

通感一体化技术探讨

Discussion on Integrated Sensing and Communication Technology

范君, 曾伟, 钟检荣 (中国联通北京分公司, 北京 100038)

Fan Jun, Zeng Wei, Zhong Jianrong (China Unicom Beijing Branch, Beijing 100038, China)

摘要:

从通感一体化工作模式入手, 依据感知方式对其工作模式进行了细分; 然后进一步分析通感一体化系统模型, 分析了无线信号发送、接收处理, 以及频域雷达处理过程, 包括插值、目标距离和速度估计; 然后依据通感一体化技术特点, 分析了通感一体化应用场景; 最后, 基于5G测试验证了通感一体化技术在低空无人机场景的远距离探测和精准跟踪能力, 为通感一体化技术落地实施提供了依据。

关键词:

B5G; 6G; 通感一体化; 雷达; 感知

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.002

文章编号: 1007-3043(2024)01-0006-04

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:

Starting from the working mode of integrated sensing and communication, the working mode is subdivided according to the perceptual mode. Then the model of integrated sensing and communication system is further analyzed, the processing of wireless signal sending and receiving and frequency domain radar are analyzed, including interpolation, target distance and velocity estimation. Then, according to the characteristics of integrated sensing and communication technology, the application scenarios of integrated sensing and communication are analyzed. Finally, based on 5G, the remote detection and accurate tracking capabilities of integrated sensing and communication technology in the low-altitude UAV scene are tested and verified, which provides a technical basis for the implementation of integrated sensing and communication technology.

Keywords:

B5G; 6G; Integrated sensing and communication; Radar; Sensing

引用格式: 范君, 曾伟, 钟检荣. 通感一体化技术探讨[J]. 邮电设计技术, 2024(1): 6-9.

0 引言

下一代移动通信将带来万物互联、可感知、智能的世界, 使智慧城市、智能工业、车联网、远程医疗等新兴技术的实现成为可能。然而, 这些技术需要移动通信网络在具备高质量通信能力的同时, 还要具备高精度感知能力。传统通信系统与感知系统互相独立, 而通信系统与感知系统分离设计会造成无线频谱效率低、硬件成本高、信息处理时延高等问题。

通感一体化技术将通信系统与感知系统融合在

一起, 通信系统只需在硬件、信令策略和通信标准上做少量修改, 即可快速且低成本地将传感功能集成到通信网络中, 不仅可以通过提升系统频谱效率和硬件效率, 获得集成增益, 还可以通过二者功能的互相辅助, 获得协作增益, 是B5G/6G网络的研究热点。

1 工作模式

依据感知目标是否具备信号收发功能, 感知的方式可分为基于设备的感知(Device-based)和无设备感知(Device-free)2种模式。其中, 基于设备的感知是指感知目标具备信号收发能力, 感知主体可通过接收感知目标发送的信号进行感知; 无设备感知是指感知目

收稿日期: 2023-12-04

标不具备基带功能,无法收发信号,仅可以反射信号给基站,从而使感知主体完成对目标的感知。

对于基于设备的感知方式而言,感知主体可以根据目标物体发送的特有的信号特征,将感知到的距离与目标物体进行匹配;对于无设备感知而言,感知主体接收到的是感知目标反射回来的信号,对于感知主体来说,所有反射信号特性相同,不具备可区分性,因此很难将反射信号匹配到产生此反射信号的目标物体。然而,对于通感一体化技术,无设备感知模式却备受关注。通过融合通信与雷达感知,无设备感知模式可以有效降低硬件成本,减少通信开销,广泛应用于车联网、无人机监测等新兴场景中。

依据是否有其他设备参与感知并辅助感知主体,无设备感知模式可进一步细分为单站感知和分布式感知。其中,单站感知又称为主动感知,如图1所示,是指感知主体除了需要主动发射感知信号,还需要自行接收来自感知目标的感知信号,整个过程无需其他设备配合进行信息处理,因此,感知主体需在双工模式下工作;分布式感知又称为被动感知,如图2所示,是指有其他设备参与了感知过程,即感知主体发送了感知信号后,感知目标将感知信号反射给其他协作感



图1 单站感知工作模式

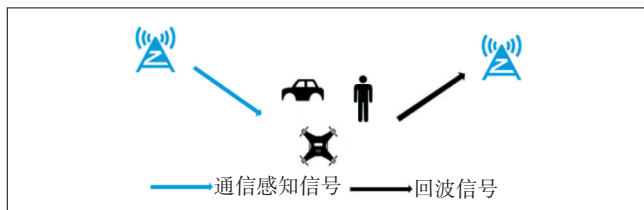


图2 分布式感知工作模式

知设备,协作感知设备经过进一步信息处理、交互后,完成整个感知过程。

相较而言,单站感知是由同一个设备完成感知信号的收发过程,在信号收发同步方面具有显著优势,可大幅提升感知精度;但同时,信号收发同节点也会带来较强的自干扰,给感知主体的自干扰抑制能力带来了挑战。而分布式感知由于收发节点分离,使得感知主体设备无需面临自干扰问题,而且,分布式感知由于存在多信号处理节点,可带来接收增益,进一步提升感知精度;与此同时,由于分布式感知无法使用同频部署,会引入上下行干扰问题,降低系统资源利用率,此外,收发节点分离也会带来同步误差,影响感知精度。

2 系统模型

通感一体化基站的雷达探测功能主要通过将雷达处理模块集成于5G基站中来实现。通感一体化基站系统模型如图3所示,在接收处理模块中,感知目标反射信号由接收模块接收后,经过模数转换得到数字信号,数字信号经过FFT处理转换成频域信号,并移除循环前缀,得到接收信号 Y ;在发送处理模块中,频域信号矩阵 X (S 行, R 列, S 代表栅格中已使用子载波数, R 代表雷达处理的OFDM符号数)经过分块IFFT处理转换成时域信号,并添加循环前缀,经过数模转换得到模拟信号,通过发送模块发送出去。

感知主体与感知目标物体的距离与相对速度会相应产生信号传播时延和多普勒频移,而传播延迟对接收信号每条子载波造成的相移,可以用来评估感知目标的距离,多普勒频移造成的接收信号的相移,可以用来计算感知目标的相对速度。

以频域雷达处理方案为例,信道矩阵 G 可以定义为: $G^{CH} = Y \oslash X$, \oslash 代表逐元素除法。在目标探测之前,需要先对信道采样点进行插值估计,一般采用线

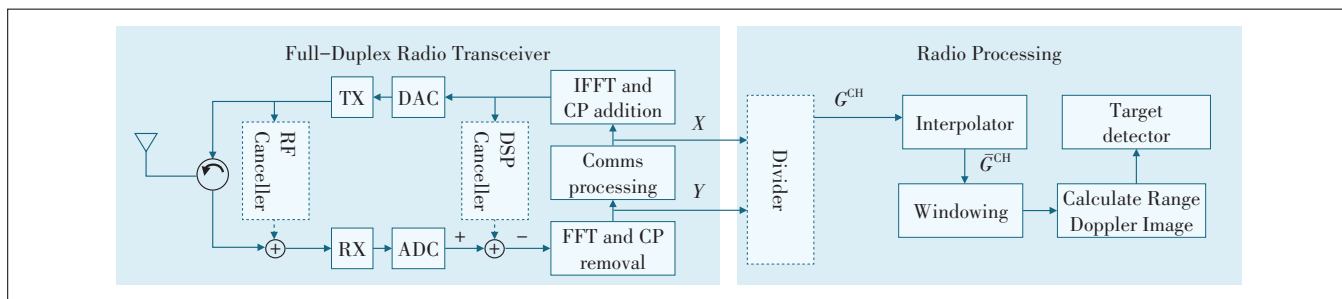


图3 基于常规NR下行传输和频域雷达处理的通感一体化系统框图

性插值方法。通过插值可计算出距离-多普勒雷达视图,进而完成目标距离-速度估计。常见的方法是通过周期图计算雷达视图,即:

$$A(s, r) = \left| \sum_{q=0}^{R'-1} \left(\sum_{p=0}^{S'-1} \bar{G}_{p,q}^{CH} W_{p,q} e^{j2\pi \frac{ps}{S'}} \right) e^{-j2\pi \frac{qr}{R'}} \right|^2$$

其中,括号内是规模为 $S'(S' \geq S)$ 的IFFT变换,对应生成距离的分布,括号外是规模为 $R'(R' \geq R)$ 的FFT变换,对应生成速度的分布。 $\bar{G}_{p,q}^{CH}$ 为插值后的信道矩阵,其中包含传播信号的时延和多普勒频移。 $W_{p,q}$ 为插值栅格的窗口权重,以控制旁瓣电平。对于单目标场景,周期图中峰值的位置对应最大似然估计值。

3 通感一体化应用场景

随着ISAC(Integrated Sensing and Communication)技术的发展和應用,现有蜂窝网络将转变为泛在的大规模传感器网络,即感知网络,将为当前通信行业引发各种新的应用。

a) 高精度定位和追踪。随着5G的发展和基站的广泛部署,现有蜂窝网络的定位精度可以达到米级。5G NR Rel-17支持的最高指标为:在商业场景下,水平方向1 m的定位精度,垂直方向3 m的定位精度,10 ms的延迟;在工业物联网场景下,水平方向0.2 m的定位精度,垂直方向1 m的定位精度,10 ms的延迟。而ISAC技术可以帮助无线通信系统实现毫米级的定位精度,高精度定位和追踪可广泛应用于无人机监管、机器人运动控制、增强现实、智能工厂、智能物流以及智能交通等领域。例如,当前随着无人机商用的普及,无人机非法入侵问题逐渐引起关注。而集成了ISAC技术的蜂窝网络可用于定位和追踪非法入侵的无人机,打击非法飞行;同时,还可以监管接入蜂窝网络的合法无人机,提供无人机避障和导航,保障飞行安全,维持低空飞行秩序。

b) 同步成像、建图和定位。联合建图与定位可以使机器人具备接近人类的感知能力,机器人在未知的环境中可完成定位、建图和路径规划,即具备即时定位与建图技术(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)。而ISAC技术可在无设备感知模式下可利用信道多径信息重建环境的二维图像和三维模型,这为提升机器人定位精度提供了低成本解决方案。同步成像、建图和定位可服务于数字孪生、智能城市管理、车辆自动驾驶等应用。例如,基于ISAC的即时定位和建

图技术可为驾驶中的车辆提供交通态势感知,检测行人或动物道路入侵,通过从传感器中提取的环境信息,车辆可以获得其当前的定位信息,并完成相应的导航和路径规划,有效辅助自动驾驶。

c) 手势和活动识别。当通感一体技术工作在6G的高频段上时,将提供更高的分辨率和精度,可以实现对目标细微动作的识别,捕捉更精细的活动和手势。人工智能技术凭借其超强的计算能力可以大幅提升通感一体技术的手势和活动识别性能。未来,传感将应用于大规模复杂的室内环境中,通信基站凭借其站点高、覆盖广的特点,可以用作传感器,作为融合传感的一部分,联合感知周围环境,实现大范围感知探测,大幅提高传感性能。高精度的手势和活动识别,将应用于VR/AR(如虚拟演奏)、智慧医院、自动驾驶、智能家居、智能工厂。例如,未来的智慧医院可凭借手势和活动识别能力进行呼吸检测、健身检测、跌倒检测、打喷嚏检测等,康复中心的患者在进行康复理疗练习时,智能感知检测系统可自动监督患者的练习动作是否正确,并给予自动提醒。再例如,未来的智慧交通感知检测系统可通过识别驾驶员的眨眼频率来识别疲劳驾驶,预防车祸的发生。

4 通感一体化测试验证

本文以低空无人机应用场景为例,验证基于5G的ISAC技术在低空无人机场景的远距离探测和精准跟踪能力,分别从速度精度、距离精度、位置精度及覆盖距离4个维度对低空无人机开展通感一体测试验证。测试验证中使用的通信感知一体化设备包括通感AAU基站设备(站高25 m,采用26 GHz毫米波频段),大疆经纬M300无人机。

4.1 测试用例

速度精度测试,其测试步骤如下。

a) 小区激活,开启感知功能。

b) 被测无人机以设定速度在目标空域内,从近处向远离基站方向飞行,观察显示界面上的速度值。

c) 从数据记录数据库提取log文件,获取通过基站感知得到的无人机的速度值。

d) 统计感知速度与无人机设定速度的速度均方差。

距离及位置精度测试,其测试步骤如下。

a) 小区激活,开启感知功能。

b) 被测无人机以设定速度在目标空域内,从近处

向远离基站方向飞行,观察显示界面上的距离值和感知轨迹;无人机定位系统实时记录位置结果数据。

c) 从数据记录数据库提取 log 文件,包括感知无人机的距离和位置信息,以及无人机定位系统的信息。

d) 统计感知结果与无人机定位系统结果的距离均方差和位置均方差。

跟踪能力测试,其测试步骤如下。

a) 小区激活,开启感知功能。

b) 被测无人机以设定速度在目标空域内,按预先设定的航路飞行,观察感知显示界面上的感知轨迹和无人机定位系统实时上报的位置轨迹,对比二者的匹配程度。

覆盖距离测试,其测试步骤如下。

a) 小区激活,开启感知功能。

b) 被测无人机以设定速度在目标空域内,由近处向远离基站飞行,记录感知检测到无人机的最远距离信息(或由远处飞回,记录感知检测到无人机的首次距离,即最远距离)。

4.2 测试结果

测试结果表明,基站感知检测到无人机的最远距离超过 1 200 m;相对无人机定位系统实时记录,感知精度达到分米级,基于每个点位被感知的位置与真实位置误差,可得出相应的 CDF 如图 4 所示。从图 4 可以看出,被测无人机的定位误差的中位值为 0.62 m。感知结果与无人机定位系统实时记录的匹配情况如图 5 所示,从图 5 可以看出,感知结果与无人机定位系统实时记录高度匹配,能稳定跟踪,满足低空无人机探测的应用需求。

5 结束语

本文从通感一体化系统模型入手,分析了无线信

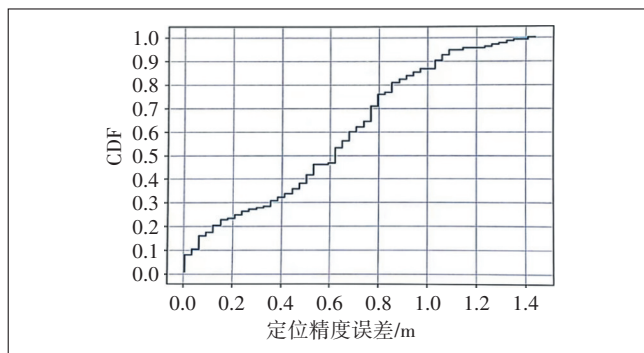


图 4 感知定位精度误差 CDF

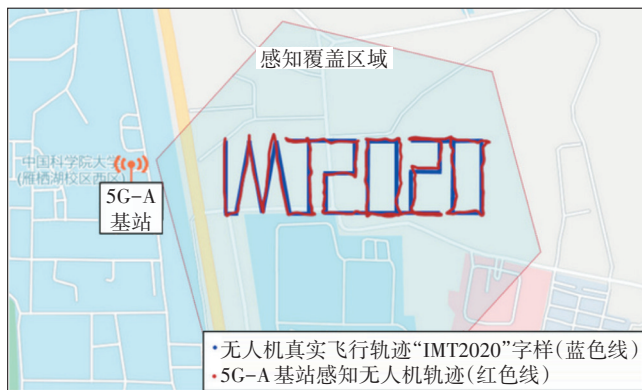


图 5 感知无人机轨迹与真实无人机轨迹对比

号发送、接收处理,以及频域雷达处理过程,包括插值、目标检测以及距离和速度估计;然后依据通感一体化技术特点,分析了通感一体化应用场景,包括高精度定位和追踪,同步成像、建图和定位,手势和活动识别三大应用场景;最后,基于 5G 测试验证了 ISAC 技术在低空无人机场景的远距离探测和精准跟踪能力,为通感一体化技术落地实施提供了技术依据。

未来,通感一体化技术具有广阔的应用前景,但现阶段的研究才刚刚起步,还有许多问题亟待解决,如通信功能和感知功能之间干扰消除问题,人工智能技术与感知信号处理办法的融合等,为未来的研究提出了挑战与研究方向。

参考文献:

- [1] BARNETO C B, RIIHONEN T, TURUNEN M, et al. Full-Duplex OFDM Radar With LTE and 5G NR Waveforms: Challenges, Solutions, and Measurements [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2019(10):4042-4054.
- [2] LIU A, HUANG Z, LI M, et al. A Survey on Fundamental Limits of Integrated Sensing and Communication [J]. Communications surveys & tutorials. 2022, 24(2):994-1034.
- [3] LIU F, CUI Y, MASOUROS C, et al. Integrated Sensing and Communications: Towards Dual-functional Wireless Networks for 6G and Beyond [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2022, 40(6):1728-1767.
- [4] CUI Y, LIU F, JING X, et al. Integrating Sensing and Communications for Ubiquitous IoT: Applications, Trends and Challenges [J]. IEEE Network, 2021, 35(5): 158-167.

作者简介:

范君,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划及优化工作;曾伟,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划及优化工作;钟检荣,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划及优化工作。