

导读:随着 5G 市场的快速发展,通信学术界、产业界以及标准化组织均启动了 6G 在愿景、需求和技术上的研究。6G 一定是一个对 5G 不足不断增强,并满足新的需求而顺势发展的系统,将在 5G 基础上全面支持整个世界的数字化,并结合人工智能等技术的发展,实现智慧的泛在可取、全面赋能万事万物。6G 需要更多新技术、新思维,涉及相关理论、软硬件技术上的突破。为了促进 6G 通信技术交流,推动我国 6G 通信技术发展,《电子技术应用》杂志 2021 年第 9 期推出“面向 6G 的关键技术”主题专栏,论文内容针对 6G 潜在关键技术展开讨论,本期重点围绕 6G 通信感知一体化架构与技术以及智能超表面技术等领域探讨,期待为 6G 技术研究和提供有益的借鉴。



特约主编:朱雪田,北京邮电大学工学博士,教授级高级工程师,中关村国家自主创新示范区高端领军人才,现就职于中国联通研究院。长期从事 5G/6G 移动通信技术与业务创新研发工作,作为项目组长先后负责多个 5G/6G 领域的移动通信国家重大项目,发表学术论文超过 100 篇,发明专利 100 余项,个人专著 4 本。

6G 通信感知一体化架构与技术研究*

杨 艳,张忠皓,马静艳

(中国联合网络通信有限公司研究院,北京 100048)

摘要:从 2019 年 5G 标准和设备逐步成型,通信业务向着产业化、多元化的趋势逐渐清晰化,从而催生了新通信系统研究。6G 作为新一代通信系统,从服务全面性和精细度都进行了深度和广度的扩展。目前 6G 备选技术已经有 THz 技术、大规模天线、IRS 和通信感知融合等,其中通信和感知一体化在 2021 年初成为 6G 重点研究技术,其通过复用通信和感知架构与信号进行一体化通信和感知,可以极大地减少系统的冗余部署。从 6G 通信感知一体化的研究需要性、架构和技术研究几个方面展开分析,从而可以较为全面地介绍 6G 通感融合的可行性及重点研究方向。

关键词:通感融合;6G;架构

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.212078

中文引用格式:杨艳,张忠皓,马静艳. 6G 通信感知一体化架构与技术研究[J].电子技术应用,2021,47(9):1-4,15.

英文引用格式:Yang Yan,Zhang Zhonghao, Ma Jingyan. Research on integrated sensing and communication architecture and technology of 6G[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(9): 1-4, 15.

Research on integrated sensing and communication architecture and technology of 6G

Yang Yan, Zhang Zhonghao, Ma Jingyan

(China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

Abstract: From 2019, 5G standards and equipment have gradually taken shape, and the trend of communication business towards industrialization and diversification has gradually become clear, thus giving birth to the research of new communication systems. 6G, as a new generation of communication system, has been expanded in depth and breadth in terms of service comprehensiveness and precision. At present, the 6G alternative technologies include THz technology, large-scale antenna, IRS and communication perception fusion. The integration of communication and perception has become the key research technology of 6G in early 2021. It can greatly reduce the redundant deployment of the system by multiplexing the communication and perception architecture and signals. This paper will analyze the research needs, architecture and technology of 6G communication perception integration, so as to comprehensively introduce the feasibility and key research direction of 6G synaesthesia integration.

Key words: sensing and communication; 6G; architecture

* 基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFB1807400)

0 引言

6G 是新一代的移动通信系统,其与 5G 相比,支持更高的数据速率、更低的时延和更高的可靠性,并且更加亲和用户和业务,即可以为用户提供针对性更强的高质量服务。此外,6G 也将无线融合通信纳入研究范畴,其中通信和感知融合就是一种典型的融合通信。

一方面,无线移动网络覆盖范围广泛,是最大的陆地覆盖网络,与雷达等感知网络相比,范围更加广泛,无线通信网络与雷达系统相结合,可以实现感知范围的极大扩展;另一方面,5G 和 6G 已经极大地在技术上提升了网络的质量,但是仍无法满足不断提升的业务需求,但感知的加入可以提升无线通信性能,实现网络质量的提升。

目前,国内外专家已经对通感一体化技术开展了研究,分别从通信赋能感知、感知促进通信两个角度进行了分析。文献[1]-[3]介绍了 6G 中通感一体化的契机、场景,并分析了一些技术调整;文献[4]对通感融合和定位技术的应用场景、技术和调整进行了描述;文献[5]-[6]介绍了通感融合技术中波形选择和新波形开发和研究;文献[7]从安全的角度分析了通感融合的问题、调整并介绍了架构等;文献[8]通过感知位置或者障碍物,智能化调整波束赋形,从而提高通信的效率和质量。

本文首先介绍了通信和感知一体化的必然性,分别从频率、技术和业务需求 3 个方面进行了介绍;然后从通感一体化不同的融合程度给出了 3 种架构;再次,介绍了通感融合的典型使能技术,最后对全文进行了总结。

1 通感一体化的发展的必然性

无线通信和感知一体化成为 6G 重要的候选技术存在其必然性,可以从频率趋同性、业务需求提升所需的资源激增化和技术实现一致化进行描述。

首先,通信与感知技术一直以来呈现并行发展的模式,在频率选取上较为趋同,但是存在一定的差异。然

而,随着 5G 毫米波和高频频段的使用,通信和感知的频率从性能上已经具备一体化或者一波双功能的可能性。表 1 给出了通信和感知频率的发展情况。

其次,随着业务的丰富化和性能极致化,业务的保证速率、时延和可靠性要求都有了很大的提高,例如高清和 4K 视频等都对网络带宽有较高的要求。Omdia 认为到 2024 年,全球网络流量将是 2019 年的 3.4 倍,期间复合年增长率(CAGR)达到 28%。表 2 给出了基于 2019 年数据进行的 2024 年容量的需求预测情况^[9]。相应的感知要求也在提升,从雷达成像就可以发现,其成像精度也从 m 级向着 cm 级演进,这也对传输带宽有较高的要求。因此,通信和感知频率共用频率可以增加可用频谱,提升频谱利用率。

最后,从通信技术发展的方向和趋势来看,通信和感知也朝着相似的方向进行双向互动。其中,通信在这方面的的工作更加明显,如超大规模天线的发展极大地提升了空间感知能力,使得基于无附加的无线通信网络进行无线感知成为可能。

2 6G 通感融合架构发展

通信和感知融合或一体化是一种全新的网络形态,因此在架构上将产生较大的改变,架构上的变化可以分为系统架构和无线(空口)架构的改变。系统架构研究需要考虑感知单元、用户数据安全、计费策略等与整个通信网络的融合;无线(空口)架构则是需要考虑无线设备集成程度存在的差异性进行研究。

通感融合系统架构需要添加新的网络单元,并完成融合后的网络管理功能。图 1 给出了建议的通感融合网络的系统架构。在本架构中,较为明显的改变是添加了感知服务器,该网元完成感知数据的处理和基于感知的无线资源分配中的一个或两个功能,布放位置可以按照感知的范围和感知的时间精度放置在核心网机房、MEC 网络边缘或者与基站进行合设。

表 1 通信和感知频率的发展情况

频段	无线通信	雷达感知
1~2 GHz(L-band)	LTE、5G	远程监测雷达、空中交通控制雷达
2~4 GHz(S-Band)	3G、LTE、5G、IEEE 802.11b/g/n/ax/y WLAN	空中交通控制雷达、空降预测雷达等
4~8 GHz(C-band)	5G、IEEE 802.11 a/h/j/n/p/ac/ax WLAN	气象雷达、地面监测雷达等
20~300 GHz(MmWave-band)	5G、IEEE 802.11 ad/ay	毫米波雷达、高分辨率成像雷达等

表 2 全球网络流量预测

全球网络流量	2019 年	2024 年	CAGR/%
数据流量/(PB/年)	1 673 905	5 757 429	28
蜂窝网络数据流量/(PB/年)	281 520	1 024 797	29
每终端每月使用蜂窝网络数据流量/(GB/月)	3.1	10	26
Wi-Fi 数据流量/(PB/年)	923 250	3 288 948	29
每终端每月使用 Wi-Fi 网络数据流量/(GB/月)	16.9	50.3	24
宽带数据流量/(PB/年)	469 135	1 443 684	25
每家用终端每月使用 Wi-Fi+宽带网络数据流量/(GB/月)	126.1	366.4	24

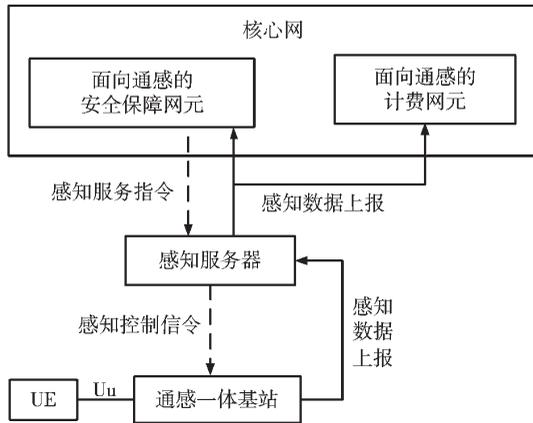


图1 通感融合系统架构图

从设备合设与分设的能力及部署需求来看,可以将通感融合无线架构初步划分为以下3个:

(1)简单集成系统:这类结构将通信和感知系统进行合设或者将C&S集成在一个平台上,但是通过不同的资源(信号使用单独的或甚至正交的资源)进行信息发送,减少了干扰,但是频谱效率难以提升。图2给出了简单集成系统的示意图,图中将2个系统布置在一个设备上,但是使用频率和波形都不同。

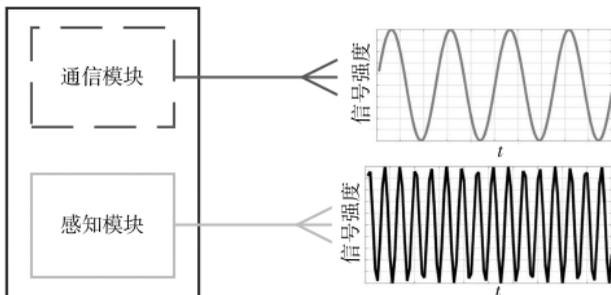


图2 简单集成系统架构示意图

该架构的优点:

①通信和感知采用独立波形设计、优化和资源分配;
②系统联合设计、优化,可以进行部分网元的共用,节省了站址等资源。

该架构的缺点:

①由于资源的划分和防护间隔或同等时间的要求,频谱效率降低;
②系统集成的程度偏低,复合的发射机硬件复杂度高。

(2)基于频率共享共存的架构:这类架构实际上是将通信和感知系统分别设计,但是在频率、信道等资源上进行简单的或者固定的共享,这样可以减少联合设计的系统交叉,但是通信和感知承载在一个系统上,并未进行波形的改变,将带来较大的干扰,消除难度大。图3给出了该架构的示意图,该系统中通信和感知模块还是独立的,但是采用了同一波形进行传输,使用不同的RB

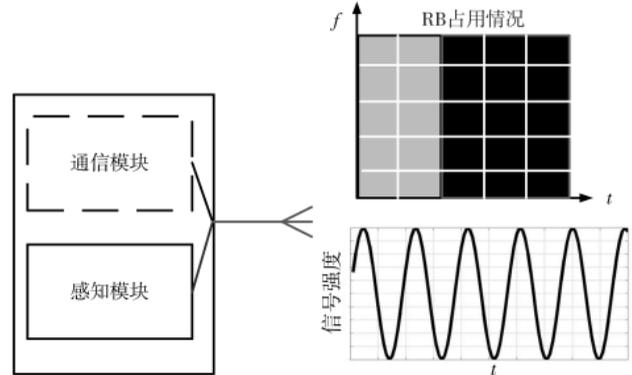


图3 基于频率共享共存的系统架构示意图

进行通信和感知信息的传递。

该架构有如下优点:

①相对独立的系统设计和优化机制,可以通过人工智能进行资源调度;

②相对独立的运行模式;

③较高的频谱利用率。

该架构的缺点:

①感知需要全双工工作模式,现有的波形进行部署存在潜在的巨大的相互干扰和复杂的干扰控制技术;

②设计的总成本很高。

(3)智能化通信与感知一体化系统:该类架构需要通过考虑新型的波形或者帧结构同时兼顾通信和感知,并且在设计之初就要平衡好通信和感知需求,因此设计难度较大且与以前系统的兼容性较差,但是具有有效提升频谱效率、消除干扰等优点。图4给出了智能化通信与感知一体化架构的示意图,本系统中通信和感知的功能已经完成融合,不再进行独立传输,使用全新的同一波形进行传输。

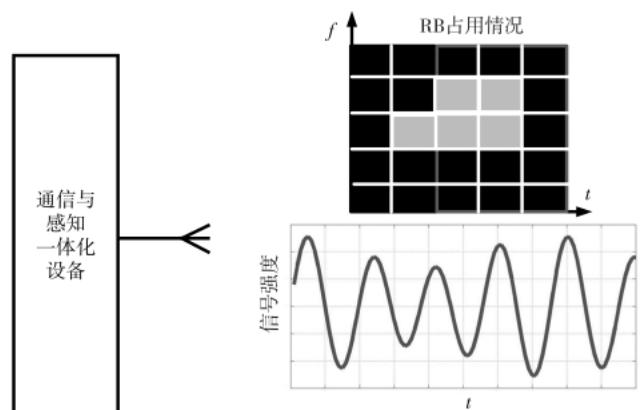


图4 智能化通信与感知一体化系统架构示意图

该架构的优点:

①最高的频谱效率(几乎翻倍);

②同时操作,无相互干扰;

③在硬件和信号处理方面,有完全共享的发射机和

主要共享的接收机;最小的大小、重量和成本;

④联合设计与优化,通过信息共享实现互利处理。

该架构的缺点:

①需要一个全双工操作或等效的设置;

②由于传输功率有限(在移动网络中),单个节点的传感范围有限,但可以通过全网络传感来缓解;

③存在对 C&S 要求相冲突的潜在性能损失;

④需要重新开发波形、帧结构等。

3 6G 通感融合使能技术

从现有的研究分析来看,6G 目前明确技术包括 THz 技术、大规模天线、IRS、AI、通信和感知融合等。这些技术从频率、空间复用和智能化等角度提升了网络的覆盖和容量能力,极大地开拓了网络的部署空间,并逐步向着极致化行业部署、网络极简融合和低碳低能耗的方向发展。通信和感知融合中,由于同时需要兼顾通信容量和感知精度,因此需要更大的带宽、更丰富的空间信息和高性能的数据处理能力,下面将主要从这几个方面进行介绍。

(1)新频率技术

6G 使用的频率将向着更高更宽的方向发展,据研究分析推测,6G 信道带宽将有望比 5G 大 5 倍以上。在 LTE 中,只有 10 GHz 以下的频带被占用,而 5G 开始进行毫米波波段的使用。因此,对于 6G,预计将达到 100 GHz 以上,可用的频率也将向着更加高频发展,如 THz 等。而高频或者超高频的波长短,受到自然因素(如雨、雪等)和障碍物的影响较大,无法进行大范围覆盖,但是大带宽可以很好地满足大数据传输和高精度感知的需要,因此后续高频技术研究和设备的研究将进一步影响通感融合的发展进程。

(2)空间天线技术

空间技术主要指使用大规模和超大规模天线进行空间资源的复用,从通信的角度,可以突破香农极限,提升频谱利用率;从感知的角度,多天线技术可以获取较多的多径信息,对成像和定位的精度都有较为明显的影响。多天线技术研究现在受限于天线阵子干扰和智能化管理等方面的影响,需要开发新物理材料和管控机制的新型天线。

(3)人工智能技术

人工智能(如机器学习等)是提升网络质量的重要技术,在 6G 通感融合中,在面向通信和感知的无线接口资源分配和感知数据采集处理都将异常复杂,人工智能将极大地缓解这方面影响,实现通信-感知-智能的有效结合。深度学习已被用于各种感知用例,如静态对象分类、基于雷达的坠落运动检测、单个复杂帧中多个对象的检测和定位^[10]。通过人工智能技术实现感知位置或者障碍物,智能化调整波束赋形,从而可提高通信的效率和质量^[8]。

(4)新波形研究

由于通信和感知在需求上存在差异,现有的波形无法满足实际的应用,因此出现了新波形的研究需求。目前主要的研究方向是原有波形的复合叠加波形和新型波形。

在文献[2]中提到了几种典型的波形,如 OFDM 等,通过复用可以满足部分需求,但是由于不是专有波形,无法很好地兼顾通信和感知需求。表 3 给出了复合波形的能力分析情况。

表 3 复合波形能力分析

候选波形	KPI					
	峰值 能耗	RF 开销	全双工 能力	可携带 数据能力	最大 用户数	感知 精度
FMCW	高	中	高	极低	低	中
OFDM	极低	低	低	高	高	中
SC	中	低	低	高	中	低
FMCW+OFDM	中	中	高	中	高	中
FMCW+SC	中	中	高	中	中	中

新波形研究是将通信和感知的需求直接融合波形变化中,如通过互信息等进行新波形开发。文献[11]中就介绍了一种新波形,同时提升了通信和感知需求。

4 结论

通信和感知一体化是通信功能和感知功能高度融合的必然结果,可以合理统筹通信和感知的频谱,从而满足更高的业务需求,同时可以满足感知全局化全域化部署。本文从通感融合的必然性进行分析,给出了通感融合的系统架构和空口架构,最后给出了频率、空间和算力方面的技术研究建议。通感融合是一个新的领域,后续还需要对应用场景、架构、网元、信令和评价标准等方面进行深入的研究。

参考文献

[1] TAN D K P, HE J, LI Y, et al. Integrated sensing and communication in 6G: motivations, use cases, requirements, challenges and future directions[C]//2021 1st IEEE International Online Symposium on Joint Communications & Sensing(JC&S), 2021: 1-6.

[2] WILD T, BRAUN V, VISWANATHAN H. Joint design of communication and sensing for beyond 5G and 6G systems[J]. IEEE Access, 2021, 9: 30845-30857.

[3] Li Oupeng, He Jia, Zeng Kun, et al. Integrated sensing and communication in 6G: a prototype of high resolution THz sensing on portable device[C]//2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit(EuCN-6G Summit), 2021: 544-549.

[4] LIMA C D, BELOT D, BERKVEN R, et al. Convergent communication, sensing and localization in 6G systems: an

(下转第 15 页)

- [28] ETSI GR ENI 0013(V0.0.11): Experiential Networked Intelligence(ENI); Intent Aware Network Autonomicity[S]. 2018.
- [29] 3GPP TR 28.812.Study on scenarios for Intent driven management services for mobile networks, v0.6.0, Release 16[S].2018.
- [30] ANDREW L, JOE S, SANJIT G. Innovation insight: intent-based networking system[S]. 2017.
- [31] Cisco. Intent-Based Networking At-a-Glance[R/OL]. [2020-12-10]. https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/intent-based-networking.html.
- [32] Juniper. Secure your cloud with consistent policy and threat mitigation using juniper contrail security[R/OL]. (2017-08-xx). [2020-12-10]. https://www.juniper.net/assets/us/en/local/pdf/solutionbriefs/3510623-en.pdf.
- [33] 华为. 智简网络(IDN)白皮书[Z]. 2019.
- [34] 肖红运. Athena 智能化解决方案助力 5G 网络发展[Z]. 中兴通讯, 2019.
- [35] 中国电信. 中国电信人工智能应用发展白皮书[Z]. 2019.
- [36] 云杉网络. DeepFlow 云网分析数据驱动的虚拟化网络可视化与分析平台[Z]. 2016.
- [37] Apstra. The Apstra Operating System(AOS) architecture overview[Z/OL]. [2020-12-10]. https://www.apstra.com/products/.
- [38] 为什么网络需要自动驾驶[DB/OL]. [2020-12-10]. https://www.sdnlab.com/23787.html.

(收稿日期: 2020-12-10)

作者简介:

徐丹(1993-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 网络人工智能、网络切片。

白燕南(1994-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 网络人工智能。

王峰(1978-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 云计算、软件定义、人工智能等新兴 ICT 领域的关键技术。



扫码下载电子文档

(上接第 4 页)

- overview of technologies, opportunities and challenges[J]. IEEE Access, 2021, 9: 26902-26925.
- [5] LIYANAARACHCHI S D, RIIHONEN T, BARNETO C B, et al. Optimized waveforms for 5G-6G communication with sensing: theory, simulations and experiments[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2021, PP(99): 1.
- [6] CHEN I, FENG Z, WEI Z, et al. Code-division OFDM joint communication and sensing system for 6G machine-type communication[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(15): 12093-12105.
- [7] FURQAN H M, SOLAJJA M S J, TÜRKMEN H, et al. Wireless communication, sensing, and REM: a security perspective[J]. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2021, 2: 287-321.
- [8] MU J, GONG Y, ZHANG F, et al. Integrated sensing and communication-enabled predictive beamforming with deep learning in vehicular networks[J]. IEEE Communications Letters, 2021, PP(99): 1.
- [9] KEMAL M. Network traffic forecast report: 2019-24[R]. Omdia, 2021.
- [10] BRODESKI D, BILIK I, GIRYES R. Deep radar detector[C]// Proc. IEEE Radar Conf. (RadarConf), Boston, MA, USA, Apr., 2019: 1-6.
- [11] Yuan Xin, Feng Zhiyong, ANDREW J, et al. Spatio-temporal power optimization for MIMO joint communication and radio sensing systems with training overhead[J]. IEEE

Transactions on Vehicular Technology, 2020, 70(1): 1-15.

(收稿日期: 2021-08-20)

作者简介:

杨艳(1984-), 女, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向: 无线通信关键技术。

张忠皓(1981-), 男, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向: 6G 无线通信关键技术。

马静艳(1986-), 女, 博士, 工程师, 主要研究方向: 6G 无线通信关键技术。



扫码下载电子文档

欢迎订阅

电子技术应用 月刊

订阅代号: 2-889

定价: 30 元/期

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所