

面向云无线接入网的通信感知一体化:应用和挑战

邹佳琪^{1,2,3}, 刘宇阳^{1,2,3}, 邹子轩^{1,2,3}, 崔原豪^{1,2,3}, 孙松林^{1,2,3}(1.北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876; 2.移动互联网安全技术国家工程实验室, 北京 100876;
3.可信分布式计算与服务教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要: 通信感知一体化作为 6G 的关键技术之一, 与云无线接入网的结合是目前的研究热点。首先对通信感知一体化技术和云无线接入网进行了简要介绍, 进而从网络架构、信号设计、网络协议设计三方面对面向云无线接入网的通信感知一体化技术进行了深入探讨和总结分析, 最后对该技术的挑战进行了阐述。

关键词: 通信感知一体化; 云接入网; 网络架构

中图分类号: TN915.6

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212356

中文引用格式: 邹佳琪, 刘宇阳, 邹子轩, 等. 面向云无线接入网的通信感知一体化: 应用和挑战[J]. 电子技术应用, 2021, 47(12): 18-21.

英文引用格式: Zou Jiaqi, Liu Yuyang, Zou Zixuan, et al. Integrated sensing and communications for cloud radio access network: applications and challenges[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(12): 18-21.

Integrated sensing and communications for cloud radio access network:
applications and challengesZou Jiaqi^{1,2,3}, Liu Yuyang^{1,2,3}, Zou Zixuan^{1,2,3}, Cui Yuanhao^{1,2,3}, Sun Songlin^{1,2,3}(1.School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing 100876, China;

2.National Engineering Laboratory for Mobile Network Security, Beijing 100876, China;

3.Key Laboratory of Trustworthy Distributed Computing and Service, Beijing 100876, China)

Abstract: As one of the key technologies in 6G, the integrated sensing and communication combined with cloud radio access network is a hot topic. This paper briefly introduces this two technologies. Then, the integrated sensing and communication technology for cloud wireless access network is discussed and analyzed in three aspects: network architecture, signal design and network protocol design. Finally, the challenges in future are summarized.

Key words: integrated and sensing communication; cloud radio access network; network architecture

0 引言

通信感知一体化是指通过资源共享或信息共享同时实现感知与通信功能协同的新型信息处理技术。通信感知一体化作为 6G 未来发展的核心技术之一, 为移动网络发展带来机遇的同时, 也带来了诸多挑战。目前, 云无线接入网作为 5G 网络的主流架构, 得到了广泛的应用和发展。如何将通信感知一体化技术与现有的云无线接入网结合是目前研究的重点。本文对当前研究进展从网络架构、信号设计和网络协议设计三方面进行了总结调研, 并对未来挑战进行了分析。

1 发展现状简介

1.1 通信感知一体化简介

随着无线通信和电子集成技术的发展, 对于感知能力产生了巨大的需求, 这催生出了一项新的技术——通

信感知一体化技术^[1-3]。相对于传统的感知与通信技术, 通信感知一体化技术的优势主要体现在通信与感知技术的集成化可以带来集成增益, 使本就拥挤的通信和硬件资源得到更加充分、有效的利用, 并且两种信号还能够优势互补、协调增益。这一趋势在物联网技术出现时就已经开始展现, 其额外的感知能力被认为是网络技术的**关键范式转变**。

6G 作为新一代的移动通信系统, 与 5G 相比, 具有更高的数据传输速率、更强的可靠性和更低的时延, 并且可以进一步促进万物互联、智能社会的发展^[4]。也正是这一需求, 造就了通信感知一体化技术成为 6G 重要候选技术的必然性。通信感知一体化技术需要一种全新的网络形态使其优势最大化, 因而在网络层面的设计必不可少。

1.2 云无线接入网简介

云接入网(Centralized, Cooperative, Cloud and Clean RAN, C-RAN)的基本定义是:基于分布式拉远基站,云接入网 C-RAN 将所有或部分基带处理资源进行集中,形成一个基带资源池并对其统一管理与动态分配,在提升资源利用率、降低能耗的同时,通过对协作化技术的支持提高网络性能^[5]。

5G 接入网将原本的基带处理单元功能(BaseBand Unit, BBU)拆分重构为了集中单元(Centralized Unit, CU)和分布单元(Distributed Unit, DU),其中 CU 设备实现非实时的无线高层协议栈功能,DU 设备支持物理层和实时的功能性需求,两者的区别主要在于实时性。其中 CU 设备采用通用平台实现,使其不仅可以支持无线网功能,也能够支持核心网功能和边缘应用功能;DU 采用多平台模式,支持高强度的数据计算能力,在引入网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)后,配合软件定义网络(Software-Defined Network, SDN)控制器可以实现灵活的资源配置能力,满足实现快速部署的需求。基于 CU/DU 的 C-RAN 网络架构如图 1 所示。

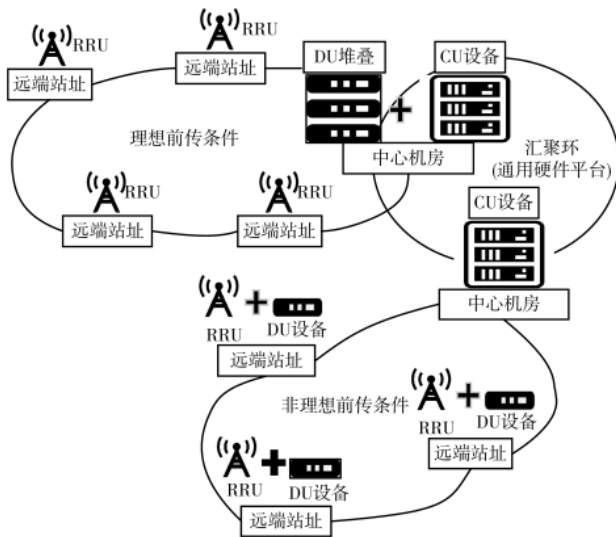


图 1 基于 CU/DU 的 C-RAN 网络架构

这一架构可以依据场景实时灵活部署功能单元:在传输网资源充足时,可以集中化部署 DU 单元,实现物理层的功能协作;当传输网资源不足时,可以分布式部署 DU 单元。CU 在实现原基带处理单元功能 BBU 的同时,兼顾了 DU 的集中部署和分布式部署的功能,可以在保证最大化协作能力的基础上,兼容传输网能力。

2 结合通信感知一体化的网络设计

为了实现通信技术与感知技术的联合增益,根据现代通信网络架构的发展特点,笔者认为感知移动网络(Perspective Mobile Network, PMN)技术^[6]为通感一体化提供了一个良好的架构。

PMN 网络架构如图 2 所示^[6]。

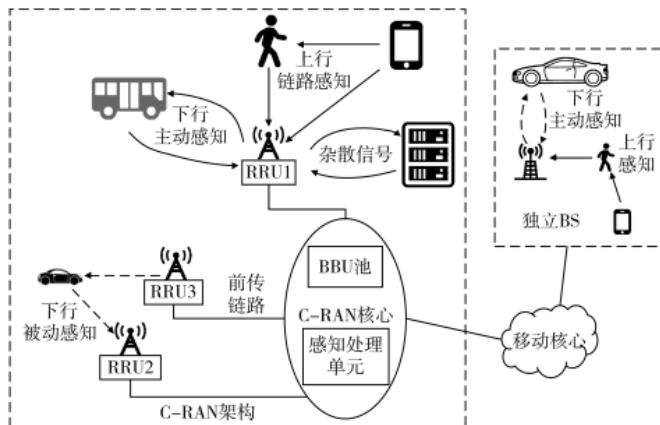


图 2 PMN 网络架构

PMN 架构可以从一般的移动网络演化而来,对于 C-RAN 架构更是如此。在这个架构中,射频拉远单元(Radio Remote Unit, RRU)的分布是密集且时钟同步的,都是通过 GPS 实现同步,通信感知一体化的信号是通过 BBU 单元进行收集,并集中在一个 C-RAN 进行处理(具体是通过 C-RAN 中的 BBU 池进行信号的处理)。

另外,可以在多输入多输出技术(Multiple Input Multiple Output, MIMO)中使用同一个子载波使多个 RRU 单元为客户端提供协同服务。同时,分布式放置的 RRU 单元还能够实现感知信号的收集,多个 RRU 协同工作能够提高感知的灵活性。虽然这么做可能会增加传输功率,但是从通感一体的整体性能来看,还是很有必要的。

3 通信感知一体化信号设计

根据设计的优先级和底层信号系统侧重的功能,目前,通信感知一体化系统的信号设计可分为以下 3 类:以通信为中心的信号设计、以雷达为中心的信号设计、通信感知的联合设计与优化。

3.1 以通信为中心的信号设计

在以通信为中心的信号设计中,系统的优先级为通信系统,而雷达感知的信号系统是其附加部分。该设计的基本思路是使用通信系统的信号波形,通过环境目标的返回波形提取所需的感知信息。该类信号设计基于已有的通信模型进行改进与创新,主要的通信信号和协议基本保持不变。

针对通信网络的拓扑结构,以通信为中心的信号设计系统可分为两种方法,即基于点对点通信系统和基于移动通信等大型网络实现感知的功能。两类通信系统分别使用单载波和 MIMO-多用户的正交频分复用(Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM)信号。在最近的车载网络设计中,研究者们分别实现了 IEEE 802.11ad JCR 系统^[7-9]与移动感知网络^[6,9]。该设计便是以通信为中心的信号系统设计的典型案例。

由于通信信号与雷达感知信号具有显著的区别,如何设计感知的信号算法成为以通信为中心的信号设计

的突破重点。在研究可选的感知算法之前,研究者必须考虑两个问题:如何处理接收信号中的有效信息、如何处理接收信号中的杂乱信号。针对多用户-MIMO 信号,例如在下行链路感知中从多个 RRU 接收的信号,或者从多个终端的独立 BS 接收的信号,有两种方法可以解决第一个问题。一种方式是将接收到的信号直接转到感知算法,这类直接感知的算法具有较高的计算复杂度;另一种则是间接感知估计。

针对处理接收信号噪声的问题,通常而言,许多消除噪声的方法适用于通信系统,然而在面向感知的场景下,一些噪声的消除可能会损害返回信号的信息,此时一些背景滤波技术会是较好的选择^[10]。在解决了这些问题后,就可以考虑感知算法的选择,例如 DFT、最大似然估计等。

3.2 以雷达为中心的信号设计

与 3.1 节相反,以雷达为中心的信号设计在已知雷达波形的基础上,对雷达信号进行调制等操作,以达到通信的目的,从而实现通信感知一体化。

雷达系统,特别是军用雷达系统,具有长达数百公里的远程作战能力。因此,在雷达系统中实现通信功能的一个主要优点是可以实现远程通信,而与卫星通信相比,基于雷达系统实现的通信延迟也要低得多。

以雷达为中心的通感一体信号设计的研究主要集中在信息嵌入技术上,而基于以雷达为中心的通信协议、接收机设计以及其他方面的工作就比较有限。

3.3 通信感知的联合设计与优化

通信感知的联合设计与优化并没有侧重于任意一类通信信号设计或者雷达信号设计,该设计初衷是通过设计调控方式实现通信感知的共同优先级。

面向云接入网的通感一体的设计遵循以通信为中心的信号设计思路,针对的实际应用场景也是大型移动通信网络。

在 C-RAN 场景中,分布式 RRU 与用户设备协同通信的情况下,从一个 RRU 本身和其他协同 RRU 接收到的下行通信信号可以分别用于下行主动感知和下行无源感知。

对于一个 MIMO-OFDM 系统,在所有天线上的第 k 个 OFDM 符号中,载波 n 处的基带传输信号可以表示为:

$$\tilde{x}_{n,k} = P_{n,k} S_{n,k} \quad (1)$$

其中, P 为空间预编码矩阵, S 为数据向量,既可以是接收到的直接调制的星座点,也可以是已知的导频点。在 MIMO-OFDMA 系统中,每个节点被分配到涉及天线、子载波和 OFDM 符号组的资源块,它们通常不重叠。

所有天线在子载波处接收到的频域基带信号为:

$$\tilde{y}_{n,k} = \bar{H}_{n,k} \tilde{x}_{n,k} + \tilde{z}_{n,k} \quad (2)$$

其中, $\bar{H}_{n,k}$ 为传播信道, $\tilde{z}_{n,k}$ 为 AWGN 信道。

云接入网中通感一体的信号设计通常是将单用户

MIMO-OFDM 模型扩展到多用户 MIMO-OFDMA,假设通信网络的一个节点接收到来自其他节点的返回信号,并将这些信号用于感知。如移动感知网络 PMN 就提出了以下 3 种感知场景:单一基站中的下行感应(基站使用自己的反射传输信号进行感知,类似于一个单一的雷达)、单一基站的上行感应(返回信号来自移动网络中的无线用户设备)、RRU 中的下行感应(返回信号来自感知 RRU 所接收到的下行链路通信信号,包括其自身产生的回波)。

4 通信感知一体化网络协议设计

通信与感知模块具有不同的工作机制,以雷达感知为例,雷达根据工作机制可分为脉冲式与连续波雷达,而通信则采用时分或频分双工。因此,为实现感知和通信体制的进一步融合,需要设计新的传输协议和系统架构,以实现两者功能的协同传输。

基于通用的分类方法,通信感知一体化系统的功能可分为感知层、通信层和应用层。感知层负责从物理世界收集信息,通过通信层在系统中进行通信。现有的研究大多将感知层和通信层分开处理,而对两者之间的相互作用研究较少。

目前,基于信息时延的研究可以认为是迈向综合感知和通信优化的一步。信息时延从基于目标的角度测量感知状态观察的延迟,共同考虑采样延迟和通信延迟^[11],这样通信与感知协调问题就转化为最小化信息时延问题。基于信息时延的优化方案通过开发信息时延最小化调度协议来解决这个问题。

然而一些研究者已经认识到,仅信息时延本身并不能充分反映信息感知质量,因此应该对信息时延进行更加深入的分析和优化。文献[12]~[13]提出了更加精确的信息时延概念,旨在定义一个新的时间度量,这在测量特定应用中的信息质量方面比信息时延更准确。另一方面,从通信的角度看,介质访问控制 MAC 设计可以看作是一种增强的载波感知多址方案,其中接入概率根据终端的感觉状态进行区分。为了改进载波感知多址类型的基于竞争的随机访问方案,研究者作出了广泛的努力,提出了一些方案可以通过确定访问的优先级^[14-16]或增强物理访问能力来优化^[17-18]。为了确定访问优先级,有研究者提出了扩展访问禁止技术^[15],该技术在接入点广播阈值选取上随机选择一组终端发送,每个终端产生随机数。稀疏码多址^[17]和波束形成^[18]技术可以看作是分别通过增强码域和空间域的接收能力来增加并发终端的数量。

5 结论

基于通信感知一体化技术与现有的云无线接入网结合的问题,本文对面向云无线接入网的通信感知一体化技术进行了深入探讨和总结分析。未来在通信感知一体化与云接入网技术的研究演进过程中将面临多方面

的技术挑战,主要包括:设计有效的通信感知一体化的波形,降低信号干扰,获得更高的协同增益;进行通信感知协同的功率控制和能耗优化,降低设备功耗,节省能源及运行成本;研究通信感知一体化的硬件架构,解决高性能全双工等带来的干扰和设备电路等设计问题。

参考文献

- [1] CUI Y, LIU F, JING X, et al. Integrating sensing and communications for ubiquitous IoT: applications, trends and challenges[J]. arXiv preprint arXiv: 2104.11457, 2021.
- [2] LIU F, CUI Y, MASOUIROS C, et al. Integrated sensing and communications: towards dual-functional wireless networks for 6G and beyond[J]. arXiv preprint arXiv: 2108.07165, 2021.
- [3] LIU F, MASOUIROS C, PETROPULU A 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.
- [4] 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.
- [5] 中国移动通信有限公司研究院. 迈向 5G C-RAN: 需求、架构与挑战白皮书(v1.0)[Z]. 2016.
- [6] ZHANG A, RAHMAN M L, HUANG X, et al. Perceptive mobile networks: cellular networks with radio vision via joint communication and radar sensing[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2020, 16(2): 20–30.
- [7] ALI A, GONZALEZ-PRELCIC N, HEATH R W, et al. Leveraging sensing at the infrastructure for mmWave communication[J]. IEEE Communications Magazine, 2020, 58(7): 84–89.
- [8] KUMARI P, VOROBYOV S A, HEATH R W. Adaptive virtual waveform design for millimeter-wave joint communication-radar[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2019, 68: 715–730.
- [9] DUGGAL G, VISHWAKARMA S, MISHRA K V, et al. Doppler-resilient 802.11 ad-based ultrashort range automotive joint radar-communications system[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2020, 56(5): 4035–4048.
- [10] RAHMAN M L, ZHANG J A, HUANG X, et al. Framework for a perceptive mobile network using joint communication and radar sensing[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2020, 56(3): 1926–1941.
- [11] KAUL S K, GRUTESER M, RAI V, et al. Minimizing age of information in vehicular networks[C]//2011 8th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks. IEEE, 2011.
- [12] KAM C, KOMPELLA S, NGUYEN G D, et al. Towards an effective age of information: remote estimation of a markov source[C]//IEEE INFOCOM 2018–IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). IEEE, 2018.
- [13] YIN B, ZHANG S, CHENG Y, et al. Only those requested count: proactive scheduling policies for minimizing effective age-of-information[C]//IEEE INFOCOM 2019–IEEE Conference on Computer Communications. IEEE, 2019.
- [14] CHENG J P, LEE C, LIN T M. Prioritized random access with dynamic access barring for RAN overload in 3GPP LTE-A networks[C]//2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). IEEE, 2011: 368–372.
- [15] CHENG R G, Chen Jenhui, Cheng Danwu, et al. Modeling and analysis of an extended access barring algorithm for machine-type communications in LTE-A networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(6): 2956–2968.
- [16] MANGOLD S, CHOI S, MAY P, et al. IEEE 802.11 e wireless LAN for quality of service[C]//Proc. European Wireless, 2002, 2: 32–39.
- [17] ZHANG J, LU L, SUN Y, et al. PoC of SCMA-based uplink grant-free transmission in UCNC for 5G[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(6): 1353–1362.
- [18] LIEN S Y, SHIEH S L, HUANG Y, et al. 5G new radio: waveform, frame structure, multiple access, and initial access[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(6): 64–71.

(收稿日期: 2021-11-19)

作者简介:

邹佳琪(1998-), 女, 博士研究生, 主要研究方向: 通信感知一体化、计算机视觉。

刘宇阳(1998-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 通信感知一体化。

邹子轩(1999-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 通感一体化、视频动作分割。



扫码下载电子文档

(上接第 17 页)

- [7] MOLISCH A F. A generic model for MIMO wireless propagation channels in macro- and microcells[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2004, 52(1): 61–71.
- [8] AKYILDIZ I F, JORNET J M. Realizing ultra-massive MIMO (1 024×1 024) communication in the (0.06–10) Terahertz

band[J]. Nano Commun. Networks, 2016, 8: 46–54.

(收稿日期: 2021-11-04)

作者简介:

张军民(1969-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 移动通信网络规划、优化和建设。



扫码下载电子文档

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