



专题：6G 通感算融合技术

面向 6G 的通感空口融合无线电接入网方案

索士强¹, 许盛浩^{1,2}, 曾婷^{1,3}, 龚秋莎¹, 王可¹

(1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 北京 100083; 2. 电信科学技术研究院, 北京 100191;
3. 北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 通信感知一体化技术已经成为 6G 的重要研究方向之一。针对 6G 通信与感知在空口层面进行融合的必要性分析, 指出通感空口融合不仅可以提升 6G 系统服务能力, 还可以有效提升无线频谱的利用率。提出一种面向 6G 的通感空口融合无线电接入网方案, 包括无线电接入网整体框架、无线感知与通信信号复用方式、一体化信道/信号设计等, 为进一步开展研究提供参考。对通感空口融合所面临的挑战进行分析, 并指出通感空口融合将对 6G 空口协议栈设计造成重要影响, 需重点研究。

关键词: 通信感知一体化; 通感融合; 6G; 无线电接入网

中图分类号: TN929

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022260

Study on integrated sensing and communication for 6G RAN

SUO Shiqiang¹, XU Shenghao^{1,2}, ZENG Ting^{1,3}, GONG Qiusha¹, WANG Ke¹

1. CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

2. China Academy of Telecommunication Technology, Beijing 100191, China

3. Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: The integrated sensing and communication technology has become one of the important research directions for 6G system. The necessity of integrated sensing and communication at the air interface was analyzed and summarized, as not only for improving the service capacity for 6G system but also for effectively improving the spectrum utilization. One integrated sensing and communication scheme at the air interface level for 6G RAN was proposed, including the high level framework of RAN system, the multiplexing mode of wireless sensing signal and communication signal, the design of integrated channel/signal, etc. for further study. The challenges of integrated sensing and communication at the air interface were analyzed. It was pointed out that integrated sensing and communication at the air interface would have an important impact on the design of 6G RAN protocol stack, which needed to be focused on.

Key words: integrated sensing and communication, joint communication and sensing, 6G, RAN

收稿日期: 2022-08-04; 修回日期: 2022-09-05

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2021YFB2900200)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2021YFB2900200)



0 引言

近年来,通信感知一体化技术备受业界关注^[1-6],已经成为6G研究的重点方向之一。2021年4月,IMT-2030(6G)推进组成立通信感知一体化任务组,并于同年9月发布《通信感知一体化技术研究报告》^[7]。2022年6月,国际电信联盟无线电通信部门5D工作组(ITU-R WP5D)完成面向2030年及未来的技术趋势研究工作,通信感知一体化技术成为新兴技术趋势之一^[8]。2022年7月,IMT-2030(6G)推进组发布《6G典型场景和关键能力》白皮书^[9],将通信感知融合确定为6G五大典型场景之一。

在通信系统中融入无线感知技术,可以提升6G系统能力、丰富6G应用场景,更好地服务于产业升级、社会治理和智慧生活等千行百业的需求^[7-11]。众多面向行业的通感一体化用例已经被挖掘出来,包括产业升级领域中的位置感知、接近检测、缺陷检测、无人监控、环境重构、数字孪生等,社会治理领域的环境监测、危险物品探测等,智慧生活领域的手势和动作识别、安防监控、行为监测、健康监测等。

通信与感知融合可以采用服务化的方式,即将无线感知作为一种新型服务内生到6G网络中。在此基础上,业界正在探讨如何在空口层面进行通信与感知的融合,其主要的研究方向是通信与感知一体化信号设计^[12-17],较少涉及通感空口融合的无线电接入网(radio access network, RAN)方案。本文在对通感空口融合的必要性分析的基础上,提出了一种面向6G的通感空口融合的无线电接入网方案,包括整体框架、通感信号复用方案、通感一体化信号设计实例等,并指出通感空口融合将对6G空口协议栈设计提出严峻挑战。

1 通感空口融合必要性分析

通信与感知的融合一方面可以提升6G系统

的服务能力,为未来6G系统商用提供创造更多新型应用的可能性;另一方面,在空口层面进行通感融合可以形成互利互惠的新型无线频谱使用方法,从而有效提升无线频谱的利用率。具体表现为无线感知辅助通信性能提升、多节点协作辅助感知性能提升以及通感大时空尺度联合调度对频谱资源的高效利用。

(1) 无线感知辅助通信性能提升

现有通信系统已经具备基本的无线感知能力,比较典型的是信道估计以及基于信道估计所衍生的测量和决策能力,包括功率控制、链路自适应等。无线移动通信系统可以基于信道估计值在时域、频域和空域上的相关性,对无线信道的变化进行推断和预测,但是由于信道估计所获得信道状态信息是外部环境对无线信号影响的综合体现,很难推断出其具体是外部环境的哪些变化引起的。当通信的一方(如基站)具备雷达感知功能时,可以对无线移动通信中的环境进行更为细致的感知,获知无线信道变化的根因,从而做出更精确的推断和预测,这被认为是无线感知辅助通信性能提升的基本出发点。比较典型的用例包括以下几个。

- 根据感知到的人群变化情况以及具体位置,预测通信节点的时频资源需求,提高无线资源的动态分配准确率。
- 根据感知到的物体/散射体移动的速度,更精确地判断通信信号的时域相关性,进行信道估计/检测算法的动态选择或动态调整参考信号的时域密度。
- 根据感知到的物体/散射体的数量的变化,更精确地判断通信多径的增减情况,进行信道估计/检测算法的动态选择或动态调整信道状态信息(channel state information, CSI)反馈的频域密度。
- 结合目标终端的高精度定位以及移动路径的预测,判断通信环境中对通信信号的遮

挡情况，及时调整为其服务的收发点。

(2) 多节点协作辅助感知性能提升

复用 6G 移动通信系统丰富的站址资源，可以部署更多的具有无线感知功能的无线节点，相比于传统的单站雷达更容易获得精准的、全方位的感知信息，从而达到利用多节点协作辅助感知性能提升的目的。多节点协作感知一方面表现为可以对多个无线节点所获得的无线感知数据进行汇聚、分析，从而可以快速地寻找、定位目标物体，并进行识别或成像；另一方面，还可以通过通信链路将感知数据或感知后形成的指令快速地传递给用户，从而更好地服务于未来对时延要求严格的感知应用。

(3) 通感大时空尺度联合调度

由于无线通信和无线感知面向的服务对象不同，针对同一个通信用户，同时同频提供通信与感知服务的概率很低。特别地，无线感知主要面向物与环境的感知，通常发生在人员稀少的情况下，如无人监控、入侵检测等，此时通信需求较少。因此，可以通过大时空尺度调度的方式将无线感知业务安排在通信需求较小的时间（如夜晚）或空间（如无人工厂），从而整体上提高系统的频谱利用率；或者说，当两个独立的无线感知系统和通信系统进行融合后，利用通感大时空尺度联合调度，各自的工作带宽都可以获得提升，从而提升了系统的峰值性能（峰值速率和感知精度）。

综上所述，在空口层面进行通感融合可以有效地提高系统的频率利用率。特别地，通感融合为移动通信系统提供了额外的数据来源，这为通过人工智能的方法获得更优的机器学习模型提供了可能。一种通信-感知-计算一体化的 AI 训练/推断框架如图 1 所示。其中，机器学习模型的输入不仅包括现有通信系统可以获取的训练/推断数据，也包括无线感知所获得的感知数据。

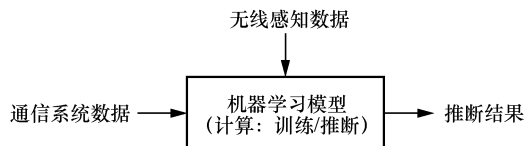


图 1 一种通信-感知-计算一体化的 AI 训练/推断框架

2 通感空口融合无线电接入网方案

一种通感空口融合无线电接入网整体框架如图 2 所示。

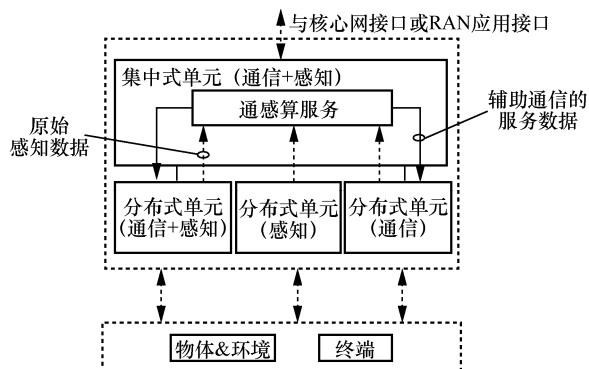


图 2 一种通感空口融合无线电接入网整体框架

其中，基站侧可以部署通信分布式单元、感知分布式单元以及通感一体化分布式单元，基站和终端所获得的无线感知原始数据上报给集中式单元中的通感算服务模块，生成给上层应用的数据递交给核心网或直接在无线电接入网侧提供服务，同时生成辅助通信的服务数据支持无线感知辅助通信功能。通感算服务模块的一个重要功能是执行多个分布式单元之间的协作感知，利用移动通信系统的蜂窝架构获得更好的感知性能。同时，通感算服务模块还具备基于感知数据的机器学习模型的训练和/或推断能力，为通信系统内部提供更好的机器学习模型或更优的推断结果。

无线通信与无线感知可以多载波的方式进行空口融合，即感知分布式单元和通信分布式单元可以使用不同的载波，这样不仅充分发挥不同载波的特性，还有利于在独立的无线感知载波上设计通感融合新型空口。特别地，由于无线感知所



识别出的是通信环境中物体分布及变化情况，因此具备利用与通信不相同的载波进行无线感知获得环境信息，并对通信载波的多普勒扩展、时延扩展和角度扩展等信息进行推断的可能性。换言之，通过毫米波或太赫兹频段进行无线感知，利用其对低频段的通信环境信息进行推断，可以进一步节省出更多优质的无线通信资源。

无线通信与无线感知也可以在同一个载波上采用时频复用的方式进行融合，即通感一体化分布式单元中无线通信与无线感知共享同一个载波，两者采用时频复用的方式。由于无线通信和无线感知面向的服务对象不同，针对同一个通信用户，同时同频提供通信与感知服务的概率很低，因此时频复用的方式即可满足基本需求。在同一载波上通过时频复用的方式进行通信与感知的融合，还可以获得通感大时空尺度联合调度的增益。

在多载波融合、时频复用融合的基础上，为了获得更高的无线资源利用率，业界众多研究集中在通信感知一体化信号设计方面。考虑到无线感知业务和无线通信业务的相对独立性，本文提出将无线感知功能与无线通信系统中的周期性信道/信号进行融合的方案，即对通信系统中的广播信道、同步信号、公共参考信号等周期性信道/信号进行优化设计，提升其无线感知能力，同时满足通信和感知需求。比如，针对同步信号块(synchronization signal block, SSB)进行通感一体化优化设计，利用 SSB 的全小区覆盖的特性，通过接收 SSB 的回波信号进行全小区范围内的雷达扫描，且不影响终端通过接收 SSB 完成同步和广播信息获取。无线通信与无线感知信号空分复用方式如图 3 所示，其中一个波束用于雷达扫描，另外一个波束用于无线通信。在不同的通信/感知时刻，通信波束方向相对固定，雷达波束需要根据扫描需要调整方向，进行波束成形时需要同时满足两者需求；特别地，当通信需求不存在时，仅存在雷达波束。

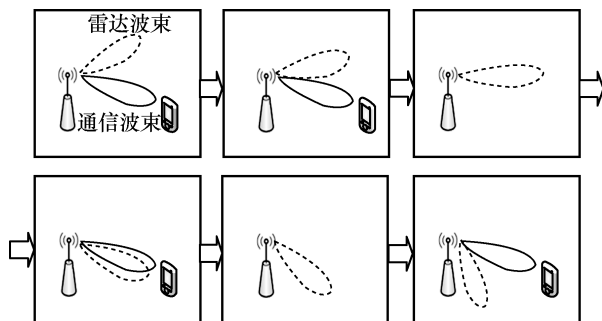


图3 无线通信与无线感知信号空分复用方式

目前，通感空口融合在技术突破、硬件实现和标准化方面还面临诸多挑战。在本文提出的通感空口融合的无线电接入网方案的基础上，需要结合无线通信与无线感知的信号复用方式，对无线感知辅助通信性能提升、多节点协作辅助感知性能提升、通感大时空尺度联合调度的具体方法进行深入研究并形成技术突破，以确保无线频谱利用率的有效提升。由于无线通信与无线感知对频谱的要求不尽相同，本文提出的通感空口融合无线电接入网方案可以跨越厘米波、毫米波和太赫兹等频率范围，并支持极大的载波带宽和同时同频全双工，这对感知分布式单元和通感一体化分布式单元的硬件实现提出了挑战。特别的，通感一体化的空口融合将会对 6G 空口协议栈的设计产生较大的影响。4 种典型无线感知链路如图 4 所示，其中基站自发自收链路和基站只收不发链路分别与传统的主动感知和被动感知对应，这两种链路不需要终端的参与；而传统的无线通信链路协议栈在基站和终端侧均存在对等的协议层。基站发/终端收和终端发/基站收两种无线感知链路，因需要事先约定或交互无线感知所使用的时频资源，也被称为交互感知。在交互感知链路中，虽然终端参与其中，但是无线感知的目的并不是恢复发送端的信息比特，因此基站和终端侧也不存在对等的协议层。这对如何设计满足通信感知一体化需求的空口协议栈提出了挑战，一种可能的方案是构造新型的无线通感承载支持全新的协议栈设计，屏蔽其对传统通信协议栈的影响；另

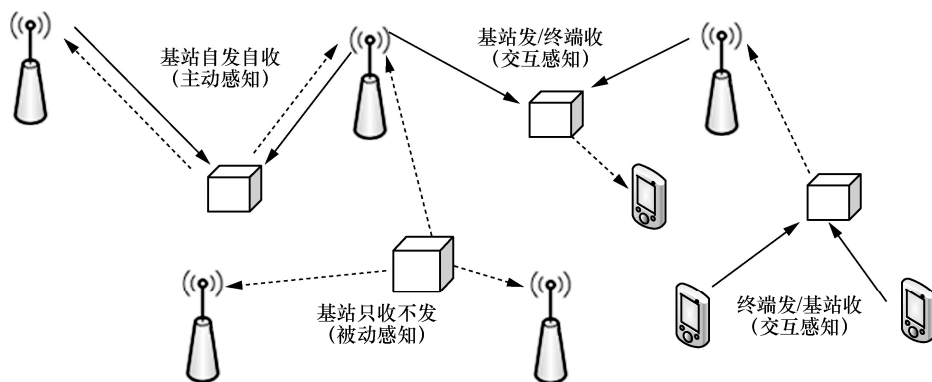


图 4 4 种典型无线感知链路

外一种可能的方案是采用 RAN 服务化架构、通过内生服务的方式进行无线感知/通感一体化信号的发送与接收。

3 结束语

本文对通感空口融合必要性进行了分析,指出通感空口融合不仅可以提升 6G 系统的服务能力,还可以有效提升无线频谱的利用率,具体表现为无线感知辅助通信性能提升、多节点协作辅助感知性能提升以及通感大时空尺度联合调度对频谱资源的高效利用。同时,本文提出了一种通感空口融合无线电接入网整体框架,并对无线通信与无线感知的多载波融合和时频复用融合方案以及一体化信号设计进行了探讨,为进一步开展通感空口融合的研究提供参考。

参考文献:

- [1] RAHMAN M L, ZHANG J A, WU K, et al. Enabling joint communication and radio sensing in mobile networks -- a survey[EB]. arxiv: arxiv.2006.07559v2, 2020.
- [2] FENG Z Y, FANG Z X, WEI Z Q, et al. Joint radar and communication: a survey[J]. China Communications, 2020, 17(1): 1-27.
- [3] 6G Flagship. 6G white paper on localization and sensing[R]. 2020.
- [4] 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): 1-27.
- [5] ZHANG A, HUANG X, GUO Y J, et al. Multibeam for joint

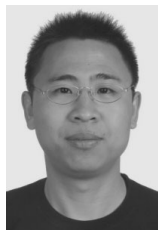
communication and sensing using steerable analog antenna arrays[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 68(1): 671-685.

- [6] WYMEERSCH H, SHRESTHA D, DE LIMA C M, et al. Integration of communication and sensing in 6G: a joint industrial and academic perspective[C]//Proceedings of 2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-7.
- [7] IMT-2030(6G)推进组. 通信感知一体化技术研究报告[R]. 2021. IMT-2030(6G) Promotion Group. Research report on integrated sensing and communication[R]. 2021.
- [8] ITU-R WP5D. Preliminary draft new report ITU-R M. [Int. future technology trends of terrestrial imt systems towards 2030 and beyond][R]. 2022.
- [9] IMT-2030(6G)推进组. 6G 典型场景和关键能力[R]. 2022. IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G typical scenarios and key capabilities[R]. 2022.
- [10] 大唐移动通信设备有限公司, 无线移动通信国家重点实验室. 全域覆盖·场景智联—6G 愿景与技术趋势白皮书 (V.2020) [R]. 2020. Datang Mobile Communications Equipment Co., Ltd., State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications. Full coverage. intelligent connection—white paper on 6G vision and technology trends (V.2020)[R]. 2020.
- [11] 中信科移动通信技术股份有限公司, 无线移动通信国家重点实验室. 全域覆盖·场景智联—6G 场景、能力与技术引擎白皮书 (V.2021) [R]. 2021. CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd., State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications. Full coverage, intelligent connection—white paper on 6G scenarios, capabilities and technical enabler(V.2021)[R]. 2021.
- [12] STURM C, WIESBECK W. Waveform design and signal



- processing aspects for fusion of wireless communications and radar sensing[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(7): 1236-1259.
- [13] SIT Y L, STURM C, ZWICK T, et al. The OFDM joint radar-communication system: an overview[C]//Proceedings of SPACOMM 2011, the Third International Conference on Advances in Satellite and Space Communications. 2011.
- [14] AUDIO L, KOBAYASHI M, BISSINGER B, et al. Performance analysis of joint radar and communication using OFDM and OTFS[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2019.
- [15] LIU F, MASOUIROS C, PETROPULUA P, et al. Joint radar and communication design: applications, state-of-the-art, and the road ahead[J]. IEEE Transactions on Communications, 2020, 68(6): 3834-3862.
- [16] DE LIMA C, BELOT D, BERKVENS R, et al. Convergent communication, sensing and localization in 6G systems: an overview of technologies, opportunities and challenges[J]. IEEE Access, 2021(9): 26902-26925.
- [17] XIAO Z Q, ZENG Y. An overview on integrated localization and communication towards 6G[J]. Science China Information Sciences, 2022, 65(3): 1-46.

[作者简介]



索士强（1975-），男，中信科移动通信技术股份有限公司创新中心副总经理、正高级工程师，主要研究方向为 6G 及未来新技术。



许盛浩（1998-），男，现就职于中信科移动通信技术股份有限公司创新中心，电信科学技术研究院硕士生，主要研究方向为 6G 通感一体化。



曾婷（1995-），女，中信科移动通信技术股份有限公司创新中心工程师，北京航空航天大学博士生，主要研究方向为 6G 通感一体化。



龚秋莎（1977-），女，中信科移动通信技术股份有限公司创新中心高级工程师，主要研究方向为 6G 通感一体化。



王可（1977-），男，中信科移动通信技术股份有限公司创新中心总经理、正高级工程师，主要研究方向为 5G/6G 新技术和国际国内标准化。