



IMT-2030(6G)推进组

IMT-2030(6G)Promotion Group

# 6G 通感融合系统设计

## 研究报告



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



## 目录

1	引言	6
2	通感融合系统设计的范围与目标	6
3	通感融合系统设计相关标准组织进展	7
3.1	3GPP	8
3.2	ITU	8
3.3	IEEE	9
3.4	IMT-2020 推进组和 IMT-2030 推进组	10
3.5	Next G Alliance	11
3.6	Hexa-X	12
3.7	IETF	12
4	通感融合系统设计的关键性能指标	13
4.1	潜在的感知关键性能指标	13
4.2	潜在的计算关键性能指标	14
5	通感融合的应用场景	15
5.1	通感融合应用场景	16
5.1.1	应用案例 1: 高精度定位与追踪	16
5.1.2	应用案例 2: 同步成像、制图与定位	17
5.1.3	应用案例 3: 人类感官增强	17
5.1.4	应用案例 4: 手势及动作识别	18
5.1.5	应用案例 5: 无人机飞行路径管理	19
5.1.6	应用案例 6: 无人机监管	20
5.1.7	应用案例 7: 智能工厂	20
5.1.8	应用案例 8: 环境降雨监测	21
5.1.9	应用案例 9: 智慧电网安全监测和预警	22
5.1.10	应用案例 10: 发送端波束配置	24
5.1.11	应用案例 11: UE 感知数据处理的算力辅助	25
5.2	小结	26
6	通感融合系统设计的关键技术问题	27
6.1	感知信息的分级定义	27
6.2	感知任务参与节点的选择	28
6.3	感知功能逻辑归属问题	29
6.4	6G 网络内的感知服务质量参数的使用与映射	29
6.5	通感安全隐私问题	30
6.6	更高性能的终端计算服务	31
6.7	通感算节点的协作	32
7	通感融合系统设计潜在的技术方案	33
7.1	通感融合端到端的功能阐述	33
7.2	计算节点辅助的感知测量量处理	35
7.3	感知信息的分级定义方案	36
7.4	感知节点选择方案	37
7.5	6G 网络内各功能间的感知服务质量参数定义方案	38



7.6	通感安全隐私方案	39
7.7	对于传统非 3GPP 感知设备的控制	40
7.8	基于 5G 演进的通感融合系统功能和接口分析	40
7.8.1	感知功能逻辑上属于核心网	41
7.8.2	感知功能逻辑上属于接入网	41
7.9	感知结果开放	43
7.10	感知基本流程	45
7.11	通算融合方案	47
7.12	通感算节点协作方案	49
7.12.1	通感协作	49
7.12.2	通算协作	50
7.12.3	感算协作	50
8	总结和展望	51
	术语定义	53
	缩略语简表	54
	参考资料	56
	贡献单位	58



## 图目录

图 2- 1 通信感知融合系统功能框架 .....	7
图 5- 1 通信和感知融合共赢 .....	15
图 7- 1 通感融合系统网络架构示意图 .....	34
图 7- 2 通感算融合控制的 3 种方式 .....	35
图 7- 3 感知节点的选择方案 .....	38
图 7- 4 基于核心网感知的网络架构 .....	41
图 7- 5 SF 逻辑上属于基站 .....	42
图 7- 6 SF 逻辑上属于基站外的节点或实体 .....	42
图 7- 7 感知基本流程图 .....	45
图 7- 8 通算融合示意图 .....	47
图 7- 9 计算信息收集流程示意图 .....	49
图 7- 10 计算服务流程示意图 .....	49



## 表目录

表 4- 1 感知服务体验相关能力的定义 .....	13
表 4- 2 计算服务的性能指标 .....	15
表 5-1 人类感官增强的性能指标 .....	25
表 5-2 智慧电网安全的性能指标 .....	26
表 5- 3 发送端波束配置的性能指标 .....	25
表 5- 4 计算服务的性能指标 .....	26
表 6- 1 典型的无线感知用例与应用场景 .....	29
表 7- 1 不同层次的感知信息 .....	36
表 7- 2 感知信息描述字段 .....	43
表 7- 3 感知请求描述字段 .....	44



## 1 引言

更先进的下一代移动通信系统 6G 将提供超越通信的多维服务，构建自由连接的物理与数字融合世界。6G 网络服务将以人为中心向智能体为中心扩展，从物理世界向虚拟世界延伸，实现通信、感知和计算等多维服务和功能的融合。在传统通信网络中引入感知能力，一套系统可以满足多种需求，通信和感知的融合成为 6G 潜在的技术趋势。未来 6G 系统的频段更高（例如毫米波和太赫兹）、带宽更大、大规模天线阵列分布更密集，因此通过 UE（User Equipment，终端）或 BS（Base Station，基站）发送的无线电波的传输、反射和散射等能力可以更好地感知物理世界，提供高性能的感知服务。同时，6G 感知提供的高精度定位、成像和环境重构等能力有助于更精确地掌握信道信息，可用于提高波束赋型准确性或降低信道状态跟踪开销等，从而提升了通信性能。进一步考虑当 6G 引入计算能力时，感知数据处理将不受限于各节点的本地计算能力，有助于借助先进算法进行特征抽取，达到更好的感知性能。

本报告围绕 6G 通感融合系统设计对 6G 网络架构和功能的影响等方面进行了分析，探讨通感融合系统设计的范围与目标、应用场景需求、关键性能指标、关键技术问题和通感融合系统架构。本报告旨在触发支持通感融合的 6G 网络架构探索，对未来的 6G 研究工作提供思路和起到一定的借鉴作用。

## 2 通感融合系统设计的范围与目标

从感知的实现方式上可以将感知分为射频感知和非射频感知，雷达作为典型的射频感知方式已经得到了广泛的应用。无线通信信号在传播过程中受到周围环境的影响，会引起信号幅度、相位等特征的变化，接收端通过无线信号处理不仅能够得到发送端的通信信息，还能够提取出反映传播环境特征的感知信息[1]。因此，通过无线通信设备（如 BS、UE）对目标物体、事件或环境进行感知也是射频感知方式之一。非射频感知即利用各式各样的传感器采集环境信息从而得到感知结果，典型的方式包括基于摄像头采集的图像或视频信息，或者通过其他特定传感器获取的特定感知信息，例如温度传感器、气压计、加速度计、陀螺仪等。本研究报告侧重基于 6G 的感知，旨在从资源和功能层面支持通过无线通信设备（例如终端/基站）对目标物体、事件或环境的感知。考虑一些用例还可能包括非终端/基站的传感器（例如雷达、摄像头等），因此本报告不仅包括基于终端/基站收发信号进行感知，也考虑综合利用包括雷达、摄像头等不同类型感知设备的感知数据。从而，6G 系统可以提供更加丰富和更加精准的感知服

务和应用。

考虑部分情况下需采用高复杂度算法进行感知数据处理，例如 MUSIC（Multiple Signal Classification，多重信号分类）算法、AI（Artificial Intelligence，人工智能）模型等。然而，6G 核心网的网络功能、基站和终端等单个节点处理能力有限。因此，当 6G 引入计算能力后，本报告也包括感知和计算的协作。

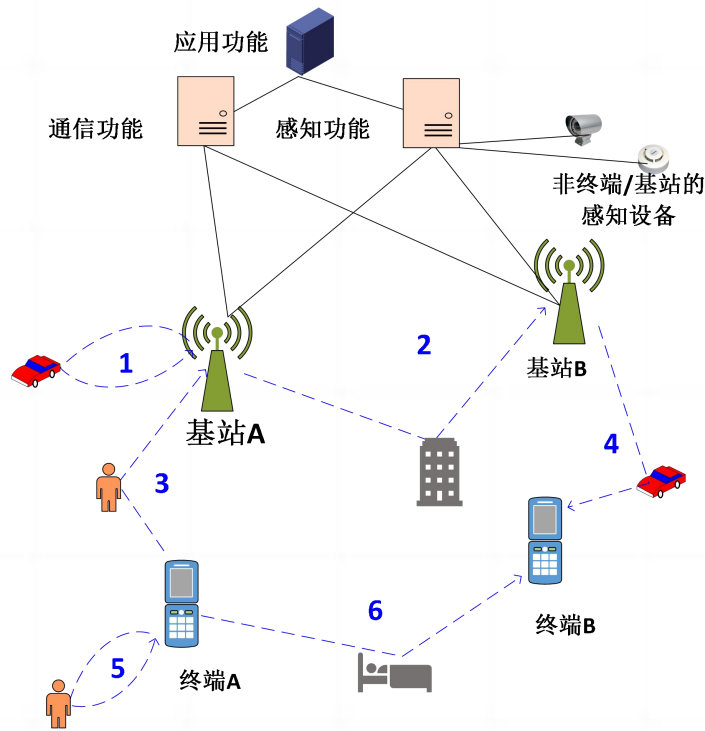


图 2- 1 通信感知融合系统功能框架

6G 通感融合系统设计的研究目标是通过端到端通感融合系统功能设计实现通信感知多维度业务创新。6G 系统通过合理设置网络功能和高效组织，提升网络性能、提高网络资源效率和改善用户体验[2]。具体研究内容包括通感算融合相关标准组织进展，感知和计算的关键性能指标，通感融合应用场景和需求分析，通感融合系统设计的关键技术问题梳理，以及潜在技术方案探讨。

### 3 通感融合系统设计相关标准组织进展

本章介绍全球多个标准化组织和研究机构关于通感融合研究的进展，包括 3GPP（3rd Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划）、ITU（International Telecommunication Union，国际电信联盟）、IEEE（Institute of



Electrical and Electronics Engineers, 电气与电子工程师协会)、IMT-2020 (5G) 推进组、IMT-2030 (6G) 推进组、Next G Alliance、Hexa-X、和 IETF (Internet Engineering Task Force, 互联网工程任务组)。上述标准化组织在通感融合的场景用例、技术挑战和技术趋势等方面开展了研究。

### 3.1 3GPP

3GPP SA1 Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication 对通感融合的可行性研究侧重于基于 NR (New Radio, 新空口) 的感知[3], 某些用例可能会利用 EPC 和 E-UTRA 中已有的信息 (例如蜂窝/UE 测量、位置更新), 一些用例还可能包括非 3GPP 类型的传感器 (例如雷达、摄像头)。目前研究报告中包括 32 个用例, 如住宅入侵检测、高速公路和铁路入侵检测、降雨监测、非 3GPP 传感器透明感知、睡眠监测、手势识别、旅游景点交通管理、工厂自主移动机器人冲突避免、无缝 XR (Extended Reality 扩展现实) 流、无人机入侵检测、无人机轨迹跟踪、无人机冲突避免等。从感知结果潜在的 KPI (Key Performance Indicator, 关键性能指标) 角度来看, SA1 通感研究项目将上述用例的场景分为目标检测与追踪、环境监测和运动检测三类。进一步地, 该研究报告提出了 KPI 表格, 包括定位精度、速度精度、感知分辨率、最大感知服务时延、刷新率、虚警概率和漏检概率。其中, 并不是每一个用例都涉及前述所有 KPI, 通常一个用例仅涉及其中的一部分。另外, 该研究报告还考虑了感知的机密性、完整性、隐私、监管等方面内容。

目前 3GPP SA2 和 RAN (Radio Access Network, 无线接入网) 也在讨论潜在的感知立项, 潜在的内容可能包括架构增强支持感知, 感知服务管理流程, 感知服务质量管理, 感知安全隐私, 感知计费, 通感信道模型, 感知模式, 以及感知信号、测量和控制等对协议影响等。

### 3.2 ITU

2023 年 6 月 ITU-R 完成了《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》[5], 提出了 6G 的典型场景及能力指标体系。在典型场景方面, 5G 三大场景增强为沉浸式通信、超大规模连接和极高可靠低时延, 6G 在 5G 三大场景基础上进行了增强和扩展, 包含沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能与通信的融合、感



知与通信的融合、泛在连接等 6G 六大场景。

感知与通信的融合指利用 IMT-2030 提供的广域多维感知，为未连接的物体和连接设备提供运动和周围环境的信息。典型的用例包括 IMT-2030 辅助导航、活动检测和运动跟踪（例如姿势/手势识别，跌倒检测，车辆/行人检测）、环境监测（例如雨水/污染检测）以及为 AI、XR 和数字孪生应用提供对周围环境的感知数据/信息。除了提供通信能力外，这些使用场景还需要支持高精度定位和感知相关能力，包括距离/速度/角度估计、目标检测、存在检测、位置、成像和制图等。

ITU 技术趋势报告[6]将通信和感知系统之间的交互级别分为：（1）共存，其中感知和通信系统在物理上分离的硬件上运行，使用相同或不同的频谱资源并且不共享任何信息，彼此视为干扰；（2）合作，其中感知和通信系统在物理上分离的硬件上运行，而信息可以相互共享（例如，感知/通信的先验知识可以共享，减少系统之间的干扰或在某些情况下增强另一个系统）；（3）集成设计，其中两个系统被设计为一个单一系统，在频谱使用、硬件、无线资源管理、空中接口以及信号传输和处理等方面具有信息共享和联合设计。通感融合系统在未来 IMT 的重点是（3），感知和通信之间开发高效协调，以尽量减少彼此之间的干扰，更进一步地可在频谱、硬件、信令、协议、组网等更多维度上进行协调和协作，实现互利共赢。

人工智能与通信的融合的典型用例包括 IMT-2030 辅助自动驾驶、辅助医疗应用中设备间的自治协作、设备和网络之间计算卸载、数字孪生创建和预测以及 IMT-2030 辅助协作机器人。这些使用场景将需要支持服务区域内高通信容量和用户体验数据速率，同时还需要低延迟和高可靠性。除了通信能力外，这种使用场景预计还将需要将与人工智能和计算功能相关的新能力集成到 IMT-2030 中，具体包括不同数据源的数据获取、准备和处理，分布式 AI 模型训练、共享和推理，以及计算资源编排等功能。

### 3.3 IEEE

IEEE 针对 WLAN 感知（WLAN sensing）在 IEEE 802.11 内成立了 802.11bf 任务组（task group）。WLAN 感知主要指的是具备 WLAN 感知能力的站点，通过接收 WLAN 信号以检测环境中目标对象的特征。其中环境（Environment）包括房间，房屋，车辆，公司等；目标包括物品，人体，动物等；特征（Feature）包括范围，速度，角度，动作，存在或接近，姿态等。802.11bf task group 定义了对 IEEE 802.11 MAC 层以及



DMG (Directional Multi-Gigabit, 定向多吉比特) 和 EDMG ( Directional Multi-Gigabit, 增强型定向多吉比特) PHY 层的修改, 以增强 1GHz 至 7.125GHz 以及 45GHz 以上免许可频段的 WLAN 感知, 使能站点通知其他站点其 WLAN 感知能力, 请求和设置传输以便执行 WLAN 感知测量, 交换 WLAN 感知反馈和信息。

802.11bf 任务组一系列文档范围包括用例、功能要求、信道模型、评估方法和仿真场景等。802.11bf 提出的 WLAN 感知用例[7]包括房屋内感知、手势识别、健康监护、3D 视角、汽车内感知等几个类别, 并对各个用例从最大距离、距离精度、最大速度、速度精度、角度精度、分辨率、安全、鲁棒性和最大网络负荷等方面参数进行了描述。

### 3.4 IMT-2020 推进组和 IMT-2030 推进组

IMT-2020 推进组成立通信感知任务组, 从场景需求、网络架构、仿真评估方法、空口技术方案和演示验证等多方面开展研究。已发布的《5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告》[8]阐述了智慧交通、智慧低空、智慧生活和智慧网络四大典型应用场景的十五个典型用例, 并展开了需求分析。各用例需求通过感知距离范围、感知速度范围、感知高度范围、感知距离分辨率、感知速度分辨率、感知多普勒分辨率、感知多普勒精度、感知距离精度、感知角度精度、感知速度精度、感知数据刷新率、检测概率、虚警概率、感知数据传输速率、感知时延、安全隐私高/低、识别准确率、感知雨量分辨率、感知降雨空间分辨率进行说明。已发布的《5G-Advanced 通感融合网络架构研究报告》提出了 11 个关键技术问题和多种不同的通感网络架构, 分别从接口、协议、功能和端到端业务流程等方案展开了研究设计。已发布的《5G-Advanced 通感融合仿真评估方法研究报告》对基于 3GPP TR 38.901 的通感融合信道建模方法进行了研究, 涵盖了通信感知融合系统仿真大尺度衰落和小尺度衰落模型建模方法, 通感融合信道空间一致性和移动特性, 以及链路级 CDL (clustered Delay Line, 集群延迟线) 通感融合建模方法。

IMT-2030 推进组发布了《通信感知一体化技术报告》[9]。该技术报告对通感一体化的范畴、研究现状、发展趋势、应用场景、基础理论、关键技术和原型验证进行了阐述。在基础理论方面, 介绍了无线感知的基础理论与评价指标, 以及通信感知一体化基础理论框架, 提出了通信与感知的互信息以及感知速率极限。在关键技术方面, 该报告对空口技术、信号处理技术、网络架构与组网设计、硬件架构与设计、协同感



知五个方面开展研究。其中，空口技术方面主要评估了基于 OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing，正交频分复用）和 OTFS（Orthogonal Time Frequency Space，正交时频空调制）两种典型波形下的测距测速等性能；信号处理技术方面分别从干扰消除、定位与环境重构、信号融合、参数估计等方面进行研究；在组网设计方面，基于业务连续性和 QoS（Quality of Service，服务质量）保障为目标，提出感知节点和感知方式的切换场景；在硬件架构方面，提出通信感知一体化硬件设计，需要解决高性能全双工等带来的干扰和设备电路等设计问题；在协同感知技术中，通过实例提出多模式协同感知、多节点协同感知、多频段协同感知用例和关键技术研究方向。

### 3.5 Next G Alliance

Next G Alliance 推出的 6G 技术报告[10]里总结了 4 类用例，包括：（1）网络支持的机器人和自主系统（Network Enabled Robotics and Autonomous Systems），使用 GPS（Global Positioning System，全球定位系统）、LiDAR（Light Detection and Ranging，光探测和测距）、声纳、雷达和测程法等传感器感知周围环境。（2）Multi-sensory XR（Multi-Sensory Extended Reality，多感官扩展现实），包括 VR（Virtual Reality，虚拟现实）和 AR（Augmented Reality，增强现实）等。（3）分布式感知和通信（Distributed Sensing and Communications），包括与通信紧密集成以支持自主系统的传感器。（4）个性化用户体验，基于用户个人资料和上下文信息（例如，用户的偏好、趋势和生物识别）对设备、网络、产品和服务进行实时、全自动和安全的个性化。该报告分析了 JCAS（Joint Communications and Sensing，通信和感知一体化）在通信和感知两方面功能的益处：共存以改善频谱共享、硬件重用和干扰管理；通信辅助感知，有助于实现多感知节点之间环境可视化；感知辅助通信，以提高通信性能；此外，JCAS 可以通过 standalone 蜂窝和非蜂窝技术增强定位性能。

Next G Alliance 提出的 JCAS 研究领域涵盖了感知与通信性能的 trade-off 研究与评估、感知信道建模、波形波束成形设计、感知与通信功能之间的共存、协作与协同设计、资源分配、协同感知、JCAS 产生的硬件要求、杂波抑制、UE 定向、多雷达联合处理、基于 AI/ML（Machine Learning，机器学习）的感知融合、全双工无线电等多个方面。其中全双工无线电是单站感知的关键推动因素，也是高功率 BS 和低功耗 UE



的重要研究领域。在蜂窝系统中，基于不同的感知能力，JCAS 操作可基于 BS，基于 UE，或者同时基于 BS 和 UE。关于 JCAS 存在的挑战包括以下方面：（1）考虑到通信和感知共享频谱，支持在不同的通信和感知性能折中下的灵活设计成为关键挑战之一，波形设计、波束成形设计和资源复用是该挑战的核心。（2）感知的空间方向可能不同于通信链路传输的空间方向，需要在感知和通信功能的 QoS 之间进行权衡。（3）多节点协同感知方面，感知节点之间的同步成为主要挑战。（4）干扰管理不仅需要考虑通信系统之间的干扰和感知系统间的干扰，还需要考虑通信系统和感知系统之间的干扰管理。

### 3.6 Hexa-X

Hexa-X 将通信、定位、成像和感知的融合（Convergence of communications, localization, imaging and sensing）作为未来连接技术的趋势之一[11]。随着更大带宽信号和更高频段频谱（如大于 100GHz）的应用，以及 SLAM 技术与较低频谱通信的结合，未来网络将集成高精度定位（具有厘米级精度）、感知（类似雷达和非类似雷达）和成像（毫米级）功能。为此，需要开发新算法来共同优化通信、感知和定位的功能。除了为应用层提供服务，还可以优化网络性能，例如通过主动无线电资源分配和管理，并确定波形设计，实现具有超高数据速率的连接性能和完整的 6D 环境地图。6D 环境地图包含了所有三个空间维度（纬度，经度，高度）和三个方向维度（俯仰、横滚、偏航）的信息。通过通信连接和 6D 地图与运动预测和 AI 的结合，基于新沉浸式 XR 体验的新应用和用例将变为现实。

SaaS（Sensing-as-a-Service, 感知服务）被认为将对 6G 架构产生影响[12]，包括服务化架构为感知能力定义新服务和新接口，以及增强和修订现有的定位功能等。由于感知和定位在大部分用例中都具有重要作用，因此 Hexa-X 组织了 Work Package 3（WP3）-“6G High-Resolution Localization and Sensing”。在 6G 端到端网络架构设计中，需要考虑仅通信、仅感知、通信感知定位联合这三种能力的灵活切换和优先级。定位和感知应被设计为基本功能或微服务，并需要考虑开放框架、安全、低时延、QoS 等多个方面的问题。

### 3.7 IETF

IETF 定义了 CFN（Compute First Networking，算力网络），CAN（Computing-



Aware Networking, 算力感知网络), SRv6 (Segment Routing over IPv6, 基于 IPv6 的段路由) 和 APN6 (Application-aware IPv6 Networking, 基于 IPv6 的应用感知网络) 等技术, 这些技术基于 IP 协议或路由协议支持路由信息、算力状态信息和应用信息的及时扩散与同步, 实现有线传输和算力的良好匹配。

2023 年 3 月, 由中国移动主导的 CATS (Computing-Aware Traffic Steering, “算力路由”工作组) 在 IETF 成功获批, 标志着算力网络“算网一体”原创技术体系取得了里程碑式的进展, 算力和网络两大学科的交叉融合形成了广泛的国际共识。

当前, 许多服务需要创建多个服务实例, 这些实例通常在地理位置上分布在多个站点。CATS 工作组定位在路由域, 主要致力于解决网络边缘节点如何引导服务的客户端和提供服务的站点之间的流量的问题。目前, 场景和需求文稿已经立项, 包括计算感知的 AR/VR、智慧交通、数字孪生、SD-WAN (Software Defined Wide Area Network, 软件定义的广域网) 等场景, 以及支持动态选择服务节点、支持计算资源表示、合适的计算资源分发和应用、业务连续性等需求。

## 4 通感融合系统设计的关键性能指标

### 4.1 潜在的感知关键性能指标

为了提供更好的感知服务, 需要对网络提供的感知结果进行关键性能指标进行定义, 3GPP SA1 定义的感知关键性能指标定义如表 4-1 所示。其中, 精度性能指标的量化定义通常需与置信度 (Confidence level) 关联定义, 通过置信度描述了所有可能测量的感知结果中期望包含真实感知结果的百分比, 因此 SA1 提出了在 95% 置信度情况下的定位精度 (包括水平精度和垂直精度) 和速度精度 (包括水平精度和垂直精度) 需求。由于漏检概率和虚警概率均适用于二元判断的感知结果, 因此对于多元判断的感知结果 (例如手势识别等), 还可以引入检测/识别准确率作为感知关键性能指标。

表 4-1 感知服务体验相关能力的定义

参数	含义
定位精度 (包括水平精度和垂直精度)	描述目标物体的测量感知结果 (即位置) 与其真实位置值的接近程度。它可以进一步衍生为水平感知精度和垂直感知精度, 前者指的是二维基准面或水平面上的感知结果误差, 后者指的是垂直轴或高度上的感知结果误差。



速度精度 (包括水平精度和垂直精度)	描述目标物体速度的测量感知结果（即速度）与其真实速度的接近程度。
感知分辨率	描述目标物体测量量级（如距离、速度）的最小差异，以允许检测到不同量级的物体
刷新率	描述生成传感结果的速率。它是两个连续传感结果之间时间间隔的倒数。
漏检概率	描述系统尝试获取感知结果的任何预定时间段内，获取传感结果的漏检事件与所有事件的比率。它仅适用于二元判断的感知结果。
虚警概率	描述尝试获取感知结果时，在任何预定时间段内检测到不代表目标对象或环境特征的事件与所有事件的比率。它仅适用于二元判断的感知结果。
最大感知服务时延	描述从触发所需感知结果到感知系统接口处提供感知结果之间的时间。

## 4.2 潜在的计算关键性能指标

当 6G 引入计算能力后，本报告也包括感知和计算的协作。感知和计算协作包括基于 6G 计算能力对感知数据进行处理产生所需感知结果。当终端请求网络辅助感知数据处理时，由于需要将待处理感知数据传输到合适的网络节点进行处理，因此涉及通信、计算和感知的融合。所述计算包括基于 AI 的计算和非基于 AI 的计算。AI 服务的性能指标涵盖多个方面，包括可达性能（包括 AI 性能如归一化均方误差、余弦相似度等）、通信性能如数据速率、覆盖、误块率等）、AI 模型复杂度、收敛速度（或训练时间）、泛化能力、数据依赖性、推理时间、训练的算力开销、模型的传输开销和模型的存储开销等。AI 服务的性能指标取决于 AI 算法和大数据技术等计算机领域相关技术在 2030 年及以后的发展水平。

传统上计算性能指标通常从系统资源维度进行定义，例如通过 FLOPS（Floating-Point Operations Per Second，每秒浮点运算次数）等表征计算性能，通过持续内存带宽等表征内存访问性能，通过 IOPS（Input/Output Per Second，单位时间内能处理的最大 IO 频度，一般指单位时间内能完成的随机 IO 个数）等表征存储性能，通过通信时延和带宽等表征网络性能。而 6G 融合计算相关的性能指标将由 6G 系统中部署的计算和通信相关资源以及性能综合决定。在定义 6G 系统的计算性能指标和用户的计算性能指标时，需要考虑 6G 计算的典型业务用例（例如计算辅助感知等），以及相关的用户密度、业务模型等因素，指标的具体定义请参考表 4-2。

表 4- 2 计算服务的性能指标

融合计算的性能指标		定义
系统性能指标	算力密度	移动通信网络单位覆盖面积能提供的算力
	计算连接密度	移动通信网络单位覆盖面积能提供的计算服务连接数量
用户性能指标	峰值算力	单用户可获得的峰值计算性能
	计算时延	从用户发起计算服务请求到接收到计算响应的整体时延

## 5 通感融合的应用场景

通感融合的核心理念是要让无线通信和无线感知两个独立的功能融合在同一个系统中，并实现互惠互利。一方面，通过基于移动通信网络进行位置、速度、角度等信息的探测感知，构建低成本、高精度、无缝泛在的广域感知网络，即通信服务感知。另一方面，感知信息可以辅助基站或终端进行波束训练、波束跟踪，能耗优化等，从而提升通信系统性能，即感知辅助通信。

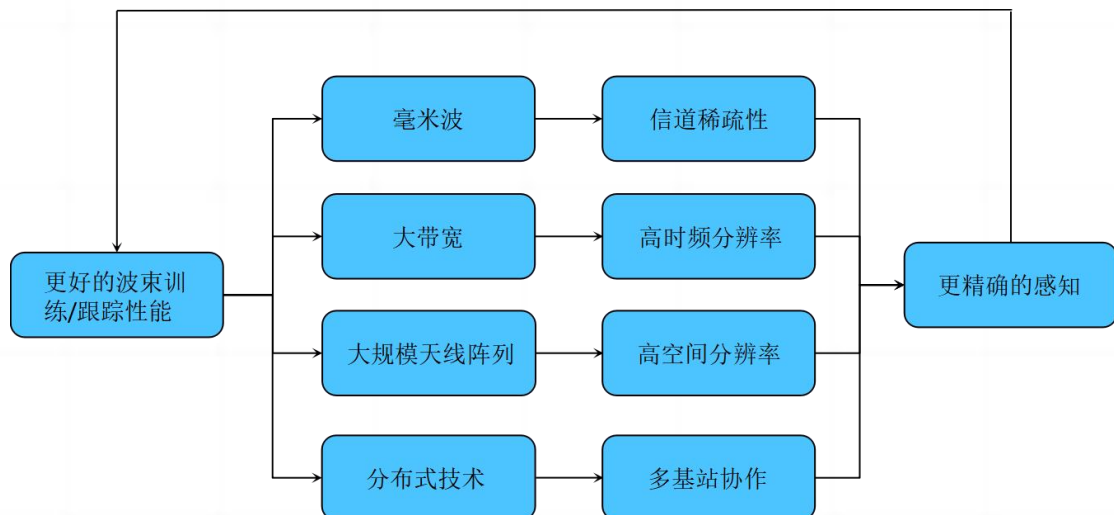


图 5- 1 通信和感知融合共赢

网络感知创造了一种通信之外的新型应用场景，涵盖一系列用例，例如，基于设备甚至无设备的目标定位、成像、环境重构和监控、手势和活动识别等[13]。这些应



用为全球移动通信系统的研究和讨论增加了新的性能维度，如检测准确率、感知分辨率和感知精度（包括距离、速度、角度）等，这些维度的性能要求因应用而异。未来在定位和重构应用中需要高感知精度和高分辨率；在成像中应用需要超高分辨率；而对手势和活动识别，检测准确率则至关重要。

通感融合系统用例可以根据不同维度进行分类。根据面向的用户群体不同，通感融合系统用例可以分为：面向传统业务用户体验增强的场景、面向 ToB 领域新业务的场景以及面向 ToC 领域新业务的场景。根据用例实施的环境不同，通感融合系统用例可以分为：室内环境（局部空间）场景和室外环境（开放空间）场景。根据感知目标是否具备通信能力，通感融合系统用例可以分为：无源感知场景和有源感知场景。根据是否具有标识的明确感知目标，通感融合系统用例可以分为：per-area 场景和 per-object 场景。根据对感知测量数据的不同处理方式，通感融合系统用例可以分为：检测类场景、估计类场景和识别类场景。本报告侧重于梳理各类用例对系统设计的共性需求，不再对用例进行分类。

## 5.1 通感融合应用场景

### 5.1.1 应用案例 1：高精度定位与追踪

#### 案例描述

6G 网络将具备感知功能, 可以为通信对象提供有源定位 (Positioning) 服务 (类似 5G), 也可以为非通信对象提供无源定位 (Localization) 服务 (类似雷达)。通过处理散射和反射的无线信号的时延、多普勒和角度谱信息, 6G 网络可以提取出三维空间中物体的坐标、方向、速度和其他地理信息。这种高精度的 3D 定位与追踪将达到厘米级的精度, 可以通过在网络信息和物理实体位置之间建立必要的关联, 进一步在工厂、仓库、医院、零售店、农业、采矿业等各行业使能不同的应用。例如, 自动化工厂中的机器人可以轻松地检索仓库货架上的零件, 并进行正确的安装[14]。

在 6G 网络中, AGV (Automated Guided Vehicle, 自动导向车) 可以作为感知服务的请求者, 将预处理的感知信号发送到感知处理节点, 感知处理节点最终到 AGV 的定位信息返回给 AGV, 连续性的低延时、高精度定位可以避免 AGV 在导航期间内发送碰撞。此外, 10cm 级精度的连续感知可实现器件级放置, 1cm 级精度连续可以进一步实现狭小空间中的模块级安装和放置, 从而提高集成芯片、小型金属部件等小尺寸期间的存储效率[14]。



高精度定位与追踪在车路感知中也起着重要的作用，即对道路本身和道路环境进行识别和感知，对道路参与主体的位置、速度以及运动方向进行识别，对道路上发生的异常事件进行识别，进而为自动驾驶车辆和智慧交通管理提供数字化的道路基础。通过利用道路周边广域覆盖的通感融合基站，可以实现对整条道路的全域感知。

## 业务需求

以 AGV 为例相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

### 5.1.2 应用案例 2：同步成像、制图与定位

#### 案例描述

成像、制图与定位是三种可以互补的感知功能。成像功能用于捕获周围环境的图像，定位功能用于获取周围物体的位置，制图功能则利用这些图像和位置信息构建地图，并进一步提升定位功能的位置推理能力。毫米波和太赫兹中的 SLAM（Simultaneous Localization And Mapping, 同步定位与制图）应用有助于感知设备在未知环境中构建 3D 地图。在 6G 时代，感知设备可以是 6G 基站或终端，如汽车、无人机和机器人等。与传统的激光雷达（Lidar）和光学摄像头系统相比，基于 6G 无线信号的 SLAM 应用使自动驾驶汽车能够以超高的分辨率和精度在任何天气条件下“看清”周围各个角落。SLAM 通常是连续性感知，实现同步成像与制图。室内场景也类似，即使在拥挤的环境中，机器人、自动导引运输车等感知服务的请求者也能够依赖 SLAM 自由移动。在室内场景下，为了保证非视距定位的精度，要求环境重建结果的误差控制在 5% 之内。举例来讲，假设室内走廊宽度为 2m，5% 的误差相当于 10cm 的环境测绘精度。

#### 业务需求

以 SLAM 为例的相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

### 5.1.3 应用案例 3：人类感官增强

#### 案例描述

人类感官增强旨在提供比人眼更安全、更精确、更低功耗的感知能力。太赫兹通感一体化技术利用毫米波频段，可以将超越人体感官的增强感知能力集成到便携式设备、可穿戴设备乃至可植入式设备中。“超越人眼”（See Beyond Eyes）的概念依赖于

超高分辨率成像技术，可以应用于日常生活，例如发现水管中针孔大小的漏水点，也可以应用于智慧工厂中，实现零接触的缺陷检测和质量控制，借助电磁波的穿透特性，只需一台便携式设备甚至智能手机，就能完成包裹安检、墙内线缆检测等任务，人类作为这类“超越人眼”感知应用的使用者。6G 将探索更大的射频范围，可透过皮肤、皮下脂肪、手提箱、家具等材料看见人眼所看不见的东西——即“超越人眼”。由于无线信号的穿透性取决于频率和发送功率，像皮肤（0.5cm-4cm）、皮下组织（12mm-20mm）、手提箱（0.5cm）和家具（2cm）等非电离材料非常适合无线信号穿透式成像。光谱图识别也是“超越人眼”的一部分，它通过光谱图感知目标的电磁或光子特性来识别目标，利用太赫兹信号来区分不同材料的独特吸收特性，典型应用包括食物的卡路里检测和环境 PM2.5 分析[15]。光谱识别是基于目标的电磁或光学特性，对目标进行识别的频谱感知技术，这类光谱图识别通常是一次性感知应用。这类应用依赖分子震动效应，与材料独特的吸收曲线有关。为了获得分子震动中的所有吸收峰频段，需要 2GHz-8GHz 的频谱带宽。此外，在 1THz 下进行光谱识别时，频率抖动必须小于 10GHz。

## 业务需求

相关的指标参考 3GPP SA1 研究课题和 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》，其指标概括表 5-1 所示：

表 5-1 人类感官增强的性能指标

指标名称	指标参数
定位精度	<0.5cm
感知服务最大时延	<1ms（远程医疗）100ms（谱识别）
分辨率	1mm

### 5.1.4 应用案例 4：手势及动作识别

#### 案例描述

基于机器学习的无源手势及动作识别是推广人机接口（Human-Computer Interface）的关键，用户仅使用手势和动作就能与设备进行交互。这种识别分为“大动作识别”和“微动作识别”两种。大动作是指身体运动，例如，未来智慧医院将会自动监督患者的安全，包括检测患者是否跌倒以及监控患者的康复训练等。相对于传统的摄像头监控，其最大优势是对隐私的保护。微动作识别则是通过连续性的感知信号来识别用户的微小动作，如手势、手指动作和面部表情等。可以想象一下，我们只需在



空中舞动手指，XR 就能立即播放美妙的音乐或呈现动人的画作，真正实现随时随地的艺术创作。为了精确捕捉人的手势，距离分辨率需要达到 1cm，速度分辨率要达到 0.05m/s，检测概率要大于 99%，覆盖距离要大于 8m（即大客厅的范围）。此外，为了区分不同人的手势，横向距离分辨率的理想取值在 5cm 以内。通过对目标进行室内跟踪、定位和动作识别，可以对室内人员的行为进行分析和监测。并可以利用感知网络可以分析成员不同活动的时间比例，活动区间以及睡眠质量等。

## 业务需求

相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

### 5.1.5 应用案例 5：无人机飞行路径管理

#### 案例描述

借助于 6G 网络，低空无人机发展正迈向全新的阶段。无人机具备全天候、全空域执行侦察、预警、通信等多种任务的能力，同时无人机也可以广泛应用于航拍、警力、城市管理、农业、地质、气象、电力、抢险救灾等多个垂直行业。

随着无人机的广泛应用，大量无人机同时工作时的航线规划和安全性保障成为一个极大的挑战。

无人机在飞行过程中，可以通过基站对无人机位置、高度、航向、速度等信息进行感知。基于感知信息，如果发现无人机偏离原计划的飞行轨迹，则无人机管理平台引导无人机回归正确航迹。同时，基站可以对无人机周围环境进行感知，例如障碍物的位置、形状和其他无人机的飞行速度等，从而基于这些感知信息构建 3D 地图或进行障碍物的识别，当无人机接近障碍物（例如楼宇、山体），无人机管理平台引导无人机调整飞行路线，避免碰撞；当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，无人机管理平台预测其航迹，若预计无人机间将发生冲突，则给出冲突告警。

例如，在某一物流无人机在根据预定的飞行路线执行飞行任务时，无人机管理部门发起对该无人机的感知请求，该请求携带了无人机标识 UE ID 和无人机周围环境的范围（如，距离该 UE ID 1000 米）。网络收到感知请求后，可以利用定位技术获得无人机的位置，结合无人机位置和感知范围再对无人机周围环境进行感知。根据周围环境的感知结果，无人机管理部门可以动态调整无人机的飞行路径。当飞行任务结束时，



无人机管理部门终止对该无人机的感知请求。

### 业务需求

相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

## 5.1.6 应用案例 6：无人机监管

### 案例描述

轻小型民用无人机在航拍、农业、测绘等领域大显身手，同时也会干扰民航飞行，造成事故。为实现对无人驾驶航空器的依法管理，中国民航局发布了《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》。条例明确，除空中禁区、机场、军事禁区、危险区域等周边一定范围内，微型无人机无需批准可以在真高 50m 以下空域飞行，轻型无人机可以在真高 120m 以下空域飞行。此外，按照相关规定，无人机飞行前需要向空管部门申请飞行空域和计划，获得批准后方可行动。除此之外，任何飞行都被称为“黑飞”。但是，当前很多无人机飞行并未严格遵守国家相关规定，导致未经许可闯入公共及敏感区域、意外坠落、影响客机正常起降、碰撞高层建筑等“黑飞”事件时有发生。在实践中，通过技术手段限制非法违规飞行是防止“黑飞”的主要手段。比如，主流无人机厂商均推出了电子围栏功能，无人机接近禁飞区域时会自动发出警报，并无法操控进入该区域。目前，机场附近已经得到了较严格的电子围栏保护，然而一些重点区域，如轨道交通沿线、高铁站、码头等依然是一些电子围栏的盲点[8]。

### 业务需求

相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

## 5.1.7 应用案例 7：智能工厂

### 案例描述

生产现场环节是工业生产中的最重要的一环，主要包括核心生产制造、生产过程溯源、机器视觉质检等。

### 核心生产制造

在核心生产制造中，远程设备操控员可以通过生产现场视频画面和各类数据，远程实时对现场工业设备进行精准操控。现场人员可以利用 AR/VR 眼镜等智能终端获取



增强图像叠加，进行装配可视化呈现，以辅助完成复杂精细的设备装配。在这个过程中，可利用视觉、触觉、蜂窝感知等多种多模态感知和目标识别等感知技术。

通信感知一体化技术可以对多台设备进行协同控制。例如，结合定位技术对工厂内的 AGV 小车进行协同控制，实现厂内所有 AGV 小车的合理调度，以达到全局最优，并对 AGV 小车进行最优路径规划。配合定位系统，可以精确测量大型机械的位置以及偏转角、俯仰角等姿态数据；配合高分辨率成像技术或基于全息通信输出 3D 图像的表面测量，可以精确测量生产对象的高度、位移、角度等数据。

在柔性生产制造中，“柔性”特征要求要能够感知加工对象或者原材料的变化，以便于根据实际情况做出工艺或者流程上的调整。例如，柔性上料系统可以利用高分辨率成像、通信感知等技术调整机器翻转、拾取、抓取的姿势，或者进行识别和分拣，以应对不同物料或者零部件在体积、几何形状和类型上的变化。

### 质检

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，特别适用于对复合材料和高分子材料的表面与内部缺陷进行检测。可以利用基于太赫兹的高分辨率成像技术采集产品信息，并通过 5G 网络传输至感知数据处理系统，感知数据处理系统基于人工智能算法模型对产品信息进行实时分析，对比系统中的规则或模型要求，判断物料或产品是否合格。如果有缺陷，可以实时进行缺陷检测与自动报警，同时有效记录瑕疵信息，为质量溯源提供数据基础；同时，可以对数据进一步聚合，并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。

### 业务需求

相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

## 5.1.8 应用案例 8：环境降雨监测

### 案例描述

降雨监测在农业、天气预报、气候模拟等方面具有重要的应用意义。传统的降雨监测使用位于特定位置的雨量计，也是目前应用最广泛的测量方法。但是在广泛区域内使用雨量计进行监测是非常昂贵的。利用无线基站的广域覆盖和远程感知的特点，可以通过基站监测降雨情况，获得更广泛区域的检测结果。当无线电信号在大气中传



播时，大气成分会使其信号强度降低。其中，氧气和水蒸气是吸收信号的两大主要成分。在降雨天气中，雨水会导致额外的信号衰减，并进一步增加信号的传播路径损失。降雨引起的信号衰减取决于水滴的大小和分布，因此，通过量化和模拟基站的信号测量，能够服务于大规模降雨量的监测。

本案例可能存在两种应用场景：

1. 国家气象局发起感知需求并使用感知数据：国家气象局希望通过基站监测广泛区域的降雨量，辅助气象卫星监测结果，以提高气象预测结果的准确性和全面性。
2. 个人发起感知需求例如，某个人需要根据手机 app 上获得的降雨预测信息来制定出行时间计划。又如，某位农场管理者需要根据降雨量对农作物进行不同程度的灌溉，因此需要知道实时了解降雨量。这种情况下需要个人通过应用来发起感知需求并使用感知数据。

在感知方式上，感知任务发起方可以向基站发送定时测量降雨量的请求，并携带测量频率。基站会定时获得 NR 感知的测量数据，并通过感知和计算节点对基站的测量数据进行量化和分析得到感知结果。感知结果可以向应用开发，以得到与位置相关的实时降雨量。如果感知任务需要较高的测量频率，可以视为连续性感知。

需要注意的是，降雨量信息属于公共信息，不涉及具有标识的明确感知目标。因此，不涉及个人隐私。

## 业务需求

相关指标需求的数值范围参考详见 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场景研究》。

### 5.1.9 应用案例 9：智慧电网安全监测和预警

#### 案例描述

随着未来无人机、自动驾驶汽车等自动驾驶设备的普及。这些设备对周围环境的影响能力将变得非常强大。在电网行业中，这些设备可能会对电网运行设备造成影响，例如导致无人机干扰输电、发电、变电多环节运行的安全，或者导致工程车辆钩落或破坏输电线路引发相关事故。目前，在电网行业中，输电和变电等多个场景与通感存在潜在的结合点。其中，输电环节可能会发生由施工引发的交通工具钩落或破坏输电线路引发的相关事故，因此输电站存在识别交通工具并预警的需求。在变电环节，存



在无人机偷拍与袭击、人员靠近易触电等安全隐患，变电站需要进行周界入侵检测及无人机侦测。

为了满足电网行业在无人机侦测、周界入侵、交通工具挂断预警等安全监管领域的多种场景需求，需要考虑场景化的多维感知与灵活部署能力，充分结合通信、感知和计算能力。在本案例中，感知需求的发起者和使用者皆为国家电网，所感知的位置信息不涉及具有标识的明确感知目标，对隐私安全没有要求。

在无人机侦测和周界入侵场景中，感知可以分为主动感知和被动感知两种方式，都属于连续性感知。主动感知是将无人机作为装备传感设备的 UE，在被感知的同时，也配合多个基站定时上报位置信息，进行无人机与变电站之间距离的探测，以确保在安全区域内飞行。被动感知可以利用通感网络中无线基站的区域覆盖和远程感知，实现对无人机和行人位置信息的实时感知，对特定区域内的无人机和行人进行定位和跟踪。如果感知到无人机或行人入侵相关区域，则发出告警。或者在特定范围内设置电子围栏，实施触碰告警。将感知到的无人机或行人的位置传给核心网，感知节点和计算节点可以根据大量数据对无人机或行人的路径做出分析和预测，提前预警有可能发生的安全隐患。其中，一些计算任务可以直接在感知节点上完成。根据感知任务需求、计算复杂度和算力资源部署情况，计算节点可以辅助感知节点进行定制化的感知信息处理。计算节点之间可以支持多点协作，借助 AI 算法模型为感知提供信息分析和预测能力。

在预防交通工具破坏输电线路场景中，感知也同样可以分为主动感知和被动感知两种方式，都属于连续性感知。将装备传感设备的交通工具作为感知 UE，配合基站进行位置和距离的主动感知。此外，也可以通过无线基站进行实时被动感知、定位和跟踪交通工具，并将感知数据传给核心网的感知和计算节点，以预测交通工具行进路线。在输电线路周围一定区域内部署电子围栏，对接近电子围栏可能引起触碰的具体工具进行预警。

## 业务需求

相关的指标参考 3GPP SA1 研究课题和 IMT-2030 需求组《6G 感知的需求和应用场  
景研究》，其指标概括如表 5-2 所示：

表 5-2 智慧电网安全的性能指标

指标名称	指标参数
------	------



感知服务最大时延	$\leq 5\text{ms}$
距离分辨率	0.5m-2m
角度分辨率	3
速度分辨率	0.5m/s
刷新频率	$\geq 10\text{Hz}$
置信度	95%

### 5.1.10 应用案例 10：发送端波束配置

#### 案例描述

在当前的无线通信系统中，广播信道、控制信道、数据信道、参考信号等都采用基于波束的方式进行发送和接收，为了保证基于波束传输的准确性和健壮性，基站和终端需要在传输过程中相互进行波束测量和确定，以确保使用正确的波束进行控制 and 业务信道的传输。然而，现有的波束训练和波束跟踪方法存在一些问题，这些方法需要基站频繁发送训练序列并进行测量反馈，导致空口时频资源开销过大。同时，这些方法还存在较高的时延，波束跟踪时效性较差，难以及时与无线信道实时匹配，从而造成较高的波束失败和通信中断概率。在通感融合系统中，移动通信系统将更智能化、更节能化。由于无线通信系统具备一定的感知能力，使系统在完成通信目的同时，能够及时感知无线信道（目标）的状态，这为改善波束训练和跟踪的效果，同时降低其资源开销提供了可能。

在通感融合系统中，可以利用感知技术获取小区内终端位置信息等，从而缩小波束扫描范围，并缩短波束训练时间。例如，当感知工作模式为终端发送上行感知信号时，在基站测量过程中，第一步，基站基于终端发送的参考信号做感知，确定终端的位置信息，但是仅仅获取终端的位置信息只能确定终端工作在 LOS（Line of Sight，视距）径时的最佳波束，终端工作在 NLOS（Non Line of Sight，非视距）径时的最佳波束还需要考虑信号的反射等因素；第二步，终端发送的参考信息经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息，进而确定终端工作在 LOS 还是 NLOS 环境，以及对应的更精确的波束信息，辅助缩小通信波束训练范围。

还可以利用感知技术获取通信信道环境信息等进行波束预测，降低波束测量反馈开销，并提升波束跟踪时效性。例如，当感知工作模式为终端发送上行感知信号时，在基站测量过程中，第一步，基站基于终端发送的参考信号做感知，确定终端的位置信息、移动速度、运动方向等信息，基于此基站可以预测终端的运动轨迹等；第二步，终端发送的参考信息经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信

信道的环境信息，基站可以基于预测终端运动轨迹以及感知的信道环境可以进行波束预测，提升波束跟踪时效性。

本案例中，感知结果被用于网络优化，基站是最终感知结果的使用者。由于感知结果包含通信信道环境信息等基站周围环境信息，并不包含特定 UE 的身份信息，因此不会涉及安全隐私问题。然而，如果基站侧实现感知功能，并针对特定用户进行感知以进行波束调整和资源调度，基站则需要知道 UE 的身份信息，可以通过采取给 UE 分配内部标识等手段来保护用户的隐私。

## 业务需求

参考 IMT-2020 的《5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告》，其感知需求如表 5-3 所示：

表 5-3 发送端波束配置的性能指标

指标名称	指标参数
感知速度范围	3km/h-500km/h
感知距离精度	<1m
感知数据刷新率	0.01Hz-0.1Hz

### 5.1.11 应用案例 11：UE 感知数据处理的算力辅助

#### 案例描述

未来随着沉浸式业务的发展，手势识别和轨迹追踪等感知是重要的使能技术。然而，这类技术的应用面临着一些挑战，一方面对感知数据处理和交互的实时性要求较高，另一方面可能涉及用户隐私问题。针对这些挑战，UE 进行感知测量、感知数据（即感知测量量）处理和感知结果应用可以作为解决方案。

在面向手势识别和轨迹追踪等感知数据处理方面，可能涉及到 AI 模型或 MUSIC 等高复杂度算法的使用。在考虑到终端功耗和计算能力的情况下，某些场景可能需要低时延、高性能的计算服务来提供算力辅助。潜在的服务流包括如下情况：

- 终端按需对感知数据进行部分处理后，终端向网络计算功能请求 6G 网络算力，网络计算功能将计算结果发送给终端；
- 终端按需对感知数据进行部分处理后，终端向网络计算功能请求 6G 网络算力，网络计算功能将计算结果发送给应用功能；

- 终端按需对感知数据进行部分处理后，终端向网络计算功能请求 6G 网络算力，网络计算功能将计算结果发送给目标终端；

以轨迹追踪为例进行初步测算，通过 MUSIC 算法对行人 10s 时间内的轨迹进行追踪。假设单个终端每 5ms 进行一次多普勒估计，每次估计采用 50 个感知参考信号的感知测量数据。对于车辆、无人机等速度和距离不同的情况，可能需要使用几百个感知参考信号的感知测量数据。根据初步估算，计算需求预计不小于  $10^8$ FLOPS，该计算需求超过了大多数智能终端的能力。实时交互体验要求语言动作的反馈的总时延不超过 200ms，去掉传输时延等其它开销，预计 6G 系统中的计算时延要求在 10ms 到 100ms。集中的云计算服务可能较难满足需求，需要 6G 系统提供低时延计算服务。以活跃用户密度每  $5m^2$  一个人、每人每天使用数字人的平均时间为 30 分钟、忙时集中率为 10%、小区覆盖面积为  $10000m^2$  为例，支持该应用场景所需的性能指标如表 5-4 所示。因不同计算用例需求的差异性，运营商的 6G 计算能力需根据业务需求合理部署规划。

表 5- 4 计算服务的性能指标

融合计算的性能指标		基于虚拟数字人用例的需求值
系统性能指标	算力密度	$\sim 10^{12}$ FLOPS/km <sup>2</sup>
	计算连接密度	$\sim 10000$ /km <sup>2</sup>
用户性能指标	峰值算力	$\sim 10^8$ FLOPS
	计算时延	10ms-100ms

## 5.2 小结

以上从不同角度给出了多个通感融合的应用案例，覆盖了室内环境（局部空间）场景、室外环境（开放空间）场景、无源感知场景、有源感知场景、面向区域的感知场景和面向目标的感知场景等。下面分别从三个方面梳理各个应用案例对网络架构设计的潜在需求：

- 5.1.1 至 5.1.9 阐述了 9 个对网络外部功能提供感知服务的用例，考虑感知性能需求，6G 网络架构和功能需要支持根据感知链路情况选择合适的感知模式（即终端/基站自发自收，终端和基站间收发，终端/基站间收发）或者多个终端/基站协同感知。同时，考虑潜在的感知需求请求方和感知结果信息的敏感程度，6G 网络架构和功能需要支持感知授权、鉴权和感知数据隐私管理等。



- 5.1.10 则属于感知辅助通信类用例，相比于前述 9 个用例，其特殊之处在于感知数据处理可能位于基站。因此，需要 6G 网络架构和功能支持感知数据灵活终结在无线接入网节点。
- 5.1.1-5.1.10 应用案例还需要 6G 网络架构和功能支持大量感知数据收集和传输，感知数据复用，以及感知数据灵活终结于移动通信网络内任意节点。
- 5.1.11 则聚焦于单个 UE 处理能力有限，当 6G 引入计算能力，感知和计算协同可以按需支持 UE 侧所请求的 MUSIC/AI 等高复杂感知算法。因此，需要 6G 网络架构和功能具备计算能力，并支持 UE 请求计算服务，进而满足网络提供算力辅助 UE 进行感知数据处理的需求。

综上所述，不同感知场景对于业务需求（包括感知速度范围、感知距离精度、感知数据刷新率等）有很大的差异，因此本包括后续进一步对通用感知系统框架、感知安全隐私等进行研究，形成通感融合系统设计的关键技术问题和潜在技术方案。

## 6 通感融合系统设计的关键技术问题

通感融合利用无线信号感知周围环境的目标或状态，无线侧终端或基站采集所接收的无线信号强度、时延、相位和多普勒频移等变化信息，经计算处理后输出结果，如目标大小、位置、速度等。该过程中，网络需根据业务需求触发、修改或结束感知流程，调度无线资源，处理数据，开放结果。此外，由于感知可能涉及用户隐私安全，核心网需执行鉴权或授权，处理敏感的感知测量数据。因此，本章从端到端网络系统架构角度出发，提出为了满足多样化通感场景和业务要求所面临的关键技术问题，包括感知控制、感知数据传输和处理等，从而作为网络架构设计的基本依据。

### 6.1 感知信息的分级定义

感知的基本过程可以阐述为网络接收感知服务请求，根据感知服务请求确定所需的感知测量量，并选择合适的感知节点。然后，终端或基站接收感知信号并进行测量，产生感知测量结果，即测量所获得的感知测量量的数值。相应地，根据终端或基站所上报的感知测量结果，产生感知结果，并响应感知服务请求。在某些场景下，有些观点认为可以将感知测量结果提供给感知服务请求方。目前，感知结果和感知测量结果



之间的界限需要进一步讨论。感知测量量也包括多种，其中越接近空口原始信号的测量量潜在包含的信息量越多。因此，需要考虑的问题包括：

- 如何定义感知结果；
- 如何定义感知测量量；
- 感知结果或感知测量量如何分层定义。

## 6.2 感知任务参与节点的选择

移动通信网络为了向外部提供通感融合的感知服务，需要从外部接收感知需求，选择合适的感知节点，对感知节点获取的数据进行分析和计算，从而将感知结果向外部提供。为了从外部接收感知需求，根据感知需求设定感知任务，考虑核心网中包括感知任务管理节点。感知节点一般包括基站和终端设备，为了选择合适的感知节点，需要考虑感知节点的能力/意愿信息和感知节点的位置信息等。需要考虑的问题包括：

- 感知任务管理节点在核心网中的位置和作用，例如靠近外部网络用于从外部接收感知需求（类似 5G 网络中 NEF (Network Exposure Function, 网络开放功能)），还是靠近接入网用于管理感知节点（类似 5G 网络中 AMF (Access and Mobility Management Function, 接入和移动性管理功能)）。
- 感知任务管理节点的选择：需要考虑网络中可能部署了多个任务管理节点，例如服务于不同的感知业务类型。另外根据任务管理节点在核心网中的位置和作用，如果靠近外部网络，则可以根据感知业务类型直接将感知需求发送到感知任务管理节点。如果靠近接入网，则代表在一种感知业务类型下需要进一步设置多个服务于不同区域的感知任务管理节点，需要进一步考虑哪个网元负责选择感知任务管理节点，以及是否会设置多级感知任务管理节点。
- 感知节点的选择：感知节点一般包括基站和终端设备，网络需要根据感知需求的类型、潜在的感知节点的位置、能力、意愿、负载状况等因素选择合适的感知节点。在移动网络中，基站和终端的位置信息、负载状况、能力信息等通常可以由移动性管理节点获得。关于感知节点的选择，可以考虑由感知任务管理节点直接选择感知节点，还是由移动性管理节点选择感知节点，以及感知节点之间是否可以互相选择，例如基站选择辅助自己进行感知任务的另外一个基站/UE，或者 UE 选择辅助自己进行感知任务的另外一个 UE/基站等。
- 感知任务管理节点及感知节点的能力定义及维护，以辅助上述感知任务参与

节点的选择。用于感知任务管理节点及感知节点选择的信息可能是静态的，也可能是动态改变的，例如感知任务管理节点及感知节点支持的感知类型可能是相对静态，不经常变化的，而负载状况则是动态改变的。需要考虑用于感知任务管理节点及感知节点选择的静态、动态信息维护方式是否相同。

### 6.3 感知功能逻辑归属问题

根据感知应用的不同目的（即感知结果给谁用），感知功能的生成策略或控制执行主体可以是核心网功能，感知功能在逻辑上的位置可以在核心网，也可以在接入网。目前产业界比较普遍的一种看法是仍然沿用现有的移动通信系统架构，把感知功能作为核心网的一个功能。但在某些应用场景中，如感知辅助通信场景中的波束调整和动态调度，其应用目的仅涉及到接入网相关功能，感知功能在逻辑上属于接入网是一种更合理的架构方式。

- 感知功能在接入网：适用于感知辅助通信场景，即感知数据或感知结果用作网络优化使用，只在无线接入网内部形成闭环。核心网不关心感知结果，所以无需涉及核心网，架构简单。但这种架构的应用场景有限，且不对外能力开放，也没有计费。
- 感知功能在核心网：适用于不同的应用场景，提供统一的架构且支持对外能力开放。但在感知辅助通信场景中，牵扯到核心网，会导致资源的浪费和感知效率的降低。

### 6.4 6G 网络内的感知服务质量参数的使用与映射

如表 6-1 所示，潜在的通感融合用例的感知服务信息和应用场景丰富多样，表示不同感知业务性能的服务质量参量在种类和数量上均存在较大差异。例如智能交通、高精地图等感知通常以感知范围、距离分辨率、角度分辨率、速度分辨率和时延等参数来表达；飞行入侵检测感知通常以覆盖高度、感知精度、感知时延来表达；呼吸监测以感知距离、感知实时性、感知分辨率和感知精度来表达；室内入侵检测以感知距离、感知实时性、检测概率和虚警概率来表达；手势/姿态识别以感知距离、感知实时性、感知精度来表达。

表 6-1 典型的无线感知用例与应用场景

通信感知类别	感知服务信息	应用场景
--------	--------	------

宏观感知类	天气情况、空气质量等	气象、农业、生活服务
	车流（路口）、人流（地铁口）	智能交通、商业服务
	目标定位、目标跟踪、测距、测速、外形轮廓等	传统雷达的诸多应用场景
	环境重构	智能驾驶和导航（汽车/无人机）、智慧城市（3D地图）、网规网优
微观感知类	动作/姿势/表情识别	智能手机的智能交互、游戏、智能家居
	心跳/呼吸等	健康、医护
	成像、材料探测、成分分析等	安检，工业，生物医药等

如果 6G 网络内各功能（例如感知功能、BS、UE 等）间的感知服务质量参数仍然沿用面向感知业务定义的服务质量参数集，随着感知业务的增加，感知功能、基站和 UE 可能需要随之不断升级以匹配理解新增的感知业务服务质量要求。并且，部分面向感知业务定义的服务质量参数可能会涉及安全隐私信息，基站和 UE 处已知该信息可能会增加安全风险。因此，需要考虑的问题包括：

- 6G 网络内哪些功能适合接收和使用感知业务的服务质量参数/性能指标；
- 6G 网络如何进行感知服务质量参数映射，将感知业务的性能指标映射为适合网络功能理解和执行的服务质量参数；
- 如何定义 6G 网络内各功能间的感知质量参数。

## 6.5 通感安全隐私问题

从感知的实现方式上可以将感知分为射频感知和非射频感知，雷达作为典型的射频感知方式已经得到了广泛的应用，并与移动通信网络独立发展和演进。在 6G 系统中，通过基站和 UE 的射频信号收发是另一种实现射频感知的方式。根据潜在应用场景讨论，6G 感知包括物体检测、测距、定位、跟踪、成像等。6G 系统通过引入新功能的支持，例如从毫米波到太赫兹的更高频谱、更宽的带宽、更大的天线阵列、更密集部署的基站/UE，以及人工智能和通信节点/设备之间的协作，有望实现更大范围和更高精度的感知服务。与摄像头等方式相比，6G 通感可以避免不必要的隐私信息采集，但是 6G 通

感的一个主要特征是可以感知请求区域环境中不具有信号发送或接收能力的物体和人。在考虑敏感区域和用户健康检测信息等因素时，6G 通感应当避免感知带来的安全隐私风险。因此，需要研究的内容包括：

- 感知设备、感知目标和感知区域的多维度授权和鉴权机制，从而保障 6G 通感所支持的感知需求是经过相关方许可的，以及防止拥有感知信息的网络功能等滥用感知信息或收集不必要的感知信息。
- 感知数据传输的机密性和完整性，根据感知数据的分层定义，具体包括感知测量数据和感知结果两部分数据在传输和交互中的机密性和完整性。
- 最小化信息收集和防止敏感信息泄露，潜在包括感知目标、感知基站/UE 等的标识信息保护，避免不必要的信息收集和关联；支持感知信息不出用户指定范围，防止敏感信息泄露。

## 6.6 更高性能的终端计算服务

算力是数字化经济时代的新生产力，算力包括网络、计算和存储等多维度资源。在基于 5G 移动连接的数字化系统中，应用业务所需的计算通常在终端和云端执行，5G 系统提供终端侧和云端服务器的连接通道辅助完成计算任务。现有云服务通过集中度高的中心云在满足高计算量需求的同时获得较高的资源复用率，通过分布式的边缘云在满足部分低时延需求的同时也减少部分网络传输开销。然而在 6G 时代，面向沉浸式 XR、交互型 3D 虚拟数字人、协作机器人、无人驾驶、多感官互联等服务用例，对终端侧提出了通信、感知和计算多维度的要求，部分场景将面临终端侧算力、存储、智能等能力不足、云端因距离远而时延不满足需求的挑战。面向本项目中的感知场景，网络功能和终端均可能需要请求外部辅助进行计算处理。考虑到终端计算能力更为受限以及潜在的标准影响，本节将重点阐述终端的计算需求。从通感融合系统设计角度分析，一方面可能需要终端进行感知测量和产生所需的感知测量数据，另一方面用户考虑隐私问题需要支持感知数据不出终端等情况，因此终端在通感情况下可能需要外部算力来支持终端低时延的灵活算力扩展需求。同时，感知手势及动作识别等场景中感知测量数据到感知结果的计算通常需要引入 AI 算法，故 UE 所需的感知计算既包括 AI 计算需求也包括非 AI 计算需求。因此面向低时延或需要网络辅助提供计算所需的数据时，根据算力服务请求的发送方和服务响应的接收方，可以将与终端相关的算力服务

流分为如下几种情况：

- 终端 A 请求，服务结果返回给终端 A 的终端算力卸载；
- 终端 A 请求，服务结果提供给终端 B 的终端间通信和计算融合；
- 终端 A 请求，服务结果提供给应用功能/应用服务器的终端和应用功能/服务器间的通信和计算融合；
- 应用功能/应用服务器请求，服务结果提供给终端 A 终端和应用功能/服务器间的通信和计算融合。

相应地，更高性能的终端计算服务需要考虑的关键技术问题包括：

- 获取实时的计算服务和计算状态信息
- 识别终端计算服务请求
- 选择合适的计算节点和建立数据传输通道
- 动态调度资源保障终端所需的计算服务质量

## 6.7 通感算节点的协作

通感融合系统功能的实现将以通信技术为承载，以感知和计算为需求导向通感算协作网络中的节点将承载通信、感知和计算等多种功能，单一功能节点往往无法充分发挥通感算协作网络架构的潜力。一方面，单一节点只能支持有限区域的业务需求，难以做到跨区域协调和优化；另一方面，在缺乏节点间协作能力的情况下，通信和感知性能也会受到影响。此外，计算赋能下的通感算协作网络的数据应当是交融共享的，亟需打通局部数据之间的壁垒。因此，跨节点、跨功能协作在通感算协作架构设计中尤为重要，不同节点之间的协作将从原先的通信域延展到感知域和计算域，跨域多节点通感算协作也将推进虚实相生下的数字孪生网络建设。

具体地，感知任务的执行过程包括对感知测量结果的处理。在不同的通感算场景中，根据感知任务的需求，不仅需要选择执行感知任务的节点，还可能需要选择计算节点对感知节点收集的感知测量量进行处理。目前，通信、感知和计算的融合需要进一步讨论，包括以下问题：

- 如何跨通信功能、感知功能和计算功能的实现通信传输、感知数据处理和计算处理等的多点协作；



- 执行计算任务的节点包括哪些；
- 如何根据感知任务选择计算节点；
- 通信、感知、计算的交互流程。

## 7 通感融合系统设计潜在的技术方案

### 7.1 通感融合端到端的功能阐述

如前述研究报告范围所述，本报告涉及通感融合系统中的通感算协作。具体来讲，通感算协作包括通感协作、感算协作和通算协作。前述应用案例 1 至 10 的技术需求主要侧重于通感协作。进一步地，当 6G 具备的计算能力用于辅助感知数据处理时则侧重于感算协作。其中，特别需要指出的是如应用案例 11 所述当终端请求网络辅助其进行感知数据处理时，从显性功能和交互流程上可以主要涉及通算协作。因此，通感融合系统端到端功能包括：通感算融合编排管理、感知功能、感知节点、计算控制功能、计算节点等。

通感算融合编排管理作为网络控制中心，可以进行全局感知，并通过分析业务需求将其映射到网络资源上，实现通信、感知和算力资源的部署管理和业务编排通感算融合编排管理可以通过收集各感知功能和计算控制功能上报的节点状态信息（例如移动性、感知数据、算力资源等），借助 AI 算法模型库对网络拓扑进行动态预测，并向感知/计算控制功能下发资源部署和业务编排策略，例如感知、计算节点的选择以及各节点通信、感知、计算资源的分配。

感知功能负责感知业务调度，实时向通感算融合编排管理上报感知数据，并基于通感算融合编排管理下发的资源部署策略实施感知资源的调度。其中，感知数据包括对网络环境（例如信道状态、频谱质量等）、外部物理世界（例如道路环境、障碍物的状态等）、业务需求（例如传输时延、速率、算力等要求）、以及网络实体状态（例如节点资源使用情况、AI 算法模型库等）的感知。相较于通感算融合编排管理对全局范围的集中控制，感知功能侧重于对某个区域的分布式控制。感知功能负责控制感知节点执行感知信息采集、感知信息处理、感知能力开放等。感知节点之间支持多点协作，为通信和计算节点提供信息感知能力。本方案可以对应 6.2 中的一种感知节点选择方案：将 SF 拆分成一个靠近 NEF 部署的集中管理节点和一个靠近 AMF 部署的分布式管理

节点。

计算控制功能负责计算能力调度，实时向通感算融合编排管理上报网络节点（计算节点）的算力，并基于通感算融合编排管理下发的资源部署策略实施计算资源的调度。这里的计算能力主要指分布式泛在智能化计算能力。这些实时共享的分布式计算节点可以辅助感知节点进行定制化的感知信息处理，借助离线训练得到的 AI 算法模型将原始感知信息转化为网络/用户需要的信息。计算节点之间支持多点协作，为通信和感知节点提供信息处理能力。

如图 7-1 所示，通感融合系统网络架构包括通感算融合编排管理、通信控制功能、感知功能、计算控制功能、通信节点、感知节点、计算执行节点等资源实体。

通感算融合编排管理负责全局资源信息收集和资源分配，并借助感知信息和 AI 算法的预测结果进行业务编排管理。感知/计算控制功能向通感算控制中心汇报其负责区域的节点信息，并根据通感算控制中心下发的资源部署和业务编排策略为感知/计算执行节点调度感知/计算资源。

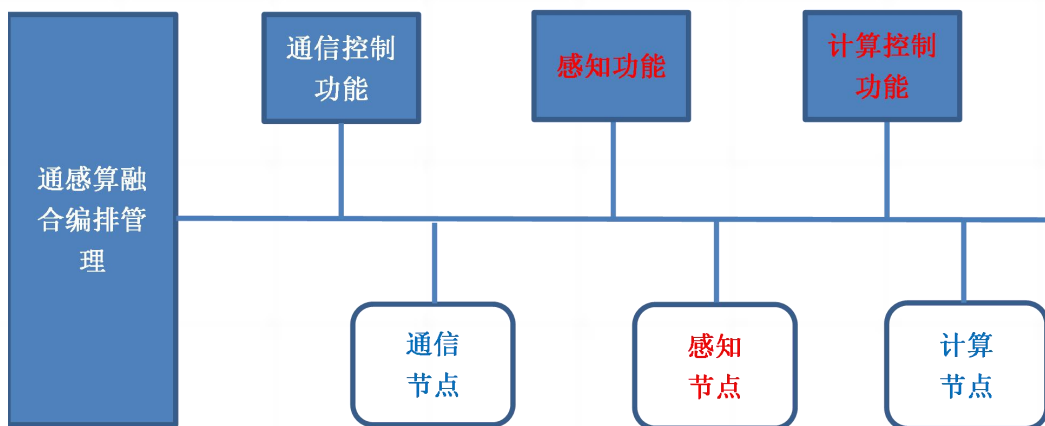


图 7- 1 通感融合系统网络架构示意图

通感算管理编排负责业务到任务的编排。通感算控制功能根据任务的编排结果，进行参与节点控制（例如 UE、BS 等）、感知采集方式控制（例如采集起止时间、采样周期等）、传输控制（例如传输延时、带宽、QoS 等）、计算处理控制（例如原始感知信号、数据清洗、数据脱敏等）。通感算控制之间的融合控制可以通过上层的管理编排功能完成，也可以通过总线接口的方式进行相互协同，甚至可以融合成一个控制功能。

如图 7-2 所示，通感算融合控制存在 3 种方式：

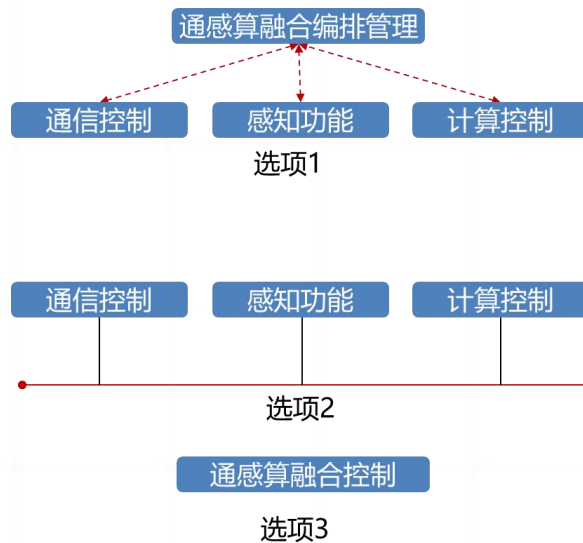


图 7- 2 通感算融合控制的 3 种方式

选项 1：通信控制、计算控制、感知功能三个控制功能可以通过通感算融合编排管理来实现彼此协同，从而支持通感算资源的整体优化，以及感知服务的性能保障。这种方案的好处是允许通感算融合编排管理覆盖范围内的大规模的通信控制功能、感知功能、和计算控制功能之间进行协调，部署方式更灵活，运营商可选择范围更大。

选项 2：通信控制、感知控制、计算控制三个控制功能可以通过标准接口来实现彼此协同，从而支持通感算资源的整体优化，以及感知服务的性能保障。这种方案的好处是接口实现性能较好，且通信资源、感知资源和计算资源的独立控制、按需调用，便于依据资源特性设计专用控制流程，也便于统计资源状态，通感算资源协同的实时性能相比于通感算控制中心协同好。

选项 3：通信控制、感知控制、计算控制三个控制功能可以融合成一个通感算控制功能，从而支持通感算资源的整体优化，以及感知服务的性能保障。这种方案的好处是同时决定通信、感知执行和计算执行的控制决策，资源控制的协同和实时性最佳，但联合控制机制的设计较复杂。

## 7.2 计算节点辅助的感知测量量处理

基于 7.1 所述的通感融合系统端到端功能，本节面向不同通感算场景中感知任务对计算（感知测量量的处理）的需求，根据感知任务对时延、精度、分辨率和更新频

率等性能指标的要求，选择计算任务的执行节点。计算任务的执行节点可能为基站、终端设备、核心网用户面、核心网控制面功能中的一种或多种。

在本方案中，通感算控制中心作为感知任务的控制中心，接收感知需求生成感知任务，并根据各感知/计算节点（或感知/计算控制功能）上报的节点状态信息（例如移动性、支持的感知类型、感知意愿、算力资源等），综合决策感知/计算节点的选择，或向感知/计算控制节点下发策略来选择感知/计算节点，并向感知/计算节点下发感知/计算任务。其中，计算任务可能在基站、终端设备、核心网用户面或核心网控制面功能中执行，而核心网控制面功能也可能仅负责路由控制，不执行数据处理任务。

### 7.3 感知信息的分级定义方案

为支持上述丰富的感知业务，感知信号的接收节点首先需要接收来自发送节点发送的感知信号，根据接受到的感知信号得到信道响应；然后根据接收信号或信道响应得到基本测量量，基本测量量包括时延、多普勒、角度、强度，及其多维组合表示；感知信号的接收节点或者感知计算节点根据基本测量量确定感知目标的基本属性/状态，包括基本属性/状态距离、速度、朝向、空间位置、加速度等；感知信号的接收节点或者感知计算节点根据感知目标的基本属性/状态确定感知目标的进阶属性/状态，感知目标的进阶属性/状态包括目标是否存在、轨迹、动作、表情、生命体征、数量、成像结果、天气、空气质量、形状、材质、成分等。值得注意的是，感知信号的接收节点或者感知计算节点也可以直接根据基本测量量确定感知目标的进阶属性/状态。表 7-1 给出了不同层次的感知信息。

表 7- 1 不同层次的感知信息

不同等级的感知信息	感知信息的内容
接收信号或原始信道信息	接收信号或信道响应的复数结果，幅度/相位，I 路/Q 路及其相关运算结果。
感知测量量	时延、多普勒、角度、强度及其多维组合表示。
感知结果/感知中间结果	目标是否存在、距离、速度、朝向、加速度、位置、轨迹、动作、表情、呼吸频率/心跳频率、成像结果、天气、空气质量、材质与成分等。

## 7.4 感知节点选择方案

如图 7-3 所示，本方案中在核心网靠近外部网络的位置设置感知任务管理节点，用于接收感知需求，并根据感知需求设定感知任务。因此根据感知任务管理节点所支持的感知类型，感知需求可以直接发送到感知任务管理节点。

由于感知节点的选择需要综合考虑潜在感知节点的能力（即所支持的感知类型）、执行感知任务的意愿、当前所处的位置以及当前的负载状况等因素进行综合决策。本方案建议在相同核心网网元内对用于感知节点选择的动态、静态信息进行维护，其中移动性相关的信息获取遵循现有 3GPP 网络中的原则和流程。因此，对潜在感知节点的移动性信息与感知信息进行融合管理，也就是在靠近接入网侧设置移动与感知融合管理节点。该节点既维护潜在感知节点的位置、负载等信息，也维护感知能力、感知意愿等信息。因此感知任务管理节点可以不直接对感知节点进行管理，而是将感知任务下发给分区域的移动与感知融合管理节点。移动与感知融合管理节点进一步根据潜在感知节点的能力、意愿、位置、负载等综合信息选择合适的感知节点。根据感知任务需要，感知节点选择需支持全部 6 种感知模式和协同感知情况下选择合适的节点参与感知。

感知节点一般包括基站和终端设备，在一个基站下的多个终端设备中，位置的差异和执行感知测量的信号强弱等会影响感知任务的执行情况，而这些信息核心网无法获知，因此可以由基站进一步选择其覆盖范围内的辅助执行感知任务的终端。另外终端设备之间可以通过近距离通信方式直接相连，终端设备之间的距离和信号强度等信息都是实时变化的。而且，某些终端设备可能处于网络覆盖范围以外，由此一个终端设备可以进一步考虑选择其相邻的终端设备来辅助执行感知任务。因此感知节点在收到感知任务之后，可以进一步选择其他感知节点来辅助执行感知任务。

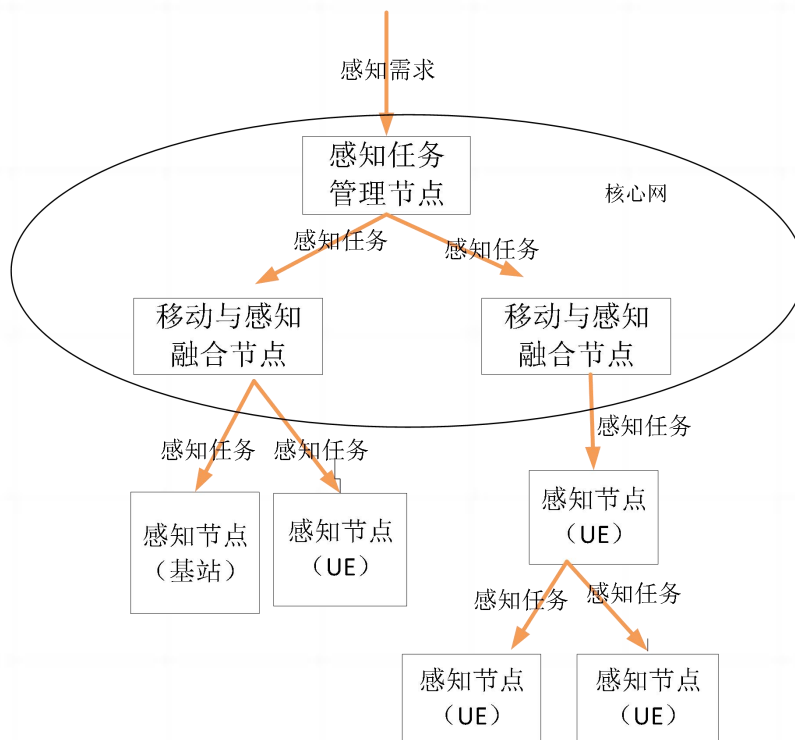


图 7- 3 感知节点的选择方案

## 7.5 6G 网络内各功能间的感知服务质量参数定义方案

考虑感知业务的多样性，从感知服务维度表示不同感知业务的服务质量时，感知 QoS 参数的数量和参数的具体含义均存在多样性。如果网络内部功能间的感知服务质量控制采用上述感知服务质量参数，那么网络内部的感知功能、基站和 UE 可能需要随着感知业务的增加而不断升级以匹配新增的感知业务服务质量参数要求。

类比现有 5G 通信中面向多样化业务的数据传输需求，通信 QoS 通过用户面数据传输质量这一网络易于理解和使用的通用维度来进行定义。一种潜在的网络内各功能间感知服务质量参数定义的方式是，网络内部将前述感知服务 QoS 参数映射为与感知服务解耦的感知 QoS 特征参数。不同感知业务所请求的感知服务在网络中一般是通过对空口感知信号进行测量，然后对测量结果进行处理得到所需的感知信息。因此，网络内部的感知 QoS 控制可考虑从对感知信号的质量要求、对感知测量量的质量要求或对感知测量结果的传输质量要求等维度定义，例如感知信号最小带宽、感知信号最大重



复周期、感知信号最小时域长度、需测量的最小感知信号数量或最短时间、最小感知测量时间（例如接收感知信号与可上报测量结果之间的时间间隔）、最大感知测量结果上报的时间、感知测量结果最大传输时延等特征参数。

## 7.6 通感安全隐私方案

现有移动网络面向通信进行 UE 和网络之间的双向鉴权，认证和密钥协议过程的目的是实现终端和网络之间的相互认证，并提供在后续安全过程中终端和服务网络之间使用的密钥。面向 6G 通感移动网络还需解决感知授权和鉴权，包括：（1）感知区域的授权和鉴权；（2）感知目标的授权和鉴权；（3）UE 和基站等网络功能作为感知设备的授权和鉴权。

感知区域是网络进行感知的区域，例如无人机监管应用场景中的禁飞区域等。感知目标是移动网络进行感知的对象，例如手势及动作识别应用场景中的人等。感知区域和感知目标的授权信息可以由对应区域和目标所有者或管理者提供，可以包括是否允许感知、允许被感知的内容（例如距离、速度、呼吸等）、允许的感知请求方、允许的感知结果接收方和允许的感知精度等信息。感知区域和感知目标的授权由网络功能维护，可按照感知地理位置范围或感知业务属性等由多个网络功能实例进行维护和使用。

感知设备可以是用户设备（UE）、基站、网络功能等。当感知设备参与感知时，感知设备可以进行感知信号发送、感知信号接收、感知信号测量、感知辅助和感知结果生成等一项或多项感知功能。感知设备的授权和鉴权可以考虑在现有通信授权和鉴权基础上扩展感知相关的信息，例如是否允许参与感知、允许参与的感知功能等。

从感知区域、感知目标、感知结果、感知性能指标等维度分析，不同的感知数据对应的安全隐私需求又存在较大差异。例如，对于某一公共区域如景区的降雨感知，其安全隐私要求较低。相比之下，对于某一私人场所的手势及动作识别，其安全隐私要求则较高。因此，感知安全隐私方案应支持按需定义和识别不同的安全隐私等级，并根据不同的安全隐私要求来判断是否允许感知请求方使用网络的感知能力进行所请求的感知业务，以及根据授权信息进行鉴权、感知节点选择、感知数据传输配置、感知数据处理和感知结果开放等操作。



## 7.7 对于传统非 3GPP 感知设备的控制

传统的感知设备，例如摄像头和传感器，已经在大量实际部署和使用中，运营商网络可以考虑将这些传统感知设备作为感知节点，对传统感知设备进行控制，以获取感知数据，从而降低感知节点的部署成本。运营商网络还可以将从感知节点（例如基站或者 UE）获取的感知数据与从传统感知设备获取的数据一起进行分析，以提升运营商网络的感知能力。举例来说，运营商网络可以利用从感知节点获取的感知数据进行某个区域的降雨监测，在该区域中可能还部署有传统的感知设备，如雨量计。运营商网络将该区域中基站上报的感知数据与该区域中雨量计上报的数据一起进行分析，得出最终的该区域的雨量监测结果。这样可以提高该区域降雨监测的准确性，并弥补该某些位置无线信号覆盖不好情况下可能存在的监测盲区。

传统感知设备不具备蜂窝网络的接入能力，目前运营商网络也无法对这种设备进行识别和管理。为了支持对传统感知设备的控制，将传统感知设备作为感知节点，可以在核心网中设置传统感知设备控制功能。该功能负责以下操作：

- 通过应用层对传统感知设备进行管理。例如，传统感知设备控制功能与摄像头等传统感知设备之间建立 IP 连接，通过应用层开启、关闭摄像头，从摄像头获取数据等。
- 将传统感知设备控制功能的感知能力注册到核心网，例如将其注册到感知功能。传统感知设备控制功能的感知能力，也就是传统感知设备控制功能所管理的传统感知设备的感知能力，例如传统感知设备控制功能可以管理摄像头和电量传感器，则传统感知设备控制功能的感知能力为图像采集和电量感知。
- 接受来自感知功能的感知指令，并根据感知指令通过应用层对传统感知设备进行控制。
- 从传统感知设备获取感知数据并上报给感知功能。

## 7.8 基于 5G 演进的通感融合系统功能和接口分析

感知功能分别在接入网和核心网都有其适用场景和合理性，通感融合系统需要考虑同时支持这两种功能和接口选项。

### 7.8.1 感知功能逻辑上属于核心网

感知功能可以通过 AMF 和感知节点（即基站、UE）进行通感控制信令的交互，并且通过信令面或者用户面从基站获取感知数据并进行计算。核心网感知的架构如图 7-4 所示。

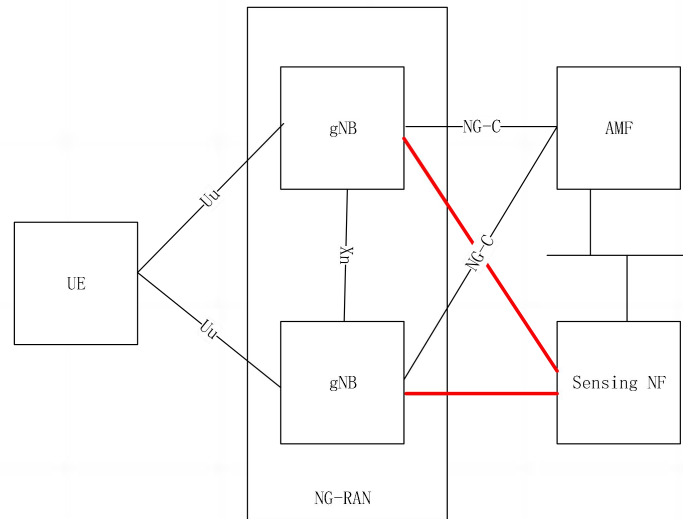


图 7-4 基于核心网感知的网络架构

### 7.8.2 感知功能逻辑上属于接入网

感知功能逻辑上属于接入网，可以进一步再逻辑上被认为是属于基站内部的一个功能（如图 7-5 所示），或者是独立于基站之外的一个单独节点或实体（如图 7-6 所示），通过 N2 接口与 5GC（5G Generation Core Network, 5G 核心网络）交互。该架构可以通过接入网感知功能辅助 RAN 侧实现对空口的动态控制，满足感知功能的实时性要求，架构简单，传输节点少，易于部署。

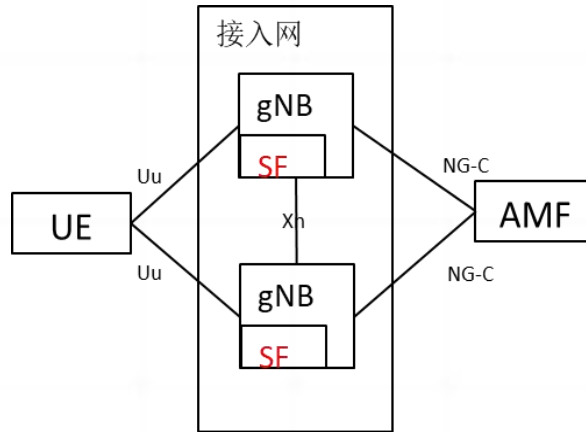


图 7- 5 SF 逻辑上属于基站

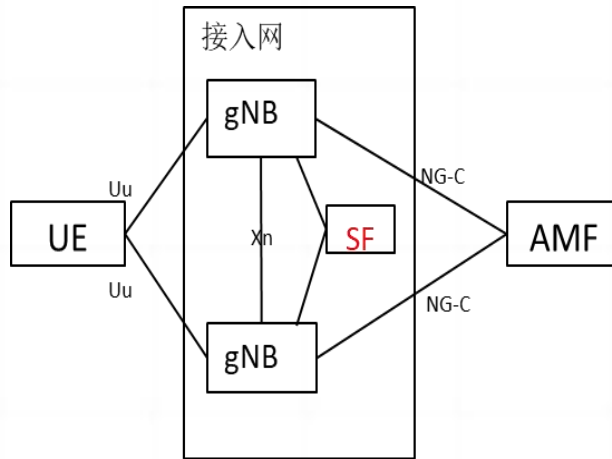


图 7- 6 SF 逻辑上属于基站外的节点或实体

## 7.9 感知结果开放

由于感知应用场景的多样性和不同应用场景下性能指标要求的差异性，需要通感融合系统的架构和关键性能指标的设计必须支持未来新出现的感知场景。由于感知结果信息并不一定只用于单一感知业务，在同一区域范围内可能存在多个感知业务需要相同的感知结果信息，所以为了提高效率可能多个感知业务会复用某个感知结果信息。网络架构需要抽象感知结果信息的统一描述而不是对于不同感知场景分别描述，而开放出来的感知结果信息可以在网络中流动分享，用于不同的感知场景。

当感知结果信息能在网络中流动分享用于不同的感知场景时，感知测量量的采集和采集频率的确定尤为重要。当测量信号缺失或者采样频率不够时候，可能感知数据不能适用于部分感知场景或感知应用，而如果一直维持高频率采集所有感知测量量会导致较大的资源开销，甚至影响通信业务。所以合适的感知测量量和频率的选择对于权衡通感融合的资源开销和性能起决定性作用。对于感知测量量的需求可以分为两类：持续性感知需求和触发性感知需求。持续性感知要求连续性感知测量，比如入侵检测、气象检测等。由于持续性感知有持续的资源开销，通常事先通过签约等方式约定采样频率、结束时间、周期等。而触发性感知是在特定要求下启动感知测量，可能是在持续性感知测量中检测到异常后进一步的测量，比如当安防监控检测到入侵后可以触发更多信号采集或者更高频段的感知，进一步检测获取入侵者的行为。

感知数据时间戳可以认为是感知数据从采集到失效的时间，不同的感知业务对于感知数据的时效性要求是不同的。以车路感知信息为例，由于车辆的高速移动性和实时性要求，如果有秒级以上的时延，对于自动驾驶用例几乎完全失效，因为在1秒钟内汽车能行驶十余米甚至几十米。在感知结果描述中加入时间戳特性，可以用于选择感知数据的传输方式和时延。

感知数据可以对内（网络）和对外（第三方）开放，网络需要定义接口以支持数据开放。感知测量量作为原始数据不具备感知特性描述，不需要开放。而感知结果用于支持不同的感知场景和应用，网络需要定义接口以支持感知结果开放。

表 7-2 感知信息描述字段

感知描述字段	描述
感知类型 ID	用于指示不同感知结果类型，比如位置、速度、功率等

感知量	感知测量值
感知精度	真实结果和实际感知结果之间的偏差程度的描述（检测概率、虚警概率等均可以放在这里描述）
感知时效	感知信息的采集时间
感知时延	感知功能节点接收到感知服务请求到响应该请求的时间间隔

表 7-2 描述了感知信息获取，也就是感知节点收到请求后上报的感知测量。

表 7- 3 感知请求描述字段

感知请求字段	描述
感知请求者 ID	发起感知请求的 AF (Application Function , 应用功能) ID 或 UE ID
感知目标标识	用于标识感知目标，如 UE ID 或区域标识
UE 周围环境的范围	感知目标为 UE ID 时，指定该 UE 周围环境，如以某个 UE ID 为中心，线性距离 1000 米内做感知。
感知对象范围	设置感知对象过滤条件，如动态对象、静态对象、人、动物等
感知上报内容	设置感知上报过滤条件，如大小、速度、位置、材质
感知业务类型	感知请求的业务类型，如高精地图、天气监测等
感知 QoS	对感知结果的 QoS 需求，包括感知精度、响应时间等
感知优先级	感知请求的优先级
感知请求生效时间	开始和结束时间
感知上报类型	感知结果上报类型，包括立即上报、周期性上报、事件上报
事件类型	感知事件类型，如入侵检测事件、家居安全事件
上报次数	针对周期性上报和事件上报，设置上报次数
上报时长	针对周期性上报和事件上报，设置上报时长
最小上报时间间隔	针对事件上报，设置两次上报的最小时间间隔
最大上报时间间隔	针对事件上报，设置两次上报的最大时间间隔。超过最大时间间隔，无条件上报感知结果。
上报周期	设置周期性上报的周期
采样频率	针对周期性上报和事件上报，设置采样周期

表 7-3 是感知请求描述字段，定义了感知业务申请时候的测量和上报的要求，包

括感知目标、范围、QoS、上报频率等。感知节点根据感知需求进行测量和上报。

基于感知结果描述，例如信号的位置、速度、强度等可以进一步生成业务层感知信息，以回应感知业务需求。例如较高频段时（例如 60Hz 及以上）获取的回波信号的时延、多普勒等信息，从而实现对目标细微动作的识别，例如手指的移动和手势。通过分析毫米波信号衰减情况，可以预测天气变化。通过位置感知信息的变化，可以实现高铁周界入侵检测等应用。应用感知类型非常丰富，和应用服务相关，不在本文稿中讨论。

### 7.10 感知基本流程

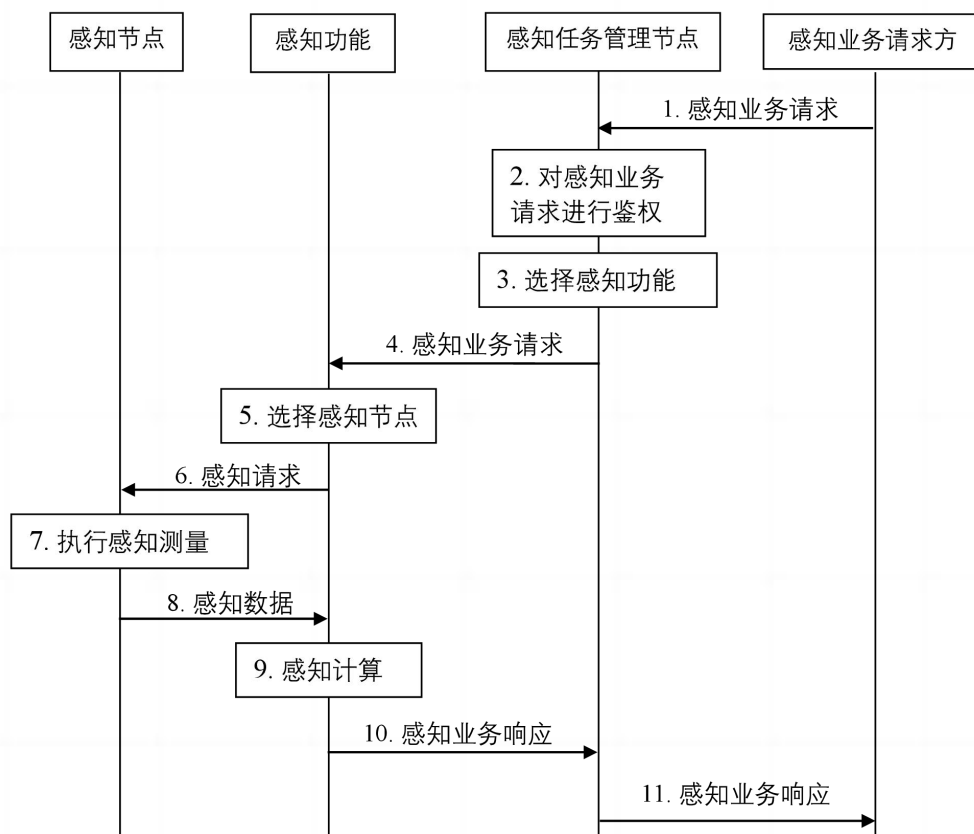


图 7- 7 感知基本流程图

- 1) 感知业务请求方（例如 AF、UE）发起感知业务请求，请求中可以携带感知业务类型、感知区域标识、感知对象移动网络标识、感知模式、感知节点标识、感知识别准确率、感知识别虚警率、感知距离、感知区域、感知速度范围、



感知距离分辨率、感知测角精度、感知速度分辨率、感知服务质量 QoS 要求、感知数据更新频率、感知反馈方式、感知业务请求者类型、感知业务请求者标识、感知应用标识等。

- 2) 感知任务管理节点对感知业务请求进行鉴权：
  - 针对 UE 触发的感知业务请求，感知任务管理节点可以根据用户签约对 UE 请求进行鉴权；
  - 针对 AF 触发的感知业务请求，感知任务管理节点可以根据本地配置对 AF 请求进行鉴权。
- 3) 感知任务管理节点依据感知业务请求中的感知区域标识或感知对象移动网络标识进行感知功能的选择。具体地，
  - 如果请求中携带了感知区域标识（即 per area 感知），则根据该感知区域选择出服务于该区域的感知功能。如果携带的是 3GPP 外部区域标识，则先将该外部区域标识转换为 3GPP 内部区域标识；
  - 如果请求中携带了感知对象移动网络标识（即 per object 感知），则根据该感知对象所在区域选择出服务于该区域的感知功能。
- 4) 感知任务管理节点将感知业务请求发送给选定的感知功能。
- 5) 感知功能根据感知业务请求中指定的感知模式以及携带的感知区域/感知对象所在区域，选择合适的具备感知能力的感知节点。如果感知业务请求中未指定感知模式，则由感知功能确定感知模式。
  - 如果感知业务请求中的感知业务类型表明为静态类区域感知（如 5.1.9 章节所述环境监测），则感知功能根据感知区域选择感知节点后，该感知节点相对稳定；
  - 如果感知业务请求中的感知业务类型表明为动态类区域感知（如 5.1.6 章节所述无人机飞行路径管理），则感知功能需要根据感知对象当前位置信息来动态调整感知区域，从而动态选择感知节点。
- 6) 感知功能向选中的感知节点下发感知请求。
- 7) 感知节点执行感知测量任务。
- 8) 感知节点将感知数据上报给感知功能。这里的感知数据可以是感知测量数据，或是感知结果。

- 9) 感知功能接收来自感知节点的感知数据，如有必要，进行二次加工，计算出最终的感知结果。
- 10) 感知功能将感知结果发送给感知任务管理节点。
- 11) 感知任务管理节点将感知结果转发给感知业务请求方。

### 7.11 通算融合方案

如图 7-8 所示，6G 通算融合聚焦于将 6G 系统内的通信功能与计算功能相融合，为有计算需求的用户提供融合计算服务，包括常规计算和 AI 类的计算服务。6G 系统能够通过统筹计算时延和通信时延来更好地支持计算数据传输和计算服务处理，实现二者的实时动态适配。6G 网络功能节点具有更强的分布式特征，利用广泛分布的通信和计算融合节点来实现计算服务，从而缩短计算数据传输时延并降低骨干网络的传输负载。

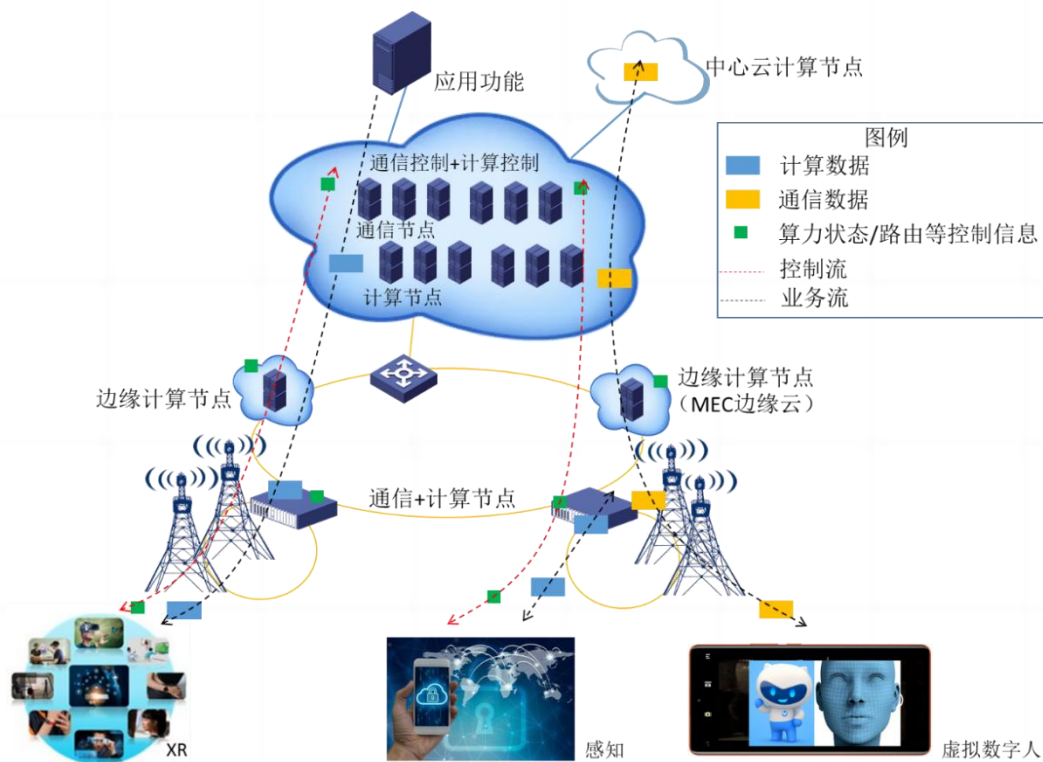


图 7-8 通算融合示意图

为了便于阐述，可以将计算功能进一步分为计算服务和计算控制，CSN (Computing Service Node, 计算服务节点) 是执行所需计算处理功能的节点，而 CCN (Computing Control Node, 计算控制节点) 是基于计算服务和负载信息确定 CSN 的节



点。6G 通算融合既支持集中式模式，也支持分布式模式。集中式模式是指计算服务均向某一个集中的 CCN 请求确定合适的 CSN。例如，可以通过一个集中式的 CCN 负责控制某一区域内的计算服务，为用户从潜在的多个 CSN 中选择较优的 CSN 提供计算服务。分布式模式是指计算服务由多个分布式的 CCN 确定合适的 CSN。例如，每个计算节点均是 CCN 和 CSN 集成节点，任何计算节点均可接入该节点的用户选择较优的 CSN 提供计算服务。

基于 UPF 下沉、基站和 UE 地理位置的分布式特性，6G 通算融合的计算功能相比于 MEC 将具有更强的分布化特征。相应地，单个计算功能节点的计算资源比较有限，并具有更高的动态变化性。然而，现有基于管理功能的计算服务和负载更新方式可能难以满足实时性需求。因此，6G 通算融合可以在网络功能层面上支持计算服务和负载信息的实时更新。如图 7-9 所示，为了应对计算服务和负载的高动态性，6G 通算融合支持计算服务与计算服务节点的解耦。在 CSN 服务注册时提供两个标识，分别是计算服务标识和计算服务节点标识。同时，CSN 会周期性或基于负载变化更新计算负载信息，CSDTN (Computing Service Data Transport Node, 计算服务数据传输节点) 或 CSDTN 对应的控制功能按需提供计算服务所需的移动网络拓扑和状态 (如带宽和时延等) 信息。

如图 7-10 所示，以 UE 请求计算服务为例，为避免 UE 所需的计算服务过早与计算服务节点绑定，UE 可不预先通过控制消息获取和确定 CSN，而是直接基于计算数据传输通道发起计算服务。UE 所发送的计算服务数据只需指示所需的计算服务，而无需指示提供服务的计算服务节点。移动网络中的 CSDTN 负责识别该数据为计算服务数据，并向 CCN 请求确定合适的 CSN。CCN 根据 UE 所指示的计算服务，以及可提供该计算服务的 CSN 的最新计算负载信息和网络状态信息等，最终确定合适的 CSN，并发送给 CSDTN。CSDTN 会将计算服务数据转发给所确定的 CSN，并保存该计算服务流和 CSN 的映射关系。当该计算服务流的后续数据包到达 CSDTN 时，CSDTN 均基于同一映射关系进行转发，以确保服务性能的一致性，并避免重复的节点选择开销。

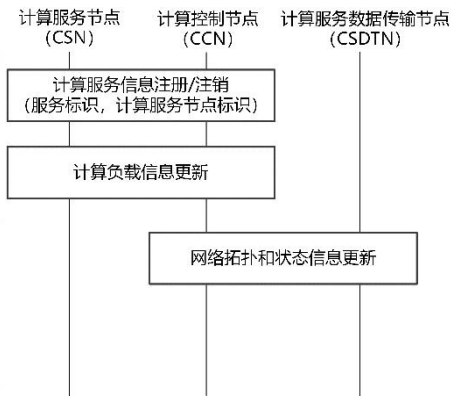


图 7-9 计算信息收集流程示意图

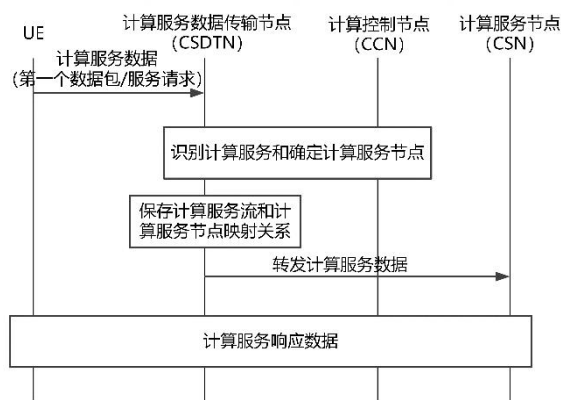


图 7-10 计算服务流程示意图

## 7.12 通感算节点协作方案

通感算中的节点协作包括通感协作、通算协作、感算协作等。针对不同的应用场景和业务需求，面向 6G 的通感算协作架构需要支持不同的协作模式。

### 7.12.1 通感协作

通信感知领域之间的两两结合，在通感融合网络的多节点协作中已经得到了广泛的研究。通感节点的协作将围绕通信感知融合网络展开，而现有的多节点之间的感知协作依赖于多模态感知数据的收集。RAN 感知协作需具备异构网络数据整合、边缘计算、AI 智能等网络功能与软硬件资源的支撑。在此基础上，感知协作的过程需要经过数据获取、单节点感知、感知聚合、感知融合、感知结果分发等步骤。

通信赋能下的感知的主体是感知，而通信也将服务于感知，感知中的互信息、均方误差以及虚警误警概率将作为主要性能指标。通信赋能下的感知将考虑使用 FMCW



(Frequency Modulated Continuous Wave, 调频连续波) 和 MIMO (Multiple-In Multiple-Out, 多输入多输出) 雷达等作为主体承载, 面向更多小而热的区域覆盖、室内定位以及医疗检测等精确要求更高的场景, 这些场景对于探测、感知和定位有着极高的需求, 同时环境中存在着丰富的感知数据信息可以服务于通信。

感知赋能下的通信的主体是通信, 在保证通信频谱效率、能量效率、时延等通信性能指标的同时, 可以允许牺牲一部分感知性能来换取通信性能的提升。感知赋能下的通信可以采用 OFDM 和 OTFS 等波形, 适用于大范围的通信环境, 且存在感知需求的应用场景, 诸如无人机监测和控制这一应用场景中, 在通信和感知之间的折衷中, 明显保证总控制台与无人机的通信更加重要。

### 7.12.2 通算协作

由于算力不断增强, 未来泛在计算成为可能。未来的通信网络可以实现大规模、快速计算, 并进行多模态数据融合分析, 为通信和感知融合提供了架构和计算基础。现有的云无线接入网络以及雾无线接入网络都是算力和无线通信网络的深度结合。与此同时, 无小区大规模 MIMO 网络和数字孪生等新型网络中的大量用户设备也需要更强大的算力支撑。如何有效的实现对于每一个用户设备的数据进行计算卸载是一个值得深思的问题, 这涉及到局部处理还是卸载到基带池统一处理, 其中的能效和时延是需要考虑的指标。节点之间的计算过程主要分为两种, 一种是对基站与终端之间的计算卸载; 而另一种是基站与云服务器之间的计算卸载, 参照已有的泛在计算网络, 计算任务最好能在局部实现处理, 随着计算任务的复杂性将考虑上传到基站, 乃至云服务器中进行处理, 当然这种传输也会带来更多的计算负担, 伴随着产生更高的能量损耗和计算时延。与此同时, 算力资源的日益充盈推动着人工智能在边端层级的应用, 有助于实现边缘智能在通感算协作资源的管控。

### 7.12.3 感算协作

在面向智能网联、车路协同等应用场景下, 感知和计算协同将成为一个普遍的需求。面向感知需求的分层处理将成为可能的潜在方案。例如, 智能车辆将采集到的多模态传感数据, 根据业务需求和计算能力进行预处理, 获得局域范围内的感知结果; 多个车辆将预处理结果传输到边缘计算节点, 进行大范围的感知结果增强, 获得全域道路的数字化感知表征。具体而言, 感算协作的流程包括:

#### 1) 感知业务触发



当客户端向系统请求感知结果时，将发送包括感知性能要求，标识和鉴权信息在内的业务请求，触发对应的感知算力协同过程。感算控制设备根据感算业务请求内容，综合调度对应节点算力完成整个感知业务。

## 2) 感知能力规划与算力分配

针对不同业务的感知性能要求，感算控制设备将在节点间进行感知能力规划和算力部署，包括单节点的感知算力需求约束，整体感知性能约束下的算法分配方案。感知控制设备向对应的节点发出信号，节点根据信号指示进行相应的算力分配。

## 3) 感知结果生成

感知结果生成阶段，各个节点将根据第 2 步中的感知能力规划与算力分配结果，进行相应的感知处理，获得对应感知结果。例如在车路协同场景下，车辆利用自身算力对来自包括视觉、毫米波雷达、激光雷达的数据进行融合感知，获得车辆局部视角下的感知结果；并将响应感知数据和结果发送至中心算力节点，中心算力节点利用各车辆感知信息，生成全域道路感知结果。

## 4) 感知结果分发

在多级算力与感知的架构下，不同层级的节点将获得不同能力的感知结果。客户端将根据自身业务需求，向对应节点请求相应层级的感知结果。经过感知结果的按需分发，实现感算架构中所有参与节点的感知需求保障。

# 8 总结和展望

本报告围绕 6G 通感融合系统设计，侧重基于终端/基站收发信号进行感知。与此同时，也考虑 6G 系统综合利用包括雷达、摄像头等不同类型感知设备的感知数据。进一步地，面向高复杂度的感知测量数据处理，当 6G 引入计算能力后，通过感知和计算的协作可提升感知性能。报告从通感融合系统设计相关标准组织进展出发，分别阐述了通感融合系统设计的关键性能指标，11 个应用案例和 7 个关键技术问题。然后，报告提出了关键技术问题的潜在技术方案。从系统设计角度，提出了通感融合系统设计端到端的功能，通感融合系统设计的逻辑架构功能、接口和基本流程，以及通感算协作方案。

根据本课题研究分析，6G 通感融合系统将具有全感知模式、通用感知框架、感知与 AI 等计算能力融合、多设备感知融合等特征。其中，全感知模式全感知模式包括 6



种基本感知模式及其组合，6种基本感知模式分别是（1）基站自发自收；（2）基站A发基站B收；（3）终端发基站收；（4）基站发终端收；（5）终端自发自收；（6）终端A发终端B收。全感知模式还包括非3GPP感知模式，非3GPP感知是指利用通信网络中存在IoT（Internet of Things，物联网）设备，如传感器，摄像头、雷达设备等，捕捉到海量感知数据，可以与3GPP感知测量数据进行融合，从而辅助提升感知结果的维度和精度。通用感知框架体现在通过通用的感知测量量、通用的感知中间结果和通用的感知数据传输来提供丰富多变的感知业务。感知与AI等计算能力融合即借助6G内生的AI能力来处理海量的感知业务数据，AI可用于辅助网络进行感知数据处理、分析、计算、隐私保护等方面。多设备感知融合则是6G可考虑利用通信网络中存在的大量感知设备进行分布式协作感知。例如，通过从不同角度、不同位置采集环境数据，从而更全面地感知环境，提高感知覆盖范围；通过多条感知链路的联合判断，可以提高感知目标检测或识别的准确性；通过多节点之间的均衡和备份切换可以提高系统的鲁棒性、抗干扰能力和数据传输处理效率，以及感知业务的连续性等。

6G网络架构和关键技术的研究仍处于开放讨论阶段，6G通感融合系统的进一步详细设计仍然需要继续深入研究和迭代方案。例如面向统一架构方案，如何定义通用的感知测量量和感知结果以支持潜在的应用案例？感知数据如何高效传输？感知协议是沿用定位协议承载在控制面或用户面，还是使用6G新引入的面？通信服务和感知服务等多维服务的QoS保障机制如何设计？感知和计算的协同是面向网络内部功能的计算服务还是面向应用功能等网络外部功能的计算服务？此外，期望业界基于前期研究成果逐步形成对6G网络架构的总体视图。在6G网络架构总体视图的框架下，6G通感融合方向进行细化研究，从而形成面向未来6G标准架构的整体方案。

## 术语定义

术语名称	含义说明
感知功能	负责感知流程的控制和接收感知测量数据。如果考虑感知控制和数据分离，那么感知控制功能（SF-C）负责和 CN/RAN/UE 之间的感知控制信令，感知数据功能（SF-U）负责接 RAN/UE 获取的感知测量数据。
感知任务管理节点	负责从应用功能接收感知需求，根据感知需求设定感知任务。
移动与感知融合管理节点	维护潜在感知节点的移动性相关信息（例如位置、负载）及感知相关信息（例如感知能力、感知意愿），选择合适的感知节点。
通感算控制中心	一个全局范围的集中控制功能。可以通过收集各通信/感知/计算控制功能上报的节点状态信息（例如移动性、感知数据、算力资源等），借助 AI 算法模型库对网络拓扑进行动态预测，向感知/计算控制功能下发资源部署和业务编排策略，例如感知、计算节点的选择及各节点通信、感知、计算资源的分配。
通信控制功能	负责通信能力调度，实时向通感算控制中心上报用户的接入和移动性等信息，并基于通感算控制中心下发的资源部署策略实施接入和转发资源的调度。
计算控制功能	负责计算能力调度，实时向通感算控制中心上报计算节点的算力资源，并基于通感算控制中心下发的资源部署和业务编排策略控制计算节点的计算任务和资源调度。
感知节点	负责执行感知信息采集、感知信息处理、感知能力开放等，并将感知信息返回给感知功能。感知节点之间支持多点协作，为通信和计算节点提供信息感知能力。
通信节点	指接入和转发节点，如 AMF、UPF。
计算节点	实时共享的分布式计算节点可以辅助感知节点进行定



	制化的感知信息处理，借助离线训练得到的 AI 算法模型将原始感知信息转化为网络/用户需要的信息。计算节点之间支持多点协作，为通信和感知节点提供信息处理能力。
算力资源	一般指芯片（例如 CPU、GPU、FPGA、ASIC）等硬件运算能力。也可能包括泛在的服务器资源、内存资源、处理器资源等。
计算能力	指分布式泛在智能化计算能力，服务器基于 AI 算法对数据进行分析和处理、并实现结果输出的能力。
感知资源	泛指感知节点收集和提取感知数据的能力，如感知服务器、传感设备处理数据能力。

### 缩略语简表

英文缩写	英文全称	中文解释
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation Mobile Networks	第五代移动通信技术
5GC	5G Generation Core Network	5G 核心网络
6G	6th Generation Mobile Networks	第六代移动通信技术
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导向车
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AMF	Access and Mobility Management Function	接入和移动性管理功能
APN6	Application-aware IPv6 Networking	基于 IPv6 的应用感知网络
AR	Augmented Reality	增强现实
BS	Base Station	基站
CAN	Computing-Aware Networking	算力感知网络
CATS	Computing-Aware Traffic Steering	（中国移动）算力路由工作组



CCN	Computing Control Node	计算控制节点
CDL	Clustered Delay Line	集群延迟线
CFN	Compute First Networking	算力网络
CSDTN	Computing Service Data Transport Node	计算服务数据传输节点
CSN	Computing Service Node	计算服务节点
DMG	Directional Multi-Gigabit	定向多吉比特
EDMG	Enhanced Directional Multi-Gigabit	增强型定向多吉比特
FLOPS	Floating-Point Operations Per Second	每秒浮点运算次数
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	调频连续波
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气与电子工程师协会
IETF	(Internet Engineering Task Force	互联网工程任务组
IOPS	Input/Output Per Second	单位时间内能处理的最大 IO 频度
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
LiDAR	Light Detection and Ranging	光探测和测距
LOS	Line of Sight	视距
MIMO	Multiple-In Multiple-Out	多输入多输出
ML	Machine Learning	机器学习
Multi-sensory XR	Multi-Sensory Extended Reality	多感官扩展现实
MUSIC	Multiple Signal Classification	多重信号分类
NEF	Network Exposure Function	网络开放功能
NLOS	Non Line of Sight	非视距



NR	New Radio	新空口
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
OTFS	Orthogonal Time Frequency Space	正交时频空调制
QoS	Quality of Service	服务质量
RAN	Radio Access Network	无线接入网
SaaS	Sensing-as-a-Service	感知服务
SD-WAN	Software Defined Wide Area Network	软件定义的广域网
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping	同步定位与制图
SRv6	Segment Routing over IPv6	基于 IPv6 的段路由
UE	User Equipment	终端
VR	Virtual Reality	虚拟现实
XR	Extended Reality	扩展现实

## 参考资料

- [1]. vivo, 《6G 服务, 能力与使能技术》, 2022 年 7 月
- [2]. 姜大洁, 袁雁南, 周通, 孙布勒, 秦飞, 面向 6G 的通感算融合服务, 系统架构与关键技术, 移动通信, 2023 年 3 月
- [3]. 6G: 无线通信新征程 白皮书[R]. 华为, 2020.
- [4]. 3GPP TR 22.837, “Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication”, June 2023.
- [5]. ITU-R, Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond, June 2023.
- [6]. ITU-R, Future Technology Trends of Terrestrial IMT Systems towards 2030 and beyond, July 2022.
- [7]. 802.11 Tgbf Use Cases document, January 2021.
- [8]. IMT-2020 (5G) 推进组. 5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告[R]. 2022 年 7 月.



- [9]. IMT-2030 (6G) 推进组. 通信感知一体化技术研究报告[R]. 2022年11月.
- [10]. Next G Alliance Report: 6G Technologies, June 2022.
- [11]. Hexa-X WP1 D1.2: Expanded 6G vision, use cases and societal values - including aspects of sustainability, security and spectrum, 2022.
- [12]. Hexa-X WP1 D1.3: Hexa-X architecture for 6G networks - initial release, 2022.
- [13]. D. K. Pin Tan et al. "Integrated sensing and communication in 6G: motivations, use cases, requirements, challenges and future directions." 2021 1st IEEE International Online Symposium on Joint Communications & Sensing (JC&S), 2021.
- [14]. Kumar Swagat, Anima Majumder, Samrat Dutta, Rekha Raja, Sharath Jotawar, Ashish Kumar, and Manish Soni et al. "Design and development of an automated robotic pick & stow system for an e-commerce warehouse." arXiv:1703.02340 (2017).
- [15]. H. Zhan et al., "Evaluating PM2.5 at a construction site using terahertz radiation." In IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, vol. 5, no. 6, pp. 1028-1034, Nov. 2015, doi: 10.1109/TTHZ.2015.2477596.
- [16]. Shnidman, D.A., "Determination of Required SNR Values," IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, vol. 38, pp. 1-059-1064.



## 贡献单位

本报告得到 IMT-2030（6G）推进组各位领导、专家的大力支持和指导、IMT-2030（6G）网络工作组各成员单位的大力支持以及多位学术界、产业界同仁的关心和支持。

主要贡献单位如下表所示。

序号	主要贡献单位	贡献内容
1	维沃移动通信有限公司（vivo）	引言； 通感融合系统设计的范围与目标； 通感融合系统设计相关标准组织进展； 通感融合系统设计的 key 性能指标； 通感融合的应用场景； 通感融合系统设计的关键技术问题； 通感融合系统设计潜在的技术方案； 总结和展望。
2	中国移动	通感融合的应用场景； 通感融合系统设计的关键技术问题； 通感融合系统设计潜在的技术方案。
3	中兴通讯股份有限公司	通感融合系统设计的范围与目标； 通感融合的应用场景； 通感融合系统设计潜在的技术方案。
4	上海诺基亚贝尔	通感融合系统设计的 key 性能指标； 通感融合的应用场景。
5	华为技术有限公司	引言； 通感融合系统设计的范围与目标； 通感融合的应用场景； 通感融合系统设计潜在的技术方案。
6	OPPO 广东移动通信有限公司	通感融合系统设计的关键技术问题； 通感融合系统设计潜在的技术方案。
7	北京科技大学	通感融合系统设计的关键技术问题； 通感融合系统设计潜在的技术方案。
8	中国联合网络通信集团有限公司	通感融合系统设计的 key 性能指标； 通感融合的应用场景。
9	中国电信研究院	通感融合系统设计的 key 性能指标； 通感融合系统设计的关键技术问题。
10	之江实验室	总结和展望。
11	亚信科技	总结和展望。



联系方式

邮箱: [imt2030@caict.ac.cn](mailto:imt2030@caict.ac.cn)

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

ALL RIGHTS RESERVED.