入,因此对于尚无商用 TSN 网络部署的电力行业而言并不适用。因此,我们建议采用 3GPP R17 计划研究的非 TSN 系统场景,即由 5GS 独立能够实现的 5G TSN 技术和解决方案。

### 3.4 钢铁行业

我国是钢铁生产第一大国,国家对钢铁行业数字化高度重视,十四五规划中对钢铁行业的依托新型信息技术进行数字化转型提出了明确的要求。但受限于钢铁生产流程、网络技术高度复杂,当前钢铁生产全流程中仍高度依赖人工,引入现场网技术可以拓展钢铁生产设备的连接,实现高可靠实时监测、智能分析,推动钢铁行业数字化、网络化、智能化转型。

在钢铁中产工序中,炼铁工序是钢铁冶炼过程工艺复杂度较高的环节,且钢铁企业主要成本源于炼铁,传统的炼铁工序自动化水平不高,工艺操作主要依靠人工经验,工序协同能力、生产稳定性和成本控制力不足,钢铁企业可通过炼铁工艺技术与 5G、大数据、云计算等技术的深度融合和创新应用,实现铁区生产过程以经济技术指标全面优化为目标的自动化、无人化和智能化,全面提升生产效率,减少潜在的安全生产危害。

在炼铁工序中,焦化四大车(装煤车、推焦车、拦焦车、电机车)是核心的大型移动设备,焦炉车辆的远程控制,中控室远程监控、无人干预的情况下使车辆自动、稳定运行,主要依靠自动定位系统、无线通信系统、地面协调系统、安全控制系统、远程监控系统等信息化系统的辅助,满足生产过程中需协同作业的需求。为保障焦炉四车被远程控制、自动定位、地面协调、安全控制等场景,主要有如下需求:

#### 1) 高精度定位

机车定位精度需满足静态定位精度±2mm,动态定位精度±5mm,保障车辆位置精度才能实现远程操控精准判断机车位置、协同作业无偏差。目前 5G 只能达到 5-10 米,无法满足行业需求。5G 融合高精度室内 UWB、蓝牙 AoA 等室内定位方案、5G 融合差分 GPS 定位等室外定位方案可满足焦化四车毫米级定位的需求。

#### 2) D2D 通信

设备间需实现无人干预下车辆自动、稳定、协同作业,设备间需实现 D2D 通信,服务等级需得到高保障,且时延需达到微秒级。但由于厂区封闭、有遮挡,5G 现阶段无法直接实现稳定、低时延、可靠的 D2D 通信,基于新型短距通信的全新的无线空口设计,5G+新型短距可支持超低时延、高可靠、精同步、高并发、高效率和高安全等,满足四大车协同作业场景下确定性服务质量保障业务的需求。

#### 3) 确定性网络:

四大车联锁系统能对联锁条件实时检测和判断,使设备发生故障或紧急条件下安全停车,对网络传输时延、确定性网络保障有极高需求。 5G 确定性网络基于移动网络,可为焦化四车安全控制系统提供确定性传输性能,包括有界的时延和低抖动,极高的可靠性,以及端到端高精度的时间同步,实现 5G 确定性网络适配安全控制场景。

#### 3.5 智慧楼宇

智慧楼宇是将建筑、通信、计算机和控制等技术相互融合,合理集成为最优化的整体, 是能够适应信息化社会发展需求的现代化新型建筑。随着物联网技术的不断发展,借助物联 网技术提升智慧楼宇的建设水平也成为未来发展的必然趋势。

停车管理是智慧楼宇的典型场景之一,通过快速、精准识别车辆信息,有效控制车辆进出;通过统计剩余车位数量、位置并快速进行车辆定位,辅助停车场管理员和车主实时了解停车信息,解决传统停车找车的烦恼。

然而,目前多数楼宇的停车管理水平较低,仍采用传统基于 IC 卡、视频识别或地磁的方式实现出入控制和车位监测。IC 卡是通过非接触式 IC 卡关联车辆的车牌号,实现车辆信息统

计。但在停车取车过程中,用户需多次刷卡,操作流程较复杂,且存在漏刷等问题。视频识别通过摄像机识别并记录车牌,实现出入管理和车位监测,但视频设备造价高、易受环境和拍摄角度影响,且在停车场内,一个摄像头往往要覆盖多个车位,对于视觉死角和多个车辆同时进出车位则难以应对。而地磁只能检测车位是否有车辆占据,无法获知车辆信息,且监测精度低,存在强磁干扰、相邻车位误检、地磁漂移等问题,对于高底盘的车辆也难以检测。

智慧楼宇停车管理应用场景对行业现场网有较强需求,例如,车位检测对定位精度要求较高,且对网络的可靠性、时延和边缘计算能力都有一定要求。同时,考虑改造成本、施工难度、车位数量等影响因素,需要网络具备较强的部署灵活性,支持较大连接密度等。借助行业现场网无源 RFID 技术的身份识别、精准定位的能力,可实现智慧楼宇的车辆进出管理和高效车位监测,解决智慧楼宇停车难、管理难等业务痛点。基于通信激励分离的新型无源通信技术实现智慧楼宇停车管理(如图 XX 所示),可利用无源 RFID 标签作为车辆识别、信息传输的设备,利用普通的移动终端作为激励设备,利用室内蜂窝小基站作为通信接收设备,实现空间隔离避免干扰,理论通信距离可达 100 米,提升信息传输效率。同时,基于无源 RFID 的行业现场网技术也能极大降低设备成本,并借助 RFID 的定位能力,提高停车场内停车导航、反向寻车中的定位精度,整个过程无需用户多次刷卡,极大的提高停车管理效率。

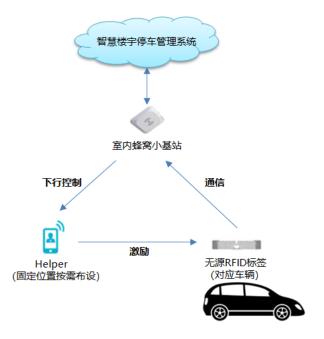


图 3-4 基于无源 RFID 技术的智慧楼宇停车管理

除停车管理外,行业现场网也能为智慧楼宇的资产管理、人员管理、楼宇节能等典型应用提供网络能力保障,满足多样化网络需求,提升智慧楼宇的精细化、智能化运营管控能力。

### 3.6 智慧港口

### 3.6.1 智慧港口需求

智慧型港口是现代港口发展的必然趋势,其主要目标是充分利用物联网、传感网、云计算、决策分析优化等技术手段,对港口供应链各核心环节的关键信息进行预测感知、广泛联接、深度计算,实现港口供应链上各种资源及各参与方之间的无缝连接和协调联动,及时响应港口管理,形成数字化、信息化、智能化的现代港口应用。要实现智能港口的需求,需要通过各种信息通信技术、传感定位技术,对港口码头信息、物流设备、堆场仓储作业、货运等物流信息进行有效的处理、整合和数据挖掘。

## 3.6.2 智慧港口面临的问题

GNSS(全球卫星导航系统)是一种在户外良好的观测环境下获得良好定位效果的导航系统,在GNSS增强系统的应用中,它可以为港口码头作业提供精确的定位服务,但是GNSS卫星信号很容易被建筑物遮挡和折射,从而导致观测卫星数量减少或产生多路径效应,GNSS定位技术不能满足室内外一体化无缝定位的要求。

## 3.6.3 解决方案思路

超宽带(UWB)技术信号具有传输速率高、功率小、分辨率高、抗干扰能力强和定位精度高等特点,能够满足室内定位连接点的无缝定位要求,能有效解决 GNSS 信号在被遮挡的情况下的定位问题。

综合定位系统把 GPS 和 UWB 定位技术结合起来,需要一个既能接收 GNSS 卫星信号 又能发送 UWB 脉冲的移动定位终端。在组合定位系统中,GNSS 差分基准站向终端发送误 差修正信号,终端对接接收到的 GNSS 数据进行修正,从而获得更精确的实时定位数据。定

位系统总服务器收到误差修正信号,然后采用 TDOA 法差分法对定位终端进行 UWB 信号处理,并通过同步控制器将信号传送到定位系统总服务器,得到终端的实际相对位置。UWB 和GNSS 的联合定位系统如图所示。

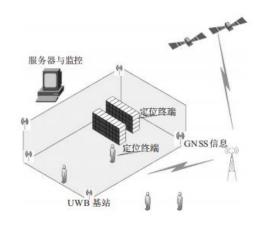


图 3-5 UWB 和 GNSS 组合定位系统示意图

在 UWB 与 GNSS 联合定位时, 要求:

对于 GNSS 与 UWB 的时间保持一致,并能利用服务器实现时间同步控制。此外,由于 GNSS 和 UWB 采样率的不同,在静态和慢速场景下,它的观测时间可以采用插值法进行采 样统一,而在动态场景下,就可以通过对定位数据用时间戳的方式进行统一。

对于 GNSS 和 UWB 的坐标统一,可以在实际的应用场景中完成。港口集装箱区定位时,由静态堆场测量得到堆场平面,利用码头作业系统中的集装箱堆场信息,可计算出各箱位的精确平面坐标位置,并与 UWB 定位基站相结合,进行映射。该 GNSS 坐标系由大地坐标转换为平面直角坐标系,实现了坐标的统一。

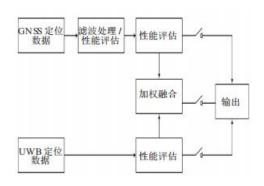


图 3-6 UWB 和 GNSS 组合定位数据处理过程

上图显示了 UWB 和 GNSS 联合定位的数据处理过程。在将 GPS 定位数据与 UWB 定

位数据融合时,由于两者的刷新率不同,或者遇到只有一种定位方法的情况下,定位系统总服务器可能会出现三种定位数据形式:只有 UWB 定位数据,只有 GPS 定位数据,UWB 和 GPS 两种数据都存在。所以在系统运行中需要分别进行数据鉴别,即对 GNSS 定位数据进行滤波处理,然后根据几何定位因子进行性能评估;UWB 数据则需要经过误差判别评估,然后利用加权融合算法实现不同状态下的数据融合。在 GNSS 和 UWB 的实时数据基础上,利用最优估计理论中的离散卡尔曼滤波算法出发,选取最优加权系数,对数据进行融合。

### 3.6.4 港口行业现场网解决方案前景

5G+行业现场网协同方案将有助于现场网络融合,赋予运营商深入行业现场手段,通过运用多种网络融合技术,构建多源行业互联网网络架构,实现不同网络制式的紧密融合和灵活管理,满足工业、交通等现场传感、数据、定位、控制、管理等多样需求。上述场景即是通过 GNSS 与 UWB 技术的融合,实时获取人员和设备在港口区域的精确位置,加强对人员、设备以及堆场资产的管理,降低工作人员"三违"作业造成的安全隐患,提高管理水平,增加企业效益。

## 3.7 医疗养老

医院资产类型众多,人流密集。针对人员和资产管理程序繁复。对于人员,主要需要实现对病人身份和病例获取、母婴身份确认与定位追踪。;对于资产,主要需要实现定位、轨迹追踪,设备状态监控等功能。受限于场景复杂度及网络技术,当前医院管理中人工占比仍然较大,而现场网技术的引进,可以深入传统网络无法触及的场景,推动智慧医院服务。

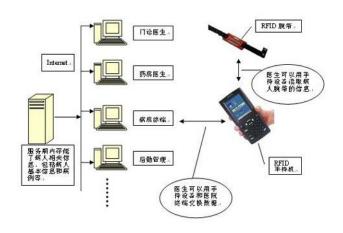


图 3-7 基于 RFID 的病患信息管理系统示意图

在医疗监护方面,当遇到突发事件,面对必须及时施救的病人时,医生和护士必须先寻找该病人病例,查看病人病史以及药物过敏史等重要信息,才能够针对情况进行及时施救。在这种情况下每分秒都显得极为珍贵,而且也容不得半点差错。确定病人身份、查找病历的时间过长,可能会耽误抢救病人的最佳时机。传统的人工登记不仅速度缓慢而且错误率也很高,对于危重病人根本无法正常登记。为了能对病人进行快速身份识别,完成入院登记并有效的进行急救工作,医务部门迫切需要一套能实时提供伤员身份和病情信息的自动识别系统,只有这样,医院工作人员才能高效、准确并且有序地进行抢救工作。 RFID 技术可以有效地解决这类问题。每位住院的病人都将佩戴一个采用 RFID 技术的腕带,这里存储了病人的相关信息,包括基本个人资料以及药物过敏史等重要的信息,更多更详细的信息可以通过 RFID 电子标签上的电子编码对应到数据库中。通过一条简单的 RFID 智能腕带,医护人员就可以随时随地掌握每一位病人的准确信息,例如:病人是否对某种药物过敏,本日的针剂用量,患者的药物服用情况等监控信息,大大提高了医院管理病人的效率。

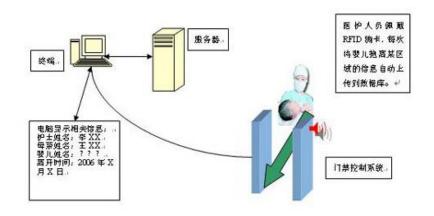


图 3-8 基于 RFID 的母婴管理系统示意图

在母婴管理方面,新生婴儿由于特征相似,而且理解和表达能力欠缺,如果不加以有效的标识往往会造成错误识别,结果给各方带来无可挽回的巨大影响。因此,对新生儿的标识除了必须实现病人标识的功能之外,同时,母亲与婴儿应该是一对匹配,单独对婴儿进行标识存在管理漏洞,无法杜绝恶意的人为调换。因此,需对新生婴儿及其母亲进行双方关联标签,用同一编码等手段将亲生母子信息关联起来。在医院工作人员和母亲之间进行婴儿看护,临时转院时,双方应该同时进行检查工作确保正确的母子配对。婴儿出生后应立即在产房内进行母亲和婴儿的标识工作,在其他病人被送入产房之前母亲及婴儿都应被转移出产房。产房须准备两条不可转移的 RFID 标识带,分别用于母亲及新生儿。标识带上的信息应该是一样的,包括母亲全名和标识带编号,婴儿性别,出生的日期和时间以及其他医院认为能够清楚匹配亲生母子的内容。 能够清楚采取婴儿足印和母亲手指印的设备。 适当的表格记录相关信息和足印资料。标识之余,还能够充分保障标识对象的安全。当有人企图将新生儿偷出医院病房时,RFID 识别设备能够实时监测到而发出警报,并通知保安人员被盗婴儿的最新位置。

在医院资产管理方面,一方面,RFID 技术来跟踪手术器械和其他物品,以此通过减少手动计数工作来节省时间,确保每个物品被适当灭菌来降低感染的风险,以及更好的管理库存。另一方面,护士和医生每周浪费时间寻找设备。通过将 RFID 标签连接到轮椅、床、IV 泵和其他物品,医院可以对其定位并改进资产利用率。这为护理人员节省了时间,并能帮助医院通过更准确的资产计数来避免不必要的资产浪费,即节省时间又节省资本。

此外,在机构养老方面,失智老人走失是一大痛点。失智老人由于缺乏独立生存能力,

走失后一旦错过黄金救援期,很难进行及时治疗。针对这一问题,养老行业曾经做过一系列的探索,例如采用智能手环对老人定位追踪。然而,由于老人不喜欢可穿戴设备的拘束感,且时常忘记佩戴,效果不好。现场网技术的引入,可以通过 RFID 标签与老人衣服的结合,依靠读写器发出的射频信号激励供电,支持十年超长待机。无源、轻量化的特性也可支持 RFID 标签即贴即用,快速部署,方便使用。

## 4. 行业现场网技术与产业发展展望

面向各垂直行业多样化的场景需求,当前网络技术的时延、供电、成本、带宽、可靠性等方面无法在应用场景中同时保证最优解,行业现场网技术可以作为现有网络的延伸,弥补当前网络的不足,构建完善的行业网络。中国移动将以自身网络能力结合行业特点,实现网随业动,以行业现场需求为基础打造"4 PRO 行业现场网方案体系"。

#### 端边协同 超低时延 端侧智能 现场级边缘 现场级网络 无源短距 Edge Network 精准定位 质量探针 行业现场级方案 **Pro Solution** 终端形态 现场级管理 现场级终端 数字孪生 终端技术 NLM **Terminal** 终端测评

4 PRO 行业现场级技术体系

图 4-1 4PRO 行业现场网方案体系

Proximity Productive Professional Prominent

4Pro 行业现场网体系由现场级边缘、现场级网络、现场级管理、现场级终端构成:

#### 1) Edge

行业现场边缘体系主要包含端边协同、轻量部署、数据安全等,技术方向,行业现场中存在大量异构终端,端边协同技术通过对设备进行抽象,屏蔽设备的硬件差异,将接入协议不同、数据格式不同的设备进行统一接入、统一调度,实现行业现场网对现场设备的统一管理。行业现场网是现有网络的延伸,使得原有部署在网络边缘侧的业务有了进一步下沉至现场设备上的可能性,轻量部署技术通过采用轻量级的虚拟化容器,为业务在现场设备上的部署提供运行环境。随着 5G 与行业现场网的融合,以 UPF 下沉为特点的 5G 专网将在行业现场网中大量应用,部署在用户侧的 UPF 将数据分流至边缘计算平台进行处理,使得用户侧数据不出场,最大限度的保证了数据安全。

#### 2) Network

行业现场网络体系主要包含超低时延、无源短距、精准定位等技术方向,其中超低时延将结合现场网新型短距通信技术及 TSN 等高可靠通信技术解决设备远程无线控制的应用难题,而新型无源通信技术及精准定位技术将解决资产管理及设备定位的问题。各功能联合工作,共同支撑工业现场各网络需求的满足,实现工业现场人员、设备、物资的全生产流程管控,将信息化的触角深入到工业生产的最底层。

#### 3) NLM

行业现场管理体系主要包以含数字孪生为核心的可管可控的智能运维能力,行业现场网场景复杂,普遍存在网络异构、定制化现象,而客户对网络诉求逐渐增多,传统烟囱式的运维团队和非自动化的流程模式渐渐无法满足行业现场网运维要求。故未来需研究行业现场网的数字孪生信息建模及智能运维等技术,并研发行业现场网数字孪生平台旨在实现行业现场网的可视、可管、可控,从而降低驻场运维成本,提升运维管理效率。

#### 4) Terminal:

行业现场终端体系主要包含端侧智能、行业终端、质量探针等技术方向,向行业客户的 5G/物联网业务部署和运维需求,专门的行业终端及端侧智能将助力传统业务场景的 5G 渗透及信息化、智能化升级,满足终端形态、终端业务的多样化要求。而通过部署在 5G 网关或 模组的物联网业务质量探针 SDK,提供现场级设备状态/网络覆盖/业务质量等关键信息的监

测、分析和告警服务,有效提升端侧价值,为行业现场网数字孪生运维平台提供有效的信息来源。

## 5. 缩略语

2B 对企业业务(To Business)

5G 第 5 代通信技术 (The Fifth-Generation)

AFH 自适应跳频 (Adaptive Frequency Hopping)

AGV 无人导航小车(Automated Guided Vehicle)

AoA 到达角度定位(Angle of Arrival)

BBU 室内基带处理单元(Building Base band Unite)

BIM 建筑信息模型(Building Information Modeling)

CIG 同步连接组(Connected Isochronous Groups)

CNC 数控车床(Computerized Numerical Control)

DEM 数字高程模型(Digital Elevation Model)

DOM 数字正射影像(Digital Orthophoto Map)

DTU 分布式终端(Distribution Terminal Unit)

eMTC 基于 LTE 演进的物联网技术(LTE enhanced MTO)

GIS 地理信息系统(Geographic Information System)

GNSS 全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)

GPS 全球定位系统(Global Positioning System)

HSS 归属用户服务器(Home Subscriber Server)

IT 信息技术(Internet Technology)

LEPC 低功耗功率控制技术(low energy power control)

LoRa 远距离无线电 (Long Range Radio)

LPWA 低功耗广域网(Low Power Wide Area)

mMTC 海量机器类通信(Massive Machine Type of Communication)

MU-MI 多用户-多输入多输出(Multi-User Multiple-Input Multiple-Output)

MO

NB-loT 窄带物联网(Narrow Band Internet of Things)

NFV 网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization)

OFDM 正交频分多址 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Α

OPC OPC 统一架构 (OPC Unified Architecture)

UA

OSGB 倾斜摄影二进制数据(Open Scene Graph Binary file)

OT 操作技术(Operation Technology)

OTA 空中下载技术测试 (Over The Air)

PDCCH 物理下行控制信道(Physical Downlink Control Channel)

PLC 可逻辑编程控制器 (Programmable Logic Controller)

pRRU 远端射频单元(Pico Remote Radio Unit)

QoS 服务质量(Quality of Service)

RFID 无源射频识别(Radio Frequency Identification)

RSRP 参考信号接收功率(Reference Signal Receiving Power)

RSSI 接收的信号强度指示(Received Signal Strength Indication)

RTU 远程终端单元(Remote Terminal Unit)

SINR 信号与干扰加噪声比 (Signal to Interference plus Noise Ratio)

SLA 服务级别协议(Service Level Agreement)

TDoA 到达时间差法(TIme difference of Arrival)

ToF 时间飞行法(Time of flight)

TSN 时间敏感型网络(Time Sensitive Network)

TWT 目标唤醒时间(Target Wake Time)

UPF 用户端口功能(User Plane Function)

uRLLC 超可靠低时延通信(Ultra Reliable Low Latency Communication)

USF 统一帧结构 UFS(Unified Frame Structure)

UWB 超宽带 (Ultra-Wide Band)

Wi-Fi6 第六代无线网络技术(Wi-Fi6, IEEE 802.11.ax)



## 参考文献

- [1]《5G+工业互联网应用场景白皮书》,中国移动,2019.12
- [2]《工业互联网园区网络白皮书》,工业互联网联盟,2019.
- [3]《5G 毫米波(mmWave)技术白皮书》中兴, 2020.12
- [4]《基于 UWB 与 GNSS 融合定位的港口高精度定位技术》,天津港股份有限公司,交通运输部水运科学研究所,2019
- [5]《5G 确定性网络@电力系列白皮书 I: 需求、技术及实践》, 5G 确定性网络产业联盟 2020.09
- [6]《5G 确定性网络为提升业务体验和优化成本打造专业性"联接"》,周艳、银宇、周汉,2020.06
- [7]《5G 确定性网络架构产业白皮书》、5G 确定性网络产业联盟 2021.02
- [8] 《 EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz 960 MHz》, EPCGlobal, 2006.06
- [9] 《5G+煤矿智能化白皮书》、阳泉煤业(集团)有限责任公司、中国移动、2020.10
- [10] 《5G 室内融合定位白皮书》,中国移动、中兴通讯,2020.10
- [11] 《Theory of Operation for TSN-enabled Systems》, AVnu Alliance, Tech. Rep., 2017.02
- [12] 《White paper: TSN Time Sensitive Networking》, Belden, Tech. Rep., 2017.02
- [13] 《3GPP.3GPP TS 23.501: System architecture for the 5G System》 Stage 2[S], 2017.
- [14] 《3GPP.3GPP TR 23.734: Study on 5GS Enhanced support of Vertical and LAN Services[R]》, 2017.

## 联合编写单位及作者

#### 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、马帅、杨博涵、王荣、王曦泽、睢菲菲、龙容、韦安妮、罗达、李宜铮、孙琳、 王迪、季瓒、郑师应、王凯、鲍媛媛、马少飞

#### 中国移动通信有限公司研究院未来移动通信研究所:

金婧

#### 华为技术有限公司

杨晓华、李汉涛、阮韬、汪孙节、伍勇、方海鹏

#### 中兴通讯股份有限公司

耿兴元、周建华、胡浩、刘爱华、郑兴明、毛磊、王林虎。

#### 北京紫光展锐科技有限公司

康国昌、汪大海、周晓萌、李旭

#### 新华三技术有限公司

张元

#### 京信网络系统股份有限公司

方绍湖、周进青、李馨

#### 徐州重型机械集团有限公司

李忠福、张翔

#### 首钢集团

宋海洋

#### 南京钢铁股份有限公司

楚觉非, 王芳, 林锦斌, 汝金同, 鹿玮, 马子义

#### 宝信软件

杨海荣

## 华菱湘潭钢铁有限公司

周旻昊

## 阳泉煤业(集团)有限责任公司

杨路余

## 翱捷科技股份有限公司

王鹏、刘俊伟

## 联发科技股份有限公司

范恭达