

6G 时代通信感知一体化

Integration of Communication and Perception in the 6G Era

马洁 张建*

Jie Ma Jian Zhang*

国家知识产权局专利局专利审查协作四川中心 中国 · 四川 成都 610213

Patent Examination Cooperation Sichuan Center of the Patent Office, CNIPA, Chengdu, Sichuan, 610213, China

摘要: 通信感知一体化是指基于软硬件资源共享或信息共享同时实现感知与通信功能协同的技术, 其可在不与被感测对象建立通信连接的情况下, 进行探测、定位、跟踪以及对对象分析, 应用于定位导航、智能家居、智慧城市、智慧交通、环境监测等场景, 目前研究的重点主要集中在联合波形设计、蜂窝感知网络架构、深度学习模型和太赫兹技术等方面。

Abstract: Communication perception integration refers to based on software and hardware resource sharing or information sharing while realizing perception and communication function coordination technology, it can without establishing communication connection with the sensing object, detection, positioning, tracking and object analysis, applied to positioning navigation, smart home, smart city, intelligent traffic, environmental monitoring scenarios, the current research focus on joint waveform design, cellular perception network architecture, deep learning model and terahertz technology, etc.

关键词: 6G; 通信感知一体化; 太赫兹

Keywords: 6G; communication and perception integration; terahertz

DOI: 10.12346/csai.v1i2.7119

1 引言

随着 5G 商用化的全面部署, 6G 的愿景和研究已经展开。各国都出台和发布了关于 6G 的研究和布局规划。中国通信产业目前正在确定 6G 技术路线、网络架构和应用场景。越来越多的关注点聚焦在虚拟现实、自动驾驶、智能医疗、智能制造等方面。这些新兴应用领域对高速率通信和高效资源使用的需求, 加快推动了通信与感知一体化发展的进程。在 3GPP 标准化组织中^[1], 也对通信与感知一体化进行了专项研究, 并在 SA1 中初步完成了立项。论文从技术概述、典型应用场景和关键技术三个方面对通信与感知一体化技术进行介绍。

2 技术概述

通信感知一体化是指基于软硬件资源共享或信息共享同时实现感知与通信功能协同的信息处理技术, 可以有效提升系统频谱效率、硬件效率和信息处理效率^[2]。

在 3G/4G 网络时代, 感知信息的获取主要依赖传感器。传感器广泛用于物联网、车联网领域, 包括温度传感器、压力传感器、湿度传感器、光电传感器等类型, 用于实现特定数据的测量采集, 并通过专门配置的资源, 将所测量的数据转换为电信号后发送至处理节点, 以进行数据分析或产生控制操作。

在 5G/6G 中所提出的通信感知一体化技术与传感器技术不同, 其主要是通过空间中的通信电磁波信号进行感知, 分析其信道状态、频谱质量、电磁干扰等传输特性, 以用于进行探测、定位、跟踪以及对对象分析, 从而识别不同的活动、状态甚至重构环境。感知的结果可用于多种应用场景, 包括基于位置和轨迹的应用、基于状态识别的应用、基于环境重建的应用等, 从而为用户提供高质量的服务和体验^[1]。

对于通感技术的分类, 以感知端是否主动发送用于感知的电磁波为标准, 可以分为主动式和被动式; 以感知端与被感知端是否进行信息交互为标准, 可以分为交互感知和

【作者简介】马洁 (1982-), 女, 中国山东平度人, 本科, 副研究员, 从事移动通信领域研究。

【通讯作者】张建 (1978-), 男, 中国湖北宜昌人, 硕士, 研究员, 从事车联网领域研究。

非交互感知。在目前热门的 WiFi 感知技术中,通常采用主动—交互式的方式,感知过程是:发起方通过发送信号发起 WLAN 感知,潜在的一个或多个响应方对其进行响应。由于 WiFi 接入点(AP)已成为无处不在的接入设备,因此在 WiFi 感知中,通常使用 AP 作为感知设备,通过检测空间中 AP 与所连接的其他终端之间的电磁波的状态情况,感知到处于其中的对象对电磁波信号造成的反射、衍射的影响,从而计算出该对象的位置、尺寸、运动或手势变化等信息。目前的计算方式,一种是基于模型,即,在数据库中建立大量的电磁波图样与不同位置、运动、动作的对应关系的指纹库。根据检测到的电磁波图样在指纹库中匹配相应的特征,从而识别出对应的位置、运动、动作。另一种是基于学习训练,这种方式在指纹库的基础上,进一步根据感知结果对模型进行修正和训练,从而使得模型更加贴近实际情况,识别结果更加准确。

在通信系统中,低频段资源的能力已被充分挖掘,6G 系统的工作频段除与现有频段重叠使用以外,将逐渐向毫米波、太赫兹和可见光等更高频段发展。在传输特性方面,低频信号传播路径损耗较小、抗衰落的能力强,覆盖距离较远,但受到带宽的限制,数据传输的精度不高,适于传输通信数据与一般精度的目标感知数据;高频信号信道衰落较大,但具有更高的带宽,数据传输速率高,更适于捕捉细微的信道状态变化和传输更高精度的感知数据,特别是在 6G 重点研究的毫米波、太赫兹和可见光频段,其大带宽和小波长的特性特别适于用于传输高精度感知数据、对元器件小型化要求高的一体化通信感知设备。因此,低频和高频信号的特性分别适应于通信与感知两种不同功能。在通信感知一体化的研究中,目标是通过实施资源配置、干扰消除等技术,使得在一个设备中、利用一套硬件系统,在相同频谱中同时实现通信和感知两者^[2]。

为此,将研究进程分为了三个阶段。在第一阶段,感知和通信使用不同的信号资源,但共享相同的频谱、天线阵列。该阶段的难点是如何实现有效的干扰消除和管理。在第二阶段,感知和通信使用相同的硬件和信令资源,并利用共同的知识来提高系统性能,即感知辅助通信设计或通信辅助感知设计。该阶段的重点是波形、编码方案、信号处理算法的设计。在第三阶段,感知和通信在频谱、硬件、信令、协议、网络等各个方面完全协调和协作,相互促进,互惠互利,获得最高的性能增益。

在研究初期,已实现利用通信设备 MAC 层的 RSSI 进行室内定位和粗粒度动作识别。后续的研究将进一步使用其他 CSI 信息实现更精细的感知识别。另外,随着研究的深入,在感知系统架构上也将实现改进。一方面,5G 大规模 MIMO 技术可以获取多维数据,使多个设备协同处理和分析多维信道测量数据。另一方面,可以使通信设备利用 CSI 与其他的传感器数据融合实现更准确的感知结果。例如,可

以融合摄像头获取的视频数据、麦克风获取的音频数据、无人机获取的空间数据、机器人获取的位置数据等^[3]。接下来,超大规模天线、大带宽、智能超表面、人工智能等技术的发展将进一步推动感知技术的发展。

3 典型应用场景

通信感知一体化技术可以根据其用途是位置和轨迹的识别、动作和状态的识别、环境重建而用于不同的应用场景。

3.1 位置和轨迹识别

用于室内定位、智慧交通、波束扫描和快速接入等场景。

在家居物联网、智能办公、智能工厂中,可以提供厘米级的定位精度,对室内对象的空间位置、数量、状态进行有效的监控、统计和分析,协同控制灯光、空调、车辆、货物、机器人、办公设备、供电设备,创造出更舒适的家居环境、更高效的办公场所和更安全的制造厂房。

在智慧交通中,实时探测车辆、无人机、卫星网络等轨迹和环境信息,借助高速率低时延的空天海地一体化通信网络将感知数据共享,实现更准确的导航和路径规划、更及时的紧急救援的定位服务,提升城市交通安全性能。

在终端接入过程中,利用感知到的终端位置,能够更快地完成波束扫描和匹配,辅助终端快速接入网络或获知信道反馈,实现更好的用户体验。

在该类场景中,需要准确的检测概率和较高的定位精度。检测概率依赖反射回波的参数,需要克服信号在传播过程中遇到障碍物、动态物体造成的信号损耗和噪声。定位精度与频率波长和移动静止状态都存在关联关系,与所选择的角、距离、多普勒、速度等参数也存在关系,通常使用均方根值和均方根误差来体现定位测量的精度。

3.2 CSI 状态识别

用于智能家居、智慧医疗、环境监测等场景。

目前的研究已可实现对人体行为、生命特征的监测。后续的感知精度将大大增强,实现对人体唇部和喉咙变化、病人心跳、空间内大气、湿度、昆虫等的监测。在智能家居中,可基于人体动作和状态的细微变化,对家居设备进行精准控制。在医疗场景中,实时监测人体指标,即时发出建议或预警和建议,与智能医疗设备协同提供医疗服务。通过对大气中湿度、污染物和昆虫情况的监测,感知空气和农田情况的变化,提供环境监测和农田病虫害防治的预测。

在该类场景中,感知操作主要包括信息采集、信号处理和识别算法三个阶段。在信号采集阶段,感知设备接收感知 CSI 信号,通常由网卡采集,其中包括环境和设备引起的各种噪声。因此,需要通过相位校准和滤波其进行处理。经过去噪、数据转换和清理后的无线信号被输入相对应的学习训练模型进行数据分析和预测,目前常用的模型包括 MLP、CNN、RNN、LSTM 等,其可以采用监督学习、少样本学习、迁移学习、无监督学习、集成学习的方式实现训练^[3]。

3.3 环境重建

用于地图绘制和虚拟现实等场景。

通过电磁波对空间的探测和扫描, 可以针对未知空间构建地图, 从而反映现实空间以促进智慧交通应用的实现, 或进一步结合所感知的对象状态信息构建虚拟空间, 以支持各种虚拟沉浸式应用的需求。特别是在元宇宙应用中, 将为物理世界与虚拟世界的深度融合提供更丰富的实时感知数据和虚实互动体验。

在该场景中, 虚拟现实的应用、沉浸式的游戏都对更高的图像精度和更低的时延提出了更高的要求。图像精度通常使用豪斯多夫距离来表征, 其用来评价两幅图像的相似性, 用于图像中对象的定位追踪。另一个在6G中用于衡量虚拟世界性能和用户体验的指标为物理体验质量指标(QoPE), 其不仅考虑真实物理世界的性能, 还需要结合用户的真实感受和体验进行评价。

4 关键技术

4.1 波形设计

在波形设计中, 需要兼顾目标检测和数据传输能力。目前, 有三种技术路线值得考虑: ①基于现有通信波形。现有的5G、6G通信波形采用OFDM的方式, 频谱利用率较高。为了实现感知功能, 可在现有的OFDM波形上实现感知功能。但由于OFDM波形更适于传输通信信号, 因此, 在实现感知功能时, 为了感知性能, 需要提升发射信号的功率, 同时降低干扰和提高信号相关性。②基于现有感知波形。现有的感知波形主要是雷达波形。在车联网雷达感知中所使用的波形主要是FMCW。通过将通信信号嵌入到感知波形中, 可以实现通信和感知功能。但是, 现有的雷达波形通常不连续, 通信数据传输效率较低, 不适于高速率数据传输。③通信感知一体化的波形。这种波形专为实现通信和感知一体化技术而设计, 不依赖于现有的通信波形和感知波形。这种新的波形可以根据通感一体化的技术需求而灵活地进行设计。但由于是全新的波形设计, 设计复杂度高, 仍然面临许多困难。目前的热点包括正交时频空间(OTFS)调制方式, 这种调制方式适用于高移动性的场景。

4.2 组网设计

为了实现通信和感知一体化的功能, 需要有大规模部署的通信感知网络。传统的雷达感知系统未以网络方式配置, 也未设置相应的网络设备与终端, 因此, 通信感知网络需要借助密集部署的蜂窝网络来实现。通过在基站与终端、基站与核心网、基站与基站和终端与终端之间的通信链路中引入感知功能, 可实现融合的通信感知能力。为此, 需要对蜂

窝网络的终端、接入网和核心网设备和接口进行硬件改进, 使其新设或增设与感知相关的控制、数据信令收发和处理模块, 实现感知资源调度和业务处理。同时, 也可以考虑将目前已大量密集部署在每一个角落的无线传感器网络引入蜂窝网络架构中, 从而在蜂窝网络中引入定位、监测、识别等感知功能。

4.3 学习模型设计

在基于状态的人体感知过程中, 系统通常可以使用AOA模型和非涅尔模型来进行计算。AOA模型通过使用入射信号的角度来对人体动作进行判断。非涅尔模型通过人体动作时跨过非涅尔区造成的CSI的幅度和相位上的变化进行判断。但是, 在细粒度活动的检测过程中, 被感知方、环境、通信设备的细微变化会给感知性能带来严重的影响, 造成系统不能稳定工作, 同时, 人体运动中的不同朝向也会对感知结果造成偏差。因此, 接下来需要对深度学习模型进一步改进, 使其能够精确地基于设备位置、运动轨迹和波形图样之间的对应关系进行定量的刻画, 使其在适中的样本量、跨场景实现、模型分类性能等方面有所突破。

4.4 无线通信设计

在熟知的毫米波和可见光频段之间, 还存在着0.1~10THz的未被开发利用的频段资源, 即太赫兹频段。太赫兹频的可用带宽极宽, 工作频率更高、波长更短、通信速率更快, 元器件的尺寸也更小。在实际应用中, 由于其可以穿过大多数介电物质, 非常利于感知和检测, 例如, 可用于隐蔽物的检测、医疗成像与诊断等。目前还处于实验室研究的阶段, 主要涉及太赫兹源、太赫兹传输、太赫兹接收和太赫兹元器件的设计。

5 结语

论文通过以上内容, 汇总和分析了6G时代通信感知一体化网络的发展情况、典型应用场景和关键技术。整体上看, 通信感知一体化技术还处于研究阶段, 要实现技术成熟和全链条的商用还需要解决很多技术难题。但是, 随着研究的深入和难题的突破, 通感一体化一定会成为6G时代重要的技术, 助力实现6G“自有连接的物理数字融合世界”的美好愿景。

参考文献

- [1] 马洁.3GPP非专利文献的检索[J].电视技术,2015,39(S1).
- [2] 通信感知一体化技术研究报告(IMT-2030 6G)[Z].
- [3] Yongsen Ma.WiFi Sensing with Channel State Information: A Survey[J].ACM Computing Surveys, 2019,52(3).