



IMT-2030(6G)推进组

IMT-2030(6G)Promotion Group

6G 感知的需求和 应用场景研究



2023

2023 年 10 月

版权声明 Copyright Notification

未经书面许可 禁止打印、复制及通过任何媒体传播

©2023 IMT-2030 (6G) 推进组版权所有



前言

随着 6G 技术研究的深入开展，无线通信技术在新的业务和需求的引导下，将联合新技术和新功能，引领万物智联的新浪潮。目前，全球 6G 愿景需求的达成标志着 6G 标准化的正式启航，为 6G 技术指标与评估准备阶段奠定基础。感知作为 6G 移动通信系统关键的新能力之一，将极大的丰富网络可提供的业务范围，搭建物理世界与数字世界的桥梁。

通信感知一体化技术作为 6G 的新能力之一，赋予了 6G 内生感知的能力，是 6G 感知的最重要的一环。但 6G 和感知的关联不止于此，其他感知技术如雷达、摄像头、传感器、蓝牙、Wi-Fi 等也经历了多年的发展，通信感知一体化技术与这些感知技术在 6G 中协同互助，将极大的丰富 6G 感知的服务范围，并提供更精确的感知结果。

在 IMT-2030（6G）推进组的统一安排下，需求工作组结合无线技术工作组通信感知一体化任务组发布的《通信感知一体化技术研究报告（第二版）》中涉及的感知应用场景，对其指标进行了分析，并进一步丰富了感知的应用场景。本研究报告从感知技术的原理、研究现状和发展趋势出发，针对 6G 感知的应用场景和需求进行深入研究，总结了 6G 感知业务的需求和感知对 6G 系统的需求，为下一阶段 6G 感知及通感一体化技术的研究及相关标准制定提供参考。



目录

第一章 研究背景及发展现状	1
1.1 感知技术的介绍	1
1.1.1 通信感知一体化技术	2
1.1.2 其他感知技术	2
1.1.3 多模态感知	3
1.2 感知技术的研究现状和应用	3
1.2.1 通信感知一体化技术	3
1.2.2 其他感知技术	5
1.2.3 多模态感知	6
1.3 感知技术的发展趋势	7
第二章 6G 感知的应用场景和需求	10
2.1 交通领域	10
2.1.1 应用场景一：车联网	10
2.1.2 应用场景二：无人机	14
2.2 工业领域	18
2.2.1 应用场景一：园区管理	18
2.2.2 应用场景二：车间内生产环节	20
2.2.3 应用场景三：产品质检	22
2.3 农业领域	23
2.3.1 应用场景一：智慧大棚	23
2.3.2 应用场景二：智慧放牧	26
2.3.3 应用场景三：智慧水产养殖	28
2.4 仓储物流领域	29
2.4.1 应用场景一：货物输送	29
2.4.2 应用场景二：货物分拣	31
2.4.3 应用场景三：货物搬运	33
2.4.4 应用场景四：货物堆垛	34
2.4.5 应用场景五：仓储管理	35
2.5 医疗和健康领域	36
2.5.1 应用场景一：生命体征监测	36
2.5.2 应用场景二：疾病监测与诊断	38



2.5.3 应用场景三：疾病康复训练.....	40
2.6 娱乐领域.....	42
2.6.1 应用场景一：智能交互娱乐.....	42
2.6.2 应用场景二：虚拟环境构建.....	43
2.7 社会服务领域.....	45
2.7.1 应用场景一：公共安防.....	45
2.7.2 应用场景二：客流统计.....	47
2.7.3 应用场景三：生态环保.....	48
2.8 智慧家庭领域.....	50
2.8.1 应用场景一：实时室内环境重构.....	50
2.8.2 应用场景二：入侵检测.....	52
2.8.3 应用场景三：人机交互.....	55
第三章 6G 感知业务的需求.....	57
3.1 存在检测业务需求.....	57
3.2 定位业务需求.....	57
3.3 测速业务需求.....	58
3.4 成像业务需求.....	59
3.5 识别业务需求.....	60
3.6 监测业务需求.....	60
第四章 感知对 6G 系统的总体需求.....	62
4.1 对 6G 网络的需求.....	63
4.2 对 6G 终端的需求.....	66
第五章 6G 感知面临的挑战.....	68
总结和展望.....	70
参考文献.....	72
贡献单位.....	73



图目录

图 1-1 通信感知一体化范畴 ^[2]	2
图 1-2 6G 感知解决方案概览.....	8
图 1-3 通信感知一体化技术的发展趋势.....	8
图 1-4 媒介知识辅助通信.....	9
图 2-1 障碍视觉辅助示意图.....	11
图 2-2 目标车辆获取周围高精地图示意图.....	12
图 2-3 无人机避障和路径管理示意图.....	15
图 2-4 无人机非法入侵机场.....	16
图 2-5 移动通信网络感知示意图.....	16
图 2-6 智慧大棚实现示意图.....	24
图 2-7 智慧放牧实现示意图.....	26
图 2-8 环境监测的实现示意图.....	49
图 2-9 一种利用终端自发自收链路执行入侵检测的示意图.....	53



表目录

表 1-1 IMT2020（5G）推进组发布的通信感知一体化研究报告系列	4
表 3-1 存在检测业务指标总结	57
表 3-2 定位业务指标总结	58
表 3-3 测速业务指标总结	58
表 3-4 成像业务指标总结	59
表 3-5 识别业务指标总结	60
表 3-6 监测业务指标总结	60
表 4-1 6G 无线感知典型指标	62
表 4-2 非无线感知指标	63

第一章 研究背景及发展现状

1.1 感知技术的介绍

感知是人类与物理世界交互不可或缺的重要组成部分。一方面，随着物联网技术、计算机技术、信息通信技术的发展，机器逐渐被赋予智能化的感知能力。基于雷达、传感器、摄像头、Wi-Fi、蓝牙、超声波等设备的感知技术目前已在工业、农业、娱乐、医疗、教育等领域发挥重要作用。这些感知技术在特定应用场景具有各自的优势，但也存在一定的不足。另一方面，随着移动通信技术的发展，无线系统会向更高频率（如毫米波、太赫兹等）演进，且有大量可用频谱，通信系统将具备与感知系统相似的能力，利用广泛覆盖的移动通信信号实现通信感知一体化，成为有效地节约成本，促进通信与感知的互利互惠有效途径。在未来 6G 时代，通信感知一体化技术将依托太赫兹、甚至可见光等新频段，以及空天地一体化、内生 AI 等新技术，赋予 6G 系统内生的感知能力。此外，以通信感知一体化技术为核心，且集成上述其他感知技术的多模态感知将极大的增强 6G 系统的感知能力，扩展 6G 感知的业务范围，提升 6G 感知的性能，助力不同领域感知技术发展。

感知的分类方式有多种：

1) 从感知原理的角度来讲，可以分为非射频感知和射频感知两个维度^[1]。

射频感知：发送射频信号，然后通过接收和处理反射信号来了解环境，主要包括雷达感知、Wi-Fi 感知和蓝牙感知等。

非射频感知：通过从周边（如相机）获取的信号、图片和视频等来了解环境，主要包括接触式传感器感知、光感知和声波感知。

2) 从感知方式的角度来讲，可以分为主动式/被动式与交互式/非交互式两个维度^[2]。

被动感知：感知者（网络侧或终端）通过获取目标对象发射的电磁波（如太赫兹波）或反射来自感知者和目标对象之外的电磁波进行感知，比如射电天文中国的无源成像类感知技术。

主动感知：感知者（网络侧或终端）发送电磁波，经过目标对象反射后，感知者接收回波进行感知，比如发射探测信号的雷达类感知技术。其中接收反射波的节点不一定是发送探测信号的节点，即感知方的多个节点之间可以通过某种形式的联合处理实现主动感知。

交互感知：感知者（网络侧或终端）与目标对象（网络侧或终端）之间通过信息交互，对电磁波发送的主体、时间、频率、格式等内容进行约定（含实时通过握手交

互方式约定, 以及通过标准规范等方式的事先约定), 感知者对接收到的电磁波进行感知, 比如现有通信系统实现定位的方式可以认为是交互感知。

非交互感知: 感知者(网络侧或终端)与目标对象之间不进行信息交互。

1.1.1 通信感知一体化技术

在 6G 移动通信系统中, 感知将不只是通信网络的优化或辅助工具, 而是 6G 网络中的内生能力, 被认为是实现 6G 网络内生智能的数据入口, 与通信能力互助共生, 并为 6G 开辟新的应用前景。通感一体化技术将利用无线信号实现对目标的检测、定位、成像、识别等感知功能, 获取周围物理环境信息, 挖掘通信能力, 增强用户体验。通过内生的一体化频谱资源共享、硬件架构设计、空口设计、多点协作和信息的全方位交互, 能在实现通信和感知能力的同时实现绿色节能, 提升频谱效率, 高精度感知和全网的性能提升。一方面, 通信系统可以利用相同的频谱甚至复用硬件或信号处理模块完成不同类型的感知服务。另一方面, 感知结果可用于辅助通信接入或管理, 提高服务质量和通信效率。面向 2030 年的信息社会, 通信感知一体化技术将成为 6G 系统中的基础性核心技术, 为 6G 创造千万价值应用, 实现万物感知、万物互联、万物智能的新时代。

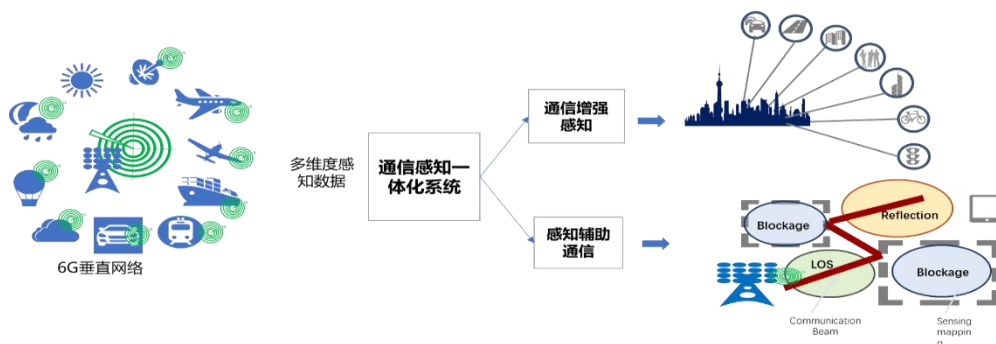


图 1-1 通信感知一体化范畴^[2]

1.1.2 其他感知技术

其他感知技术主要包括应用于中远距离感知的雷达、传感器、摄像头和声波/超声波等感知技术, 以及应用于近距离感知的 Wi-Fi、蓝牙和 UWB 等感知技术。

在中远距离感知技术中, 雷达感知是通过发射电磁波对目标进行照射并接收其回波, 由此获得目标至电磁波发射点的距离、距离变化率(径向速度)、方位、高度等信息。传感器感知是通过敏感元件及转换元件把特定的被测信号按一定规律转换成某种可用信号的实现数据采集。摄像头感知是利用是光谱感知技术实现感知成像, 通过接收目标辐射和反射的可见光来获取目标相关信息。声波/超声波感知是利用声波/超声波对目标进行照射并接收其回波, 依据不同材质目标对声波/超声波反射特性不同而对

目标进行识别。

在近距离感知技术，Wi-Fi 感知利用 Wi-Fi 信号传播过程中发生的反射、折射、散射等现象，通过分析在接收端的多径叠加信号，实现对 Wi-Fi 感知范围内目标信息以及环境信息的感知。蓝牙感知是通过在接收端获取的信号强度，估算发送端和接收端距离，实现对目标位置信息的感知。UWB 感知是通过发送和接收具有纳秒或纳秒级以下的极窄脉冲来实现感知，主要用于定位和成像业务。

1.1.3 多模态感知

随着传感器和计算机技术的发展，大量不同模态的感知信息经过数据提取、分类和信息融合，从而协作或辅助完成某一个业务需求。多模态感知是指通过多种感知制式以不同的方法或视角来进行信息的采集。广义上来讲，多模态感知不仅包含描述同一对象的多传感器感知，如无人机追踪时用到多个不同采样周期的雷达传感器进行观测定位；也包含文本、声音、图像、视频等不同模态信息的协同感知，如车联网场景的定位、监控等应用需要联合车载摄像头、车载雷达、无线感知等不同制式的感知信息共同完成^[3]。

多模态感知作为未来感知技术的重要演进方向，融合多种感知数据，主要涉及移动通信信号、雷达、传感器、摄像头、Wi-Fi、超声波、蓝牙、RFID 等。利用不同感知技术的特点和各自独特的优势，结合数据融合技术，可以使得检测、定位、识别、估计等性能更加准确、安全，从而提高整体系统的性能，满足不同应用场景的需求。相较于单一的感知技术，多模态感知技术有以下优势：

1) 识别精确度更高。多模态感知技术并非单一数据特征的简单叠加，而是通过设计高效的融合算法，实现无线信号、图像等数据特征的结合，可以实现信息互补，进一步提高识别的精确。

2) 应用范围更广。单一的感知技术往往存在一定的功能局限性，只适用于部分特定场景，而多模态感知能够较大程度上补齐单一感知技术存在的应用缺陷，扩大感知的应用场景。

1.2 感知技术的研究现状和应用

1.2.1 通信感知一体化技术

早在通信感知一体化概念提出以前，蜂窝移动通信网络已经具备基础的感知定位能力。在 4G 时代，网络的定位技术主要包括 E-CID、DL-TDOA、UL-TDOA 等；在 5G 时代，3GPP 从 R16 版本开始标准化基于 NR 的定位技术，引入了 E-CID、Multi-Cell RTT、DL-TDOA、UL-TDOA、DL-AoD 和 UL-AoA 定位技术，标志着 3GPP 对 5G 的



感知开始了初步的研究。但目前 5G 的感知主要用于对通信设备的定位，且定位业务只是感知业务中的一个分支，对于未来网络而言，实现对非通信设备的感知可以进一步拓宽网络的业务范围，将是未来网络的创新性变革之一，所以 3GPP 也开始了对通信感知一体化技术的研究，以实现网络内生感知能力的增强。

通信感知一体化技术在 3GPP 尚处于研究的起步阶段。2022 年 2 月 3GPP 在 SA1 工作组通过了首个通信感知一体化的研究项目“Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication”，主要面向 5G-A 的通信感知一体化典型的应用场景和潜在的需求进行研究，侧重基于 NR 标准的通感融合感知，也包括其它非 3GPP 的感知(例如雷达、摄像等)[4]。该项目的研究工作已经完成，共梳理了不同应用场景下的目标检测和跟踪类业务、环境监测类业务和动作监测类业务等 32 个用例。通信感知一体化技术在 3GPP 的研究工作将继续进行，潜在的研究方向包括 RAN 侧需求和应用场景、信道模型、网络功能增强等。

虽然通信感知一体化技术尚未在 3GPP 完成标准化，已经有许多组织和机构同步开展了通信感知一体化技术的研究：

1) IMT-2020（5G）推进组在 2021 年 7 月成立“通感任务组”，对 5G-A 通信感知一体化应用场景、网络架构、无线空口技术和仿真评估展等方面进行研究。在 2021 年 12 月，IMT-2020（5G）推进组完成全球首个面向 5G-Advanced 通信感知一体化测试验证，为相关行业突破发展瓶颈带来了全新的可能。此外，IMT-2020（5G）推进组也发布了一系列通信感知一体化技术研究报告，如表 1-1 所示。

表 1-1 IMT2020（5G）推进组发布的通信感知一体化研究报告系列

时间	事件
2022 年 7 月	发布《5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告 V1.0》
2022 年 11 月	发布《5G-Advanced 通感融合网络架构研究报告》
2023 年 6 月	发布《5G-Advanced 通感融合仿真评估方法研究报告》
2023 年 9 月	发布《5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告 V2.0》

2) IMT-2030（6G）推进组无线技术组在 2021 年 4 月成立了“融合技术子组”，包括通感一体化任务组和 AI 任务组。2021 年 9 月，IMT-2030（6G）推进组发布了第一版《通信感知一体化技术研究报告》，对 6G 通信感知一体化进行了全方位的研究和阐述，主要的内容包括通感一体化的研究现状和发展趋势、通信感知一体化应用场景、通信感知一体化基础理研究和通信感知一体化关键技术等。IMT-2030（6G）在 2022 年 11 月发布了第二版《通信感知一体化技术研究报告》，并同步开展了基于全频段的通信感知一体化测试。

1.2.2 其他感知技术

除了蜂窝移动通信网络中的感知技术外，其他感知技术和感知设备也在持续的发展，不断的进行更新和迭代，具备更加多样的感知功能和更加精确的感知性能。

■ 基于雷达感知

雷达经历了近百年的发展，现代雷达的应用场景已逐渐从军事领域向民用领域扩展，而雷达的功能也从早期简单的无线电探测和测距不断进行了丰富和增强，使得目标成像和目标识别成为了可能。目前雷达在民用领域广泛的应用于交通场景，如车载雷达中的毫米波/激光雷达具有短距分辨率高的特点，在辅助驾驶和无人驾驶方面已经有很多的商用案例，而在新兴的无人机市场中，雷达也可以用于对无人机的探测和无人机跟踪等业务。

■ 基于传感器感知

传感器大体上经历了三代发展，第一代是结构型传感器，它利用结构参量变化来感受和转化信号；第二代是1970年代发展起来的固体型传感器，这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成，是利用材料某些特性制成；目前的第三代传感器整体上呈现出集成化和智能化的特点。集成化是指把多种传感器重组集成到同一个传感器里面，能够实现从对力、热、声、电、磁等单一维度物理量感知，扩展到向化学、生物信息的新型感知。例如：把很光、压力、温度等多种传感器集成在一起，新的指纹传感器就诞生了，目前被广泛应用在各类带有触摸屏的设备中。智能化是指传感器和微型计算机技术的结合，对外界信息具有一定检测、自诊断、数据处理以及自适应能力。第三代智能传感器具备与移动蜂窝网络的结合能力，两者的结合能够实现互惠互助，将传感器推广到更多的应用领域，也能丰富蜂窝移动通信网络的感知能力。

■ 基于摄像头感知

传统的摄像头通过获取对象或周围环境的视觉信息，广泛用于监控和录像等领域，但其工作过程中往往离不开人工操作和辅助。近年来随着感光材料和检测算法的发展，基于摄像头的感知技术自动化和智能化程度大大提升，可以提供更加准确、丰富的信息，增强用户体验。新一代摄像头感知技术具有实时性、高精度（高图像分辨率）、多维度（色彩、形状等）等特点，可以实现目标检测、物体/人脸/动作识别和跟踪等业务，在车联网、无人机、智能安防和智能家庭等领域应用非常广泛。此外，基于单目、立体、广角、RGB深度等多种摄像头传感器的视觉同步定位与地图绘制（Simultaneous Localization and Mapping, SLAM）技术可以对自动驾驶车辆、无人机、家用机器人等智能体进行定位建图，目前在大规模导航定位、高精度地图构建，环境识别和理解等方向具有广泛应用。

■ 基于 Wi-Fi 感知

基于 Wi-Fi 信号的感知技术的研究和应用领域涉及广泛，主要可概括为检测、识别、数量估计、位置轨迹四个方向。具体来说，检测可包括人体存在检测、跌倒检测、入侵检测、久坐检测、睡眠检测、吸烟检测等，识别主要涉及手语识别、手写字母识别、手势识别、活动识别、身份识别等，数量估计可包括呼吸速率估计、心率估计、人群计数等，位置估计主要包括定位和跟踪。这些应用涉及了人们日常生活中的各种粗粒度和细粒度的行为活动，可以广泛的应用于智能家居远程监控、医疗健康监护、安全监控、残疾人辅助沟通、虚拟现实、个性化推荐服务以及基于位置的服务等场景。基于 Wi-Fi 信号的感知目标对象从粗粒度向细粒度发展，感知效果从定性向定量发展，感知信号度量方式从粗粒度的接收的信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)过渡到细粒度的信道状态信息(Channel State Information, CSI)，感知方法中的信号特征提取技术从传统的手动特征提取发展到自动的深度特征提取。IEEE 802.11bf 工作组正在积极推进 Wi-Fi 感知的标准化工作。

■ 基于蓝牙感知

基于蓝牙的感知技术主要用于定位业务，包括接近解决方案和定位系统两类应用场景。最常用的蓝牙定位技术是基于蓝牙 4.0/5.0 的低功耗蓝牙技术，即蓝牙信标 Beacon 定位，其具有低功耗、连接速度更快、传输速率高、信号传输稳定安全无干扰等特点，但定位精度比较低，大约在 1 米至 10 米左右。随着蓝牙 5.1 的到来，蓝牙收发机增强多天线阵列能力，信号的传输距离、传输速率、稳定性都有了可观的提升，同时引入了蓝牙寻向功能，即 AoA 和 AoD 定位，预期可实现厘米级的高精度定位。蓝牙也经常与 Wi-Fi 组合应用来实现室内定位小范围区域定位的增强。

■ 基于 UWB 感知

基于 UWB 信号的感知技术的优点是待感知目标无需携带定位标签，在许多应用和研究领域得到了广泛关注。除了能够实现室内环境下的高精度定位外，基于 UWB 信号的感知还可用于生命体征监测，无需在人体表面附着任何传感器即可实现呼吸和心跳信号的检测，该技术推动了几种潜在应用领域，例如震后搜救、人体目标识别以及人体目标身份辨识等。目前基于 UWB 感知的研究热点还涉及步态识别、手势识别、目标物体的检测识别等。

1.2.3 多模态感知

多模态的概念最早在计算机视觉领域提出并得到广泛应用，与信号处理和机器学习的多源信息融合技术密切相关^[5]。多模态感知层面的研究在多个模态的细粒度上进行关联融合，从而提升网络的识别准确性和全面性。随着传感器数量的增加和技术成熟，多模态感知技术在不同场景下迅速发展，已经在人机交互、工业环境、机器人和车联网领域得到广泛应用。

在智慧工业和生产领域中，多模态感知和协作应用具有广阔的前景。通过将来自不同传感器的多模态数据融合在一起，可以提高对复杂交互场景的应对能力，从而为人们提供更加智能和便利的服务。例如，智能机器人可以通过整合视觉、触觉等多种感知信息和无线控制网络来处理遮挡与噪声、运动相似性等场景，从而提升人机交互体验^[6]。

在交通领域，单一的传感器信息辅助的车联网不足以有效的处理复杂场景下的交通工具控制和交通信息管理。例如在自动驾驶场景中，暴雨、沙尘暴等极端恶劣天气下能见度极低，图像感知的信息反馈有限，此外在某些复杂的道路交通环境（如红绿灯的切换和车辆拥堵路段等）下，仅依靠声音传感器或激光雷达车辆检测器感知的信息难以实现准确有效的识别。因此，多模态感知信息融合和车联网的协作调度可以自动驾驶系统更加准确、高效地处理的环境信息，以适应各种不同类型的驾驶场景^[7]。

在医疗健康方面，由于生物特征的复杂性和实际应用的感知误差，单一生物特征感知存在信息准确性和覆盖全面性的问题^[8]，因此迫切需要借助多模态、多制式感知信息的融合应用。比如疾病的监测治疗需要综合电子计算机断层扫描（Computed Tomography, CT）、核磁共振等多种图像感知网络判断病灶位置和病变程度，借助多种参数监护仪、心血管系统装置辅助移动互联医疗系统进行实时或远程的病情跟踪。

在社会服务领域，多模态感知信息融合技术也具有日益增长的应用领域和需求，例如面容、声纹等生物传感技术和物联网、无线通信网络等网络技术广泛应用于身份识别、远程业务和风险防控等多个实践领域，在保障信息安全的同时优化用户体验。

多模态感知为通感一体化提供诸多便利的同时也带来许多关键技术的挑战，未来针对多粒度、多模态感知信息进行先进融合方法的探索、深度强化学习等工具的协作和多源感知信息的协同利用将成为十分有潜力的发展方向，多模态感知信息的协同感知将为 6G 系统能力的广域拓展提供有效支撑。

1.3 感知技术的发展趋势

6G 系统将具备更高的工作频段、更大的带宽和更大的天线规模，为实现通信与感知的融合提供了技术基础。典型的 6G 感知解决方案如图 1-2 所示，该方案以通信感知一体化技术为核心，并协同其他感知技术，可能会逐渐取代传统的各系统（如 5G NR、GNSS、无源目标感知系统等）独立运作的方案。而随着 6G 的进一步发展，包括超材料、可重构智能天线和人工智能技术的引入，驱动感知、通信量大业务的新型使能技术的持续演进，6G 感知的方案也将不断完善。

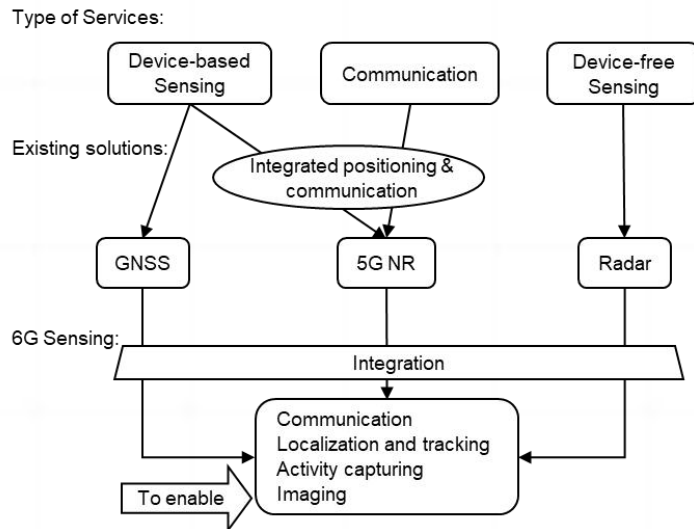


图 1-2 6G 感知解决方案概览

在 IMT-2030（6G）推进组发布的第二版《通信感知一体化技术研究报告》中提到，在通信感知一体化的技术发展过程中，通信与感知将分阶段、分层次融合演进，其技术趋势主要包括“业务共存、能力互助、网络共惠”三个阶段，如图 1-3 所示^[2]。首先，业务共存作为起始阶段，原先分立的通信系统与感知系统已经集成在同一物理平台中，通信业务与感知业务作为两种业务形态共同存在，技术方案重点关注干扰管理和资源分配等。然后，能力互助作为发展阶段，通信能力与感知能力互助配合，实现感知辅助通信或通信辅助感知，技术方案重点关注波形设计、收发处理算法等。最后，网络共惠作为成熟阶段，通信与感知将实现频谱资源、硬件设备、波形设计、信号处理、协议接口、组网协作等全方位、多层次的深度融合，通信网络与感知网络共惠双赢，技术方案重点关注多点感知、协作组网等。基于以上三个阶段的发展，最终构建 6G 的内生感知能力。

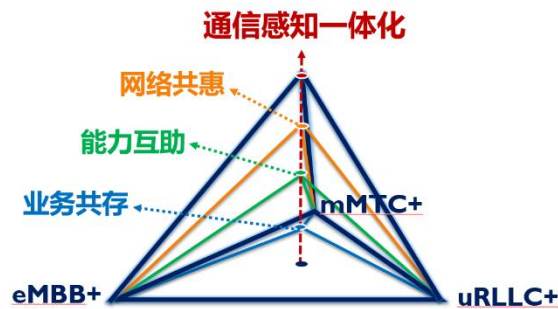


图 1-3 通信感知一体化技术的发展趋势

在通信感知一体化的技术发展初期阶段，通信与感知业务以消除干扰和单方面提升通信或感知系统性能为主要研究方向。因此，在通感一体化技术研究初期，主要从单一的系统为基础出发进行技术研究，逐步向一体化系统研究。

1) 以通信系统为基础的技术演进路线

以通信为基础的技术路线要求从通信系统出发进行通感一体化设计，系统性能衡量指标以频谱效率、信道容量、SINR 以及误码性能等通信性能指标为主，在保证通信性能最大化的前提下支持感知功能。

2) 以感知系统为基础的技术演进路线

以感知为基础的技术路线是从感知系统出发进行通感一体化设计，系统性能衡量指标以感知指标为主，重点考虑目标的参数估计精度、检测、识别概率等，研究重点是最小化对感知性能的影响的前提下引入通信功能。

通信与感知两种功能在中后期发展阶段将实现能力互助，网络互惠，这就要求通信感知一体化研究还要考虑兼顾通信和感知的技术路线，即：网络架构，硬件架构，系统设计，波形设计等方面要同时考虑通信需求和感知需求。

虽然感知在未来将作为一项单独的业务引入，但研究如何在通信利用感知获取的信息还是十分有价值的。感知至少可以使环境特征化，而随着信道确定性和可预测性不断提升，这可以便能媒介知识辅助通信。图 1-4 展示了感知辅助通信的几个示例，证明了通过感知获取的环境知识能够改善通信。示例 a 展示了如何利用环境知识来优化终端的媒介感知波束赋形；示例 b 展示了如何利用环境知识来解锁传播信道中所有潜在自由度（媒介感知信道秩提升）；示例 c 展示了媒介感知可以降低或抑制终端间干扰。于通信而言，感知不只是用来提升吞吐率、抑制干扰的，它还有更多价值等待挖掘。同时，感知子模块如何取代传统通信系统的功能也是个值得研究的课题。总体来说，通过感知获取的信息可以节省通信开销，也可以降低通信的时延。

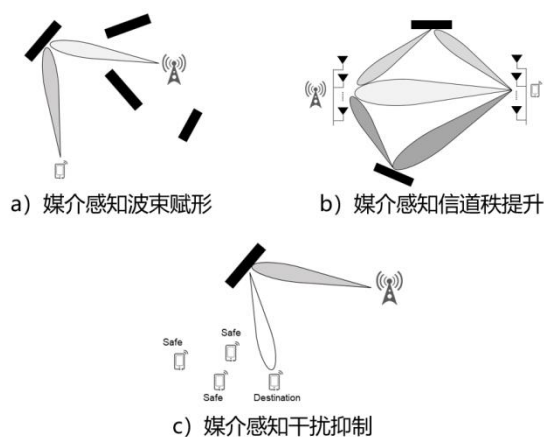


图 1-4 媒介知识辅助通信



第二章 6G感知的应用场景和需求

2.1 交通领域

2.1.1 应用场景一：车联网

2.1.1.1 应用场景描述

车联网 C-V2X 场景是交通领域的重要构成之一，通过车联网技术可实现车与云平台、车与车、车与路、车与人、车内等全方位网络连接，进而实现交通的智能化管理、交通信息服务的智能决策和车辆的智能化控制。当前的车联网技术主要包括 LTE-V2X 和 NR-V2X，前者主要用于支持辅助驾驶以及部分低要求的自动驾驶应用，后者则用于面向自动驾驶的高级应用。随着第一版 NR-V2X 标准（3GPP R16）的冻结以及终端、路侧设备、通信网络等设备的逐步成熟，车联网产业正在加速发展，由于车联网场景中主要是以行驶中的汽车作为信息感知对象，感知能力的提高是车联网技术的重要方面之一，IMT2020（5G）推进组已经基于现有通信网络加入感知技术提出了基于 5G-A 的车联网应用场景及相应指标要求^[9]。由于 6G 通信感知一体化不再受限于现有通信网络架构和布局，通信与感知可进行更深层次的融合，未来车联网不仅能获得比现有车联网更优越的性能，同时大量的环境信息也将进一步辅助具体的车联网应用。综合考虑车联网场景下的应用需求，未来车联网场景中的典型用例包括：实时监控、高精地图构建等。

■ 实时监控

车联网场景中，为了更大限度地保证驾驶的安全，需要对车辆行驶过程中的道路情况、车辆的行驶状况进行实时监控，其中，道路状况是指道路上的环境信息，包括道路上是否存在障碍物（行人、动物、自然物体如石头等）、障碍物数量、障碍物的位置/速度、道路空间的天气状态等，车辆的行驶状态包括车辆的速度、车辆的位置、车辆的行驶方向、车辆的大小/高度/形状、车辆数量等。在正常情况下，车联网可基于实时监控信息对车辆行驶进行指挥、规划或建议；在发生异常情况时，比如山体滑坡、人或动物闯入、车辆异常驾驶等，车联网能够及时感知，并将其传递给相关车辆修正驾驶行为或进行紧急避让。感知信息的获取可通过路边设备发送无线信号获取，也可以通过各路口或车站的监控摄像头拍摄的图像进行图像处理获取，还可以通过车载激光雷达或其他传感器获取。考虑到摄像头感知会受限于光线、激光雷达感知会受限于雨雾天气、车载传感器存在遮挡盲区的问题，基于通信感知一体化的无线信号感知将是未来车联网进行实时监控的重要感知方式，这是因为新一代无线网络将具有更宽的频谱资源，借助于网络的高低频频谱资源，可以实现高分辨率成像，并具有透视、全天候的感知能力，而且基站具有更高的视角，能获得更大的感知范围、多角度感知、

更高感知精度的优势。因此可以有效结合车载传感器，路边单元和基站侧的传感器，以及通信网络的无线感知能力，获得更加丰富的感知信息，感知信息汇聚在网络侧进行处理，实现基于多维感知信息的实时监控，并借助通信网络的通信连接能力，使得车联网用户获得更高的驾驶安全保证。

特别地，实时监控可以用于自动驾驶场景进行障碍视野辅助。在传统车辆驾驶中，驾驶的动作都是通过人观察到的信息判断的结果。但是，由于人坐在车里，视野受限经常会受到路边障碍的影响，无法掌握较多的路面信息，做出合理的判断。随着自动驾驶等级越来越高，人参与驾驶活动越来越少，自动驾驶将不再主要依赖于人的观察。但是，单车雷达还是存在感知覆盖有盲区、瞬时感知误差大、遮挡影响大、感知距离短等缺陷，影响自动驾驶的安全。如图 2-1 所示，基于无线感知技术，利用通信感知融合基站对路口周边环境进行检测，定位并跟踪路口的车辆、人员等。同时，还可以第一时间将相关信息通知路口范围的车辆帮助车辆掌握更大的视野范围。此外，车辆之间也可以分享检测到的其他人员和车辆，并向其他车辆分享信息。通过多维度的感知信息，可以克服视觉障碍的影响，做出合理的驾驶决策。

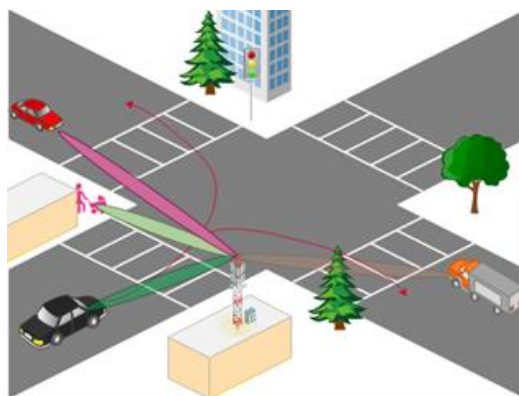


图 2-1 障碍视觉辅助示意图

■ 高精地图构建

车联网场景中，借助于通信网络中终端、路侧设备（Road Side Unit, RSU）和基站，通过多节点协作感知，也可以对现有的地图进行补盲或者更新，其中，补盲指的是对有遮挡的区域内的地图信息进行补充，更新是指对发生变化后的区域内的地图信息进行更新。地图信息主要包含三类，分别是道路属性（车道数、施工状态等）、交通设备（交通信号灯、斑马线、停止线等等）、车道模型（车道线、曲率/坡度、中心线、车道属性变化等），还需要对周围可能变化的树木、障碍、周围建筑（施工、危险等），完整的地图在基于初始地图（如现有基于 GPS 获得的地图）的基础上可通过补盲或更新获得完整区域内的全部地图信息。与实时监控业务类似，地图补盲及更新业务的感知信息也可通过车载传感器、路边单元和基站侧的传感器、以及通信网络的无线感知能力多者结合进行获取，但由于地图是一个范围更大的概念，因此还需通过多站协同

来扩大感知范围、获得更精确的感知信息，从而构建精度更高的车联网地图。总的来说，该业务旨在为车联网用户提供全天候、更加精确的实时高分辨率地图，车联网用户能获得道路的实时情况，并且不受光线、遮挡等限制，辅助用户驾驶。



图 2-2 目标车辆获取周围高精地图示意图

利用 6G 的全频段（低频、毫米波、太赫兹、甚至可见光等）和 6G 系统的广域覆盖，为高精地图构建提供重要帮助。利用无处不在的基站，时刻对周围环境进行感知，并将多基站、多模态（无线感知、雷达、摄像头）的信息进行融合，在网络侧进行高精地图构建，并将构建的高精地图给车辆，用于车辆的自动驾驶。

2.1.1.2 感知的 KPI

1) 车辆网数据采集的 KPI

在实时监控业务中，为便于对车辆管理或引导，以及为增强车辆驾驶的安全性，该业务的感知精度相对较高，异常检查的检测成功率和虚警率要求相对较高，感知实时性较强；当监控到异常情况时，对感知数据传输的可靠性和时延也要求较高；由于每个实时监控业务针对的是一段道路中的道路状况和车辆行驶状况，因此该业务的通信/感知范围相对较小，并且对平台的计算能力要求较低，部分场景（如堵车）下存储能力要求高，整体存储能力要求中等。

在地图补盲及更新业务中，为便于对地图进行实时补盲及更新，该业务对感知实时性要求相对不高；为了满足所构建地图的高精度性，对感知的精度和分辨率的要求较高；由于地图构建可以多站协同，因此感知范围较大；并且所获得的感知数据需高效、准确地传递到网络侧进行处理，对通信速率要求较高，对平台的计算能力和存储

能力也提出较高要求。

以下所列的指标要求基于 99%的置信水平，车联网场景下的业务都需要连片覆盖的组网环境，所以对感知距离没有特别的考虑。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
实时监控	Outdoor	$\geq 0.02s$	$\leq 50ms$	存在（有无）	N/A		$>99\%$	$<1\%$	N/A
				定位	$\leq \pm 0.5m$	≤ 0.5	N/A		
				速度	$\leq \pm 0.5m/s$	$\leq 0.5m/s$			
高清地图构建	Outdoor	$\geq 0.02s$	$\leq 50ms$	存在（有无）	N/A		$>99\%$	$<1\%$	N/A
				定位	$\leq \pm 0.5m$	$\leq 0.5m$	N/A		
				速度	$\leq \pm 0.5m/s$	$\leq 0.5m/s$			

2.1.1.3 对 6G 系统的需求

对于车联网中的实时监控，从应用场景描述中可看出，感知的主体包括通感融合基站或者路边通信单元，车辆本身以及各路口或车站的监控摄像头。当使用通感融合基站或者路边通信单元进行感知时，该设备需要具有感知的能力，同时具备通过空口将辅助视频或图像信息及时传递给车辆的通信能力（属于低时延高可靠能力）；当车辆进行感知时，需要具备通过车载雷达或其他传感器获得感知信息的能力（此处车辆使用的不是通感融合无线信号），具备将所获得的感知信息通过空口上传到基站的能力；当各路口或车站的监控摄像头作为感知源获取感知信息时，可以将获得的图像数据等通过有线或无线方式进行回传。

根据感知 KPI 的要求，可以得到车联网场景对 6G 系统的具体需求包括：

1) 覆盖范围：车联网服务主要在室外环境，大部分车联网服务都需要连片覆盖的组网环境，所以对单个感知节点的覆盖距离没有特殊的考虑

2) 系统带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下以感知的需求为主。综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，需提供百 MHz 级带宽。例如，对于 0.5m 的距离分辨率，要满足约 300M 带宽需求；对于 0.5m 的距离精度，在 0dB 信噪比条件下，需满足约 200M+带宽需求

3) 时延：感知时延小于等于 50ms

4) 可靠性：车联网涉及驾驶者及行人的生命安全，对于感知可靠性要求较高，首先要能够精准检测出道路中的车辆和行人，检测概率需达到 99%；其次，如果数据由传感器或摄像头等采集，则传输的可靠性至少也需要达到 99% 以上

5) 移动性：最大需支持 120km/h 移动物体的检测

2.1.2 应用场景二：无人机

2.1.2.1 应用场景描述

2022 第六届世界无人机大会预计到 2024 年，国内无人机市场规模约达 1600 亿元。其中农林植保约 360 亿元，地理测绘约 450 亿元，快递物流约 300 亿元，警用安防市场约 230 亿元，电力巡检约为 260 亿元。无人机能全天候、全空域执行侦察、预警、通信等多种任务，同时无人机也可广泛应用于航拍、警力、城市管理、农业、地质、气象、电力、抢险救灾等垂直行业。在未来城市中，将有大量无人机被应用于工业巡检、治安巡逻、交通运输、物流运输等场景，另外还有部分无人机被应用于繁多的细小领域，例如保险取证、畜牧监测、文物保护。IMT2020（5G）推进组已经梳理了无人机监管和避障、无人机入侵检测和飞行路径管理三大场景，并且提出了一些初步的指标。而未来 6G 由于融合更多新的技术（比如智能反射表面（Reconfigurable Intelligence Surface, RIS））和新的频谱（比如太赫兹等）以及架构也将不再受现有 5G 系统的限制，将提供更强的感知能力、更加丰富的感知服务。未来无人机感知的典型应用场景包括：路径管理和入侵检测。

■ 路径管理

借助 6G 网络，低空无人机发展将迈向全新阶段。特别是物流行业，无人机快递一直是一个研究热点。无人机快递有几个优势或驱动力：

1) 解决偏远地区的配送问题。2020 年以来，虽然遭受新冠疫情的影响，但无人机因为无接触配送、智能化应用而逆势上扬，保持 30% 的高速增长。新冠疫情中，无人机从偏远地区运送血样、并向偏远地区运送疫苗和检测试剂、以及其他医疗辅助设备时证明了自己的价值、并提升了市场形象。

2) 提高配送效率，降低配送时间；超过 50% 的网购者喜欢当日达或者快速配送，无人机可以加快产品递送速度。

3) 减少物流和人力成本。从成本上说，无人机快递可以省一半以上成本。

研究公司 Facts and Factors 发布了一份新的研究报告，预测无人机配送市场将在 2020 年至 2026 年间以 53% 的复合年增长率扩张。该报告称，“2020 年全球无人机快递市场价值预计为 5.28 亿美元，预计到 2026 年将达到 67.73 亿美元。”未来随着构建低空公共航路网，无人机的市场会更加巨大。

无人机快递可以运用在食品配送、零售商品交付、邮递、提供医疗辅助设备、精准农业交付、工业交付等服务中。

无人机在飞行中，需要对无人机的飞行路径进行管理，为无人机提供路径管理，感知无人机位置、高度、航向、速度等信息，若发现与原计划飞行轨迹不符，则引导回归正确航迹；构建 3D 地图或障碍信息，当无人机接近障碍物（例如楼宇、山体），引导无人机调整飞行路线，避免碰撞；同一区域存在多个无人机时，根据各无人机的位置、高度、航向、速度等信息，预测其航迹，若预计无人机间将发生冲突，则给出冲突告警。

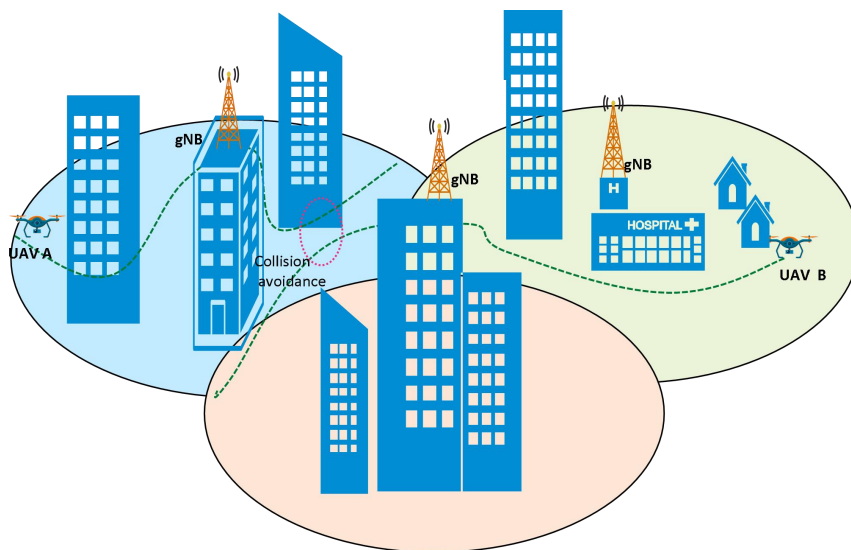


图 2-3 无人机避障和路径管理示意图

其他需要无人机路径管理的场景还包括电力巡检、抢险救灾、农业植保、城市管理等等。

■ 入侵管理

随着无人机技术的发展，无人机应用范围越来越广泛，飞行高度也越来越高，但随之也产生了一系列严重的安全管控问题，违法黑飞也成了一重大问题。无人机入侵的主要场景包括：机场、政府、研究所、军事区域、高铁站等敏感区域的无人机非法入侵。尤其是机场附近区域，很容易导致航空事故，极其危险，如图 2-4 所示。

根据《四川省民用无人驾驶航空器安全管理暂行规定》等法律法规规定，在机场净空保护区内未经审批的无人机和其他低慢小飞行器飞行，一律视为违法黑飞，危害公共安全，将按《治安管理处罚法》进行行政处罚，涉及违法犯罪将依法追究相关人员的刑事责任。但是，即使惩罚严重，无人机黑飞事件仍然十分严重。



图 2-4 无人机非法入侵机场

目前空管部门主要通过机主报告和市民举报方式监测无人机黑飞情况。而空管方面检测航空飞行器主要采用光学高清摄像头与雷达。

此外，还有一类场景，在边境无人机的非法入侵。越来越多的无人机越过边境，探测信息。需要对这类无人机进行监测。

利用移动通信网络在进行通信的同时实现对无人机实现低空探测，提供围栏预警等功能，助力于低空安全，如图 2-5 所示。

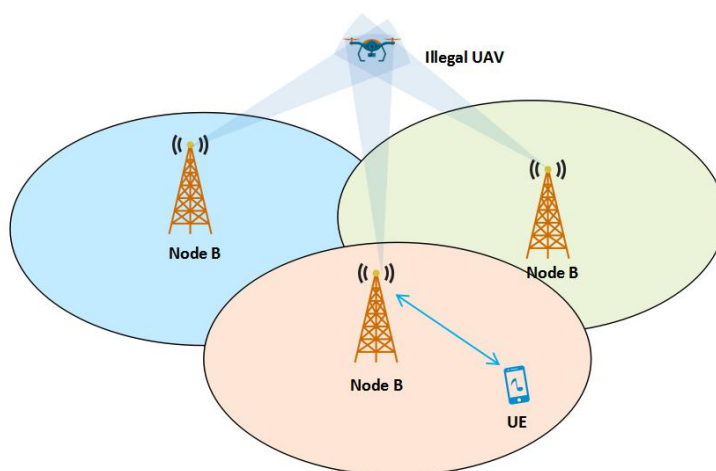


图 2-5 移动通信网络感知示意图

2.1.2.2 感知的 KPI

1) 无人机数据采集的 KPI

结合 3GPP SA1 的研究课题《Study on Integrated Sensing and Communication》中输入的无人机场景的 KPI，给出本报告中无人机数据采集的 KPI 需求。以下所列的指标要求基于 99%的置信水平。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概	虚警概	识别准



							率	率	确率
无人 机 路 径 管 理 和 避 障	500m-6 00m	0.5s	≤ 500ms	定位	≤±1m	≤1m	N/A		
				速度	≤±1m/s	≤1m/s			
无人 机 入 侵 监 控	1000m	≥10Hz	≤ 500ms	存在（有无）	N/A		>95%	<5%	N/A
				定位	≤±10m	≤10m	N/A		
				速度	≤±10m/s	≤10m/s			

2.1.2.3 对 6G 系统的需求

对于无人机（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）入侵检测应用，其精度要求较低，但是对检测概率和虚警概率有比较高的要求。并且需要无人机入侵检测的区域一般比较宽阔，需要 6G 网络对特定区域提供连续的感知覆盖，并能在各种天气下满足检测概率和虚警概率的要求。

对于路径管理类的应用，因为 UAV 飞行路径相对的不固定（比如 UAV 快递），那就需要网络提供全域的感知能力。此外，从感知能力看，需要对 UAV 飞行轨迹进行跟踪，而且需要提供周围环境信息，单靠一个频段无法完成该需求，因此，需要多频段协同技术支持。并且，这类应用对感知时延要求高，对网络部署也提出高要求，比如靠近网络边缘的计算能力。

无人机场景对 6G 系统的具体需求包括：

1) 覆盖范围：无人机服务主要在室外环境，路径管理和避障应用需满足单个感知节点覆盖距离 500m-600m，入侵检测应用需满足单个感知节点覆盖距离 1000m

2) 网络带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下以感知的需求为主。综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，路径管理和避障需提供百 MHz 级带宽，入侵检测只需提供数十 MHz 带宽。例如，对于 1m/10m 的感知距离分辨率，要满足约 150M/15M 带宽需求；对于 1m/10m 的感知距离精度，在 0dB 信噪比条件下，需满足约 100M+/10M+带宽需求

3) 时延：感知时延需小于等于 500ms

4) 可靠性：对无人机的入侵检测概率需大于 95%，虚警概率需小于 5%

5) 移动性：最大需支持 200km/h 移动物体的检测

6) 对 6G 终端的需求：a) 对于 UAV 入侵类，对 6G 终端没有特殊要求；b) 对于路径管理类应用，某些情况需要终端提供感知结果，比如基站和地面终端协同感知 UAV。在这种情况下，需要地面终端支持感知功能，并能授权是否允许开启该能力。



此外，如果 UAV 就是 6G 终端，UAV 可以和基站进行联合感知，终端需要同时具备感知和通信能力，并且对节电也提出了需求

2.2 工业领域

2.2.1 应用场景一：园区管理

2.2.1.1 应用场景描述

在工业园区中，可能会有多种类型的多个工厂在此进行工业生产，园区管理者需要对整个园区进行综合管理，其中，智能安防、园区智能巡检、车辆管理、人员管理等会包含对 6G 感知技术的应用。

■ 智能安防

当有人员或物体通过非正常通道进入园区时，园区的感知安防系统通过入侵识别技术发现可疑人员或物体。例如，基于入侵检测或成像技术实现入侵识别，可以全天候提供服务，而不会对园区内人身健康造成影响。

■ 园区智能巡检

通过智能设备实现园区内的无人智能巡检，包括对园区内消防设备、急救和环境进行检测，对仓库、变电站、排水管道、油气输送管道等进行检测，巡检过程可视化，及时发现隐患，发现异常自动上报，同时，还可以将采集到的环境属性（例如温度、湿度、噪声等）报告给园区控制中心和园区内各工厂。要实现园区智能巡检，首先要实现对智能巡检设备的定位，为巡检设备进行路线规划；利用感知技术协同数据处理算法，实现对消防设备、急救设备和输送管道以及输电线路等的状态识别和故障检测，对消防通道等重要通道进行通道占用识别；对仓库、变电站和其他园区环境进行隐患和危险检测，例如基于无线频谱的物质特性谱识别，根据不同物质的不同辐射特性，实现物质的鉴别，可以对湿度、烟雾、有毒气体、可燃气体、气体浓度等进行检测。

■ 车辆管理

车辆进入园区前，通过成像与视觉感知等技术结合，实现对车辆进行车牌识别和车型识别；识别通过后，通过定位技术对车辆进行导航和跟踪。

■ 人员管理

人员管理包括考勤管理、离岗睡岗识别和人员聚集识别以及安全帽识别以及对人员的定位与导航、区域权限管理和安全管理。在对人员的违规操作管理中，未来将提供更高的感知分辨率和感知精度，包括位置感知、速度感知等，因此可以捕获更精细的人体动作，从而实现更加智能和方便的动作识别或者行为监测，具有无需额外部署

设备、不受光线限制、高隐私安全的优点。

2.2.1.2 感知的 KPI

1) 园区管理数据采集的 KPI^{[4][9][10][11][12][13]}

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
智能安防	20m	>1Hz	<500ms	人员/物体的存在(有/无)	水平 1m 垂直 0.3m	1-3m	>95%	<2%	N/A
				速度	0.1-0.3 m/s	N/A	N/A		
园区智能巡检	10m	>1Hz	≤200 ms	园区重要管线设备故障的存在(有/无)	N/A		99%	N/A	
	20m	1-10Hz	≤100 ms	生产设备运行状态和故障状态	N/A		99%	N/A	
	200m	1-10Hz	≤100 ms	湿度、气体等浓度	N/A		N/A		
	<500m	>1Hz	≤50 ms	距离	0.5-1m	0.5-1m	N/A		
速度				0.5m/s	0.2-0.5m/s				
车辆管理	300m	>10Hz	≤200 ms	车牌的识别	N/A		N/A	99%	
				距离	1-3m	1-3m	N/A		
				速度	1m/s	1.5m/s			
人员管理	≥1m	60s 一次	N/A	识别	N/A		N/A	99%	
	200-1000m	N/A	<1s	距离	水平 2m 垂直 1-3m	N/A	N/A		
				速度	0.1-0.3m/s	N/A			

2.2.1.3 对 6G 系统的需求

综上所述可以看到，园区基础管理场景下，主要是对园区的环境进行实时感知，相应的对 6G 网络和终端能力需求如下：

- 1) 覆盖范围：园区管理中对覆盖的距离要求不一，最高要求 1000m 的感知范围
- 2) 网络带宽：网络带宽需要满足对应的感知分辨率和精度的要求。综合考虑下，应用需提供千 MHz 级带宽
- 3) 时延：感知时延要求在 50ms-1s 之间



- 4) 可靠性：检测概率在 95%-99%，虚警概率需 $<2\%$ ，识别准确率要求在 99%
- 5) 移动性：主要是对静止物体、行人行为的感知；对车辆的定位与导航业务中，需要支持 30m/s 的移动速度物体的测量
- 6) 网络架构：具备数据在园区本地处理的能力

2.2.2 应用场景二：车间内生产环节

2.2.2.1 应用场景描述

车间内生产环节是工业生产中的最重要的一环，主要包括厂内物流和智能制造等。

■ 厂内物流

厂内物流主要是指工厂内物料或零部件的搬运，以及产品的包装和存储，具体包括智能分拣、资产盘点、智能堆垛、自动导引小车（Automated Guided Vehicle, AGV）调度、AGV 搬运（智慧避障、自动驾驶覆盖）、产品包装和存储等操作。在智能分拣、资产盘点和智能堆垛中，需要对物料、零部件或者产品进行识别、计数，还可以利用电子标签对物品进行识别和标记。通过高精度定位技术为货物进行最近最优 AGV 匹配和调度，AGV 搬运过程中需要通过定位技术进行智慧避障、自动驾驶和最优路径计算，还可以通过定位技术对 AGV 的速度进行感知和控制。在产品包装和存储过程中，同样需要通过感知技术对产品进行识别、计数，对产品进行智能堆垛。

■ 智能制造

智能制造是在未来智慧工厂中将自动化技术、感知定位技术与工业制造技术融合在一起的一种新型工业制造与产品装配解决方案。而感知定位技术包括有以 6G 感知定位为基础的无线高精度有源定位技术和无源定位技术。在智能制造场景中，具有三维移动能力的生产线机器人将成为未来智慧工厂中的主要劳动者。这些机器人装备有能够灵活移动并且能够完成各种预设动作的机械臂，而这些机械臂的移动和动作由无线信号进行控制，并且具有高精度三维定位能力。这些机器人和机械臂的实时位置和姿态可以通过 6G 有源定位或无源定位的方式进行感知，从而可以精准地移动到指定地点完成预设的各种精细的制造与装配工作。当采用有源定位方式时，在机器人本体以及它的机械臂上，都会装配有源定位专用器件，这些器件通过接收或发送定位参考信号，来实现机器人和机械臂的三维高精度定位，这些有源定位专用器件的小型化与低功耗化是实现智能制造的关键。当采用无源定位方式时，可以利用 RFID 等技术进行辅助，例如在机械臂或者操作台特定位置贴上 RFID 反射标识，通过雷达感知获得机械臂与操作目标的高精度的相对位置，从而控制机械臂进行智能生产制造活动。同时，也可以将有源和无源定位方式相结合，弥补无源定位作用范围相对较小的不足，发挥其实现简单、功耗低的优势。

2.2.2.2 感知的 KPI

1) 车间内生产环节数据采集的 KPI

在厂内物流中，需要对 AGV 进行控制，感知其位置和轨迹。

在智能制造中，根据 3GPP 研究结论，5G-A 垂直行业的系统需求分析中智能工厂相关的定位需求基本为分米级。随着室内定位技术的提升，更多精细化工作智能化的需求也会不断涌现，面向 6G 的智能制造场景的定位需求将会进一步提高，下表中给出了工业领域智能制造场景中高精度低功耗柔性模块化装配具体用例下的感知 KPI，要求电池寿命不少于 18 个月。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
厂内物流	≤500m	1-10Hz	≤500ms	距离	水平±0.5m 垂直±1-3m	5-10cm	N/A		
				速度	±0.5m/s	N/A			
智能制造	N/A	N/A	N/A	距离	水平±0.03m 垂直±0.3m	N/A	N/A		
				角度	±0.1°	0.1°			

2.2.2.3 对 6G 系统的需求

综上所述可以看到，车间内核心生产环节场景下，主要是对 AGV 以及机器人/机械臂进行实时感知，当基站进行感知时，基站就要具备直接获得机器人或机械臂的位置的感知能力，同时基站需要具备通过空口将相关控制命令及时传递给机器人/机械臂的通信能力(这部分属于低时延高可靠的通信能力)；当机器人/机械臂作为终端进行感知时，就要自身具备感知能力，同时需要具备将所获得的感知信息通过空口及时上传到基站的通信能力(后者属于低时延高可靠的通信能力)。对 6G 网络和终端能力需求总结如下：

- 1) 覆盖范围：生产环节主要在厂房内，厂内物流满足单个感知节点覆盖距离 500m
- 2) 系统带宽：网络带宽需要满足对应的感知分辨率和精度的要求。综合考虑下，应用需提供千 MHz 级带宽
- 3) 时延：厂内物流中对 AGV 位置的感知时延需小于 500ms
- 4) 移动性：AGV 移动速度通常不超过 10m/s
- 5) 网络结构：园区具备本地低时延处理能力



6) 终端需求：需具备通信能力，以及本地感知数据、图像处理能力

2.2.3 应用场景三：产品质检

2.2.3.1 应用场景描述

对产品的质量检测是通信感知一体化技术在工业领域中最重要和最典型的应用场景之一。太赫兹波光子能量低，在穿透物质时不易发生电离辐射，可用于无损检测，针对复合材料、高分子材料的表面与内部缺陷进行检测。太赫兹成像技术分辨率高，能够检测内部微小缺陷，成像速度快，且不会对人体造成辐射，在工业领域用于无损质量检测。利用基于太赫兹的高分辨率成像技术采集产品信息，然后通过 6G 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。

2.2.3.2 感知的 KPI

产品质检场景下的感知 KPI^[13]如下。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
产品质检	N/A	N/A	N/A	成像	±1mm	1mm	99.9%	N/A	

2.2.3.3 对 6G 系统的需求

在产品质检场景下，主要是对零部件或者产品的缺陷进行感知，需要 6G 系统具备成像的功能，对 6G 网络和终端能力具体的需求如下：

- 1) 系统带宽：如果图像感知由通感成像实现，则对系统带宽的需求在千 MHz 级以上；如果图像感知的数据由摄像头等采集，则对系统带宽的需求在百 MHz 级
- 2) 可靠性：检测概率需达到 99.9%
- 3) 移动性：移动性较低，3m/s 满足绝大多数场景
- 4) 网络结构：园区具备本地低时延处理能力以及数据本地处理的能力

2.3 农业领域

2.3.1 应用场景一：智慧大棚

2.3.1.1 应用场景描述

智慧大棚场景是农业领域重要的构成部分之一。我国传统大棚所面临的关键问题是生产效率低、生产质量差、生产收益低。传统大棚农作物的种植、浇水、施肥和打药全凭经验，无疑不利于农业生产现代化进程。而解决这些问题只能依靠科技创新，即通过科技创新，改变生产环节的科技生产手段和程度，提高生产效率，提高产量，提高大棚整体收益。通过搭建农作物追溯管理信息平台，对各类农作物种苗来源、等级、培育场地和具体实施人员等进行有效、可识别的实时数据存储和管理；通过感知技术，可以实现农作物状态信息、大棚环境信息、人员和设备信息的采集，并控制智能机器人精准采摘大棚农作物；基于所采集的信息，通过农业大数据强大的分析处理能力、数据挖掘能力和辅助决策能力，实现对大棚内农作物的生长过程全程监控和数字化管理。

在现阶段，智慧大棚设计方案依托 4G 或 5G 技术，结合传统农业传感器感知大棚农作物生长状态。这些方案虽然可满足大部分大棚生产场景的需求，但是严重依赖农业传感器，但异厂家生产的农业传感器在分辨率、精度、性能、功耗和稳定性方面差别很大，不同厂家生产的农业传感器很难互相兼容。

未来 6G 将在 5G 的基础上，由万物互联向万物智联跃迁，6G 通信感知一体化技术给智慧大棚带来了新的技术解决方案，如通过太赫兹技术感知温湿度、图像和位置信息，可取代部分农业传感器。潜在的 6G 智慧大棚方案需涵盖数据采集、6G 网络和管理控制平台等多个子系统。系统功能包括：采集大棚监测数据；大棚生产现场视频、生产过程监控；生产过程中使用大数据分析功能；智能调度系统能实现智能灌溉、智能调节空气二氧化碳浓度和光照等。

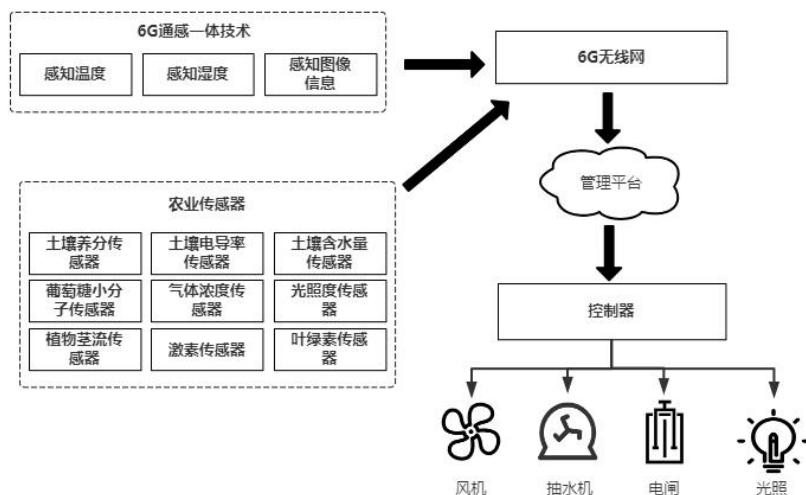


图 2-6 智慧大棚实现示意图

2.3.1.2 感知的 KPI

1) 智慧大棚数据采集的 KPI

智慧大棚所需要采集的数据种类较多，主要由特定的传感器进行采集，通信感知一体化技术可实现部分数据的采集，如位置、农作物个体大小等。

数据类型	功能	感知距离	感知频率	感知时延	精度	分辨率
环境	土壤含水量	1-20m	每半小时	≤ 200 ms	±0.1g	0.1
	土壤养分	1-20m	每半小时	≤ 200 ms	±0.1g	0.1
	土壤酸碱度	1-20m	每半小时	≤ 200 ms	±0.1PH	0.1
	光照	1-20m	每半小时	≤ 200 ms	±1lux	1
	二氧化碳浓度	1-20m	每半小时	≤ 200 ms	±0.1ppm	0.1
气象	感知光照度和紫外线等	1000m	每半小时	≤ 200 ms	-	-
位置	1、感知大棚内人员、智能机器人和农机设备位置 2、感知大棚内工作设备之间的安全距离	100m	实时	≤50 ms	±0.1m	0.1m
农作物个体大小	感知农作物个体大小、成熟度等	1-5m	每一天	≤200ms	±1cm	1cm
农作物密度	感知农作物生长密度	1-10m	每一天	≤200ms	±10cm	10cm

2) 智慧大棚数据传输的 KPI

通信类型	功能	通信链路	速率	传输时延	可靠性
陆地通讯	大棚内数据通讯	终端-基站	10Gbps	≤200ms	99%



视频监控	大棚内视频监控	终端-基站	500Mbps*16路	≤20ms	99%
传感器	采集数据上报	传感器-基站	100Mbps	≤200ms	99%
智能机器人	控制智能机器人正常工作	机器人-基站	500Mbps	≤10ms	99%

2.3.1.3 对 6G 系统的需求

根据感知 KPI 的要求，可以得到智慧大棚场景对 6G 系统的具体需求主要集中在终端侧，由于大部分数据的采集需要借助特定的传感器，所以需要关注传感器和终端的集成，对 6G 终端的需求包括：

- 1) 辅助终端供能方式：微型电池和太阳能
- 2) 终端形态：标签或农业传感器
- 3) 终端体积：较小，一至几厘米
- 4) 终端材质：耐腐蚀、防水、胶合材料
- 5) 终端瞬时功耗：低功耗需求，约为数十微瓦至百微瓦量级
- 6) 终端电源需求：无源/半有源，终端需较少涉及更换电池、充电等相关维护问题
- 7) 终端成本：几十块到上百元区间

通信感知一体化技术可以对位置、农作物个体大小和农作物密度等进行感知，但要对农作物个体大小的感知需要非常高的分辨率和精度，大棚中的农作物密度较大需要感知的数量较多，初步来看通过通信感知一体化技术比较难实现，所以智慧大棚场景下通信感知一体化技术主要用于对大棚内人员、机器人和设备等的位置进行探测。对 6G 网络的需求包括：

- 1) 覆盖范围：智慧大棚覆盖范围较大，一般面积在 2000-5000 平方米，单个感知节点覆盖距离要求为大于 100m
- 2) 网络带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下带宽的需求受限于感知。综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，需提供千 MHz 级带宽。例如，对于 0.1m 的感知距离分辨率，要满足约 1500M 带宽需求；对于 0.1m 的感知距离精度，在 10dB 信噪比条件下，需满足约 300M+带宽需求
- 3) 时延：对于感知时延的要求为 50ms-200ms，数据传输时延的要求为 10ms-200ms
- 4) 可靠性：对于数据传输的可靠性要求为 99%
- 5) 接入方式：终端设备可以直接接入 6G 网络，也可以先接入其他中继终端再接

入网络

6) 多模态感知: 6G 系统需具备同时处理通信感知一体化感知数据和其他感知数据处理和融合的能力

2.3.2 应用场景二: 智慧放牧

2.3.2.1 应用场景描述

放牧是家畜饲养方式之一, 是使人工管护下的草食动物在水草茂盛处采食并将其转化成畜产品的一种饲养方式。放牧环境一般为草原自然环境或乡村自然环境, 在草原自然环境中, 需要对牧群进行定位跟踪, 以防止牲畜走失或跨过管辖范围; 需要对牲畜进行个体识别, 掌握其生长发育情况; 需对放牧环境数据收集, 掌握各牧区牧草的情况, 合理规划在不同区域放牧的天数, 避免频繁在同一区域放牧。在乡村自然环境中, 需要避免将牲畜放养到有农作物的地方; 需避免到公路上放养, 尤其是高速公路; 需防风雨袭击, 夏季雷阵雨较多, 牧群一旦遭到雷阵雨袭击很容易伤体掉膘; 雷雨季节需防止在陡坡放牧, 以防牧群受惊摔伤。

4G 和 5G 时代的放牧系统, 牲畜位置、个体标识和所处环境数据需通过放牧项圈传感器获得, 存在项圈易损坏、难维护和 4G/5G 网络在偏远地区无信号覆盖等问题。6G 系统将构建空天地一体化网络, 可以解决移动通信覆盖盲点, 同时通信感知一体化技术可以部分替代传统传感器进行采集数据, 有效的降低放牧成本, 有利于智慧放牧的推广。6G 智慧放牧实现方案由感知系统和放牧管理两大部分组成, 其中感知系统需要采集的数据包括牲畜位置、个体标识、生物状态、温度、湿度、牧草质量、电子围栏、危险感知、入侵感知等, 个体标识需与其他 6G 技术相结合, 例如无源物联网。

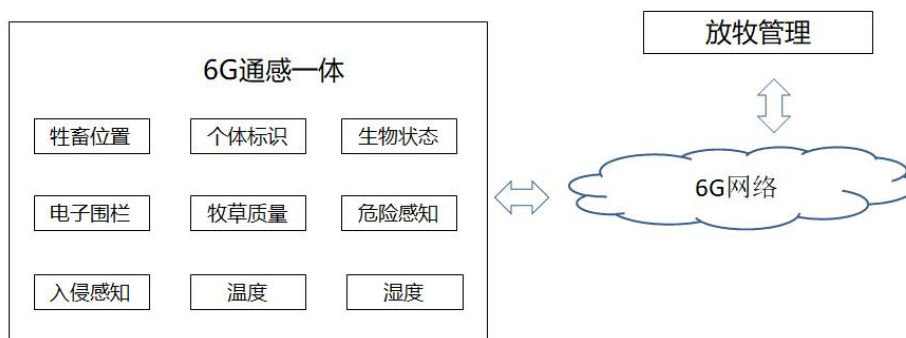


图 2-7 智慧放牧实现示意图

2.3.2.2 感知的 KPI

1) 智慧放牧数据采集的 KPI



数据类型	功能	感知频率	感知精度	感知时延	感知距离
位置	感知家畜所在位置	每半小时	±1m	<1s	1000m
个体标识	家畜个体识别感知	实时	个体标识准确率≥ 99.9%	<1s	1000m
生物状态	感知家畜生长变化 情况	每天	体积误差<1%	<1s	1000m
牧草质量	感知牧草质量、消 耗情况	每天	N/A	<1s	1000m
温、湿度	感知牧区的温度	小时	±0.1°	<1s	1000m

2) 智慧放牧数据传输的 KPI

通信类型	速率	传输时延	可靠性
位置	10Mbps	≤1s	99%
状态	10Mbps	≤1s	99%
牧区环境信息	100Mbps	≤10s	99%

2.3.2.3 对 6G 系统的需求

牧场区域一般处于人迹较少、比较偏远的地区，可能未有陆地基站的覆盖，需要根据实际的环境选择合适的感知策略。如果感知数据由传感器等的其他感知技术采集，除需要 6G 系统支持空天地一体技术和网络架构外，还需考虑对 6G 终端的需求：

- 1) 终端形态：标签
- 2) 终端体积：较小
- 3) 终端材质：抗金属、耐腐蚀、防水
- 4) 辅助终端供能方式：太阳能、震动能
- 5) 终端电源需求：无源/半有源，终端需较少涉及更换电池、充电等相关维护问题

如感知数据由通信感知一体化技术采集，则需要考虑对 6G 网络的需求：

- 1) 覆盖范围：放牧的区域范围较大，单个感知节点覆盖距离要求为大于等于 1000m
- 2) 系统带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下带宽的需求受限于感知，需提供百 MHz 级带宽。例如，对于 1m 的感知距离精度，在 0dB 信噪比条件下，需满足约 100M+带宽需求



- 3) 时延：对于感知时延的要求在 1s 内，数据传输时延的要求在 1-10s
- 4) 可靠性：对于数据传输的可靠性要求在 99%
- 5) 接入方式：终端设备可以直接接入 6G 网络，也可以先接入其他中继终端再接入网络
- 6) 多模态感知：6G 系统需具备同时处理通信感知一体化感知数据和其他感知数据处理和融合的能力

2.3.3 应用场景三：智慧水产养殖

2.3.3.1 应用场景描述

水产养殖根据养殖水体盐度的高低，可大体分为淡水养殖和海水养殖两种；根据养殖水域的不同，可分为江河、湖泊、水库、稻田、池塘、浅海、滩涂和港湾养殖等；根据养殖方式的不同，又可以分池塘养殖、大水面养殖、工厂化养殖、滩涂养殖、浅海养殖、港湾养殖和海洋牧场等。

在 6G 时代，空、天、地、海全域通信和感知技术将为智慧水产养殖行业向智慧工厂化的养殖模式转变。空天的无线感知技术可以对气象和水域条件做出更精准的感知和预判，对于陆地无线系统无法覆盖的广阔水域，空天卫星、无人机等通信和遥感技术成为有效的补充；地表和水面的无线感知结合视频监控，为无人化水产养殖环境提供安全保障；在水体中，结合传感器的无线感知配合水下声、光通信，可实时获取水质分析、设备运行状态、鱼虾健康状况、养殖风险等情况，从而保持良好的水产养殖环境，构建起可持续循环的生态系统，提高养殖产量和防控病害。另外，通过搭载水下通信和感知设备，水产养殖机器人可实现对水面上下养殖环境及对象的大范围动态监测，完成养殖产品收获、网箱清洗、生物捕捞、污物清理等复杂任务。

2.3.3.2 感知的 KPI

1) 智慧水产养殖数据采集的 KPI

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延	感知频率
气象和水质	感知养殖区域气象、水质等环境变化情况，如气温、水温、水位、风力、气压、酸碱度、氮氧硫磷含量等	N/A	N/A	N/A	N/A	每分钟~每小时
水产生长状态	感知养殖水产的生物状态，包括密度、个体大小、位置等	5cm	±5cm	1m-50m	≤ 100 ms	每日~每月
位置	感知水域内人员和作业设备的位置	5cm	±5cm	≥100m	≤ 100ms	1Hz~10Hz



距离	自动化养殖作业设备相互感知彼此的安 全距离	1cm	±1cm	≥100m	≤ 50ms	10~50Hz
----	--------------------------	-----	------	-------	--------	---------

2.3.3.3 对 6G 系统的需求

对 6G 终端的需求：

- 1) 终端形态：标签、卡片
- 2) 终端体积：较小
- 3) 终端材质：抗金属、耐腐蚀、防水
- 4) 辅助终端供能方式：太阳能、震动能、压力
- 5) 终端瞬时功耗：低功耗需求，约为微瓦至十微瓦量级
- 6) 终端电源需求：无源/半有源，终端需较少涉及更换电池、充电等相关维护问题

对 6G 网络的需求：

- 1) 覆盖范围：单个感知节点覆盖距离在 50m-100m，智慧水产覆盖范围广泛，需 6G 网络提供尽可能强覆盖能力
- 2) 网络安全：支持终端接入授权，支持加密
- 3) 接入方式：终端设备可以直接接入基站，也可以先接入其他中继终端再接入网络
- 4) 多模态感知：6G 系统需具备同时处理通信感知一体化感知数据和其他感知数据处理和融合的能力

2.4 仓储物流领域

物流业是融合运输和仓储的复合产业，物流领域的感知主要是对运输及存储过程中货物的位置、高度、体积、重量、颜色等信息进行采集反馈，以保障物流业中的各个环节更加精准高效。物流业可根据其周期及阶段分为货物输送、货物分拣、货物搬运、货品堆垛、仓储管理五个环节。

2.4.1 应用场景一：货物输送

2.4.1.1 应用场景描述

在智能物流系统中，货物输送指的是在一定线路上通过输送机或输送带连续输送



物品，在此过程中需要感知输送带上物品的有无、物品的高度、物品的位置、以及输送带本身是否拉直。因为输送带的输送特性，需要传感器对于移动中的物品具有较高的辨识度，且大部分情况下这些感知器会安装在输送带底端或两侧，对感知设备的防尘能力有额外要求。在分拣前，输送机上的货物较为繁杂，体积、尺寸、厚度、类型各不相同，因此需要精确识别各个货物，以防止货物在输送带上堵塞、遗漏以及因压放导致的损坏。

当前在货物输送场景中的感知方案主要依靠红外光幕传感器进行输送带上货物的精确识别。红外线测量光幕传感器是由发光器发出红外光，接收器进行对应的接收，形成光幕，光束与相邻光束之间的光轴间距越小，精度越高。当被检测物通过光幕时，会把光束遮挡，受光器监控光幕的通断状态，并把这一信号传给控制与执行系统，从而达到检测测量的目的。光幕传感器的优缺点较为明显，其优点在于检测距离长、对检测目标限制少、精度高、并可判别颜色，但主要的缺点则是环境适应性差，光源易受到环境污染导致，导致检测失效。

如采用 6G 通信感知一体化方案，毫米波对灰尘、烟雾等环境穿透性较强，在仓储环境下相较于红外光幕传感器可能具有稳定的性能，且有望满足其厘米级别的高度及体积感知精度。但此场景下对感知的反应速度要求较高，对通信感知一体化的感知时延提出了较高的要求。

2.4.1.2 感知的 KPI

1) 货物输送数据采集的 KPI

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延
存在（有无）	传送带上物料检测	可辨认厚度 17mm 以上不透明物体	检测概率>95%	0-100m	≤ 20 ms
高度	确保货物高度，防止 皮带上物流堵塞	30mm	±0.0025mm	0.1-6m	≤ 3 ms
体积	货物检测，防止体积 过大卡住闸口	10mm	± 1mm	1-3m	≤ 2 ms
位置	保障货物安全距离	0.2mm	± 0.05mm	0-150mm	≤10ms

特殊需求：均需满足测量物品在 6m/s 移动速度下的测量精度

2) 货物输送数据传输的 KPI

通信类型	速率	传输时延	可靠性
存在（有无）	2.3Mbps	≤2ms	有线(I/O-links)



高度	2.3Mbps	≤2ms	有线 (IO-links)
体积	10 Mbps	≤200ms	有线 (Modbus TCP)
位置	10 Mbps	≤5ms	有线 (Profinet)

2.4.1.3 对 6G 系统的需求

在货物输送场景下，传感器为固定感知，且数据量较小，但对于信息及时性要求极高，一旦异常信息未能及时传达至 PLC 或中控，则会引起输送口拥堵从而导致整条传送带停工整理。所以，此应用场景对于 6G 系统的要求主要集中在确定性通信和传输时延上。整体的传输时延要求小于等于 2ms，可靠性按有线连接要求需达到 99.99% 以上。

2.4.2 应用场景二：货物分拣

2.4.2.1 应用场景描述

分拣系统主要应用于货物输送过程中的中转节点，在各个节点对货物进行分类并分拣到对应的输送设备中。在此过程中需要精确识别货物与分拣设备的距离、货物是否放置妥当（放置判断、掉落判断）、货物的体积、货物的重量、以及本身的物流信息。分拣过程主要由各类分拣设备提供，其分拣方式多种多样，但其分拣速度基本在 2500~3500 件/小时之间，因此分拣设备对于货物感知的精度及反应速度要求较高，任何细微的差错都可能导致分拣设备的损坏或货物的破损。同时，分拣过程中的快速反应也体现在数据采集的时延，以及传感器与分拣设备间的通讯时延上，均保持在毫秒级别。

当前的感知方案以压力传感器及图像传感器为主，压力传感器负责确认货物的存在有无及重量，图像传感器负责测距及扫码，如有需要分拣线上还会部署 RFID 读写器以进行货物的 RFID 标签识别。而货物的重量、条码和 ID 等无法通过 6G 通信感知一体化方案采集，且此场景下距离测量需要的精度非常高，综合来看此场景可能很难采用 6G 通信感知一体化方案替代。

2.4.2.2 感知的 KPI

1) 货物分拣数据采集的 KPI^{[14][15][16]}

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延
存在（有无）	监测分拣装置是否准确的讲货物放置正确位置	可辨认厚度 17mm 以上不透明物体	检测概率>95%	0m-100m	≤ 20 ms



距离	保障货物安全距离，为分拣设备提供参考	0.1mm	± 2 mm	0.1-100m	≤ 1ms (测量全白表面物体时 ≤ 20ms)
体积	帮助快递公司进行测量计费	1mm	± 1mm	1-3m	≤ 2 ms
重量	帮助快递公司进行测量计费	5g	± 1g	N/A	≤ 2 ms
物流信息(RFID)	对分拣线上货物芯片识别，实现精准分拣	-75 dBm	支持 200 以上个标签同时读写，识别率 99.998%	0-15m	≤ 3ms
物流信息(条码/二维码)	对分拣线上货物条码识别，实现精准分拣	距离 10cm 时 0.1mm 距离 4m 时 2mm	检测概率 ≥ 99%	0-4m	15ms

2) 货物分拣数据传输的 KPI

通信类型	速率	时延	可靠性
存在(有无)	2.3Mbps	≤2ms	有线(I0-links)
距离	20Kbps	≤1ms	有线(RS232)
体积	10Mbps	≤200ms	有线(Modbus TCP)
重量	20Kbps	≤1ms	有线(RS232)
物流信息	40Kbps	≤30ms	99.99%

2.4.2.3 对 6G 系统的需求

在货物输送场景下，传感器为固定感知，且数据量较小，但对于信息及时性要求极高，一旦异常信息未能及时传达至 PLC 或中控，则会引起输送口拥堵从而导致整条传送带停工整理。所以，此应用场景和货物输送场景相似，对于 6G 系统的要求主要集中在确定性通信和传输时延上。整体的传输时延要求小于等于 2ms，可靠性按有线连接要求需达到 99.99%以上。

此外，由于需要在狭窄的分拣通道部署或与分拣设备绑定，因此 6G 终端体积需要保持较小体积，且作为无线设备其功耗需要保持较低水平。

2.4.3 应用场景三：货物搬运

2.4.3.1 应用场景描述

货物搬运是指货物在工厂或仓库内部移动,以及货物在仓库生产设施之间或仓库与运输车辆之间的转移。在物流过程中,装卸与移动不断交替进行,其出现频率高于其他各项物流活动,是决定物流速度的关键。此外,装卸、运输时,货物经常与环境及载具进行接触,是物流运输中造成货物损坏、散失、损耗的主要环节。因此。货物搬运环节对载具的稳定性、导航精度、装卸精度、避障能力要求就高,导致其相关感知精度要求也高于其他环节。当前在物流领域中,AGV 已逐步取代传统人工搬运,成为物流搬运系统中的主要运输方式, AGV 在运输过程中需要实时感知自身与周围环境物体的距离、角度,自身与地面导轨的磁感,以及自身的速度、角度,以保证运输过程中的精准避障及导航。

采用 6G 通信感知一体化方案的毫米波雷达有望作为现有激光雷达、超声波雷达以及地磁的替代,但目前来看毫米波的感知精度性能只能满足一般的性能要求,可以满足在快递、工业、冷链等精度要求较低场景。但在高价值货运场景下,对距离的分辨率及精度要求一般达到了 0.2mm 级别,此类场景目前很难通过通信感知一体化方案实现。

2.4.3.2 感知的 KPI

1) 货物搬运数据采集的 KPI

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延
距离	监测 AGV 前方障碍物,帮助 AGV 及时减速或停止;对接输送带,承取货物	5-10cm	±5-20mm	0-15m	≤ 1ms
角度	监测 AGV 前方障碍物,帮助 AGV 及时转向	0.5°	± 0.05°	1-15m	≤ 1ms
磁感	监测地面磁导带或磁钉,辅助导航	1mm(感应磁场强度>2mT)	± 0.5mm	0-150mm	≤ 0.1ms
AGV 速度	监测 AGV 速度,防止超速	2g	± 1mg	N/A	≤ 0.5ms
AGV 角度	根据自身角度及前方障碍角度进行转向	0.01°	± 0.005°	N/A	≤ 0.5ms
AGV 位置/AGV 机械臂位置	监测自身坐标,以及辅助搭载机械臂对货物的识别	1.5mm	± 0.001mm	N/A	≤ 25ms

2) 货物搬运数据传输的 KPI^{[17][18]}

通信类型	速率	时延	切换时延	可靠性
距离	≥16Mbps	≤200ms 最优时延建议≤20ms	≤200ms 最优时延建议≤20ms	≥99.99%
角度				
磁感				
AGV 速度				
AGV 角度				
AGV 位置				

2.4.3.3 对 6G 系统的需求

在货物搬运场景下,6G 毫米波有望作为 AGV 雷达为 AGV 提供导航,同时将 AGV 位置及状态信息上传平台。因此,6G 网络需要考虑时域双工等方案,使通信和雷达功能独立运行,以尽量减少相互干扰。AGV 本身状态及预设路径大部分情况下不会轻易改变,因此从 AGV 到平台的信息上报对于传输时延要求较低,少于 20ms 即可。但随着厂区范围不断扩大,6G 网络需在此场景下支持不同区域间的网络稳定连续地切换,业务面与控制面的切换总时延不高于 200ms。

由于需要与 AGV 绑定,因此车载 6G 终端体积需要保持较小体积,且作为无线设备其功耗需要保持较低水平。

2.4.4 应用场景四：货物堆垛

2.4.4.1 应用场景描述

货物堆垛是 AGV 运送物品到暂存点位或立体仓库后的环节,主要是利用堆垛机在立体仓库的巷道间穿梭运行,将位于巷道口的货物存入货格或将货格中的货物取出运送到巷道口。在堆垛过程中,如距离判断失误,可能会导致重心失衡、货物散落或货柜倾倒。同时,货物摆放时还需注意垛距、墙距、顶距、柱距和灯距,以避免贴墙、挨柱、碰顶、近灯导致碰撞、挤压产生的货物破损或高温产生明火,因此距离感知是货物堆垛环节中最重要感知参数。

2.4.4.2 感知的 KPI

1) 货物堆垛数据采集的 KPI^{[15][16]}

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延



存在（有无）	堆垛上货监视、货架占用情况监视、货物凸出监视	可辨认厚度 17mm 以上 不透明物体	检测概率>95%	50m	≤ 20 ms
距离	保障堆垛机与货柜的安全距离	0.1mm	±2mm	300m	≤ 8ms
区域扫描	巷道货物掉落监测	角分辨率 0.1° 距离分辨率 1mm	±0.001° ±0.01mm	360 度扫描 60m	≤ 5ms
物流信息（RFID）	堆垛机自寻轨道辅助、空 间定位、抓取识别	-75 dBm	支持 200 以上个标签同 时读写，识别率 99.998%	210mm	≤ 3ms

2) 货物堆垛数据传输的 KPI

通信类型	速率	时延	可靠性
存在（有无）	2.3Mbps	≤2ms	有线 (IO-links)
距离	20Kbps	≤200ms	有线 (Modbus TCP)
区域扫描	10Mbps	≤1ms	有线 (RS232)
物流信息（RFID）	40Kbps	≤30ms	99.99%

2.4.4.3 对 6G 系统的需求

6G 通信感知一体化技术有望代替传统激光雷达以实现区域障碍物感知，此场景下对传输时延要求较高，其时延需要保持 200ms 以下，防止堆垛机因信息不及时导致碰撞。

2.4.5 应用场景五：仓储管理

2.4.5.1 应用场景描述

仓储管理主要面向仓储货物的监控与管理，一是对对易变质、易受损的货物进行温湿度监控，保证货物质量在出库时维持原样；二是对仓储安全进行监控，对仓库内火情或可疑人员入侵及时探知并报警；三是通过 RFID 标签为堆垛机提供识别信息，方便抓取出库。

2.4.5.2 感知的 KPI

1) 仓储管理数据采集的 KPI^{[15][17]}

数据类型	功能	分辨率	精度	感知距离	感知时延
------	----	-----	----	------	------



温度	保障冷藏类货物质量，防止变质	0.1° C	±0.2° C	5m	≤ 1s
湿度	保障货物干爽清洁，防止受潮	1%RH	±2%RH	5m	≤ 1s
烟雾/火焰	保障仓库消防安全、避免火灾	1.06	±0.26%FT（烟雾浓度）	30m	≤ 20ms
入侵监测（存在探测）	探测异常入侵人员，保障货物安全	N/A	0.5-2m	6m	≤ 5s
物流信息（RFID）	堆垛机自寻轨道辅助、空间定位、 抓取识别	-75 dBm	支持 200 以上个标签同时 读写，识别率 99.998%	210mm	≤ 3ms

2) 仓储管理数据传输的 KPI

通信类型	速率	时延	可靠性
温度	250Kbps	≤10s	99.99%
湿度			
烟雾/火焰			
入侵监测（存在探测）			
物流信息	40Kbps	≤30ms	99.99%

2.4.5.3 对 6G 系统的需求

仓储管理场景下传感信息多为周期性上报，时延要求较低，所以 6G 系统可利用冗余重传机制以满足高可靠性传输需求。

此外，仓储环境属于长期无人场景，因此 6G 终端需要具备一定的防尘、防水、防霉能力，以保障在长期无人的情况下，终端依旧可以正常运作。

2.5 医疗和健康领域

2.5.1 应用场景一：生命体征监测

2.5.1.1 应用场景描述

呼吸和心跳等生命体征与人体身体健康状况息息相关，这些信号提供了医学问题的重要线索，例如睡眠障碍或异常，呼吸急促或呼吸不畅等症状都反映了身体的非健康状况，常见的感冒、流感、肺部病毒感染等疾病，也会引发咳嗽、鼻塞等呼吸问题，由于上呼吸道堵塞引起的呼吸暂停症状更是会威胁到患者的生命健康。心率变化往往由活动引起，在睡眠或休息时，节奏较慢，但心率往往会随着身体活动、情绪反应、

压力或焦虑等因素而加快，心率超出正常范围可能表明存在诸如心动过缓（心率过低时）或心动过速（心率过高时）等疾病。对呼吸和心跳等生命体征进行监测对于医疗保健以及日常生活等领域具有重要意义。

在临床医学上，现有医疗设备都是通过有线连接技术获取高精度的呼吸信号，接触式检测在医院病床监护场景下被广泛使用，但在居家生活中对日常睡眠进行长期不间断的检测则不适用，一方面影响被测试者的睡眠舒适度，不便于人体自由活动，且购买专门的设备以及维护等增加了额外的成本开销；另一方面佩戴的检测设备对于部分患者可能产生皮肤刺激，例如婴儿或有皮肤烧伤的病人等。常见的非接触式呼吸检测技术例如：1) 谐振电路调频法对于电流过于敏感，电路中本身存在的电路噪音会产生干扰，检测准确度存在问题；2) 涡流检测方法则会带来一定的副作用；3) 红外热成像检测法会因为周围环境的温度导致一定程度的误差；4) 机器视觉检测方法通过摄像头收集人体的视频信息间接获取呼吸信息，但是该方法受到光照条件的影响，并且不能有遮挡，应用场景进一步受到了限制。常用的心率监测技术例如光电法、心电信号法等，通常也需要专门的测量仪器或穿戴式设备。相比较之下，利用无线信号检测能够克服以上不足，通过对接收到的无线信号的分析获取信道状态信息，进而能够得到呼吸以及心跳的特征信息，且由于无线信号在绝大部分场景中广泛存在，该方式具有无接触、低成本的优点。

2.5.1.2 感知的 KPI

利用无线感知技术进行生命体征监测主要是对胸腔起伏运动带来的信号反射路径变化特征进行检测，主要反映在信道的多普勒特征上，对于实时监测应用，考虑到人体典型呼吸频率范围（0.1~0.5Hz）以及心率范围（0.8~2Hz），保证 1~10s 的感知数据刷新时间间隔可以满足异常呼吸检测需求。另外，由于生命体征监测主要针对室内场景，且一般为病房、卧室或驾驶室，因此对感知覆盖的要求较低。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
生命体征监测	>10m	0.1-1Hz (间隔 1-10s)	<1s	多普勒	<0.05Hz	<0.05Hz	N/A		

2.5.1.3 对 6G 系统的需求

在生命体征监测场景下，感知方式包括上行/下行感知，基站/UE 自发自收感知或侧行链路（Sidelink）感知，需要网络设备和终端支持收发感知信号，传输感知信息，计算感知结果。对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

- 1) 覆盖范围：生命体征监测主要用于室内场景，且一般为病房、卧室或驾驶室，

因此对感知覆盖的要求较低，满足室内覆盖即可，一般为 10m

2) 系统带宽：对于 6G 系统的频段无特殊要求，低频、高频均可满足需求，感知测量以多普勒测量为主，因此对带宽要求较低，若需要提供更多感知信息如距离、角度等，则网络带宽需要满足对应的距离精度和分辨率要求

3) 时延：对于感知时延的要求为小于 1s

4) 移动性：本场景对设备的移动性无要求，对于实时监测应用，为能够及时、准确检测出生命体征异常的发生，感知信号的收发、感知结果的计算和感知信息的传输需要保证低时延和高可靠特性

2.5.2 应用场景二：疾病监测与诊断

2.5.2.1 应用场景描述

癫痫是世界上最普遍的神经系统疾病之一。其临床症状多种多样，包括肌肉抽搐、两眼发直、凝视、痉挛、昏厥和意识模糊等。癫痫对患者的日常生活产生了严重影响，而且这种疾病很难完全治愈，特别是对于强直阵挛型癫痫发作，存在致命风险。因此，对于癫痫疾病，需要长期规范的监测、治疗以及控制病情，但这也为患者的家庭和社会带来了沉重的经济负担。因此，及时而准确的监测与诊断，加强癫痫疾病的防治显得极为重要。脑电图（Electroencephalograph, EEG）是诊断癫痫疾病和定位病灶的重要辅助检查手段。目前，临床上常用的监测方法主要有：常规脑电图、动态脑电图和视频脑电图。然而，上述方法存在一些问题，如限制患者的活动、侵犯患者隐私、佩戴复杂设备以及准确率不高等。这些方法通常用于医院特定检查室，用于诊断和监测患者的病情，但不能监测患者日常生活中的病情变化。然而，了解患者日常病情的变化可以帮助医生制定更合理的治疗方案。

针对现行临床监测与诊断方法的不足之处，我们提出基于 6G 无线感知信号的无接触诊断与监测方法，该方法可以有效地实现医院和家庭环境的无接触感知监测，避免了需要佩戴大量电极的不便，也不危及患者的隐私安全。这种方法可以作为独立的或者辅助的癫痫疾病的诊断与监测方法，并可以与常规临床方法结合使用。具体来说，我们可以通过监测患者癫痫发作时的全身或局部抽搐以及其他肢体活动，利用无线信道状态信息来捕捉这些运动。通过对信号变化的分析，可以挖掘出微小的疾病变化趋势，以及发作的持续时间、频率和类型等信息。特别是对于运动性发作症状，这种方法可以有效地帮助确定癫痫的种类。在实际应用中，对于初次疑似癫痫病例，传统的问诊往往难以获得准确的信息。而短期的住院观察可能无法捕捉到癫痫发作症状或者症状不明显的情况。因此，我们可以利用无线智能感知技术在家中监测，并定期将监测结果传送给医生，以辅助疾病诊断。如果系统判断病情异常，可以及时向患者及家属发出警告。即便在癫痫确诊后，仍然需要对患者的癫痫发作情况进行监控，以



确保治疗的精准性和精细性。癫痫治疗所用药物必须随着病情的变化调整种类和剂量，以获得最佳的治疗效果并尽量减少药物的副作用。因此，监测癫痫患者病情变化显得极为重要。通过对患者进行 7×24 小时全天候的监测，我们可以充分了解患者的病情，从而协助医生制定治疗方案。

2.5.2.2 感知的 KPI

1) 疾病监测与诊断数据采集的 KPI

在癫痫疾病的监测与诊断过程中，需要对患者的行为活动进行感知。具体地，监测功能主要在室内进行，参考常规室内面积，要求感知覆盖距离达到 10m 以上。由于疾病监测过程中如果发生危险（如患者发病跌倒）需进行紧急上报，如果不能准确检测并上报，可能涉及患者的生命安全，对感知检测概率有较高的要求。在对患者的活动进行监测的过程中，首先需要进行粗感知，用来获取患者位置和移动速度，同时判断患者是否有发病；接着需要进行细感知，识别癫痫发作肢体活动的细节，判断是否有癫痫发作，并对癫痫发作类别进行分析。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
疾病监测与诊断	>10m	0.01-0.1Hz	100-300ms	存在（有无）和识别	N/A		>99%	<1%	>90%
				距离	±0.2m	0.3-0.5m	N/A		
				角度	±1°	1° -2°			
				速度	±0.1m/s	0.2-0.5m/s			

2.5.2.3 对 6G 系统的需求

根据感知 KPI 的要求，可以得到疾病监测与诊断场景对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

1) 覆盖范围：疾病监测主要用于室内环境，无论患者处于室内的何种位置，需提供尽可能无死角的覆盖能力。单个感知节点覆盖距离需达到 10m 以上

2) 系统带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下以感知的需求为主。综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，需提供百 MHz 级带宽。例如，对于 0.3m 的感知距离分辨率，要满足约 500M 带宽需求；对于 0.2m 的感知距离精度，在 10dB 信噪比条件下，需满足约 170M 带宽需求

3) 时延：疾病监测过程中，若患者疾病发作将威胁生命安全，需立即通知家属并报警，对于感知时延的要求较高，整体时延控制在 100ms-300ms

4) 可靠性：疾病监测涉及患者生命安全，对于网络的可靠性要求较高，首先要能够精准检测出患者出现疾病发作，检测概率需达到 99%；其次，要能够判断疾病发作



的类型，后续将有医生再次进行诊断，所以识别准确率要求不高，识别准确率需达到90%

5) 移动性：疾病监测场景中，患者移动速度较慢，通常不超过 3m/s，网络可以灵活配置资源来支持不同移动速度的检测

6) 安全性：用户疾病数据属于非常隐私的数据，需要 6G 网络提供极高的数据安全保障，需支持终端接入授权和信息加密

7) 连接密度：居家环境的疾病监测场景通常小于 4 人，医院、养老院等疾病监测场景通常小于 10 人

8) 终端功能：终端需具备感知数据采集、感知需求处理、感知结果计算、感知信息传输等能力

2.5.3 应用场景三：疾病康复训练

2.5.3.1 应用场景描述

帕金森病是全球第二大神经退行性疾病，尤其在老年人群中发病率较高。患者主要表现为静止性震颤、肌肉强直、动作迟缓、动作减少、姿势平衡障碍等运动症状，以及睡眠障碍、嗅觉障碍、自主神经功能障碍、认知障碍等非运动症状。这些症状导致患者行动迟缓，降低了生活参与度，严重影响了生活质量，给患者身心带来极大痛苦。目前，药物治疗和康复训练是主要的治疗方法。康复训练可以激活大脑的可塑性机制，促进神经康复，有效缓解运动障碍症状。然而，帕金森病康复训练需求巨大，但我国专业康复医疗中心数量不足，专业康复人才短缺，难以满足不断增加的康复治疗需求，也难以保障患者获得专业的康复训练指导。智能机器人辅助康复技术相比传统的人工辅助康复训练具有灵活、量化、适度、可重复的优势，可能成为解决上述问题的有效方案。然而，这种方案也存在成本高、涉及患者隐私和需要大量可穿戴设备的使用等弊端。

针对现有临床康复方法的弊端，我们提出基于 6G 无线感知信号的无接触康复训练方法。该方法可以作为独立的或者辅助的帕金森疾病康复方法，并可以与常规的临床方法相结合使用。具体来说，患者根据系统软件示范的动作进行躯体运动功能康复训练，包括关节活动范围训练、肌力训练、姿势训练、平衡训练、步态训练、转移训练、手功能活动训练等。在患者进行康复训练时，无线信号会产生干扰。通过分析接收信号，我们可以判断患者重复的训练动作是否标准，挖掘出患者可能存在的问题，并提供改进方向。除了特定康复训练，系统还可以分析患者的日常行为，全天候监测患者的运动功能恢复情况，并据此制定个性化的康复训练计划，帮助患者更快、更高效地恢复到疾病前的运动水平。医生可以根据患者的恢复情况调整药物治疗方案，以

加速患者的康复过程。

2.5.3.2 感知的 KPI

1) 疾病康复训练数据采集的 KPI

在帕金森疾病的康复训练过程中，需要对患者的行为活动进行感知。具体地，康复训练功能主要在室内进行，参考常规室内面积，要求感知覆盖距离大于 10m。由于康复训练过程中，系统会给出训练动作示范样例，根据患者的模仿情况给与相应的判断与反馈，一般情况下患者需要在 5-10s 内完成一个动作，所以对感知时延的要求不高。在对患者的康复训练进行监测的过程中，首先需要进行粗感知，感知患者的位置和移动速度。然后进行细感知，识别康复训练肢体活动的细节。因此，需要监测系统具有测距、测角、测速功能。进一步的，在获取患者活动信息后，对患者模仿情况进行分析，判断患者模仿是否准确，给出康复训练评分。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
疾病康复训练	>10m	0.01-0.1Hz	500ms	存在（有无）和识别	N/A		>99%	<1%	>99%
				距离	±0.2m	0.3-0.5m	N/A		
				角度	±1°	1° -2°			
				速度	±0.1m/s	0.2-0.5m/s			

2.5.3.3 对 6G 系统的需求

根据感知 KPI 的要求，可以得到疾病康复训练场景对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

- 1) 覆盖范围：疾病康复主要室内环境或室外环境中进行，无论患者处于何种位置，需 6G 网络提供尽可能无死角的覆盖能力，单个节点覆盖距离大于 10m
- 2) 系统带宽：系统带宽需要同时满足通信和感知的需求，此场景下以感知的需求为主。综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，需提供百 MHz 级带宽。例如，对于 0.3m 的感知距离分辨率，要满足 500M 带宽需求；对于 0.2m 感知距离精度，以 10dB 信噪比为例，需要满足约 170M 带宽需求
- 3) 时延：康复训练过程中，感知的整体时延控制在 500ms 以内
- 4) 可靠性：要求当患者有动作产生时检测概率达到 95%以上，康复动作识别的准确率达到 99%
- 5) 移动性：康复训练场景中，感知目标移动速度较慢，通常不超过 3m/s，需要网络资源灵活配置来支持不同目标移动速度检测

6) 网络安全：支持终端接入授权，支持加密；用户疾病数据属于非常隐私的数据，需要 6G 网络提供极高的数据安全保障

7) 连接密度：居家环境的康复训练场景通常小于 4 人，医院、养老院等康复训练场景通常小于 10 人

8) 终端功能：终端需具备感知数据采集、感知需求处理、感知结果计算、感知信息传输等能力

2.6 娱乐领域

2.6.1 应用场景一：智能交互娱乐

2.6.1.1 应用场景描述

人的动作会对无线信号产生不同的扰动，通过分析无线信号扰动结合机器学习，可以识别目标不同行为动作。未来 6G 通信感知一体化系统根据工作频段和带宽的不同可以对不同大小粒度的动作进行识别，实现更加方便和智能的人机智能交互娱乐，从而更好支持交互式游戏娱乐。

当通信感知一体化系统工作在较高频段时(例如 60GHz 及以上频段)，可以实现对目标细微动作的识别，例如手指的移动和手势。现在较为成熟的手势识别技术都是基于图像的，它们有着一些限制与缺点。传统基于图像的手势识别技术的识别率受到光线条件的限制。相比之下，通信感知一体化系统更具优势：一方面不受光线限制，即使在黑暗条件下也能进行识别，没有隐私泄露的隐患；另一方面可以使用既有的毫米波或太赫兹通信设备进行识别，不需要额外部署如摄像机或雷达等设备。

基于通信感知一体化技术的手势识别，可广泛应用在可穿戴设备和终端设备上，实现更便捷和高效的人机智能交互。例如，可以通过手势识别控制智能设备，替代触摸屏；游戏的操作控制不再局限于键盘、鼠标或面板等传统设备，而是通过肢体或者手势动作能完成游戏娱乐操作，带来更加沉浸的游戏体验感和更加丰富的游戏操作感。

2.6.1.2 感知的 KPI

1) 智能交互娱乐数据采集的 KPI

智能交互娱乐涉及到 XR 娱乐中人物动作的生成，如果想让人们在进行游戏体验时不产生眩晕感，沉浸式 XR 的端到端时延必须低于 MTP 要求，即小于 20ms^[19]。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
智能交	>10m	N/A	≤20ms	识别	N/A		N/A	>99%	



互娱乐	距离	$\pm 1\text{cm}$	0.2-2m	N/A
	角度	$\pm 1^\circ$	3°	
	速度	$\pm 0.1\text{m/s}$	0.1m/s	

2.6.1.3 对 6G 系统的需求

从感知 KPI 的需求可以看出，智能交互娱乐场景对于 6G 系统最主要的要求是感知时延，感知时延要求小于 20ms 甚至更低，才能保证娱乐交互流畅。此外，手势识别和姿态识别需要一定算力的支持，而且较多识别算法由 AI 完成，所以 6G 系统需要内生算力和内生 AI。此场景下对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

- 1) 覆盖范围：大多智能交互娱乐场景发生在室内，更多考虑视距场景，单个感知节点覆盖距离需求为 10m
- 2) 系统带宽：系统带宽由交互业务的需求决定，要达到 0.01m 的距离精度和 0.2m 的距离分辨率需求，则系统带宽需达到千 MHz 级左右
- 3) 时延：感知时延需要控制在 20ms 以支持较好的交互体验
- 4) 可靠性：为保证良好的用户体验，感知准确率需大于 99%
- 5) 移动性：室内场景，需支持移动速度最高不超过 3m/s 的目标测量
- 6) 接入需求：终端设备可以直接接入基站，也可以先接入其他终端再接入网络
- 7) 网络安全：室内场景涉及到个人隐私，支持安全加密
- 8) 连接密度：支持连接个位数用户
- 9) 终端能力：终端需具备感知数据采集、感知需求处理、感知结果计算、感知信息传输等能力

2.6.2 应用场景二：虚拟环境构建

2.6.2.1 应用场景描述

元宇宙的兴起可以让人经历虚拟的数字世界，同时也能连接数字世界和物理世界，而感知是支持元宇宙实现的核心技术。元宇宙虚拟世界和物理世界一样需要逐步增长和扩展，显然这种增长不仅是依赖于程序代码，也取决于物理世界中的人和物在虚拟世界中的表现。6G 感知能精准识别物理世界环境，包括周围的物体、动物和人，并在虚拟世界中呈现，随着用户的移动，用户周围的物理世界环境在实时变化，这种变化也将同步在虚拟世界中进行。感知是从物理世界通往虚拟世界的大门，而感知的精度和时延是元宇宙虚拟环境构建的最根本保障。通信感知一体化系统可以实现对环境的精准描绘以及对于环境变化的识别，从而更好的支持虚实互动的娱乐和元宇宙等的体

验。

2.6.2.2 感知的 KPI

1) 虚拟环境构建采集的 KPI

虚拟环境构建涉及到 XR 娱乐中物品、NPC 和地图等的生成，如果想让人们在进行游戏体验时不产生眩晕感，沉浸式 XR 的端到端时延必须低于 MTP 要求，即小于 20ms。此外娱乐中的虚拟环境可通过算法等进行扩展生成（即非按照 1:1 比例），对精度的要求可以不需要太高。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概 率	虚警概 率	识别准 确率
虚拟环 境构建	>100m	N/A	≤20ms	识别	N/A		N/A		>90%
				距离	±0.1m	0.2m-2m	N/A		
				角度	±1°	3°			

2.6.2.3 对 6G 系统的需求

从感知 KPI 的需求可以看出，虚拟环境构建场景对于 6G 系统最主要的要求是低感知时延（20ms，甚至更低）。此外，还需要一定的算力支持，用来支持周边环境人和物的识别，以及虚拟环境的生成，对于 6G 系统需要内生算力和内生 AI。此场景下对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

- 1) 覆盖范围：大多 XR 类娱乐主要在室内场景，但考虑未来室外更丰富的应用，单个感知节点覆盖距离需求为 100m
- 2) 系统带宽：带宽由交互业务的需求决定，要达到 0.1m 的距离精度和 0.2m 的距离分辨率需求，则系统带宽需达到百 MHz 级
- 3) 时延：感知时延控制在 20ms 以支持较好的视觉体验
- 4) 可靠性：感知准确率需大于 90%
- 5) 移动性：室内场景，需支持移动速度最高不超过 3m/s 的目标测量
- 6) 接入需求：终端设备可以直接接入基站，也可以先接入其他终端再接入网络
- 7) 网络安全：室内场景涉及到个人隐私，支持安全加密
- 8) 连接密度：支持连接个位数用户
- 9) 终端能力：终端需具备感知数据采集、感知需求处理、感知结果计算、感知信息传输等能力

2.7 社会服务领域

2.7.1 应用场景一：公共安防

2.7.1.1 应用场景描述

公共安全防护是社会服务体系的重要组成部分，也是实现社会治理创新的关键领域。公共安防的主要目的对居民生命、个人或公共财产和生态环境等的保护，为了达到较为理想的保护效果，首先需要能够实现大范围的监控，覆盖尽可能多的区域；其次也需要保证监控能够在全天候服务。公共安全场景主要包括危险入侵检测和安全检测等。

■ 危险入侵检测

危险入侵检测主要应用于园区、铁路/高铁和机场等场景，被检测的对象主要包括为人、动物、落石、鸟类等。在工业园区、学校校园等场景下，需要对园区边界进行检测，防止小偷、动物等入侵园区，在检测到入侵后能够及时发出告警；在铁路或高铁等场景下，轨道异物入侵问题会严重影响列车的安全行驶，例如山体滑坡和巨大落石等将威胁个人的生命和列车的安全，需要对铁路轨道沿线进行监控，在发现入侵轨道的异物后及时告警、通知驾驶员采取紧急预案并及时清理；在机场等场景下，鸟类或无人机的空中入侵将会影响航班次序，严重者甚至会造成巨大的生命和财产破坏，每年因鸟类入侵造成的碰撞事件有数千起，造成数百亿美元的巨大损失，而未来随着无人机的兴起，也对空中入侵的监测也提出了更大的挑战。

■ 安全检测

安全检测主要应用于大型商场、车站、机场等人员密集场所的安检，被检测的对象主要包括刀具、武器、炸药等。大量的人口流动带来的经济活动是推动经济快速发展的重要因素，但大量的人口流动也会伴随着巨大的安全隐患，进行严格的安防检测尤为重要。目前，世界各国正处在突发公共安全事件高发期，此类事件每年带来的经济损失高达 6000 多亿元，其中社会治安事件造成的损失超过 1500 亿元，且呈现逐年增涨的趋势，公共安全事件的高发已引起国家和各级政府的高度重视。目前的安检设备如手持安检仪、安检门等，只能检测金属等物品，无法排除陶瓷刀具、液体、炸药等非金属种类的危险品，存在较大的漏洞。而太赫兹具有分辨率高、穿透性好、物质鉴别性等特点，而且对人体无伤害，利用太赫兹成像进行危险物品的鉴别是一种非常理想的安检手段，在公共安全和反恐领域有着广阔的应用前景。

2.7.1.2 感知的 KPI

1) 公共安防数据采集的 KPI:

在危险入侵检测中，需要对入侵者进行检测，更进一步的可以识别入侵者属性（石



头、动物、人等)、以及入侵者的位置信息和速度。在安全检测中,需要对人体或行李携带的物品进行检测和识别,判断是否为违禁品,并实现对其的成像,辅助安检人员进行安全检查。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
危险入侵检测	≤1000m	10-20Hz	≤500ms	存在(有无)和识别	N/A		≥99.9% (铁路/高铁周遭) ≥95% (其余)	<1%	>90%
				距离	±0.5-1m	0.5m-1m	N/A		
				速度	±0.5-1m/s	0.5m/s-1m/s			
安全检测	≤100m	10-20Hz	N/A	存在(有无)和识别	N/A		>99%	<1%	99%
				成像	±1mm	1mm	N/A		

2.7.1.3 对6G系统的需求

对6G网络和终端的需求为:

1) 覆盖范围: 危险入侵检测用例中, 机场区域低空区域检测距离要求较高, 单个感知节点的覆盖距离要求最高需达到1000m; 安全检测用例单个感知节点的覆盖距离要求为100m

2) 系统带宽: 危险入侵检测中系统带宽需求为百MHz级, 而安全检测用例中涉及物体的成像, 对系统带宽需求较高, 需达到千MHz级

3) 时延: 此场景下的危险入侵用例对感知时延不敏感, 感知时延要求为≤500ms

4) 可靠性: 危险入侵检测用例中感知检测概率一般需大于95%, 铁路/高铁周遭检测概率需达到99.9%, 识别准确率需大于90%; 安全检测用例中感知检测概率需大于99%, 识别准确率需大于99%

5) 移动性: 此场景下感知目标移动速度较快, 需支持超过30m/s移动物体的检测。

6) 算力: 需要与AI结合, 对被感知物体的属性和类型进行判断, 算力资源可根据时延的不同需求按需部署在网络的不同位置

2.7.2 应用场景二：客流统计

2.7.2.1 应用场景描述

客流通常是购物场所（商场、书店）、交通场所（火车站、飞机场、地铁站）、住宿餐饮场所（宾馆、饭店、咖啡馆）、体育游乐场所（体育场馆、游乐场馆、景区）、文化娱乐场所（影剧院、音乐厅、展览馆、图书馆）、就医场所等公共场所管理和决策不可或缺的数据。目前常用的客流统计方法主要包括：人工、红外线、Wi-Fi 探针、视频、重力感应、三辊闸等方式。上述方式在准确性、便利性、稳定性、成本、隐私安全等方面存在各自的优势和不足。

未来利用 6G 通感一体化技术的感知、成像能力实现公共场所的客流统计。这将对传统的统计方式进行有效地补充，弥补现有不足。在商场、景区、车站等公共场所需要对客流人数进行感知，进一步获得客流人数随时间的变化规律，从而优化调度措施、提升管理水平。此外，判断热门景点商铺、突发事件频发地、建立个人专属用户画像需要对人们的位置、轨迹、行为进行感知。利用无处不在的 6G 基站，实现全天候、全方位地感知，将感知数据上传至处理中心，通过人工智能、大数据等方法挖掘用户特性。也可以结合其它成熟的客流统计方式进行多模态感知，提升感知性能。根据不同场景的业务需求有针对性的进行客流统计，辅助业务管理，提升用户体验。同时，可以利用感知数据辅助通信。根据客流量的特征进行通信资源的合理分配，提升通信性能。

对于商业场景，利用感知得到的客流数据，分析消费者的进店率、驻留率，可为商场的运营决策提供重要的数据支撑、实现盈利变现。根据用户画像的分析进行个性化推荐，提升用户购物便捷性。针对性地调整营销策略，提升产品销量。对于景区场景，根据客流情况，分析客流的变化规律，得到不同景点的受欢迎程度，了解游客的行程路线，可为景区的后期运维建设提供数据支撑。对于交通场景，车站、机场场景，人员密集。通过实时掌控客流趋势，在客流高峰时根据客流变化采取灵活调度措施，并做好突发事件的准备工作。根据客流调整员工轮岗时间，提高顾客服务质量，提升旅客体验。

2.7.2.2 感知的 KPI

1) 客流统计数据采集的 KPI:

客流统计主要对人数及人的位置变化进行统计，要求 6G 系统具有测速、测距、测角功能。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率



客流统计	>100m	0.01-0.1Hz	200-500ms	存在（有无）和识别	N/A		>95%	<5%	>95%
				距离	±0.2m	0.3-0.5m	N/A		
				角度	±1°	1° -2°			

2.7.2.3 对 6G 系统的需求

对 6G 网络和终端能力的需求：

- 1) 覆盖范围：流量统计通常用于公共的室内外场所，单个节点覆盖距离大于 100m
- 2) 系统带宽：系统带宽需要同时满足感知的需求，综合考虑业务的感知分辨率和精度的要求，需提供百 MHz 级带宽。例如，对于 0.3m 的感知距离分辨率，要满足 500M 带宽需求
- 3) 时延：客流统计对于时延的要求相对较低，整体时延控制在 200ms-500ms
- 4) 可靠性：该场景需要的检测概率为大于 95%，虚警率小于 5%，识别准确率大于 95%
- 5) 移动性：该场景中感知目标移动速度较慢，通常不超过 3m/s
- 6) 连接密度：客流统计场景的人员密度通常较大，通常大于 50 人
- 7) 终端功能：终端需具备感知数据采集、感知需求处理、感知结果计算、感知信息传输等能力

2.7.3 应用场景三：生态环保

2.7.3.1 应用场景描述

随着城市现代化进程的加快，大气污染问题也趋于严重，对民众的日常生活造成了一定阻碍。环境监测中的大气监测控制与保证是降低城市碳排放水平的关键，准确监测样品与可靠的数据分析，能够准确判断大气质量情况，监测温室气体浓度，为大气质量及碳排放改善措施提供指导。

大气环境监测数据主要包括：风速风向、温度、湿度、温室气体、空气颗粒度和气态污染物等与大气污染相关的气象要素。其中空气颗粒污染物包含 PM2.5/10 悬浮颗粒、飘尘以及降尘等；温室气体包括二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等；大气中的气态污染物包括臭氧、氮氧化物、一氧化碳、硫氧化物以及碳氢化合物等。为了更好的对大气环境及温室气体排放实行监管，落实国家低碳战略，需要将监测区域划分为网格化管理模式，针对于城市、乡村、郊区、工业园区、建筑工地等存在污染排放源的区域，进行全面、精准“布点”，将监测区域按 1000m×1000m 格点部署，然后对于每个网格监测点安装大气环境监测设备，通过水平、垂直监测构建领先的“点一面一域”三位一体

的大气立体网格监测系统，形成全面的覆盖整个区域的监测网络。

传统自动环境空气质量监测装置需部署在离地 3~20m 的范围内，存在部署难，传感器及数据传输成本高的问题。而利用 6G 通信感知一体化系统，依托城市内运营商站点密集分布的优势，基于太赫兹吸收谱特性以及对化学信息的“指纹谱”特性，在基站之间发送感知信号，通过在不同气候环境下接收端感知信号的变化来实现广域、高精度和实时的温度、降雨量、大气湿度等气候指标的测量，能够实现对城市大气质量和碳排放的网格化精准监控。



图 2-8 环境监测的实现示意图

2.7.3.2 感知的 KPI

1) 生态环保数据采集的 KPI^[20]:

数据类型	功能	感知频率	精度	感知时延	感知距离
温度	感知环境温度	小时	±0.5° C	<1s	>1m
湿度	感知环境湿度	小时	±10%	<1s	>1m
风速	感知环境风速	小时	±1m/s	<1s	>1m
气压	感知大气气压	小时	±1hPa	<1s	>1m
降雨	感知环境降雨量	小时	±1mm/h	<1s	>1m
温室气体	感知环境二氧化碳、甲烷等温室气体浓度	小时	x	<1s	>15m
噪声	感知噪声强度	小时	±0.5dB	<1s	>3.5m
空气颗粒物	感知 PM2.5/10 悬浮颗粒、飘尘以及降尘等浓度	小时	±3%	<1s	>1m
空气气态污染物	感知臭氧、氮氧化物、一氧化碳、硫氧化物以	小时	x	<1s	>15m



	及碳氢化合物等有害气体浓度				
--	---------------	--	--	--	--

2) 生态环保数据传输的 KPI:

通信类型	速率	传输时延	可靠性
环境感知数据通信	100Mbps	≤1s	99%

2.7.3.3 对 6G 系统的需求

根据感知 KPI 的要求，可以得到生态环保场景对 6G 网络和终端能力的具体需求包括：

对 6G 终端的需求：

- 1) 终端体积：极小体积，易于鸟类昆虫等携带测量
- 2) 终端材质：多为抗金属材质标签，考虑天气情况恶劣，应具备耐高温、耐严寒、耐雨水冲刷、不易变形等特性
- 3) 终端瞬时功耗：极低功耗需求，约为微瓦量级
- 4) 终端辅助供能方式：多为无源设计，可通过电磁能、太阳能、风能辅助供能

对 6G 网络的需求：

- 1) 覆盖需求：大气环境监测场景覆盖范围广泛，包括城区与偏远地区，需 6G 极低功耗物联网提供尽可能强覆盖能力
- 2) 网络安全：支持极低功耗的终端认证授权方式，保护大气环境监测数据信息的安全性和准确性
- 3) 多模态感知：6G 系统需具备同时处理通信感知一体化感知数据和其他感知数据处理和融合的能力，此场景下为通信感知一体化技术配合终端对降雨等气象要素进行辅助监测的能力

2.8 智慧家庭领域

2.8.1 应用场景一：实时室内环境重构

2.8.1.1 应用场景描述

在全屋家电互联的趋势下，家庭服务机器人将会成为实现机器人与智能家居两大行业相互交融的重要角色，进入新一代智慧家庭的中心领域，突破品牌和品类的限制，驱动全屋智能家电，以此满足便捷需求。这种机器人除了需要通过计算机视觉、自然

语言处理、知识图谱等人工智能方法实现智能化，精准理解人的需求之外，还需要利用高速率、低时延、高可靠性的通信技术对家庭环境进行实时准确的感知，对自身进行高精度定位和对环境进行高分辨率重构，将现实世界虚拟化，方便机器人执行后续操作来提供服务。

目前机器人主要采用的 SLAM 方法，是以定位和环境重构两大技术为目标的一个研究领域。主流的 SLAM 技术应用为激光 SLAM(基于激光雷达)和视觉 SLAM(基于单/双目摄像头)，实现上主要分为基于滤波 (Filter-Based) 的 SLAM，和基于图优化 (Graph-Based) 的 SLAM。其中，1) 视觉 SLAM 在室内外环境下均能开展工作，但是对光的依赖程度高，在暗处或者一些无纹理区域无法进行工作的；2) 而激光 SLAM 目前主要被应用在室内，用来进行地图构建和导航工作。激光雷达距离测量比较准确，误差模型简单，在强光直射以外的环境中运行稳定，反馈信息本身包含直接的几何关系，使得机器人的路径规划和导航变得直观。同时激光 SLAM 理论研究也相对成熟，落地产品更丰富。但激光作为传统的雷达波，不携带任何信息，只具备单纯的感知功能，对感知获取的数据进行传输，仍然需要通信系统的参与。感知和通信作为独立的两部分会产生一定延迟，可能会对自身的定位和环境重构的结果产生一定的影响。所以，感知与通信内生融合的 6G 感知通信一体化技术在时延方面具有一定优势，也可作为潜在的方案，可以在一定的程度上配合或取代 SLAM 进行感知，实现实时室内环境的重构。

2.8.1.2 感知的 KPI

1) 实时室内环境重构数据采集的 KPI

在实时室内环境重构场景中，需要对机器人自身的位置以及环境中各物体的位置进行探测，同时探测物体的形状及轮廓，实现初步环境重构。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
实时环境重构	>10m	N/A	≤10ms	存在(有无)	N/A		>99%	N/A	
				位置	±5cm	1cm	N/A		
				成像	±5mm	1mm			

2) 高精度实时室内环境重构数据传输的 KPI

数据类型	速率	传输时延	可靠性
自身定位	200Mbps	≤10ms	99.9%



物体存在（有无）	10Mbps	≤10ms	99.9%
物体位置及形状	500Mbps	≤10ms	99.9%

2.8.1.3 对 6G 系统的需求

从场景描述中可以看出，感知的主体应该为家庭服务机器人（终端），需要终端具备实时感知、实时定位、实时数据处理的能力，同时需要具备将所获得的感知信息通过空口及时上传到基站的通信能力（低时延高可靠的通信能力）。对 6G 网络和终端的需求为：

- 1) 覆盖距离：主要用于室内场景，对单个感知节点覆盖距离的要求为 10m
- 2) 系统带宽：如仅需终端进行感知结果的传输，则网络带宽的需求为百 MHz 级；如需通过通感一体辅助环境重构，根据成像业务的精度和分辨率的需求，则系统带宽的需求为千 MHz 级
- 3) 时延：感知时延小于 10ms，传输时延小于 10ms
- 4) 可靠性：感知检测概率需大于 99%，通信可靠性需满足 99.9%
- 5) 多模态感知：需要具备同时处理 SLAM 感知和通信感知一体化感知数据处理和融合的能力

2.8.2 应用场景二：入侵检测

2.8.2.1 应用场景描述

智慧家庭领域是室内、局域感知的一类典型应用场景。通常人们大部分的生活时间都在室内活动，因此如何提高室内场景的用户体验是非常重要的。如今，室内家庭场景中存在着各种各样的移动通信终端设备，如可穿戴设备、传感器、智能手机、客户终端设备（Customer Premise Equipment, CPE），甚至包括 picocell、femtocell 等接入网设备。为了给 6G 用户提供更舒适便捷的室内生活，这些各种设备将通过 6G 网络彼此连接，共同构建一个智能家居平台。基于室内部署的智能家居平台，除了实现通信目的之外，6G 无线信号还可用于感知功能。随着 6G 网络的持续发展和广泛部署，利用 6G 无线信号支持智慧家庭领域感知业务，将为 6G 系统带来丰富的新垂直应用。本节描述了智慧家庭领域中感知帮助改善智能家居体验的典型用例——入侵检测。

传统的入侵检测方法主要包括视觉方案、红外感应、超声波、UWB 等技术，此外还有激光雷达技术，以及专用传感器技术，例如光感应传感器、声感应传感器、温度传感器、气体传感器等。视觉方案应用最为广泛，主要利用在室内部署的监控摄像头，通过基于图像背景差分原理等经典图像识别方法或基于机器学习方法的视频图像分析来检测并识别入侵者。基于经典图像识别方法的视觉方案普遍存在误报率高、抗

干扰能力差等问题，无法满足现场实际需求；基于机器学习的视觉方案虽能在一定程度上改善上述问题，但依赖在室内家居环境部署监控摄像头的视觉方案仍然存在视觉盲区问题，以及不可忽视的用户隐私泄露问题等。其他基于红外感应、超声波、UWB、声光传感器等的入侵检测方法主要依靠在合适的位置部署专用传感器，通过将环境的红外线、声音、可见光等转变为电信号，并分析环境中各种上述物理量的变化，来检测是否有入侵者存在。其同样存在误报率高、抗干扰能力差的问题；并且由于其工作距离较短，往往需要大量部署专用传感器，这提升了安装成本，在智慧家庭领域实用性较差。近年来，激光雷达入侵监控系统基于激光雷达 3D 点云，有望在一些场合下替代传统视频入侵检测系统，实现对监控区域实现实时监测，还能自动识别目标物的位置、大小、尺寸等信息，动态抓取入侵物体轨迹信息等。然而，除了安装成本高之外，该系统需要发射激光信号，激光被组织吸收后，存在容易对人员的皮肤和眼角膜造成伤害的风险，在智慧家庭场景中实用性受限较大。因此，上述传统的入侵检测方法往往并不适合智慧家庭领域。

基于 6G 无线信号的入侵检测可以较好地避免现有传统入侵检测方法的这些问题。利用了无线通信信号覆盖广，不受光照条件影响，且无线通信设备分布广的特点，具有全天候、覆盖广的优势；此外，由于不需要专门安装监视器，或者专用传感器，也降低了使用成本；并且，利用无线通信信号进行入侵检测，还能够保护用户隐私不受侵犯，大大降低隐私泄露可能性。

通过 6G 无线信号对家庭环境或者特定的室内区域的持续监控，检测可能出现的入侵者，以最大程度地避免人身财产威胁隐患。由于室内物体或人的活动，终端或网络设备测量的无线信号会受到影响。通过对多普勒频移、幅度变化、相位变化等感知信息的采集和分析，可以检测到室内是否有人存在，图 2-9 给出了一种利用终端自发自收链路执行入侵检测的示意图。

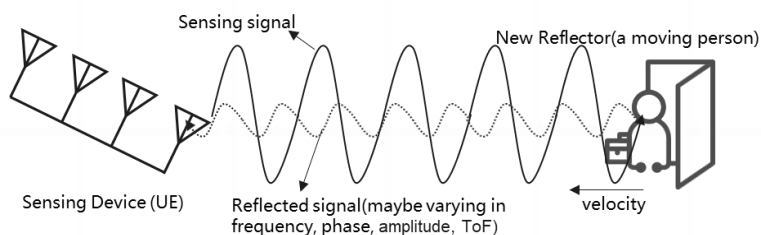


图 2-9 一种利用终端自发自收链路执行入侵检测的示意图

接下来通过一个案例详细阐述基于 6G 无线信号如何在家居环境监测入侵者。

用户 A 有在家中享受高速数据通信服务的需求，与此同时，由于家庭所在的社区不稳定，用户 A 担心他的财产安全。考虑到保护个人隐私和节省成本，用户 A 在家里的每个房间都设置了一些支持感知功能的 6G 终端设备（如 CPE 等）或者接入网设备（如室内小基站等），这些设备在为用户提供数据通信服务的同时，也可以用于执行一

些感知业务。当室内无人的时候，用户 A 启动家中 6G 设备的入侵检测功能。

用户 A 在客厅里的 CPE 被激活进行感知操作。在 CPE 传输 6G 信号为家庭提供通信服务的同时，其反射信号也作为感知信息在 CPE 上被接收和测量。CPE 将感知信息上报 6G 网络或在本地进一步处理。通过分析发送的 6G 信号与接收的反射信号之间的差异，即可检测潜在的入侵者。

客厅里的 CPE 也可以与相同或不同房间的其他 6G 设备一起工作。如果 CPE 发现客厅有另一个 6G 设备可以通过 Sidelink 作为辅助设备辅助感知行为的执行，CPE 和 6G 设备可以执行终端间 A 发 B 收的感知行为。接收侧的终端测量 6G 信号（例如，检测到的信号多径数量），然后将感知信息上报 6G 网络或在本地进一步处理。同样，通过分析 6G 信号与接收到的反射信号的差异，即可检测潜在的入侵者。此外，当在室内部署有室内基站等接入网设备的情况下，也可以支持通过终端和室内基站之间的空口上下行链路执行上述感知行为。

当入侵者闯入用户 A 家里时，6G 系统通过执行上述某种感知行为，获知采集到的 6G 信号变化与室内人类活动的已知特征相符合，确认检测到入侵者的存在，并将入侵者的警报发送到用户 A 的智能手机，以使用户 A 保护其家庭财产。

2.8.2.2 感知的 KPI

入侵检测自身对感知技术的 KPI 需求主要包括最大感知距离、感知距离精度、最大感知速度、感知速度精度、感知角度精度等方面。利用无线感知技术进行入侵主要是检测信道信息的变化，对于实时监测应用，考虑到人类活动的速度特征，保证小于 1s 的感知数据刷新时间间隔可以满足对室内入侵的监测。对于室内场景，感知覆盖范围的要求较低。为了保证满足实际应用需求，减少漏报、误报的情况发生，室内入侵检测需要具有高检测概率和低虚警概率。6G 系统支持智慧家庭领域的入侵检测业务，需要考虑如下的数据采集 KPI 要求：

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
入侵检测	10m	大于 1Hz (间隔 <1s)	N/A	存在(有无)	N/A		>95%	<2%	N/A
				距离	±0.5-2m	N/A	N/A		
				角度	中等	N/A			
				速度	±0.1-0.3m/s	N/A			

2.8.2.3 对 6G 系统的需求

在智慧家庭领域，基于 6G 感知的入侵检测业务对 6G 网络和终端提出了如下新的潜在需求：



1) 感知业务的距离分辨率与带宽成正相关，考虑到当前授权频段频谱资源相对紧张，为了更好地支持感知业务大带宽的需求，除了授权频段之外，6G 系统还应当支持基于非授权频段的感知业务

2) 针对 6G 感知的入侵检测业务，6G 系统应当支持终端自发自收、终端间 A 发 B 收、空口上下行链路等一种或多种感知工作模式

3) 6G 系统应当支持基于终端、第三方应用的感知服务请求，根据感知目标的位置以及不同的感知工作模式等因素，由终端、基站或 6G 核心网选择能够执行感知并且感知信息可靠的一个或多个感知节点

4) 6G 系统应当支持基于终端、第三方应用的感知服务请求，配置终端或基站周期性、非周期性、半持续性地执行感知信号的测量并获得感知信息，并将感知信息上报至 6G 核心网

5) 6G 系统应当支持由终端本地处理感知信息并得到感知结果，也应当支持由 6G 核心网基于终端或基站上报的感知信息获得感知结果

6) 6G 系统应当支持基于用户授权，收集不同层次的感知信息并提供给可信的第三方应用，例如，由终端或基站直接测量感知信号得到的接收信号或原始信道信息、基本测量量（时延、多普勒、角度、强度，及其多维组合表示等）、经过部分处理的得到的中间感知结果（距离、速度、朝向、加速度等）、或者经过完全处理得到的最终感知结果（入侵者是否存在等）

7) 为保护个人隐私以及数据安全，6G 系统应当支持终端执行感知业务前的认证和授权，同时应当支持避免不相关的感知信息被 6G 网络收集或者暴露给第三方

8) 6G 系统应当支持感知业务的计费数据的收集，如考虑感知业务类型、感知精度、目标区域、数据量、周期、业务时长等因素

2.8.3 应用场景三：人机交互

2.8.3.1 应用场景描述

人机交互即人与机器的互动，随着电子技术发展与人工智能技术的广泛应用，人机交互方式向着更灵活、更自然的方向发展，从而在 VR/AR、智能家居、汽车系统、自动化系统等领域发挥重要作用。无接触手势/动作识别是人机交互的重要组成部分，智能家居、智能穿戴设备、智能汽车以及 VR/AR 等领域都增加了手势/动作识别控制功能。在早期的穿戴式手势/动作识别技术中，手势/动作识别需佩戴专用的传感器设备，通过传感器采集信息进行识别、这种方式成本高，而且用户体验收到较大影响。随后随着计算机图像处理技术的发展，手势/动作识别摆脱了穿戴设备，通过视频设备采集手势/动作的视频数据，也能实现手势/动作识别，然而，这种方式容易受光照条

件的影响，当光照不稳定，识别准确率就会降低，另外也存在个人隐私容易泄露的问题。基于无线信号的手势/动作识别技术，因其部署方便、配置成本低、信号传输范围广、适用性强等优点而受到越来越多的关注，其作为一种免穿戴、无接触的人机交互方式，目前已成为学术界和工业界研究的热点领域之一。

典型的利用无线信号进行手势/动作识别的方式之一是采用雷达技术，例如 Google Pixel4 采用微型运动感应 Soli 雷达芯片，实现了对手势/动作的检测，方便用户进行隔空操作在。此外，无线通信网络已逐渐成为现实生活的重要补充和延展，大部分公共区域都实现了 4G/5G 无线网络覆盖，所以基于无线通信信号的手势/动作识别技术具有天然应用基础。基于无线信号的手势/动作识别弥补了传统手势/动作识别技术的缺陷，比如部署成本高，用户隐私得不到保护，以及受环境条件制约较大。基于无线信号的行为感知方法，具有实现成本低、部署过程便捷和无需携带设备等优势，并且能够在各种应用环境中进行部署，不受光照条的影响，相较于传统方法感知范围大幅提升，用户无需担心隐私受到侵犯，甚至在有部分遮挡的情况下也可以进行有效识别。

2.8.3.2 感知的 KPI

利用无线感知技术进行手势/动作识别主要依靠对手势或动作带来的信道多普勒特征变化进行识别^[21]，对于实时人机交互应用，保证小于 0.5s 的感知数据刷新时间间隔从而不降低使用者的体验。进行手势/动作识别时使用者与设备距离较近，感知覆盖范围的要求较低。此外，为了保证良好的用户体验，手势/动作识别的准确率不能太低。

用例	感知距离	感知频率	感知时延	数据类型	感知精度	感知分辨率	可靠性		
							检测概率	虚警概率	识别准确率
人机交互	>0.5m	>2Hz (间隔 <0.5s)	N/A	存在(有无)	N/A	N/A	N/A		>95%

2.8.3.3 对 6G 系统的需求

该场景下，感知方式包括上行/下行感知，基站/UE 自发自收感知或 Sidelink 感知，需要网络设备和终端支持收发感知信号，传输感知信息，计算感知结果，尤其是手势、动作的识别需要支持 AI 计算能力。对于频段无特殊要求，高频、低频均可，感知测量以多普勒测量为主，检测不同手势、动作的微多普勒特征，因此通常情况下对带宽要求较低，若需要时延/距离或角度测量以提供更多感知信息，则带宽需要满足对应时延/距离分辨率要求，且天线阵列需要满足角度分辨率要求。人机交互主要针对室内场景，因此对感知覆盖的要求较低，满足室内覆盖即可。本场景对设备的移动性无要求，为满足交互的实时性和准确性要求，需要能够及时、准确识别出对应的手势或动作，因此感知信号的收发、感知结果的计算和感知信息的传输需要保证低时延和高可靠特性。

第三章 6G感知业务的需求

在具体的业务应用中，一般需要同时感知多个维度信息，例如同时对物体的存在和位置进行探测，所以在进行感知业务的描述时有多种考虑方式，3GPP 将感知业务进行了分类，包括目标检测和跟踪、环境监测和动作监测三类，不同类型之间感知业务不存在交集。本研究报告基于第二章对感知应用和需求特点的分析，并根据感知数据采集的侧重点不同，从存在检测业务、定位业务、测速业务、成像业务、识别业务和监测业务六个方面进行了总结。

3.1 存在检测业务需求

存在检测业务主要用于对被感知物体是否存在进行检验，是基础感知业务之一，也是实现其它感知业务必不可少的一环，在用于检测是否有入侵者的场景下也称为入侵检测。存在检测业务的评估一般通过检测概率、虚警概率和漏检概率等来表征，表 3-1 对存在检测业务进行了总结，并根据检测概率的要求划分为 3 档：一般的定义为检测概率的要求在 95%以上，严格的定义为检测概率的要求在 99%以上，非常严格的定义为检测概率的要求在 99.9%以上。

表 3-1 存在检测业务指标总结

检测概率等级	检测概率要求	应用场景
一般	95%	交通-无人机 工业-园区管理（智能安防） 仓储物流-货物输送、货物分拣、货物堆垛 社会服务-公共安防、客流统计 智慧家庭-入侵检测
严格	99%	交通-车联网 工业-园区管理（园区智能巡检） 医疗和健康-疾病监测与诊断、疾病康复训练 社会服务-公共安防（安全检测） 智慧家庭-室内环境重构
非常严格	≥99.9%	工业-产品质检 社会服务-公共安防（高铁周遭检测）

存在检测业务作为最基础的感知业务，通常还可进一步的进行增强，常见的增强包括：1) 对被感知目标进行定位；2) 对被感知目标进行测速；3) 对被感知目标进行成像；4) 对被感知目标进行识别；5) 对被感知目标进行监测。

3.2 定位业务需求

定位业务主要用于获得被感知物体的位置信息，是基础感知业务之一，也是感知

业务中比较常见和重要的一项,也可以将定位业务表达为距离测量和角度测量的组合。从第二章可知,定位业务在各个领域中都有非常广泛的应用,表 3-2 对定位业务进行了总结,并根据定位的精度要求划分为 4 档:一般的定义为精度要求在米级,中等的定义为精度要求在分米级,严格的定义为精度要求在厘米级,非常严格的定义为精度要求在毫米级及以下。

表 3-2 定位业务指标总结

定位精度等级	精度要求	应用场景
一般	m 级	工业-园区管理 (车辆管理、人员管理) 农业-智慧放牧 交通-无人机
中等	dm 级	交通-车联网 工业-园区管理 (智能安防、园区智能巡检)、车间内生产环节 (厂内物流) 农业-智慧大棚 医疗和健康-疾病检测与诊断、疾病康复训练 娱乐-虚拟环境重构 社会服务-公共安防 (危险入侵检测)、客流统计 智慧家庭-入侵检测
严格	cm 级	工业-车间内生产环节 (智能制造) 农业-智慧水产养殖 娱乐-智能交互娱乐 智慧家庭-实时室内环境重构
非常严格	mm 级	仓储物流-货物输送、分拣、搬运、堆垛

3.3 测速业务需求

测速业务主要用于获得被感知物体的速度信息,是基础感知业务之一,测速业务可以和定位业务结合应用,用于对被感知物体的实时跟踪。从第二章可知,测速业务在工业、仓储物流、交通等领域应用的较为广泛。表 3-3 对测速业务进行了总结,并根据测速的精度要求划分为 4 档:一般的定义为精度要求在 10m/s 级,中等的定义为精度要求在 m/s 级,严格的定义为精度要求在 dm/s 级,非常严格的定义为精度要求在 cm/s 及以下。

表 3-3 测速业务指标总结

测速精度等级	精度要求	应用场景
一般	10m/s 级	交通-无人机 (无人机入侵监控)

中等	m/s 级	交通-无人机（无人机路径管理和避障） 工业-园区管理（车辆管理）
严格	dm/s 级	交通-车联网 工业-园区管理（智能安防、园区智能巡检、人员管理）、车间内生产环节 医疗和健康-疾病检测与诊断、疾病康复训练 娱乐-智能交互娱乐 社会服务-公共安防（危险入侵检测） 智慧家庭-入侵检测
非常严格	cm/s 级	仓储物流-货物搬运

3.4 成像业务需求

成像业务主要涉及对室内和室外的环境成像，以及细粒度对物或人的目标成像，是扩展感知业务之一。利用太赫兹成像技术获得高分辨率成像效果，在工业领域可用于无损质量检测；在智慧交通、家庭领域可获得高分辨地图、实现环境重构，从而辅助智能决策调度；对物体目标的成像可以获得目标的属性，例如识别目标是人、小轿车或公交车等；通过对人体目标的成像也可以获得更细粒度的人体行为活动特征，实现更精准的手势/动作识别。对于成像业务，可以通过定位的精度来进行初步评估，也可以通过 Chamfer 距离、F-score 等机制进行精细评估，但目前业界尚未有明确统一的标准，还需进一步探讨。所以表 3-4 根据成像目标的不同，仅对其所在应用场景进行了分类总结。注：本研究报告中涉及成像的定位精度要求一般在 mm 级别。

表 3-4 成像业务指标总结

成像类型	应用场景
物	工业-园区管理、产品质检 社会服务-公共安防
人	社会服务-客流统计 医疗和健康-疾病监测与诊断
室内环境	娱乐-虚拟环境构建 智慧家庭-实时室内环境重构
室外环境	交通-车联网 娱乐-虚拟环境构建

3.5 识别业务需求

识别业务主要包括目标识别、手势识别、动作识别等，是扩展感知业务之一，识别业务一般需要结合特定的算法，可以为 6G 网络提供更加丰富的感知能力，对识别类业务的评估一般通过识别准确率来判断，识别准确率可以理解为对手势、动作、姿态、目标属性/身份等判断的正确概率。表 3-5 对识别业务进行了总结，并根据识别准确率的要求划分为 2 档：一般的定义为识别准确率的要求在 1 个 9，严格的定义为识别准确率的要求在 2 个 9。

表 3-5 识别业务指标总结

识别类业务等级	识别准确率要求	应用场景
一般	90%	娱乐-虚拟环境构建 医疗和健康-疾病监测与诊断 社会服务-公共安防、客流统计 智慧家庭-人机交互
严格	99%	工业-园区管理（车辆管理、人员管理） 农业-智慧放牧 娱乐-智能交互娱乐 医疗和健康-疾病康复训练

备注：智慧家庭人机交互场景的识别准确率要求为 95%。

3.6 监测业务需求

监测业务需要对被感知目标进行持续一段时间的探测，具体的监测对象包括人、物、环境等，是扩展感知业务之一。对人进行监测场景主要包括：对人的活动如呼吸、睡眠、运动等进行监测；对物进行监测场景主要包括：对车辆、无人机、生产设备等进行持续监控，例如在工业生产中对设备进行运行状态识别和故障检测等；环境监测场景主要包括：气体类型及浓度监测，土壤含水量、养分、酸碱度监测，气象、水质等环境变化情况监测。由于不同环境参数的量纲差异较大，无法选择统一的评估标准进行表征，需根据不同场景具体分析，表 3-6 提供了监测类业务的概况总结。

表 3-6 监测业务指标总结

监测类型	应用场景
人	工业-园区管理（智能安防、人员管理） 医疗和健康-生命体征监测、疾病监测与诊断、疾病康复训练 娱乐-智能交互娱乐、虚拟环境构建 社会服务-客流统计
物	工业-园区管理（智能安防、园区智能巡检、车辆管理）、车间内生产



	环节 仓储物流-货物堆垛
环境	工业-园区管理、车间内生产环节 农业-智慧大棚、智慧放牧、智慧水产养殖 仓储物流-仓储管理 社会服务-生态环保



第四章 感知对6G系统的总体需求

在实际的应用需求中，感知业务需要采集的数据十分丰富，其中一部分感知数据的采集只能借助特定的感知技术来实现。例如在社会服务领域的生态环保应用场景中，对环境进行监测的感知业务需要采集噪声、空气颗粒物、空气气态污染物等信息，这些信息的采集只能通过相应的传感器来实现。6G 系统在这些需要特定感知技术的场景下主要完成感知数据采集后的回传，所以在这些场景下感知的性能与 6G 系统的能力并无直接关系，但感知数据采集后的传输对 6G 系统的通信能力存在一定需求，主要和带宽、传输时延等相关。

另一部分感知数据的采集既可以借助通信感知一体化技术来实现也可以借助其他感知技术来实现，例如距离、角度、速度、识别、成像等，在这些场景下感知的性能与 6G 系统的频段、带宽、算力、时延等能力息息相关，通过对这些感知关键指标的分析可以得到感知对 6G 系统的需求。本研究报告基于第二章对感知应用和需求的分析对 6G 感知的关键指标进行了梳理和总结，在梳理的过程中，我们发现有部分指标的要求在特定的场景下十分严格，主要集中在仓储物流领域，经过初步的分析，使用通信感知一体化技术来实现这些指标的代价太大或甚至难以实现，目前来看还是由特定的传感器来满足应用需求的可行性较高。所以本报告将感知的指标整理为表 4-1 和表 4-2 两张表，其中表 4-1 中给出的指标是 6G 无线感知关键指标，可以通过 6G 通信感知一体化技术以内生感知的方式来实现，而表 4-2 中给出的指标难以通过 6G 通感一体实现，但在实际的业务中存在这样的需求，无法被忽视，所以作为非无线感知指标进行了保留。

表 4-1 6G 无线感知典型指标

感知能力	指标范围
感知距离	10m - 1000m
感知时延	1000ms - 10ms
距离精度	10m - 1cm
速度精度	10m/s - 10cm/s
角度精度	2° - 0.1°
距离分辨率	10m - 1cm
速度分辨率	10m/s - 0.2m/s
角度分辨率	3° - 0.1°
检测概率	95% - 99.9%
虚警概率	5% - 1%

识别准确率	90% - 99%
-------	-----------

需要特别指出的是，表 4-1 中列出的 6G 无线感知的典型指标是基于第二章所讨论的应用场景而得出的，涵盖了 6G 感知的典型感知能力及其指标范围。然而，本报告所讨论的应用场景并不能涵盖所有的 6G 感知业务，因此仍存在一些感知业务的感知能力和指标不在该表格所述范围内。此外，不同的 6G 业务对感知能力的要求有所侧重，需要根据具体的需求和场景确定其中某个或某几个感知能力的指标。这意味着应用于某一特定场景下的 6G 感知技术并不需要满足表 4-1 中列出的全部指标范围的限制。因此，在具体的 6G 业务中，感知技术的选择和应用需要综合考虑业务需求、场景特点和技术可行性等因素，并根据具体情况来确定所需的感知指标要求范围。

表 4-2 非无线感知指标

感知能力	指标
感知距离	N/A
感知时延	0.1ms
距离精度	0.05mm
速度精度	N/A
角度精度	0.001°
距离分辨率	0.1mm
速度分辨率	N/A
角度分辨率	0.01°
检测概率	N/A
虚警概率	N/A
识别准确率	N/A

表 4-2 中的指标对应的具体应用场景如下，信息的采集由特定的传感器实现：

- 1) 感知时延 0.1ms 的需求在仓储物流领域货物搬运应用场景；
- 2) 距离精度 0.05mm 的需求在仓储物流领域货物输送应用场景；
- 3) 角度精度 0.001° 的需求在仓储物流领域货物堆垛应用场景；
- 4) 距离分辨率 0.1mm 的需求在仓储物流领域货物堆垛应用场景；
- 5) 角度分辨率 0.01° 的需求在仓储物流领域货物搬运应用场景。

4.1 对 6G 网络的需求

6G 感知对网络的需求主要集中在频段和带宽要求、时延要求、覆盖要求、算力要

求、安全要求、移动性要求、多模态感知和纳管要求等方面。

■ 频段和带宽方面

大部分感知业务的精度和网络的带宽正相关，所以足够大的网络带宽是获得高精度感知结果的保障。由于不同频段的无线电磁波的传播特性的差异性、频谱带宽的可获得性以及设备实现的规格和设备形态的差异等，基于不同频段进行无线感知的能力也会存在差异，进而可获得的感知的性能以及可满足业务能力也是不同的[2]。一方面，6G 网络支持广覆盖还是需要靠低频支持，低频在满足通信业务需求的同时，为 6G 网络提供广域感知打下了基础。但低频的频谱资源有限，通常无法提供足够多的频谱资源以满足高精度的感知需求。因此，高精度感知对 6G 网络频段的需求将向可以提供连续大带宽的毫米波频段、太赫兹频段和光频段发展。但这些频段的无线信号的有效传播距离比较短，使得感知的范围会受到限制。另一方面，为最大化运营商所拥有频谱的利用效率，需要根据不同频段的频谱特性进行综合分析，制定合适的感知策略来适配不同的业务场景。

综合来看，6G 感知对频谱的需求应是全频段的，但同时也要结合不同频段的频谱特性和可用带宽资源，来分析和评估不同频段可达到的感知性能指标和可满足的感知业务能力。6G 感知对带宽的需求和所提供的业务相关，一般千 MHz 级的带宽即可满足大部分业务的需求，若需要提供成像业务，则带宽的需求将更高。

■ 时延方面

根据第二章的分析不难发现，不同场景下的感知业务对时延的需求差异较大，如在交通的车联网场景、部分医疗健康场景等对感知时延的要求较为严格，而在某些（比如入侵检测等）场景对感知时延的要求较为宽松。所以，6G 网络应具备根据业务感知时延的需求，快速和动态的调整感知资源配比的能力。在感知时延要求宽松的场景减少感知资源的配比，提升网络的通信效率，而在感知时延要求严格的场景增加感知资源的配比，以满足感知业务时延的需求。另一方面，为了支持不同的感知需求、网络架构应灵活具有弹性。在部分应用场景，要求感知数据的获取频率高、时延低、感知精度高，此时，需要在网络边缘侧具备一定的存储、计算能力，快速地完成对感知数据的融合与处理。

■ 覆盖方面

6G 感知的性能表现主要依赖于 6G 网络的覆盖水平。为了能够获得无时无刻、无处不在的感知能力，感知对 6G 网络的覆盖需求是全广域覆盖的。考虑到在草原、沙漠等开阔但用户密度较低的场景下，通过陆基系统来实现感知的全覆盖成本过于高昂，也难以覆盖极偏远地区等地理区域，可借助空基系统、天基系统、空地基系统和海洋网络，通过空天地海一体技术来提升感知的覆盖范围，打破各自独立的网络系统之间数据共享的壁垒，实现感知的全域覆盖。除此外，许多 6G 感知的典型业务场景存在

于室内环境，所以 6G 感知在覆盖深度方面也同样提出了需求。6G 网络需要具备深度覆盖能力，在室外环境或室内环境都可以获得良好的感知效果，这对部分特殊的场景如灾害救援等场景具有重要意义。

■ 算力方面

感知和算力的融合是 6G 网络发展的必然趋势。一方面，感知的应用涉及业务类别广泛，包括识别类业务（如动作识别、身份识别、情绪识别等）、基于位置的服务类业务（如定位、跟踪等）、实时检测类业务（如入侵检测、呼吸检测等）等，这些业务均需要较高的感知准确度以满足商用的要求，需要借助不同的识别算法、估计算法、检测算法以满足各类场景的性能要求，因此算力资源必不可少。此外，算力资源的分布也在很大程度上影响感知时延。另一方面，自动驾驶、智能机器人和无人机等的感知应用，都需要借助感知、通信和算力的多维协同，借助实时共享的分布式算力可对感知数据进行定制化的特征抽取及信息融合处理，借助先进算法模型将原始感知信息转化为可被终端或用户直接理解的意图及语义信息，实现从环境感知到环境认知的能力增强。

■ 安全方面

在未来 6G 感知网络中，由于物联网、车联网、智能制造等应用场景的不断涌现，网络中的设备数量和种类将会大幅增加，网络中涉及到庞大的感知数据传输，这将给网络安全带来更大的挑战。因此感知业务对 6G 网络安全提出以下几个方面的能力：首先，对不同类型的数据隐私进行分类和保护，数据传输过程中采用先进的加密算法和技术，保证传输的安全性，防止敏感信息被泄露或被滥用；第二方面，建立可信的通信环境，提供可靠的端到端安全保障，包括身份认证、访问控制、数据备份等，确保通信感知一体化系统的安全可靠。第三，6G 感知网络需要提供自动化的安全防御和强大的威胁检测和应对能力，以及时发现并应对各种新型攻击手段。

■ 移动性方面

由于感知目标涉及人、车、无人机等移动目标。根据通信感知一体化的工作模式，感知应用场景可以是基站发 UE 收，UE 可以与感知目标统一。此时，随着感知目标的移动，6G 网络需要根据感知目标的速度，有效克服多普勒频偏，保证通信性能。可通过增强的系统参数设计来降低系统的时频敏感性，如增大子载波间隔、加大参考信号的时域发送密度等。同时，也要有效利用多普勒信息，提升动态目标高精度感知性能。此外，6G 网络需要根据感知目标的位置，实现感知主设备的智能切换，当感知目标处于多个基站同时覆盖范围内时，选择最佳感知设备，以满足感知性能的要求。此时需要从网络层面考虑，加强站间协作。

■ 多模态感知融合与纳管方面

在现有的感知应用中，存在雷达、摄像头、传感器、蓝牙、Wi-Fi 和 RFID 等多种感知方式，将产生大量异构的感知数据。而在未来 6G 感知中，为了获取更加全面的业务信息、更加精确的感知结果，适应不同的感知场景，通感一体的感知将与传统的感知方式长期共存，因此 6G 系统需要设计新的边缘网络架构，统一纳管多种制式的感知方式与设备，在网络边缘可以灵活的纳入新的感知设备与数据，并支持不同感知能力和结果的快速融合。

4.2 对 6G 终端的需求

5G 终端主要面向增强移动宽带（eMBB）、超高可靠低时延通信（uRLLC）和海量机器类通信（mMTC）三类应用场景，以满足通信需求为主。未来的 6G 系统有望提供各种高精度的感知服务，为支持各种复杂的感知应用场景，6G 终端除了通信能力的增强，还需要具备满足特定需求的感知能力，具体体现在以下几方面。

■ 感知需求处理

感知需求处理，能够判断终端的感知能力是否能够满足从感知业务发起方获得的感知需求。在终端的感知能力能够满足感知需求的情况下，能够将感知需求映射为执行感知业务的参数配置，包括：通信感知一体化无线信号的时频资源、功率和波束等参数，各类传感器的测量配置。在终端的感知能力不能完全满足感知需求的情况下，能够触发多设备感知或多链路感知协作的请求。为满足多样化的感知需求处理，终端需要具备一定的资源协调和调度能力。

■ 感知信息采集

感知信息采集，基于各类传感设备或无线信号获取感知信息，包括基于终端上部署的温/湿度计，气压计，陀螺仪，加速度计、磁力计、GNSS 模组等传感器采集特定感知信息，或者通过光、声或无线电波等作为感知传导的媒介，例如利用摄像头、麦克风或者雷达模组完成感知信息的采集。除了上述传统的感知信息获取方式，6G 终端还具备通过接收无线信号获取环境信息的能力，即通信感知一体化的能力，通过对接收信号的分析，不仅能够得到所承载的信源信息，还能够提取出反映传播环境特征的感知信息。为满足高精度感知需求，终端需要支持更高频段、更大带宽，结合各频段的特性进行联合感知，同时尽可能减小与网络设备或其他终端的同步误差。

■ 感知结果计算

感知结果计算，基于采集到的传感信息或无线信号测量信息计算得到感知结果，终端通过各类传感设备或无线信号获取感知信息后，需要进行多维度感知信息的融合或计算，从而得到满足需求的感知结果，尤其是基于无线信号的感知，需要终端通过感知信号处理技术，对接收到的无线信号进行测量计算，得到时延、多普勒、角度、信号强度等基本感知信息，并进一步根据感知需求计算得到目标位置，运动轨迹，手



势动作，生命体征，天气情况，物体形状、材质，环境地图等感知结果。为满足不同感知应用的时延和精度要求，6G 终端需要具备更强的计算能力用于完成感知数据的分析和处理，端侧 AI 能力的加持也将使得终端能够支持更加丰富的感知业务。

■ 感知信息传输

感知信息传输，将终端计算的感知结果传输至感知应用方，或者将采集到的感知信息传输至感知结果计算节点，为支持海量感知数据的传输，终端的通信能力需要进一步增强，向着更高速率、更低时延、更高可靠性的方向发展，从而满足各类感知业务的实时性和准确性的需求。



第五章 6G感知面临的挑战

6G 系统的整体设计原则包括可持续性、安全性、连接未连接的用户和泛在智能，将试图构建人、机、物、智能之间的广泛互联和协作，助力全人类迈入全频谱、全覆盖、全应用和虚拟与现实深度融合的全新时代。除了进一步提供极致的速率、时延、可靠性等传统通信业务性能外，6G 系统还需为更丰富、更高价值的潜在应用提供网络能力和服务支撑。目前，业界探讨热烈的新场景和新技术包括：全息通信、内生智能、数字孪生和通感融合等，这些新场景应用都需要先进的感知技术的支持。例如：沉浸式云 XR 需要进行用户动作的捕捉和手势交互等，数字孪生则依赖于各种领先的感知技术在物理世界和虚拟世界之间搭建起逻辑映射和连接互动的桥梁。因此，感知技术将在 6G 系统中扮演着至关重要的角色，实现通信感知一体化原生感知，结合多种感知技术进一步丰富网络的感知能力，推动全新时代的到来，但机遇与挑战并存。

一方面，6G 系统需要考虑无线感知和通信的原生融合，从硬件、软件、频谱资源到系统架构等不同层面进行一体化设计，使感知成为 6G 系统的原生功能，从而让通信和感知能够相互增益，最终使整个系统的性能和效率达到最佳。为了使得感知成为 6G 系统的原生能力需要进一步解决如下问题：

1) 波形设计：6G 网络将在提供极致通信体验的同时，还将充分利用无线信号实现对目标对象的检测、定位、识别、成像、重构等感知功能，为用户提供丰富的感知服务。所以在 6G 系统初始设计中，和感知能力相关的因素应被充分考虑，以保证感知的性能可以满足实际的应用需求。信号的波形设计是影响感知性能的主要因素之一，目前业界讨论较多的潜在波形包括 LFM、OFDM 和 OTFS 等，每种波形都有其独特的优点和适用场景。在 6G 系统中，是设计一种波形满足所有场景，或是设计多种波形根据不同的场景进行适配还有待于进一步的研究和验证；

2) 感知和通信资源的分配：通信和感知资源可以在时域、频域、空域等多个维度进行复用，6G 系统需要具备灵活的资源配置能力，可以根据不同应用场下的感知和通信需求进行通信和感知资源分配，实现感知和通信资源的协同优化，从而提高频谱资源的利用效率和系统性能。所以，相比于 5G 只需要考虑通信的资源分配，6G 的资源分配需要同时考虑通信和感知，在进行资源分配算法设计时将面临更大的挑战；

3) 信道建模：信道模型将直接影响通感系统的性能评估和标准化。由于感知主要依赖的是反射信号，而目前 3GPP 标准中设计的信道模型主要是收发双方直接链路建模，尚未制定被测目标反射后的信道建模。现有 3GPP 标准中定义的信道模型在感知场景将不再适用，需要进一步增强或进行全新的设计，对反射信道的大尺度信道模型和小尺度信道模型进行定义。同时也需要搭建新的信道模型以适应定位类、成像类和环境重构类以及模式识别类的感知仿真、校准和方案对比；

4) 多频段、多模式、多节点的感知协同：感知的落地部署需要重点考虑部署的频段和感知的协同。未来 6G 系统将充分利用全频段资源，包括 sub-6G、毫米波、太赫兹和可见光等频段，所以在感知的频段选择方面，需要综合考虑不同频段的优势和特点，为感知的应用提供全方位的优化解决方案。另外，在感知的协同方面，由于基站和终端都具备感知和计算的能力，使得感知的实现多样化，多模式（自发自收、A 节点发 B 节点收）和多节点（多基站、多 UE、基站和 UE）之间的融合将成为后续需要研究的重点；

另一方面，无线感知作为连接物理世界和虚拟世界的重要桥梁，在感知领域发挥着关键作用。然而，它并不是唯一桥梁，也不能完全解决所有问题。在构建强大的感知能力方面，需要考虑与其他制式（摄像头、雷达、红外等）的协同工作，多种方式的协同可以极大地提升感知精度或扩大感知范围。不同感知技术有着各自的特点和优势，通过它们的结合，可以互相弥补彼此的不足，从而增强整体感知能力。然而，多种方式的协同也带来了一些待解决的问题。其中一些潜在的问题包括：

1) 感知信息的融合和选择：以环境重构为例，利用摄像头、无线信号等多种方式同时采集感知信息。首先需要挑选出可用的数据源，部分场景下可能会出现临时遮挡等原因，导致某些数据源的数据无法使用。所以，需要对数据进行筛选和处理，以确保使用的数据是有效和可靠的。进一步的，需要解决不同制式的数据源采集的数据如何进行融合的问题。在融合数据时，必须明确融合方式和融合数据格式，使其能够协同工作，以提供更全面、准确的环境重构结果；

2) 不同制式间的同步：这里的同步包含两个维度的含义，时间同步和空间同步。首先，不同制式间的感知需要是对同一时刻的物理世界进行感知，其感知结果才具有融合的意义；其次，不同制式的感知需要保持空间一致性，对物理世界的刻画需要在同一坐标系下。不同制式感知融合需要保证时间同步和空间同步，如何实现不同制式间的同步是亟待解决的问题；

3) 算力支撑：多种制式的感知方式将不可避免地涉及大量的感知数据收集和处理工作，为了使这些感知数据能够发挥最大的价值，给具体应用提供更加精确和全面的感知结果，需要庞大强有力的算力资源进行支撑，及时进行计算，并将结果响应给具体应用；

4) 跨行业标准统一：6G 感知涉及多种制式，关联不同的领域和行业，各自的感知技术和标准可能不一致。要使感知能力能够在整个 6G 网络中得到协作，则需要制定跨行业不同制式感知间接口标准和规范，使得感知数据的交互更加便捷和有效。



总结和展望

6G 将真正开启万物感知、万物互联、万物智能的新时代。为了使 6G 网络能够更好地赋能千行百业，实现 6G 愿景，移动通信网络需要在信息传递的基础上向信息采集、信息处理发展，以供网络进行智能地分析和决策。在这个背景下，通信能力与感知能力的结合，成为 6G 未来网络的关键基石。

现有的感知技术的种类非常丰富多彩，包括基于雷达、Wi-Fi、蓝牙、蜂窝等的无线感知技术，传感技术，计算机视觉技术等。将这些感知技术与未来的 6G 系统融合在一起，将极大增强 6G 的感知能力。其中，基于蜂窝网络的 6G 通信感知一体化技术将赋予网络内生感知能力，实现信息传输和感知能力的高度融合，使得 6G 网络不仅仅是一个通信平台，还具备感知目标的能力，从而能够更好地理解和适应周围时变的环境。这种感知能力将使 6G 网络能够实时获取大量的数据，包括环境信息、用户行为、设备状态等，为智能决策提供更加全面、准确的依据，为用户提供更加个性化、智能化的服务。6G 通信感知一体化技术在诸如工业领域、交通领域、医疗健康领域、智慧家庭领域的领域中都具有广泛的应用价值，推动各行业迈向智能化、自动化，并带来更多的便利和效率提升。

通信感知一体化在未来的 6G 时代有着广阔的发展潜力。随着技术方案的不断成熟与演进，6G 网络将以更高的速度、更低的时延和更大的容量连接着整个世界，通信感知一体化将成为 6G 网络发展的重要方向和关键支撑技术。以下是通信感知一体化技术在 6G 时代的展望：

在智能网络方面，通信感知一体化将使 6G 网络能够实时感知网络状况、用户需求等信息。通过对这些数据的分析和理解，网络可以自动优化资源分配，提供更高效、稳定的网络连接和服务质量，从而满足不断增长的通信需求。此外，6G 网络通过通信感知一体化技术，可以实现根据不同环境和使用场景实时调整通信参数。无论是在高密度城区还是偏远地区，网络都能自动适应不同的信道条件和传输需求，实现更加灵活和智能的通信体验。

在感知服务方面，通信感知一体化在各领域应用前景广泛。在工业领域，6G 网络可以实时感知工业设备的状态和生产数据，实现智能制造和设备预测性维护，提高工业生产的智能化水平。在农业领域，6G 网络可以实时感知农作物、家畜，及农耕环境、天气的监测，实现智能化农业生产全程监控和数字化管理。在智慧交通和物流领域，通过对动态运输目标和静止环境目标的监控，6G 网络可以实现车辆之间的实时通信和协同，提高交通安全性和物流运输效率，推动自动驾驶技术的发展。在智慧城市、智慧家庭、智慧医疗领域，通过感知城市中各种设施、资源和环境，网络可以优化城市管理和公共服务，实现城市的智能化和可持续发展；通过对用户的位置、动作的感知



为增强现实和虚拟现实应用提供了更好的支持，实现智能人机交互；通过更精细的生命体征监测、行为姿态监测实现疾病的诊断与防治；通过感知患者的健康数据和病情变化，6G 网络可以实现远程医疗和个性化治疗，提高医疗服务的质量和效率，挽救更多生命。

目前 3GPP 标准尚未启动通信感知一体化关键技术的制定。产业界通过搭建通感原型样机进行各种通感技术的验证，为后续 3GPP 通感标准的制定提供重要参考。统一标准也可以促进技术走向产业，加快产业链的成熟。下一步的重点工作需要探究该技术初步适用的场景，进行试商用验证，循序渐进的做好商业推广，孵化相关产业链，为通信感知一体化在 6G 大放异彩做好产业铺垫和准备。

参考文献

- [1] 姜大洁,姚健,李健之等.通信感知一体化关键技术与挑战[J].移动通信,2022,46(05):69-77.
- [2] IMT-2030 (6G) 推进组,通信感知一体化技术研究报告[R], 2022
- [3] Z. Wang, Y. Wu and Q. Niu, "Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey," in IEEE Access, vol. 8, pp. 2847-2868, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962554.
- [4] 3GPP TR 22.837, Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication
- [5] C. Zhang, Z. Yang, X. He and L. Deng, "Multimodal Intelligence: Representation Learning, Information Fusion, and Applications," in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 14, no. 3, pp. 478-493, March 2020, doi: 10.1109/JSTSP.2020.2987728.
- [6] J. Hu et al., "GelStereo Palm: A Novel Curved Visuotactile Sensor for 3-D Geometry Sensing," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 19, no. 11, pp. 10853-10863, Nov. 2023, doi: 10.1109/TII.2023.3241685.
- [7] M. A. Altahrawi, N. F. Abdullah, R. Nordin and M. Ismail, "Multi-Radio Access Software-Defined Vehicular Network," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 8, pp. 10030-10048, Aug. 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3115155.
- [8] Y. Fang, N. Hettiarachchi, D. Zhou and H. Liu, "Multi-Modal Sensing Techniques for Interfacing Hand Prostheses: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 15, no. 11, pp. 6065-6076, Nov. 2015, doi: 10.1109/JSEN.2015.2450211.
- [9] IMT 2020 (5G) 推进组, 5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告[S], 2023.
- [10] F. Liu et al., "Integrated Sensing and Communications: Toward Dual-Functional Wireless Networks for 6G and Beyond," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 40, no. 6, pp. 1728-1767, June 2022, doi: 10.1109/JSAC.2022.3156632.
- [11] IEEE P802.11 Wireless LANs, WiFi Sensing Use Cases[S]. 2020.
- [12] 李海啸. 面向智能工厂的无线传感器网络定位技术研究[D].中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所),2021.DOI:10.27587/d.cnki.gksjs.2021.000001.
- [13] Tong, W., & Zhu, P. (Eds.). (2021). 6G: The Next Horizon: From Connected People and Things to Connected Intelligence. Cambridge: Cambridge University Press.



- [14] YZ/T 0191-2023 邮政业交叉带式自动分拣系统技术规范
- [15] BS ISO 17364:2013 Supply chain applications of RFID — Returnable transport items (RTIs) and returnable packaging items(RPIs)
- [16] BS ISO 18186-2011 Freight container — RFID cargo shipment tag system
- [17] T/SSITS 502-2021 物流分拣用移动机器人 技术规范
- [18] GB/T 41402-2022 物流机器人 信息系统通用技术规范
- [19] IMT 2030 (6G) 推进组, 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[S], 2021.
- [20] 中华人民共和国国家环境保护标准, HJ 664—2013 环境空气质量监测点位布设技术规范
- [21] Chen W, Niu K, Zhao D, et al. Robust dynamic hand gesture interaction using LTE terminals[C]//2020 19th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). IEEE, 2020: 109-120.

贡献单位

序号	主要贡献单位
1	中国电信集团有限公司
2	中国移动通信集团有限公司
3	中国联合网络通信集团有限公司
4	中兴通讯股份有限公司
5	华为技术有限公司
6	中信科移动通信技术股份有限公司
7	OPPO广东移动通信有限公司
8	维沃移动通信有限公司
9	上海诺基亚贝尔股份有限公司
10	中国信息通信研究院
11	中国铁塔股份有限公司
12	广东美的制冷设备有限公司
13	广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院



联系方式

邮箱: imt2030@caict.ac.cn

COPYRIGHT@2023 IMT-2030(6G)PROMOTION GROUP.

ALL RIGHTS RESERVED.