

5G-A 通感融合网络架构及 演进研究


Research on Network Architecture and Evolution of 5G-A Integrated Sensing and Communication

李沸乐,杨文聪(中国联通研究院,北京 100048)
Li Feile, Yang Wencong (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

5G-A 通感融合网络架构是当前业界的热点,未来多样化的新业务需求和技术挑战将对网络提出更高的要求,推动 5G-A 通感融合网络架构持续演进。首先介绍了目前 5G-A 阶段业内主流的 3 种通感融合网络架构。然后从 3 个角度剖析了通感融合网络架构演进的驱动力,提出通感智算一体化、用户面感知能力增强、Wi-Fi 协同感知 3 个潜在演进方向和方案实现逻辑,为后续通感融合网络的发展提供技术参考。最后对研究内容做了总结和展望。

关键词:

5G-A; 通感融合; 网络架构; 6G; 演进
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.05.006
文章编号: 1007-3043(2023)05-0033-06
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

Network architecture of 5G-A integrated sensing and communication is currently a research hotspot. Diversified new business demands and technical challenges in the future will put forward higher requirements for networks, and promote the continuous evolution of 5G-A integrated sensing and communication network architecture. Firstly, three main 5G-A integrated sensing and communication network architectures are introduced. Then, the evolution driving force of integrated sensing and communication network architecture is analyzed from three perspectives, and three potential evolution directions and implementation logic of the schemes are proposed, including communication/sensing/intelligence/computing integration, user surface sensing ability enhancement and Wi-Fi collaborative sensing, which provide technical reference for the subsequent development of integrated sensing and communication network. Finally, it summarizes and looks forward to the research content of the full text.

Keywords:

5G-A; Integrated sensing and communication; Network architecture; 6G; Evolution

引用格式: 李沸乐,杨文聪. 5G-A 通感融合网络架构及演进研究[J]. 邮电设计技术, 2023(5): 33-38.

0 引言

通感融合是指在通信模块中赋能感知功能,利用通信系统的频谱资源、空口技术、硬件资源处理单元等接收感知信号并进行处理,基于核心网的深度分析、智能化运算及能力开放,实现多维多粒度的环境和目标感知功能并提升系统频谱效率、硬件效率和信息处理效率。通感融合技术有着广泛的应用前景,3GPP 标准组织已经开始了通感融合方面的研究,重点

关注相关场景用例、技术需求等^[1-2]。2022 年 5 月,3GPP SA1 成功立项研究课题《Study on Integrated Sensing and Communication》^[1],涉及智能工业、智慧交通、智能生活、健康检测、气象监控共五大领域的 32 个场景用例。例如,可以基于通信感知一体化基站或基站间协作实现对道路环境的感知,有效实现高精地图构建,为自动驾驶汽车的安全运行提供超视距辅助。通信和感知的融合不仅可以开辟全新的业务,还可超越传统移动通信网络连接的应用空间,国际电信联盟(ITU)面向 2030 的未来技术趋势研究报告指出,通信感知一体化技术将成为新一代移动通信系统最有潜

收稿日期: 2023-03-28

力的关键技术方向之一。

1 5G-A通感融合网络架构

通感融合网络架构在产业界、学术界目前处于技术预研阶段,在5G-A相关领域取得了一定的研究共识与阶段成果。

1.1 架构设计依据

通感融合网络的架构设计需以能满足多样化通感融合场景和感知业务服务要求为目标,实现无线及网络的能力升级。

感知业务请求方可以是终端、外部应用的应用服务器(Application Server, AS)、网元等,为了支持不同业务场景的通感一体化功能,网络需支持感知功能,包含具备主要感知功能(感知控制功能和感知计算功能)的感知网元(Sensing Function, SF)。SF可为独立网元或与其他网元合设,部署方式可为集中式或分布式,SF应能进行感知设备的选择、感知业务的控制、独立或与其他网元共同处理感知测量数据,并输出感知结果给感知请求方等工作。

网络需存储SF的上下文信息,以使得其他网元可发现和选择合适的感知网元,需支持SF获取合适的感知业务策略信息。网络需根据感知业务需求支持基站或终端等感知设备上报感知测量数据到核心网,以及基于业务侧需求选择感知节点、执行感知QoS控制、根据感知业务需求控制基站或终端执行感知。同时,网络应满足感知任务相关的安全隐私及管控要求,并支持感知业务的鉴权或授权以及计费。网络还应支持多种潜在的感知方式,并且支持感知方式的选择、修改和多种感知方式的协作,支持面向区域和面向目标的感知,并且既支持单次感知也支持连续感知。此外,在许多感知场景下,被感知设备(如UE)或被感知物体可能处于移动状态下,网络需要保证感知业务的连续性。

1.2 架构

基于上面通用需求的考量,目前业界主流观点可归纳为3种潜在的5G-A通感融合网络架构^[3],根据感知功能与5GC中现有功能模块的耦合程度,通感融合网络架构可分为紧耦合和松耦合2种类型。

1.2.1 紧耦合架构

紧耦合架构下感知服务位于核心网,感知功能将与现有5GC架构深度融合,尽可能依托现有的5GC功能、接口和协议来实现感知能力的使能和对外开放,

可以完成更大范围感知数据的汇聚和处理,故适合作为广域通用架构。考虑到感知功能可以拆分为感知控制面功能(SF-C)和感知用户面功能(SF-U),根据这2种子功能分离或集中实现在2个或者1个网元中,通感网络架构又可分为C-U不分离架构和C-U分离架构。

1.2.1.1 C-U不分离架构

C-U不分离架构如图1所示,SF和(R)AN/UE之间的感知控制信令通过AMF进行传递,(R)AN/UE获取的感知测量数据可经由控制面或用户面传输到SF,其中用户面可经UPF转发或直接传输到SF,另外还支持UE执行感知和(R)AN执行感知场景中的感知计费。

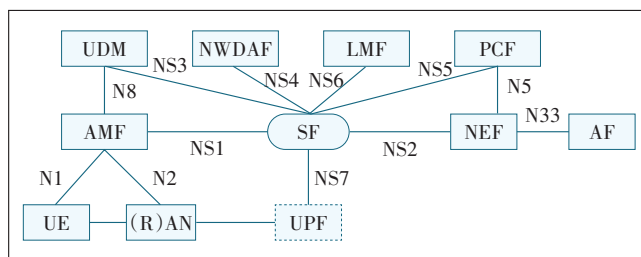


图1 紧耦合C-U不分离架构

新增的感知网元SF可根据感知需求,独立部署或与5GC网元(如AMF或LMF等)合设部署。SF与5GC网元之间新增一系列交互接口,其中,NS1为SF与AMF间新增接口,该接口可传递感知控制信令和感知测量数据;NS2为SF与NEF间新增接口,该接口可传递通过NEF中转的感知网元与业务侧应用功能(Application Function, AF)交互的信令消息,同时将感知结果开放给AF;NS3为SF与UDM间新增接口,通过该接口可实现鉴权或授权,获取UE感知签约信息、服务AMF信息或其他信息;NS4为SF与NWDAF间新增接口,通过该接口,SF可与NWDAF共同完成感知业务相关的AI处理;NS5为SF与PCF间新增接口,通过该接口,SF可将感知业务的感知要求、QoS要求或感知结果等信息传递到PCF,PCF决策生成感知业务相关的PCC策略;NS6为SF与LMF间新增接口,通过该接口,SF可获取位置相关信息,如感知区域、感知目标的(R)AN信息、被感知UE的位置信息等;NS7为SF与用户面功能UPF新增接口,感知测量数据可经UPF由(R)AN直接传输至SF,也可经UPF间接转发至SF,若(R)AN执行感知的场景经UPF转发,UPF需改造支持(R)AN粒度的数据传输。同时,N1、N2、N5、N8、N33

等现有接口需支持传递感知业务相关信息,如鉴权信息、感知业务类型、感知业务质量要求、感知测量数据、感知结果等。

1.2.1.2 C-U 分离架构

C-U 分离架构如图 2 所示,新增感知控制面功能(SF-C)和感知用户面功能(SF-U)2个网元。SF-C 与现有 5GC 控制面网元交互,负责控制面消息传递,将 SF-U 的地址提供给基站/UE。SF-U 负责收集和分析终端或基站生成的感知测量数据,得出最终的感知结果,并将其开放给 UE 或应用,SF-U 还可支持 UE 或(R)AN 执行感知时的感知计费。SF-C 和(R)AN/UE 之间的感知控制信令通过 AMF 进行传递,(R)AN/UE 获取的感知测量数据可经 UPF 转发或直接传输到 SF-U。

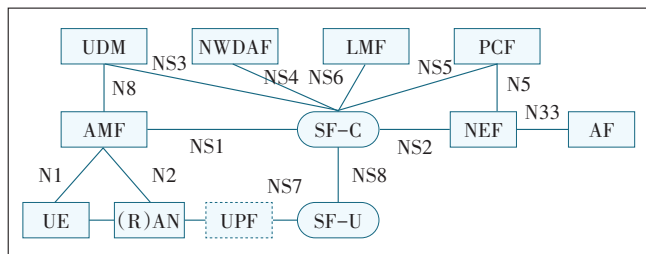


图2 紧耦合 C-U 分离架构

本架构新增的 2 个网元可以根据感知需求,独立部署或与 5GC 网元(如 AMF 或 LMF)合设部署。SF-C、SF-U 与 5GC 网元之间新增交互接口,其中,SF-C 与 AMF 间新增 NS1 接口,该接口可传递感知控制信令和感知测量数据;SF-C 与 NEF 间新增 NS2 接口,该接口可传递通过 NEF 中转的 SF 与业务侧 AF 交互的信令消息,同时将感知结果开放给 AF;SF-C 与 UDM 间新增 NS3 接口,通过该接口可实现鉴权或授权,获取 UE 感知签约信息、服务 AMF 信息或其他信息;SF-C 与 NWDAF 间新增 NS4 接口,通过该接口可完成感知业务相关的 AI 处理;SF-C 与 PCF 间新增 NS5 接口,通过该接口,SF-C 可将感知业务的感知要求、QoS 要求或感知结果等信息传递到 PCF,PCF 决策生成感知业务相关的 PCC 策略;SF-C 与 LMF 间新增 NS6 接口,通过该接口,感知网元可获取位置相关信息,如感知区域、感知目标的(R)AN 信息、被感知 UE 的位置信息等;SF-U 与 UPF 新增 NS7 接口,感知测量数据可经此转发至 SF,此时 UPF 需改造支持(R)AN 粒度的数据传输;SF-U 与 SF-C 新增 NS8 接口,通过该接口可以传递感知处理策略、上报感知结果等。

1.2.2 松耦合架构

松耦合架构如图 3 所示,SF 直接与(R)AN 节点建立连接,负责感知授权、能力交互、网元选择、控制和数据处理等功能,与现有 5GC 相对独立,对于只在特定区域内存在感知需求的场景或只存在感知需求的场景,可在无需与 5GC 交互或只执行较少交互的情况下提供感知业务。该架构简单,传输节点少,灵活易部署,按需考虑鉴权授权移动性管理、计费等功能,可通过 SF 本地化部署实现感知测量数据或感知结果不出园区,适用于局域场景或专网场景。

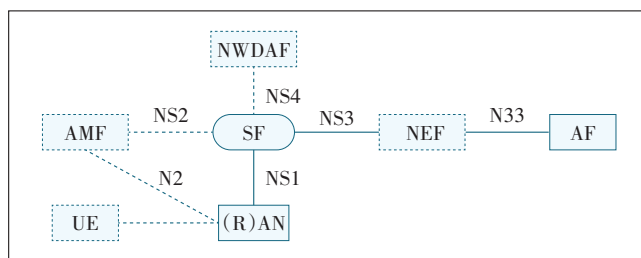


图3 松耦合架构

本架构新增 SF 与(R)AN 间的 NS1 接口,(R)AN 的感知控制面信令消息和感知测量数据均经该接口传递。UE 参与感知时,控制面信令消息通过 AMF 转发到 SF,感知测量数据经 NS1 传递。SF 也可能与 5GC 网元 AMF、NEF 或 NWDAF 间存在接口,以控制 AF 必须通过核心网功能向 SF 提供感知业务需求。SF 与 AMF 间可能新增 NS2 接口,该接口接收来自 UE 的感知业务需求或者传递 SF 与核心网其他网元的信令消息,如与 UDM 的交互消息;SF 与 NEF 间可能新增 NS3 接口,该接口传递 SF 通过 NEF 中转的与业务侧 AF 交互的信令消息,同时将感知结果开放给 AF,实际部署时,NS2 和 NS3 二选一即可,即 AF 通过 NS2(NEF)间接向 SF 或直接向 SF(无 NEF)发送感知业务请求,或者 AF 通过 N33(NEF)和 NS2(AMF)向 SF 发送感知业务请求;SF 与 NWDAF 间可能新增 NS4 接口,通过该接口与 NWDAF 共同执行智能化分析与预测,生成感知结果。

2 5G-A 通感融合网络架构潜在演进方案

5G-A 是通感融合技术应用的初步阶段,在通信感知一体化的技术发展过程中,未来业务需求和痛点问题会驱动 5G-A 通感融合网络架构的不断演进和完善,本章将提出多个不同角度的通感融合网络架构潜在演进方向与方案实现逻辑。

2.1 通感智算一体化

2.1.1 演进驱动力

5G-A 阶段将涌现的新业务场景,如沉浸式XR、全息通信、人机交互、机机交互等,以及未来面向6G时代的新业务场景用例,如全息通信、触觉互联、超能交通、内生智能、数字孪生等^[4-6]都要求终端和网络具备更高效泛在的连接能力、更强的环境及物体感知能力以及根据业务需求在云、网、边之间动态调配算力资源,并且能借助AI深度强化学习等手段,更精准快速地识别、推理、预测物理数字业务环境的未来变化趋势和潜在安全风险^[7]。

由此观之,感知、计算和智能仍将会是未来移动通信网络系统需提供的重要基础能力和系统自身赋能、提质、增效的利器抓手。当前5G-A通感融合网络为AI功能外挂、单点感知的网络,而未来感知网络将向着“通感智算一体化”演进,通感智算以内生的、密切协同的方式内嵌、融合于新网络系统。

2.1.2 演进方案

网络侧和终端侧各自都可研究如何实现通感智算一体化功能,网络侧可提供大样本数据库和丰富的算力智能资源,提升对感知信号数据的处理和模式识别能力,并且网络侧执行通感智算类任务更有利于移动运营商未来直接开展和提供通感智算类新服务。因此,网络侧通感智算的演进是未来移动蜂窝网络的重点研究课题。由于目前5G-A通感融合系统的网络架构尚处于研究探讨阶段,尚未标准化,且6G网络架构仍未明确,对6G通感融合的架构研究相对更少。因此,本节仅做面向通感智算一体化的网络架构演进方案的抽象简化表达,如图4所示。

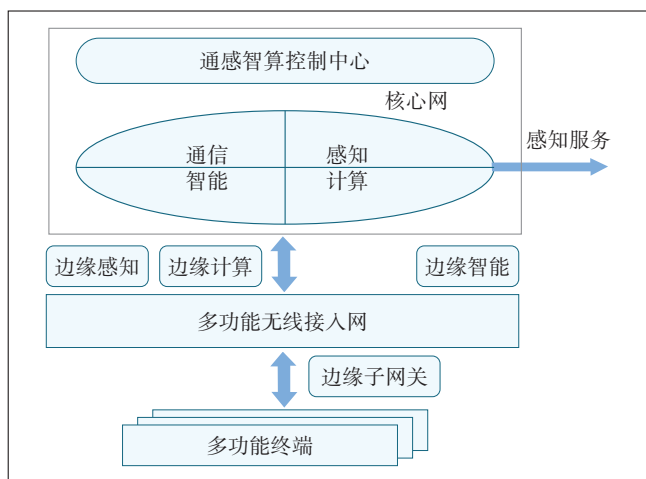


图4 通感智算一体化网络架构抽象

此演进方案引入通感智算一体化的核心网、通感智算多功能或全功能无线接入网和具有本地通感智算能力的移动终端,网络对外开放感知服务,且服务可按需定制化。通感智算控制中心作为网络控制中心进行全局感知,收集各层感知控制功能和计算控制功能实时上报的其区域内的节点状态信息,分析业务需求并借助感知信息和AI算法推理决策完成网络资源映射,实现感知、计算节点的选择以及通信、感知、算力资源和能力的部署管控及业务编排。此演进方案的核心为在网络内部实现通信、感知、智能、计算各功能之间的互惠合作,从而有效保障网络运行与业务运行需求,在提升网络性能的同时提高业务感知的精准性和时效性。

2.2 用户面感知能力增强

2.2.1 演进驱动力

未来6G网络将被赋予随时随地感知外部物理世界、网络环境、业务需求、网络实体状态等的能力^[8]。显然,未来移动通信系统将会增加更多的感知服务,引入更丰富多样的感知手段,而且,随着网络覆盖范围和应用场景的扩展,以后5G-A、6G等将接入更海量的终端UE,由此将造成感知控制信令数据量的显著增加。如第1.2节所述,现有5G-A通感融合系统中,UE与SF/SF-C之间的感知控制信令均走网络控制面,调用AMF的信令传递服务,通过AMF转发到SF,大量信令同时通过网络控制面传输将可能造成通道拥塞。而通感融合网络设计理念希望通信与感知系统共同工作时,一方在满足自身性能需求的同时也能辅助提升另一方的性能。故,现有网络架构中的信令承载路径和方式将不能完全满足未来感知信令数据传输和共享的要求。另一方面,目前业内归纳了为实现端到端通感服务所需要引入的六项功能,包括感知业务的鉴权授权、感知能力交互、感知方式/感知设备选择、感知控制、感知数据采集及处理和感知能力开放。这些能力均主要基于控制面网元实现,而用户面仅继承现有的网络基础能力和接口,完成感知数据的转发和处理,用户面感知能力仍有较大的扩展空间。

由此观之,对5G-A系统中感知控制信令传输的协议栈进行创新优化并构建更强大的新型用户面是一种优选的潜在演进方案。

2.2.2 演进方案

此演进方案包含2个部分。

2.2.2.1 引入感知控制信令传输新选项

将 UE 与 SF/SF-C 交互的保障级别相对不高的感知控制信令主动卸载到用户面传输, 并通过实时感知控制面网络状态, 借助 AI 算法计算动态调整卸载的比

例, 防止控制面拥塞。面向 UE 和 SF/SF-C 之间的感知控制信令用户面传输的协议栈设计如图 5 所示。

感知控制信令封装成 NR 感知协议-控制面 (NR

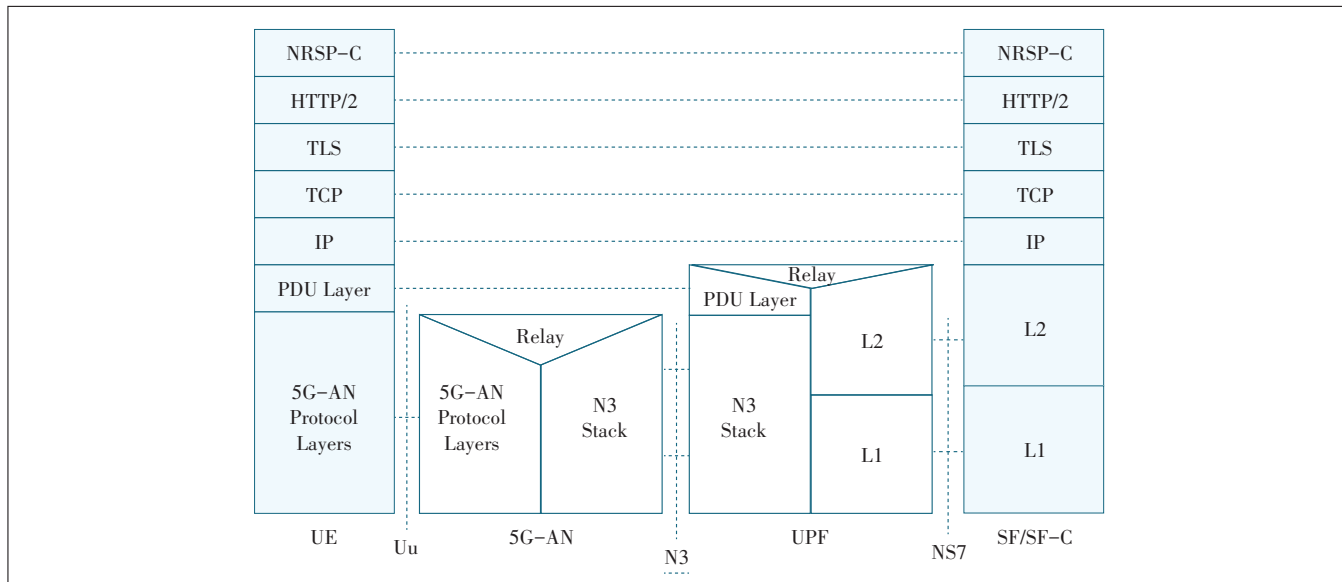


图 5 感知控制信令用户面协议栈

Sensing Protocol for the Control plane, NRSP-C) 信元, 作为独立协议进行设计。UE 作为感知设备探测获取感知测量数据, 如果感知需求方是 UE 并可在本地计算处理和使用, 则无需上报给网络侧, 否则需要将感知测量数据上报给 SF。UE 可以根据 SF 的 IP 地址建立两者之间的连接, 并且通过 PDU 会话承载 UE 和 SF/SF-C 之间的 NRSP-C。部分感知控制信令通过网络用户面来传递, 可突破控制面资源限制, 提高通感服务的质量。

2.2.2.2 构建感知型用户面

用户面在继承传统 UPF 对 UE 业务数据的路由和转发、动作和策略执行等功能之上, 重点向业务感知能力增强演进, 对 5G/5G-A 接入终端发送的数据可延续 DPI、AI 等技术提取感知业务数据, 对于未来 6G 终端和新业务应用, 可按需按场景研究新的感知技术, 增强用户面感知能力, 提升感知服务效力。

2.3 Wi-Fi 协同感知

2.3.1 演进驱动力

长期以来, 蜂窝网络和 Wi-Fi 是移动设备的两大主流技术。商用 Wi-Fi 设备能反馈 Wi-Fi 物理层的 CSI 信息, 无需改动芯片, 只需开放测量数据上报, 即可实现基于 Wi-Fi CSI 的微动感知应用。IEEE 802.11 在 2020 年 9 月设立了 IEEE 802.11bf 工作组, 聚焦无线

局域网感知^[9]。该标准化项目旨在提高 WLAN 感应的可靠性和效率, 并建立无线设备的互操作性, 以推进一系列全新、高价值的应用落地和推动各种终端应用的发展。5G-A 和 Wi-Fi 网络的主要应用领域和场景各有侧重。Wi-Fi 主要的应用领域是局域网, 多部署于室内场所, 终端的连接范围有限, 可应用于房间、汽车内部、企业等, 感知人、物体、动物的诸多属性; 5G 是广域网技术, 目前主要以室外覆盖为主, 兼顾部分室内浅层覆盖, 同时支持终端大规模的移动以及全球漫游和设备安全保障^[10]。2 种无线网络均具有感知物理世界的的能力, 现在完全无缝部署 5G-A 感知网络不太现实, 况且目前部分区域也没有明确的场景需求。5G-A/6G 和 Wi-Fi 网络融合后, 将在感知服务覆盖能力上形成互补, 扩大感知范围, 减少甚至消除感知盲区, 多制式协同感知, 实现对物理环境的无缝精细感知。例如, 基于 5G-A/6G+Wi-Fi 融合感知下的老年人健康监测场景, 可保证用户跨域移动的呼吸、心率等生命体征监测和跌倒报警等服务的连续性和稳定性。3GPP 5G 协议框架已经将异构网络的接入作为设计要点^[11-12], 为通感一体化技术融合 Wi-Fi 感知的方案研究提供了坚实的基础。

由此观之, 5G-A 网络融合 Wi-Fi 接入并支持多制式协同感知具有必要性和可行性。在未来通感融合

网络商用化过程中,为加速通感在运营商网络中的应用,初期可考虑重点发展基站自发自收的简单感知方式,面向未来,可研究终端、基站、非3GPP(如Wi-Fi)感知实体共同参与的协同感知方式。

2.3.2 演进方案

此演进方案旨在实现蜂窝移动网和WLAN的适配接入以及协同感知,并由融合核心网对两者进行统一管理,如图6所示。

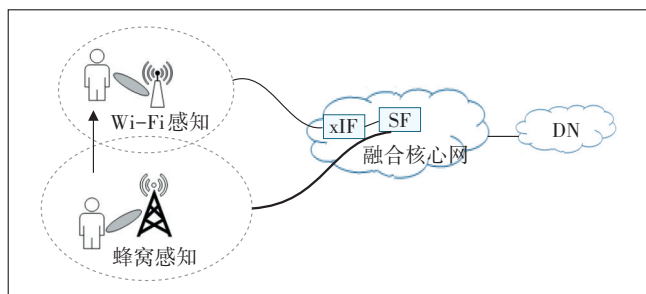


图6 蜂窝+Wi-Fi融合网络协同感知

融合核心网在SF和其他必要网元功能的基础上增加x互通(x Interworking Function, xIF)网元模块。xIF将Wi-Fi接入点下的Wi-Fi终端接入蜂窝网络核心网,实现蜂窝和Wi-Fi的融合接入,由蜂窝网络感知节点与Wi-Fi感知节点互为补充和共享的方式完成感知任务。随着xIF的不断迭代研发,未来还可纳管Wi-Fi之外的更多不同制式的节点。融合网络可感知所有节点的部署位置、密度、感知区域范围和感知粒度、相对位置关系等,并分析出网络的感知能力及性能边界,根据网络需要来优化多制式节点部署方式以及适时增设各类节点。通过对部署节点的调度与分组协作,可提高网络通信与感知的整体性能,扩大服务范围。同时,多个协作节点共享感知观测结果并达成最终判决共识,提升测量信息的准确性及全面性。另一方面,核心网演进为可灵活适配多制式接入的融合核心网后,各种终端将可不再仅依靠本制式系统的接入点认证,而是由融合核心网统一完成加密鉴权,提高整个网络系统的安全性与感知测量数据的可信任度。

3 展望

通信感知一体化技术已被广泛认为是6G新系统中极具潜力的关键技术之一,也是可以在5G-A阶段进行提前部署的重要技术。通感融合网络架构设计与演进是一个循序渐进的过程,需要研究的内容很丰富。本文归纳了当前业内关于5G-A通感融合网络的

主流架构设计,并分析了通感融合网络架构演进的驱动力与潜在的演进方案,后续也将进一步深入研究基于5G-A到6G以及到未来更新蜂窝系统的通感融合网络相关的诸多技术和应用方面的细节。未来,期待和业界同仁共同努力,推进通感融合网络的标准化、通感融合设备的研发试验以及通感融合应用的产业化进程。

参考文献:

- [1] China Mobile, Xiaomi, Qualcomm, et al. Study on integrated sensing and communication; S1-220191[R]. 2021.
- [2] China Telecom. New SID on integrating sensing with communication in NR; RP-220588[R/OL]. [2023-01-08]. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_95e/Docs.
- [3] IMT-2020(5G)推进组. 5G-Advanced通感融合网络架构研究报告[R/OL]. [2023-01-08]. <https://www.doc88.com/p-66516116256988.html>.
- [4] IMT-2030(6G)推进组. 6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书[R/OL]. [2023-01-08]. https://www.xdyanbao.com/doc/nt0cvkjhrs?bd_vid=8143022611827839830.
- [5] 6G Flagship, University of Oulu. Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence[R/OL]. [2023-01-08]. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526223544.pdf>.
- [6] 杨立, 赵亚军, 方琰威. 从容量和覆盖升级到连接和品质——论未来无线技术的盈利拓展[J]. 信息通信技术, 2020, 14(6): 57-62.
- [7] 段向阳, 杨立, 夏树强, 等. 通感算智一体化技术发展模式[J]. 电信科学, 2022, 38(3): 37-48.
- [8] WANG Z Q, DU Y, WEI K J, et al. Vision, application scenarios, and key technology trends for 6G mobile communications[J]. Science China Information Sciences, 2022, 65(5): 151301.
- [9] IEEE 802.11bf Task Group(TG). IEEE 802.11bf(TGbf) Project Authorization Request(PAR) 11-19-2103-11-SENS-802-11-sens-sg-proposed-par.docx(live.com)[Z]. 2021.
- [10] 李沸乐, 杨文聪, 张雪贝. 5G与Wi-Fi6的协同组网方案设计及应用[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(4): 7-13.
- [11] 3GPP. System architecture for the 5G System; 3GPP TS 23.501 V16.1.0[S/OL]. [2023-01-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [12] 3GPP. Study on the wireless and wireline convergence for the 5G System(5GS) architecture; 3GPP TR 23.716[S/OL]. [2023-01-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

李沸乐, 毕业于北京邮电大学, 工程师, 硕士, 研究方向为5G/6G/Wi-Fi6网络架构和关键技术、专网新技术等; 杨文聪, 毕业于北京交通大学, 高级工程师, 硕士, 从事移动通信新技术研究工作。

