



专题：低空物联网与低空安全

分布式协作通感网络移动性管理

魏浩^{1,2}, 张梦洁^{1,2}, 王东明^{3,4}

- (1. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518055;
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东 深圳 518055;
3. 东南大学移动通信国家重点实验室, 江苏 南京 210096;
4. 网络通信与安全紫金山实验室, 江苏 南京 211111)

摘 要: 分析通感一体化技术的工业界研究以及应用情况, 基站自发自收感知模式是当前 5G-Advanced (5G-A) 阶段通感网络部署的普遍选择。基于基站自发自收感知模式, 确定数据级融合的感知协作层级, 根据感知特征测量精度定义感知置信度, 并作为感知数据融合的合并权值, 同时提出一种感知功能分布式部署的网络架构。设计非合作终端的分布式协作移动性管理方案, 其锚点基站的建立、协作基站的选择和锚点基站的切换均由通感基站控制执行。设计合作终端的分布式协作移动性管理方案, 其锚点基站的建立和协作基站的选择由通感中心控制执行, 而锚点基站的切换由通感基站控制实现。

关键词: 通感一体化; 感知置信度; 分布式网络; 移动性管理

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025097

Mobility management of integrated sensing and communication technology for distributed cooperative network

WEI Hao^{1,2}, ZHANG Mengjie^{1,2}, WANG Dongming^{3,4}

1. ZTE Corporation, Shenzhen 518055, China
2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China
3. National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China
4. Purple Mountain Laboratories, Nanjing 211111, China

Abstract: Analyzing the research and application of integrated sensing and communication (ISAC) technology in the industry, the self-transmit-self-receive sensing mode of base stations is a preferred choice for the deployment of ISAC networks in the current 5G-Advanced (5G-A) stage. Based on the self-transmit-self-receive sensing mode, the measurement accuracy of sensing features was utilized to define the sensing confidence metric, which was used as the combined weight for cooperative sensing data fusion. Then, a network architecture was provided with the distributed deployment of sensing functions. In accordance with the service characteristics of sensing for illegal targets and valid terminals respectively, the corresponding mobility management solutions were designed for distributed networks. For

收稿日期: 2025-01-13; 修回日期: 2025-03-03

通信作者: 魏浩, wei.hao@zte.com.cn



illegal targets, the establishment of anchor stations, selection of cooperative stations, and handover of anchor stations were all controlled and performed by the ISAC base stations. For valid terminals, the establishment of anchor stations and selection of cooperative stations were controlled and performed by the ISAC center, while the handover of anchor stations was controlled and implemented by the ISAC base stations.

Key words: integrated sensing and communication, sensing confidence metric, distributed network, mobility management

0 引言

6G将整合多种创新技术实现设备无缝互联、与信息实时交互,满足多样化场景多维度极致的性能需求,构建一个真正无处不在的智慧世界^[1-3]。2023年6月,国际电信联盟采纳通过IMT-2030(6G)框架,明确6G相对5G新增了泛在连接、人工智能通信融合、通信感知融合三大场景^[4-5]。其中,通信感知融合作为6G中具有代表性的新增场景和新型业务,引起学术界、工业界和标准组织的广泛关注^[6]。在国内,IMT-2020(5G)推进组与IMT-2030(6G)推进组均已发布通信感知融合场景用例、架构设计和关键技术方面的相关报告^[7-8]。同时,国际标准组织第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)也启动了5G演进(5G-Advanced, 5G-A)阶段通信感知融合的相关立项和研究^[9-10]。

对于低空经济、智能工厂、网联交通、医疗健康、智慧家庭等各应用领域,感知功能服务的重要价值已成为工业界共识^[11-15]。其中,低空经济是以无人机为主体、有人机为有效补充,综合涵盖城市管理、快递物流、地理测绘、农林植保、应急救援等领域的经济体系,已被列入国家战略性新兴产业,成为发展新质生产力的重要方向^[16-18]。工业界普遍认为,当前应充分依托广泛部署的蜂窝网络站址资源,利用通感一体化技术构建具备通信、导航、监管的综合低空网络体系,支持低空经济行业规模发展^[19-21]。其中,对于监管和安防领域,需要对未经允许侵入非开放空域的非合作终端进行检

测预警;而对于物流和巡检领域,需要对合作终端进行通信与感知的融合和互助。作为6G最有潜力的关键技术之一,通感一体化技术有望在5G-A阶段商用落地,通过赋予蜂窝基站感知能力和特性,使得当前移动通信系统可以提供无缝泛在的感知服务,实现通信和感知的资源共享和融合共生^[19,22-23]。

根据感知信号的发送端和接收端是否是同一设备以及设备类型,共分为6种感知模式^[8]。其中,基站自发自收感知模式,由单个基站发送感知信号并接收回波信号进行检测,不需要站间调度和同步等处理,即可实现单个基站对于目标的感知^[24-25]。因此,基站自发自收感知模式成为5G-A初期阶段工业界的普遍选择,并已成功在多个试验局部署和演示^[26-28]。然而低空场景中,无人机终端通常需要在网络中进行较长距离的移动,单个基站难以覆盖目标全部的活动范围^[23,29]。同时在无人机终端移动的过程中,基站与无人机终端之间的信道环境和相对几何分布快速变化,感知锚点基站也需要进行相应切换和重选,以保证感知的连续性和完整性^[20,30-31]。通过多个分布式基站的协作感知进行信息联合处理,可以获得更全面的感知视角以提升感知精度,从而弥补单个基站的覆盖盲区和空洞,满足长距离、大范围、高可靠的感知需求^[20,22,25,29]。因此,如何通过分布式通感网络中各节点之间有效的信息交互,结合非合作终端和合作终端的业务场景特点,实现多站协作感知以及移动性管理,是通感一体化技术和通感网络走向规模商用,所必须解决的问题和面对的挑战^[20,32-33]。

1 协作感知网络架构

为保证覆盖和服务的连续性，蜂窝网络部署时一般都会考虑基站之间存在交叠区域。对于通信来说，通过多站协作数据传输方式，可以降低交叠区域的用户干扰提升系统性能。同样对于感知来说，可以基于蜂窝网络的规模组网，通过多站之间的协作感知，突破单个基站的感知能力极限，实现广域连续的感知服务^[20]。而作为新的业务形态，通信与感知又有很大不同。从通信角度来看，基站之间的交叠区域，可以根据协议制定的信号发送功率和资源配置大致确定。从感知角度来看，基站接收回波信号的强度，还与目标终端的雷达截面积（radar cross section, RCS）等因素有关。而无人机终端在运动过程中，其相对于基站感知角度的等效 RCS 波动很大^[34]，基站之间的感知交叠区域很难确定。

因此，在通信感知融合的场景中，多站协作感知是通感网络必备的处理能力。而感知协作层级的选择和系统网络架构的设计，需要充分考虑感知业务的特点以及网络部署的灵活性和可扩展性。

1.1 感知协作层级

基于分布式通感网络，多站协作感知可以得到多角度、多路径的观测结果。通过感知信息联合处理，可以减小误差影响获得协作感知增益，提升感知的完整性和准确度^[25,33]。

关于多站感知协作层级，根据对原始数据的处理程度，可以分为信号级、符号级和数据级 3 种感知信息融合方式^[33]。其中，信号级融合和符号级融合都属于相参协作方式，处理流程相对复杂、占用传输资源较多。虽然其理论上协作感知性能较好，但对于各基站空间配准和时间配准的要求较高。尤其是要求各基站的回波信号所对应的感知区域一致，这会造成多站协作时，各基站之间感知信号的收发和调度策略相互耦合实现困

难^[29,35-37]。而数据级融合属于非相参协作方式，对于感知原始数据预处理程度最高，可以有效减少数据处理压力和传输资源占用，同时对于各基站只需要空间坐标系统统一和感知采样时间对齐^[22,38]。虽然可能因预处理过程的信息损失出现一定的感知精度降低，但可以通过多站协作获得分集增益，且各基站之间感知信号的收发和调度策略是解耦的，网络部署时可扩展易实现。因此，数据级融合适用于大量感知数据处理的大范围感知业务^[25]，也是当前工业界普遍选择的实现方式。

关于数据级融合的特征合并方式，加权平均法是一种广泛使用的方案，其中感知信号的信噪比是较为常用的权值方式^[38]。由于感知精度是工业界认可的感知性能指标^[6]，本文基于感知特征测量精度，提出基于感知置信度的权值生成方式。在感知过程中，基站对目标终端在一个相干处理时间间隔内，通过感知信号的发送和接收处理，得到目标终端的感知特征，包括位置、速度、加速度等，可以称为目标终端感知特征的一个快照。考虑对各基站目标终端的感知快照的位置特征进行融合，可知各基站关于目标终端在三维坐标系中的位置特征测量精度为^[39]：

$$\delta = \sqrt{\sigma_R^2 + R^2(\sigma_\phi^2 + \sigma_\theta^2)} \quad (1)$$

其中，

$$\begin{aligned} \sigma_R &= \frac{c}{2B\sqrt{2\gamma}} \\ \sigma_\phi &= \frac{\phi_{3dB}}{1.6\sqrt{2\gamma}}, \phi_{3dB} \approx 0.886 \frac{\lambda}{D_\phi} \\ \sigma_\theta &= \frac{\theta_{3dB}}{1.6\sqrt{2\gamma}}, \theta_{3dB} \approx 0.886 \frac{\lambda}{D_\theta} \end{aligned} \quad (2)$$

其中， R 为基站到目标的径向距离， c 为光速， B 为信号带宽， γ 为信噪比， λ 为波长， D_ϕ 为水平方向阵列孔径， D_θ 为垂直方向阵列孔径， ϕ_{3dB} 为水平方向 3 dB 功率波束宽度， θ_{3dB} 为垂直方向 3 dB 功率波



束宽度, σ_R 为径向距离精度, σ_ϕ 为水平方向距离精度, σ_θ 为垂直方向距离精度。定义位置特征的感知置信度为位置特征测量精度的倒数, 感知置信度的数值越高表示测量越准确。在融合过程中, 各基站将目标的位置特征和感知置信度发送到融合中心, 融合中心对各基站感知置信度进行归一化生成权值之后进行加权合并, 得到融合位置特征为:

$$\mathbf{p} = \sum_{n=1}^N \eta_n \cdot \mathbf{p}_n \quad (3)$$

其中, N 为协作基站数量, $\mathbf{p}_n$ 为第 n 个基站位置矢量, η_n 为第 n 个基站相应的归一化合并权值:

$$\eta_n = \frac{\frac{1}{\delta_n}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{\delta_n}} \quad (4)$$

这样, 通过对各基站的感知特征赋予不同的权值, 可以使得感知置信度较高的基站对最终融合结果的贡献更大, 从而提升多站协作感知融合数据的精度。

1.2 网络架构

通感一体化的网络架构设计, 需要结合感知的业务特性和关键技术, 实现网络系统中感知功能与通信功能的融合共生。IMT-2020 (5G) 推进组于 2022 年 11 月发布《5G-Advanced 通感融合网络架构研究报告》, 归纳了 3 种可选的 5G-A 通感融合网络架构^[40]。IMT-2030 (6G) 推进组在 2023 年 10 月发布的《6G 通感融合系统设计研究报告》中, 分析了网络架构和功能对 6G 通感融合系统的影响^[41], 并在 2024 年 11 月发布了《通感一体网络架构设计及关键技术研究报告》, 从逻辑功能、接口设计和关键技术等方面对 6G 通感一体网络架构展开设计研究^[8]。上述报告倾向于将感知特性作为核心网的一个功能, 同时考虑与其他核心网功能的接口交互。而根据当前工业界试验部署情况, 处于接入网的基站已经承载了感知信号发送接收、无线感知资源调度、感知数

据处理等多种感知功能。在对目标终端的感知过程中, 基站赋予其本地身份以便对目标终端在接入网层面进行相应的管理, 并可以进一步通过多站协作实现目标终端感知特征的融合和身份的全局唯一。因此, 可以将感知功能在核心网和接入网之间进行一定程度的分配^[11], 由基站相应承载部分感知过程控制和感知任务管理等功能。这种综合式架构的设计理念, 也逐渐得到工业界的认可^[19]。

本文基于通感一体化技术的工业界研究和应用情况, 给出一种感知功能分布式部署的网络架构。通感基站与通感中心网络架构如图 1 所示, 通感基站与通感中心组成一个分布式的通感网络。通感基站 (以下简称基站) 同时具备通信和感知能力, 可以进行感知信号收发和无线资源调度。通感中心接受各通感基站的感知能力注册, 并可以根据具体的感知业务需求, 对各通感基站进行感知过程控制和感知任务管理。各通感基站基于 S_n 接口进行站间信息交互, 通感基站与通感中心之间通过 S₁ 接口进行数据和信令传递。通感基站和通感中心均包括感知数据处理、感知过程控制和感知任务管理功能。通感基站通常位于接入网。而通感中心可以位于核心网, 是一个综合性的网元功能体, 或者是多个网元功能体组成的集合, 适用于广域范围感知业务场景^[8]。同时通感中心也可以从核心网下沉为本地边缘计算节点, 位于某一个区域的中心机房, 是这个区域所有通感基站的控制中心和算力中心, 适用于局域范围感知业务场景^[11,29]。根据不同的业务类型和场景, 多站协作过程和移动性管理过程可以分别由通感中心或者通感基站来控制和管理。而目标终端感知数据的融合, 也可以分别由通感中心或者感知锚点基站来处理。

对于目标终端而言, 被基站感知的过程是非主动和透明的^[19]。感知到该终端的多个基站都会赋予其一个本地感知身份, 来标识相应的感知特征和感知轨

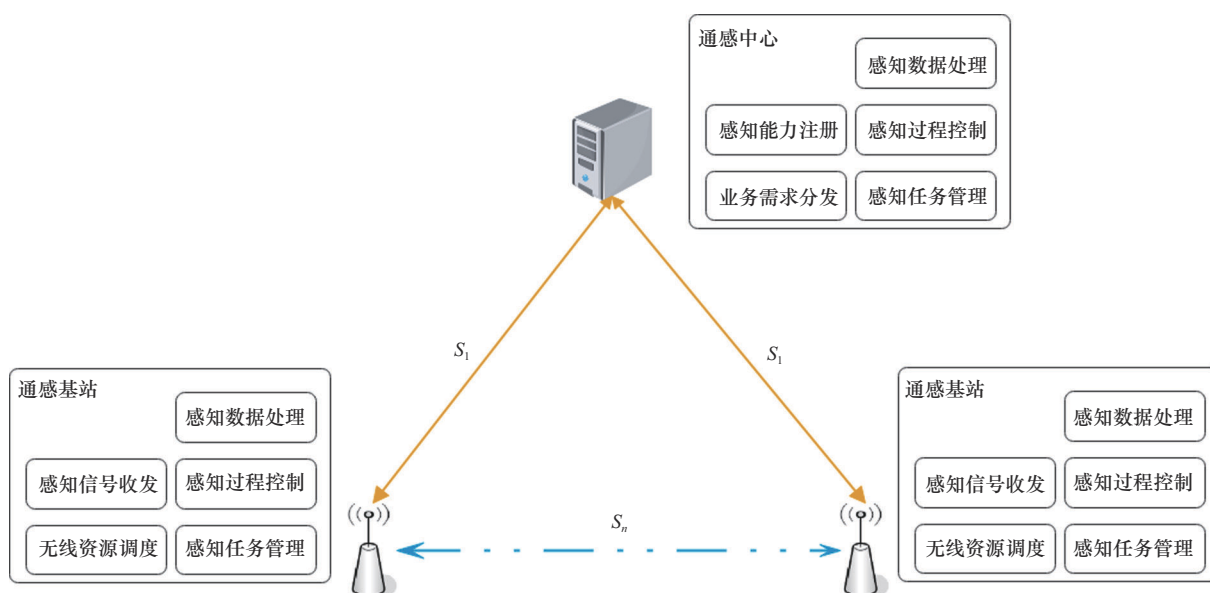


图1 通感基站与通感中心网络架构

迹。因此，网络中存在多个感知身份不唯一的情况。通感网络需要通过多站协作对目标终端进行感知特征融合、感知轨迹去重和全局身份构建。当目标终端在网络中移动时，其与相应多个协作基站之间的感知信道都会发送变化。在移动性管理时，除了需要基站之间进行信息协商^[31,42]，还需要考虑多站之间感知数据的融合处理。因此，对于感知场景，多站协作感知融合是目标终端移动性管理过程中所必需的关键原生特征。

2 非合作终端移动性管理

在低空场景中，监管和安防是重要的应用领域，需要对未经允许侵入非开放空域的非合作终端（如黑飞无人机、鸟类等飞行物）进行检测预警，实现特定空域的电子围栏^[19,22]。非合作终端不与通感网络进行通信信息交互。对于非合作终端的多站感知数据融合，可以采用集中式方案。基站将目标终端的感知特征和感知轨迹报告给通感中心，由通感中心对各基站上报的感知特征和感知轨迹进行匹配、融合和去重，再赋予全局身份标识。同时，也由通感中心来进行感知锚点基站的切换。在通感网络规模较小、目标终端数量

较少时，集中式方案是简单有效的。但随着通感网络规模增大、目标终端数量增多，这种方案会造成基站与通感中心之间的传输速率急剧提高，同时通感中心的计算复杂度和开销也会急剧增大。

因此，本文提出一种分布式移动性管理方案，包括感知锚点基站建立过程和感知锚点基站切换过程。通过基站之间的信息交互，选择目标终端相应的感知锚点基站，并进行多站感知数据融合。同时，当目标终端在网络中移动时，通过感知锚点基站和协作基站之间的信息交互，进行感知锚点基站的切换。非合作终端移动性管理如图2所示。

2.1 感知锚点基站建立

当目标终端在网络中被多个基站检测到时，需要确定其相应的感知锚点基站，进行多站感知数据融合。感知锚点基站建立如图2(a)所示，包括协作融合请求、协作融合应答、融合信息通报和融合信息确认4次交互过程，具体步骤如下。

步骤1 协作融合请求。本基站将感知到的每个目标终端的感知特征和感知轨迹分别赋予一个感知本地身份，同时得到其感知置信度。本基

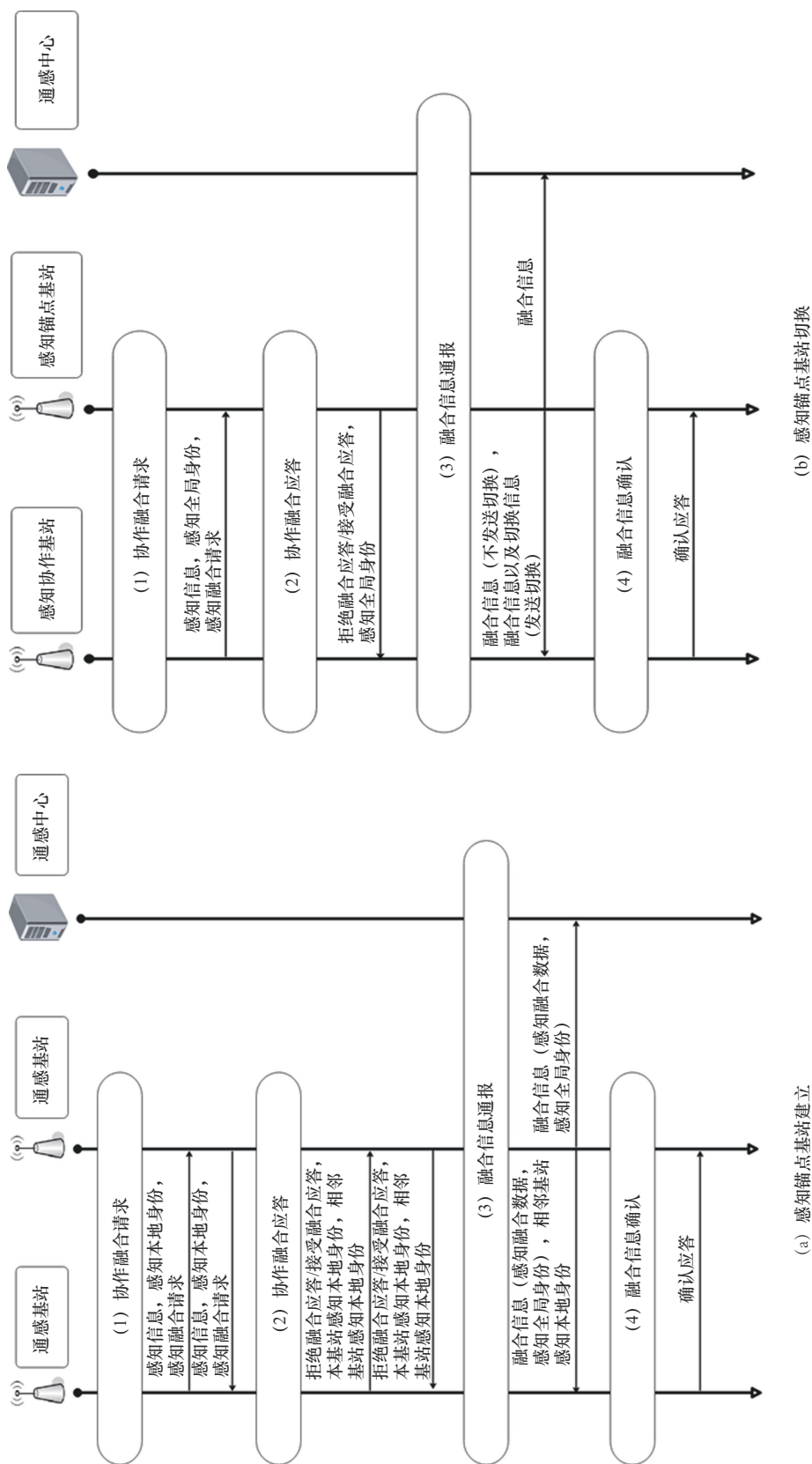


图2 非合作终端移动性管理

站将目标终端感知信息（包括感知特征、感知轨迹和感知置信度）与感知本地身份发送给所有相邻基站，并且发送感知融合请求。本基站将相邻基站感知信息与本基站感知信息进行匹配关联，同时计算本基站感知置信度与相邻基站感知置信度的差值。如果本基站感知到的目标终端相邻基站没有感知到，则认为相邻基站的感知置信度为 0；反之则认为本基站的感知置信度为 0。一般在实际部署时，每个基站会维护一个与本基站距离较近的基站列表，认为是相邻基站，并通过 Sn 接口进行连接。

步骤 2 协作融合应答。本基站向所有感知置信度差值大于 0 的相邻基站发送拒绝融合应答，以及相应目标终端的本基站感知本地身份和相邻基站感知本地身份。本基站向所有感知置信度差值小于 0 的相邻基站发送接受融合应答，以及相应目标终端的本基站感知本地身份和相邻基站感知本地身份。如果本基站收到的相邻基站应答指令中存在拒绝融合应答，那么本基站不作为该目标终端的感知锚点基站；如果本基站收到的相邻基站应答指令均为接受融合应答，那么本基站作为该目标终端的感知锚点基站。

步骤 3 融合信息通报。感知锚点基站将本基站与各基站关于同一个目标终端的感知数据进行融合处理，并赋予感知全局身份。感知锚点基站将目标终端的感知融合数据和感知全局身份通报给通感中心。同时，感知锚点基站将目标终端的融合信息（包括感知融合数据和感知全局身份）以及相应相邻基站感知本地身份，通报给所有相邻基站。

步骤 4 融合信息确认。相邻基站收到融合信息之后，向感知锚点基站发送确认应答指令。所有相邻基站将目标终端相应的感知全局身份和感知本地身份相关联，同时继续对该目标终端进行感知。

这样，通感网络对于每个目标终端，完成了

相应的感知锚点基站建立以及多站协作感知数据融合。同时，所有感知到该目标终端感知锚点基站的相邻基站，都是该目标终端的感知协作基站。在后续的感知过程中，该目标终端的感知信息只需要由感知协作基站向感知锚点基站传递，不再需要双向传递，这样可以有效减少基站之间的信息交互。

2.2 感知锚点基站切换

在分布式方案中，感知锚点基站建立是基于目标终端的感知置信度来选择的。当感知锚点基站发生切换时，切换的决定和指令须由源感知锚点基站做出，而目的感知锚点基站也须在相应的感知协作基站之中来选择。同时，需要设置相应的感知置信度阈值，避免感知锚点基站频繁切换，保证感知数据融合处理过程的稳定性。感知锚点基站切换如图 2（b）所示，同样包括协作融合请求、协作融合应答、融合信息通报和融合信息确认 4 次交互过程，具体步骤如下。

步骤 1 协作融合请求。感知协作基站将目标终端的感知信息和感知全局身份发送给感知锚点基站，并且发送感知融合请求。感知锚点基站计算本基站感知置信度与感知协作基站感知置信度的差值。

步骤 2 协作融合应答。如果感知锚点基站与感知协作基站的感知置信度差值大于设定阈值，则感知锚点基站向感知协作基站发送拒绝融合应答以及目标终端的感知全局身份。如果感知锚点基站与所有感知协作基站的感知置信度差值都大于设定阈值，则感知锚点基站保持不变。如果感知锚点基站与某些感知协作基站的感知置信度差值小于设定阈值，则感知锚点基站向感知置信度最高的感知协作基站发送接受融合应答以及相应目标终端的感知全局身份，同时感知锚点基站向其余的感知协作基站发送拒绝融合应答以及相应目标终端的感知全局身份。这时将发生感知锚点基站的切换，感知置信度最高的感知协作基



站将成为新的感知锚点基站（即目的感知锚点基站）。

步骤3 融合信息通报。感知锚点基站将本基站与各协作基站的感知数据进行融合处理，并将融合信息通报给感知中心。如果感知锚点基站不发生切换，则感知锚点基站将融合信息同时通报给所有感知协作基站。如果感知锚点基站发生切换，则源感知锚点基站将融合信息以及切换信息（即目的感知锚点基站信息）通报给所有感知协作基站。

步骤4 融合信息确认。感知协作基站收到融合信息（以及切换信息）之后，向源感知锚点基站发送确认指令。如果发生切换，目的感知锚点基站向其相邻基站进行通报，其相邻基站转为相应的感知协作基站。

这样，通过各基站之间的信息交互，实现了对非合作终端的移动性管理。感知锚点基站的建立和切换过程均为分布式方案，主要由基站来控制 and 执行，有效降低基站与通感中心之间的数据传输。

3 合作终端移动性管理

随着低空经济产业快速发展，无人机已逐步进入大众生活。例如，无人机快递物流和无人机巡检是工业界共识的高价值应用场景，多地城市已在建立试验局积极探索规模商用。在这种通信与感知强相关的业务场景中，无人机作为合作终端需要与通感网络进行通信信息交互，如物流无人机向网络上报位置信息、巡检无人机向网络发送实时巡检区域的视频。合作终端既是通信用户也是感知目标^[43-44]。通感网络需要支持无人机终端相应的信令交互和数据回传，并在广域覆盖范围内对无人机终端进行路径规划、资源管理和空域调度^[20-22]。其中，通感网络对无人机终端进行移动性管理时，不仅需要考虑感知锚点基站的选择和切换，也需要考虑通信锚点基站的选择和

切换。

低空场景中，无人机终端的移动速度较快，基于信道测量和反馈的过程时延较高，难以及时匹配信道的快速变化，会造成测量失效和通信中断^[19,45]。基于通感一体化技术，感知信号与通信信号在实现时共享收发设备并共用时频资源，可以认为通信信道参数与感知信道参数存在极大相关性^[46-47]。因此，基站可以利用感知过程及时获取信道状态信息，不需要信道测量和反馈过程来辅助网络进行基站的选择和切换，促进并提升系统的通信质量^[6,11,19,48]。

合作终端根据通信协议与基站建立通信连接，在网络中存在唯一的通信全局身份。而当多个基站感知到该目标终端时，它在网络中具有多个分布在各基站中的感知本地身份。因此，本文提出一种分布式方案，基于通信链路相关信息，对于目标终端的通信身份和感知身份、通信锚点基站和感知锚点基站进行统一。由目标终端相应的通感锚点基站进行多站感知数据融合处理，并通过通感锚点基站和协作基站之间、通感锚点基站和通感中心之间的信息交互，实现目标终端在分布式通感网络中的移动性管理。

3.1 通感锚点基站建立

当目标终端处于通感网络中时，既可以与基站建立通信连接，也可以被基站所感知检测到。其通感锚点基站的建立过程，包括通信身份与感知身份的统一以及多站协作感知数据融合。其中，通信身份与感知身份实现统一的具体步骤如下。

步骤1 目标终端与基站建立通信连接，接入网络。

步骤2 其接入基站确立为该目标终端相应的通感锚点基站，同时生成该目标终端在网络中全局唯一通信身份。

步骤3 通感锚点基站对目标终端进行感知，生成感知信息和感知本地身份。其中，感知信息

包括目标终端的感知特征、感知轨迹和感知置信度。

步骤4 通感锚点基站对该目标终端进行通信身份和感知身份关联,将两者统一为目标终端的全局唯一通感身份。

步骤5 通感锚点基站将该目标终端的感知信息和通感身份报告给通感中心。

其中,身份关联本质上是目标终端特征(包括位置、速度、加速度等)的匹配。通过通信链路传递的特征与数字身份(即通信身份)相关联,通过感知方式获得的特征与物理身份(即感知身份)相关联^[49]。基站可以将单个快照的多个特征组成特征向量,然后通过计算这两种方式得到的特征向量相似性,判断通信身份与感知身份是否关联^[46,49-51]。在实际无人机运营时,需要监管无人机是否按照申请的航线运行^[22]。因此,可以由目标终端的若干连续快照的位置坐标组成移动轨迹的位置向量。基站基于移动轨迹的位置向量进行匹配来进行身份关联,更为合适也更为准确。

通感锚点基站对目标终端进行感知,获得移动轨迹的位置向量,与感知身份相关联。而对于与通信身份相关联的移动轨迹的位置向量,本文提出3种获取方式。其一,考虑无人机终端一般都会装备高精度全球定位系统(global positioning system, GPS)测量仪,通过通信链路将移动轨迹的位置向量发送给锚点基站。其二,锚点基站通过通信链路向合作终端发送指令,指示合作终端按照指定轨迹进行移动。其三,合作终端通过通信链路向锚点基站发送一个候选轨迹集合,其中包含至少一条合作终端可以执行的移动轨迹。锚点基站选择其中一条轨迹发送给合作终端,指示合作终端按照指定轨迹进行移动。第一种方式需要终端周期性地向基站上报位置轨迹信息,位置轨迹的过程信息较为完整,但传输实时性要求相对较高。另外两种方式位置轨迹以整体

形式传输,传输实时性要求较低。在获得通信身份与感知身份相应的移动轨迹位置向量之后,通感锚点基站对其进行匹配计算相似性,从而将目标终端的通信身份与感知身份关联为全局唯一通感身份。

对于通感中心来说,可以基于各基站的感知能力注册,获得各基站的感知资源、感知范围和基站位置坐标等信息。通感中心在获得目标终端的感知信息和通感身份之后,可以根据各基站感知能力确定目标终端处于其感知范围内的基站集合。由此可以选择这些基站作为该目标终端的通感协作基站,与通感锚点基站一起进行多站协作感知。具体步骤如下。

步骤1 通感中心根据通感锚点基站报告的感知信息和通感身份确定其相应的通感协作基站,并将目标终端的感知信息、通感身份以及通感锚点基站的建立信息,传递给各通感协作基站。

步骤2 各通感协作基站对通感中心传递的感知信息与本基站的感知信息进行匹配,将本基站感知到的同一目标终端的感知本地身份与通感身份进行关联。

步骤3 通感中心通知通感锚点基站和各通感协作基站,对该目标终端进行多站协作感知。通感中心将各通感协作基站的位置坐标发送给通感锚点基站。

步骤4 通感协作基站将该目标终端的感知信息和通感身份发送给通感锚点基站。通感锚点基站将本基站的感知信息和各通感协作基站的感知信息进行感知数据融合处理。

步骤5 通感锚点基站将融合信息报告给通感中心,同时也发送给各通感协作基站。

与非合作终端不同,通感中心可以基于通信身份唯一识别合作终端。因此,可以通信身份为基础,建立统一的通感身份和通感锚点基站。同时,由通感中心进行通感协作基站的选择,有效



减少网络中各节点之间的数据与信令交互，过程也更为合理。

3.2 通感锚点基站切换

传统通信中，锚点基站切换需要基于终端与源锚点基站和多个候选基站之间的通信信道质量来决定。而如前文所述，考虑无人机场景信道的高时变性，无法采用时延和偏差较高的信道测量反馈过程。因此，可以利用实时的多站协作感知信息，辅助源通感锚点基站进行切换决策。而目的通感锚点基站，同样也须在通感协作基站之中

选择。合作终端通感锚点基站切换过程如图3所示，具体步骤如下。

步骤1 源通感锚点基站基于获得的目标终端

报告通信信道质量、本基站对于该目标终端的感知信息、各通感协作基站对于该目标终端的感知信息以及本基站与各通感协作基站的位置坐标，并根据切换条件进行该目标终端通感锚点基站的切换决策。

步骤2 源通感锚点基站做出切换决定之后，

向通感中心发送切换请求以及相应目的通感锚点

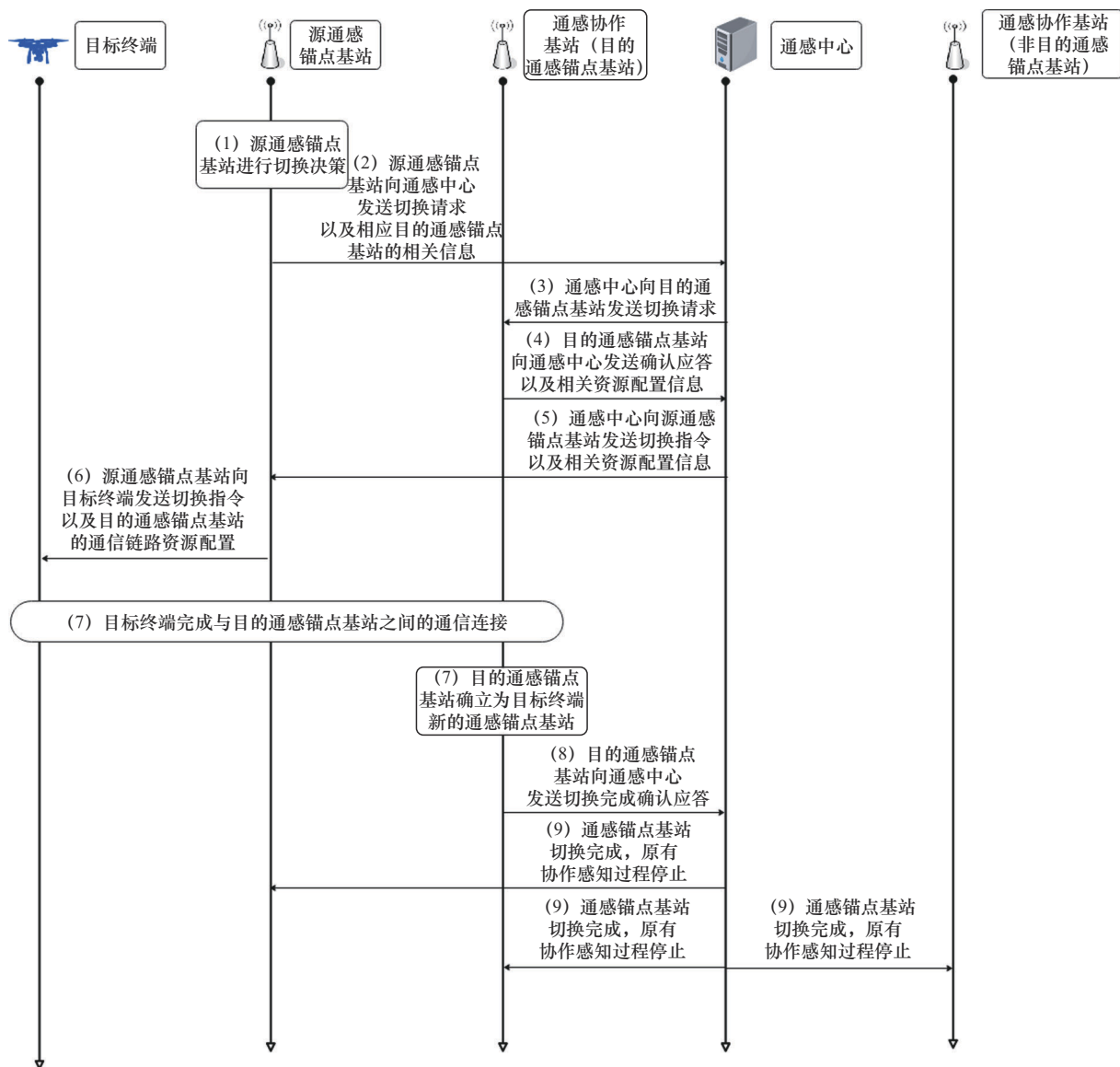


图3 合作终端通感锚点基站切换过程

基站的相关信息。

步骤3 通感中心向目的通感锚点基站发送切换请求。

步骤4 目的通感锚点基站向通感中心发送确认应答以及相关资源配置信息。

步骤5 通感中心向源通感锚点基站发送切换指令以及相关资源配置信息。

步骤6 源通感锚点基站向目标终端发送切换指令以及目的通感锚点基站的通信链路资源配置。

步骤7 目标终端完成与目的通感锚点基站之间的通信连接，目的通感锚点基站确立为目标终端新的通感锚点基站。

步骤8 目的通感锚点基站向通感中心发送切换完成确认应答。

步骤9 通感中心向源通感锚点基站以及各通感协作基站发送协作感知停止指令以及切换完成通知。

通感锚点基站切换完成之后，原有协作感知过程停止，新的协作感知过程由新的通感锚点基站执行并进行感知数据融合处理。

通感锚点基站的切换，包括通信链路的切换和感知链路的切换。因此，切换条件必须包含目标终端与源通感锚点基站之间的通信信道质量。同时，考虑基站和目标终端的相对位置是影响感知可靠性的关键因素，切换条件还包括目标终端与源通感锚点基站和通感协作基站之间的感知置信度以及空间距离。具体如下。

(1) 通感锚点基站与目标终端之间的通信信道质量 < 设定阈值。

(2) 通感锚点基站的感知置信度 < 设定阈值。

(3) 通感协作基站的感知置信度 > 设定阈值。

(4) 通感协作基站的感知置信度 > 通感锚点基站的感知置信度 + 设定阈值。

(5) 通感锚点基站与目标终端之间的空间距离 > 设定阈值。

(6) 通感协作基站与目标终端之间的空间距离 < 设定阈值。

(7) 通感锚点基站与目标终端之间的空间距离 > 通感协作基站与目标终端之间的空间距离 + 设定阈值。

切换条件可以是上述若干事件的组合，也可以是所有事件的集合。如果有多个通感协作基站均满足切换条件，那么可以选择其中感知置信度最高的通感协作基站作为目的通感锚点基站。

通感锚点基站的建立和通感协作基站的选择过程主要由通感中心控制。而多站协作感知和通感锚点基站切换过程主要由通感基站执行。其中，信令交互以集中式为主，而数据传输以分布式为主。这样，综合通信信息和感知信息，实现了对合作终端的移动性管理。

4 结束语

通过通信与感知的融合，本文提出一种通感网络目标终端移动性管理方案。通过网络中各节点之间有效的信息交互，分别实现对于非合作终端与合作终端的多站协作感知与锚点基站切换。

作为低空经济中有商业价值的应用场景，无人机行业正在快速发展，有望在5G-A阶段实现规模商用。任何面向提供广域覆盖服务的网络想要走向规模商用，移动性管理是其必须解决的关键问题和必备的核心技术。蜂窝网络从地面拓展至低空，由无人机终端带来的服务对象和信道环境的变化引发了全新的问题和挑战，需要新的算法和方案来实现相应的资源分配和连接管理^[31]。当前工业界对于无人机目标终端的移动性管理还在持续研究，结合人工智能等创新技术，构建灵活、智能、可扩展的通感网络架构^[8,23,42]。

同时，通信与感知的融合程度也由业务共



存迈向能力互助，再达成网络互惠^[6]。感知功能也将在与通信功能共享硬件、共用频谱、联合设计的过程中，逐步成为通感网络中所有设备和实体内在共生的基本能力。相信通感一体化技术将在5G-A/6G时代大放异彩，开拓更多通信感知融合的业务领域，并推动未来网络进入数字世界和物理世界融合的崭新时代。

参考文献：

- [1] YOU X H, WANG C X, HUANG J, et al. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts[J]. Science China Information Sciences, 2020, 64(1): 110301.
- [2] LIU G Y, HUANG Y H, LI N, et al. Vision, requirements and network architecture of 6G mobile network beyond 2030[J]. China Communications, 2020, 17(9): 92-104.
- [3] TATARIA H, SHAFI M, MOLISCH A F, et al. 6G wireless systems: vision, requirements, challenges, insights, and opportunities[J]. Proceedings of the IEEE, 2021, 109(7): 1166-1199.
- [4] ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R]. 2023.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G典型场景和关键能力[R]. 2022. IMT-2030(6G) Promotion Group. Typical scenarios and key capabilities of 6G[R]. 2022.
- [6] 江甲沫, 韩凯峰, 徐晓燕. 6G通信感知一体化系统的性能指标[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(5): 39-45. JIANG J M, HAN K F, XU X Y. Performance metric for 6G integrated sensing and communication system[J]. ZTE Technology Journal, 2022, 28(5): 39-45.
- [7] IMT-2020(5G)推进组. 5G-Advanced通感融合场景需求研究报告(第二版)[R]. 2023. IMT-2020(5G) Promotion Group. 5G-Advanced research report on the requirements of integrated sensing and communication scenarios (second edition)[R]. 2023.
- [8] IMT-2030(6G)推进组. 通感一体网络架构设计及关键技术研究报告[R]. 2024. IMT-2030(6G) Promotion Group. Report on the architecture design and key technologies of integrated sensing and communication network[R]. 2024.
- [9] 3GPP. NewSID: study on channel modelling for integrated sensing and communication (ISAC) for NR: RP-234069[R]. 2023.
- [10] 3GPP. Discussion on channel modeling methodology for ISAC: R1-2400342[R]. 2024.
- [11] 曾婷, 才宇, 张捷宝, 等. 面向6G通信感知一体化的关键技术和系统架构研究[J]. 无线电通信技术, 2024, 50(3): 461-468. ZENG T, CAI Y, ZHANG J B, et al. Study on key technologies and system architecture of integrated sensing and communication for 6G[J]. Radio Communications Technology, 2024, 50(3): 461-468.
- [12] 赵喆, 夏树强, 马一华, 等. 通感一体化系统的下行功率分配技术[J]. 移动通信, 2022, 46(5): 78-83. ZHAO Z, XIA S Q, MA Y H, et al. Downlink power allocation for integrated sensing and communication system[J]. Mobile Communications, 2022, 46(5): 78-83.
- [13] 李萍, 郭晓江. 通感一体化关键技术与应用[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(2): 72-78. LI P, GUO X J. Key technologies and application of ISAC[J]. ZTE Technology Journal, 2023, 29(2): 72-78.
- [14] 潘成康. 通信感知一体化技术思考[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(5): 53-56. PAN C K. Reflections on integrated sensing and communication technology[J]. ZTE Technology Journal, 2022, 28(5): 53-56.
- [15] 李佳澎, 张奇勋, 马丁友. 通感一体化中感知辅助通信的发展现状与展望[J]. 移动通信, 2023, 47(9): 96-100. LI J P, ZHANG Q X, MA D Y. Development status and prospects of sensing-assisted communication in integrated sensing and communication[J]. Mobile Communications, 2023, 47(9): 96-100.
- [16] 肖雅文. 低空经济, 正蓄势待飞[N]. 解放日报, 2024(12). XIAO Y W. Low altitude economy is gathering momentum and waiting to take off[N]. Liberation Daily, 2024(12).
- [17] 郭辰阳, 敖万忠, 吕宜宏. 充分把握发展机遇, 加快推进低空经济高质量发展[J]. 财经界, 2022(25): 36-38. GUO C Y, AO W Z, LYU Y H. Fully grasp the development opportunities and accelerate the high-quality development of low-altitude economy[J]. Money China, 2022(25): 36-38.
- [18] 刘牧洲, 肖海浪, 周晶, 等. 低空智能网联体系赋能低空经济规模化发展[J]. 信息通信技术与政策, 2024(11): 23-27. LIU M Z, XIAO H L, ZHOU J, et al. The low-altitude intelligent Internet of things system empowers large-scale development of low-altitude economy[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2024(11): 23-27.
- [19] 徐晓东, 李岩, 叶威, 等. 通信感知一体化应用场景、关键技术和网络架构[J]. 移动通信, 2022, 46(5): 2-8. XU X D, LI Y, YE W, et al. Application scenarios, key technologies and network architecture of integrated sensing and

- communication[J]. *Mobile Communications*, 2022, 46(5): 2-8.
- [20] 中国电信, 华为, 中兴, 等. 通感一体低空网络白皮书[R]. 2024.
- China Telecom, Huawei, ZTE, et al. The low-altitude network by integrated sensing and communication[R]. 2024.
- [21] 中国移动, 华为, 中兴, 等. 网络协作通感一体化技术白皮书[R]. 2023.
- China Mobile, Huawei, ZTE, et al. Network collaborative integrated sensing and communication[R]. 2023.
- [22] 叶威, 高树亮. 面向5.5G的通信感知一体化[J]. *信息通信技术*, 2021, 15(5): 27-33.
- YE W, GAO S L. Integrated sensing and communication towards 5.5G[J]. *Information and Communications Technologies*, 2021, 15(5): 27-33.
- [23] CUI Y H, LIU F, JING X J, et al. Integrating sensing and communications for ubiquitous IoT: applications, trends, and challenges[J]. *IEEE Network*, 2021, 35(5): 158-167.
- [24] 姜大洁, 姚健, 李健之, 等. 通信感知一体化关键技术与挑战[J]. *移动通信*, 2022, 46(5): 69-77.
- JIANG D J, YAO J, LI J Z, et al. Key technologies and challenges for integrated sensing and communication[J]. *Mobile Communications*, 2022, 46(5): 69-77.
- [25] 林祉秋, 张玖鹏, 闫实. 多基站协作通感一体化体系架构及关键技术研究[J]. *移动通信*, 2024, 48(6): 52-60.
- LIN Z Q, ZHANG J P, YAN S. Architecture and key technologies for multi-base station cooperative integrated sensing and communication[J]. *Mobile Communications*, 2024, 48(6): 52-60.
- [26] 李沸乐, 杨文聪. 5G-A通感融合网络架构及演进研究[J]. *邮电设计技术*, 2023(5): 33-38.
- LI F L, YANG W C. Research on network architecture and evolution of 5G-A integrated sensing and communication[J]. *Designing Techniques of Posts and Telecommunications*, 2023(5): 33-38.
- [27] 株洲新闻网. 全国首个机场128TR(自发自收)5G-A通感一体化基站在湖南张家界荷花机场开通[EB]. 2024.
- Zhuzhou News Network. The first 128TR (self collected) 5G-A integrated sensing base station for airports in China has been opened at Zhangjiajie Hehua Airport in Hunan Province[EB]. 2024.
- [28] 人民网. 浙江移动助推低空经济蓄势腾飞[EB]. 2024.
- People's Daily Online. Zhejiang Mobile promotes low altitude economy to take off with momentum[EB]. 2024.
- [29] WEI Z Q, JIANG W J, FENG Z Y, et al. Integrated sensing and communication enabled multiple base stations cooperative sensing towards 6G[J]. *IEEE Network*, 2024, 38(4): 207-215.
- [30] 姜大洁, 袁雁南, 周通, 等. 面向6G的通感算融合服务、系统架构与关键技术[J]. *移动通信*, 2023, 47(3): 2-13.
- JIANG D J, YUAN Y N, ZHOU T, et al. Services, system architecture and key technologies for 6G integrated communication, sensing and computing[J]. *Mobile Communications*, 2023, 47(3): 2-13.
- [31] WU Q Q, XU J, ZENG Y, et al. A comprehensive overview on 5G-and-beyond networks with UAVs: from communications to sensing and intelligence[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2021, 39(10): 2912-2945.
- [32] 尹浩, 黄宇红, 韩林丛, 等. 6G通信-感知-计算融合网络的思考[J]. *中国科学: 信息科学*, 2023, 53(9): 1838-1842.
- YIN H, HUANG Y H, HAN L C, et al. Thoughts on 6G integrated communication, sensing and computing networks[J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2023, 53(9): 1838-1842.
- [33] IMT-2030(6G)推进组. 6G通感一体化协作感知关键技术[R]. 2024.
- IMT-2030(6G) Promotion Group. Key technologies of collaborative integrated sensing and communication for 6G[R]. 2024.
- [34] LIU G Y, XI R Y, HAN Z X, et al. Cooperative sensing for 6G mobile cellular networks: feasibility, performance, and field trial[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2024, 42(10): 2863-2876.
- [35] XIE L, SONG S H, ELDAR Y C, et al. Collaborative sensing in perceptive mobile networks: opportunities and challenges[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2023, 30(1): 16-23.
- [36] WEI Z Q, XU R Z, FENG Z Y, et al. Symbol-level integrated sensing and communication enabled multiple base stations cooperative sensing[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2024, 73(1): 724-738.
- [37] LU X, WEI Z Q, XU R Z, et al. Integrated sensing and communication enabled multiple base stations cooperative UAV detection[C]//Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). Piscataway: IEEE Press, 2024: 1882-1887.
- [38] ZHANG Q X, GAO X Y. Joint communication and sensing enabled cooperative perception testbed for connected automated vehicles[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Piscataway: IEEE Press, 2022: 1-2.
- [39] 丁鹭飞, 耿富禄, 陈建春. 雷达原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.



- DING L F, GENG F L, CHEN J C. Radar principle[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2020.
- [40] IMT-2020(5G)推进组. 5G-Advanced通感融合网络架构研究报告[R]. 2022.
- IMT-2020(5G) Promotion Group. 5G-Advanced research report on the architecture of integrated sensing and communication network[R]. 2022.
- [41] IMT-2030(6G)推进组. 6G通感融合系统设计研究报告[R]. 2023.
- IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G research report on the design of integrated sensing and communication system[R]. 2023.
- [42] 李培, 曹亘, 李福昌. 通信感知一体化感知目标移动性管理研究[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 18-22.
- LI P, CAO G, LI F C. Research on mobility management of sensing target for integrated communication and sensing[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2024(7): 18-22.
- [43] IMT-2030(6G)推进组. 6G通感一体化空口关键技术研究报告[R]. 2024.
- IMT-2030(6G) Promotion Group. Research report on key technologies of integrated sensing and communication for 6G air interface[R]. 2024.
- [44] LU S H, LIU F, LI Y X, et al. Integrated sensing and communications: recent advances and ten open challenges[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2024, 11(11): 19094-19120.
- [45] MENG K T, WU Q Q, XU J, et al. UAV-enabled integrated sensing and communication: opportunities and challenges[J]. IEEE Wireless Communications, 2024, 31(2): 97-104.
- [46] CUI Y P, FENG Z Y, ZHANG Q X, et al. Toward trusted and swift UAV communication: ISAC-enabled dual identity mapping[J]. IEEE Wireless Communications, 2023, 30(1): 58-66.
- [47] 浙江大学. 融合光学相机和毫米波雷达的智能目标探测系统[R]. 2023.
- Zhejiang University. Intelligent target detection system integrating optical camera and millimeter wave radar[R]. 2023.
- [48] LIU X N, ZHANG H J, SUN K, et al. AI-driven integration of sensing and communication in the 6G era[J]. IEEE Network, 2023, 38(3): 210-217.
- [49] CUI Y P, ZHANG Q X, FENG Z Y, et al. Dual identities enabled low-latency visual networking for UAV emergency communication[C]//Proceedings of the GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2022: 474-479.
- [50] CUI Y P, ZHANG Q X, FENG Z Y, et al. Specific beamforming for multi-UAV networks: a dual identity-based ISAC approach[C]//Proceedings of the ICC 2023 - IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2023: 4979-4985.
- [51] AYDOGDU C, LIU F, MASOUIROS C, et al. Distributed radar-aided vehicle-to-vehicle communication[C]//Proceedings of the 2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20). Piscataway: IEEE Press, 2020: 1-6.

[作者简介]



魏浩 (1988-), 男, 博士, 中兴通讯股份有限公司高级工程师, 主要研究方向为毫米波无线通信、无蜂窝网络、通感一体化技术等。



张梦洁 (1994-), 女, 中兴通讯股份有限公司工程师, 主要研究方向为5G NRDC/NRCA、无蜂窝网络、移动性管理等。



王东明 (1977-), 男, 博士, 东南大学移动通信国家重点实验室教授、博士生导师, 主要研究方向为无线传输技术和通信信号处理。