

报告  
2022-07



# 5G-Advanced 通感融合场景需求 研究报告



# 研究报告要点

5G-A通信感知融合旨在基于移动通信基础设施使能感知服务，实现面向通感行业的一网多能。本研究报告针对通信感知融合的四大典型应用场景，包括智慧交通、智慧低空、智慧生活和智慧网络场景中的十五大典型应用案例，分析了基于通信基础设施使能感知业务的潜能，以及对应场景下的感知业务性能指标要求。面向智慧交通、智慧低空、智慧生活场景，基于移动通信网络进行位置、速度、角度等信息探测感知，提供低成本、高精度、无缝泛在的感知服务。面向智慧网络场景，基于感知信息辅助基站或终端波束管理、信道估计、能耗节省、资源调度与优化等，提升通信系统性能。通过通感融合应用场景的研究分析，将进一步挖掘5G移动通信网络的核心价值，带动发挥移动通信系统作为重要基础设施向感知领域延伸的技术优势，有效推进通信感知融合技术研究与应用产业的发展。

## 目录

概述	P1
智慧交通场景通感融合需求分析	P2
智慧低空场景通感融合需求分析	P10
智慧生活场景通感融合需求分析	P18
智慧网络场景通感融合需求分析	P30
标准化影响	P35
总结与建议	P39
参考文献	P40
缩略语	P46
主要贡献单位	P47

## 概述

随着移动通信技术的飞速发展，移动通信系统从2G一直演变到5G，空口传输能力不断加强，使能的业务也向垂直行业不断延伸。如今5G已全球规模商用，5G发展将进入新的分水岭。2021年4月27日，3GPP（3rd Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划）在第46次PCG（Project Cooperation Group，项目合作组）会议上正式将5G演进的名称确定为5G-Advanced（5G-A），标志着全球5G技术和标准发展进入新阶段。除了5G原有的移动带宽增强、超高可靠低时延、海量机器类通信的“三角能力”外，5G-A将向垂直行业更深领域扩展，加强智能维领域探索，从支撑万物互联到使能万物智联，为社会发展、行业升级创造价值。而感知服务将是实现未来5G-A智能网络升级、扩展行业应用的一个重要支撑能力，通信与感知融合成为5G-A一个重要演进方向。

通常，感知系统与通信系统具备不同的功能，二者独立存在。感知系统主要是获取周围环境或者物体的信息，从而实现定位以及追踪等目的。传统的感知技术主要是依赖于无线电波、雷达、红外线以及传感器等，例如，雷达是利用电磁波探测目标的电子设备。雷达发射电磁波对目标进行照射并接收其回波，由此获得目标至电磁波发射点的距离、距离变化率（径向速度）、方位、高度等信息。目前，雷达技术已经得到了广泛应用，比如机载、舰载、基地雷达等对目标进行检测和成像。而通信系统主要是借助电磁波在自由空间的传播，保证通信数据的传递。

通信感知融合基于软硬件资源以及频谱资源共存/共享在一张网上同时实现无线感知与无线通信功能。在5G-A阶段，通感融合旨在利用移动通信基础设施使能感知服务，实现一网多能，充分发挥移动网络优势满足不同场景下的感知性能要求，同时借助感知服务可以为通信性能带来一定提升。一方面，借助于通信系统实现感知维度的测量、降低感知硬件部署成本、发挥无缝覆盖网络优势有效扩展感知范围；另一方面，基于对无线通信信道环境的感知、识别与预测进一步创新无线通信资源管理、提升无线通信系统的性能。

未来通信感知融合技术应用场景较为广泛，可应用于大部分广域和局域场景，满足其通信和感知的双重需求，如智慧交通、智慧低空、智慧生活、智慧网络等。通信感知融合将开启超越传统移动网络联接的应用大门。为了使通信和感知高效共存，实现高性能的感知能力，产业需要共同推动通感融合技术研究、共同定义标准感知功能与接口、加强试验研发验证基于通信网络的感知应用能力。在后续章节中，本报告将主要研究分析典型场景下的通感融合应用需求，通过探讨利用移动通信系统作为关键基础设施向感知领域延伸的能力与优势，进一步挖掘5G技术的核心价值，推进通信感知融合技术研究与应用产业发展，为社会发展和行业升级创造无限可能。

## 智慧交通场景通感融合需求分析

### 2.1 应用案例1：高精地图构建

随着交通领域联网化、数字化、智能化、云化的趋势，通过汇集道路、车、人的信息来组成城市交通管理和优化的基础，支撑多种交通业务，是智慧交通的重要组成部分。无人化与自主化是智慧交通的主要特征，智慧交通在交通领域中充分运用物联网、云计算等技术，对交通管理、交通运输、公众出行等领域全方面进行管控支撑，使交通系统在区域、城市甚至更大的时空范围具备感知、互联、分析、预测、控制等能力，以充分保障交通安全、发挥交通基础设施效能、提升交通系统运行效率和管理水平。为了完整呈现实时高速路交通状态，及时准确的发现拥堵、事故、道路异常等交通事件，需要在城市路口和关键路段采集视频和多种路侧传感器信息。此外，车路协同是智能交通系统的重要发展方向，需要连接海量交通终端设备，实现视频、雷达等多种交通终端设备的数据采集和数据分析，高效感知路、车、人的实时状态。但当前感知设施部署还面临频谱资源紧缺、性能提升、部署成本高等众多挑战。

本章节主要列举了智慧交通领域里面比较典型的通感融合场景以及商业价值，5G网络提供感知能力，一方面实现道路的全方位感知，同时简化路侧设施部署，将加速智慧交通的发展。

#### 2.1.1 案例描述

自动驾驶集感知、决策和控制等功能于一体，是智慧交通场景的重要组成部分。人类驾驶是通过眼睛、耳朵等器官去感知车身周边环境，凭借道路记忆或传统导航地图，依靠驾驶经验及技巧保证汽车安全行驶并到达目的地。自动驾驶系统用传感器替代了人类感官，用地图替换了人的道路记忆，而高精地图是实现高阶自动驾驶的核心，能够为自动驾驶汽车提供车道级导航服务。目前，L3级别以上的自动驾驶系统中，高精地图已成为必不可少的组成部分。其不仅包含了更加丰富、精确的车道级信息，同时实现了路况内容的实时更新。通常情况下，高精地图包括道路属性（车道数、施工状态等）、交通设施（交通信号灯、斑马线、停止线等等）、车道模型（车道线、曲率/坡度、中心线、车道属性变化等）等信息，高精地图依赖于从激光雷达扫描、移动摄像头、连接传感器和GPS（Global Positioning System，全球定位系统）设备收集信息，通过不间断地对地图信息进行采集，从而保证地图数据始终处于最新状态。但是激光雷达在恶劣天气下效果较差，比如大雾、大雨或大范围的尘土。当前方大车遮挡导致探测死角，摄像头无法探测前方红绿灯。自动驾驶汽车行驶的过程中，由于需要车辆对自身位置进行实时定位，因此对高精地图提出更高的精度要求，此外考虑到实际路况信息的复

杂性，比如某些时刻自身车辆与旁边车道只有几十厘米距离的情况下，也需要有高精地图作为参考。

基于通信与感知融合技术，使用新一代无线网络的无线通信信号，可以在基站侧或者端侧实现低成本、低开销的环境感知能力，将最大数量的环境信息整合到新一代无线网络中，实现超分辨率成像、透视和夜视。如图1所示，一方面，利用通信感知融合基站或者多站协同可以实现对道路环境的感知，即针对区域的感知，利用基站的高视角，扩大感知范围，弥补车载传感器在恶劣环境下的感知缺陷和遮挡盲区，有效实现宏观道路匹配、车辆自定位和全局环境感知，为自动驾驶汽车安全运行提供超视距辅助。

另一方面，高精地图构建可包含端侧实时环境感知信息的测量反馈，并同时用于ADAS（Advanced Driving Assistance System，高级驾驶辅助系统）以提高驾驶的舒适性和安全性。基于通信与感知融合技术，车载设备利用无线通信信号获取感知数据，并将感知结果发送到网络侧提供给高精地图服务商以及ADAS。车辆行驶时，车载设备发送感知信号，并基于其他车辆的反射信号，感知其他车辆的距离和速度，将相关感知数据发送到网络侧和ADAS。在停车场使用自动或辅助泊车功能时，车辆发送感知信号，并基于停车位附近的物体（例如汽车、立柱）的反射信号，感知其他物体的距离和位置，将相关感知数据发送到网络侧和ADAS。

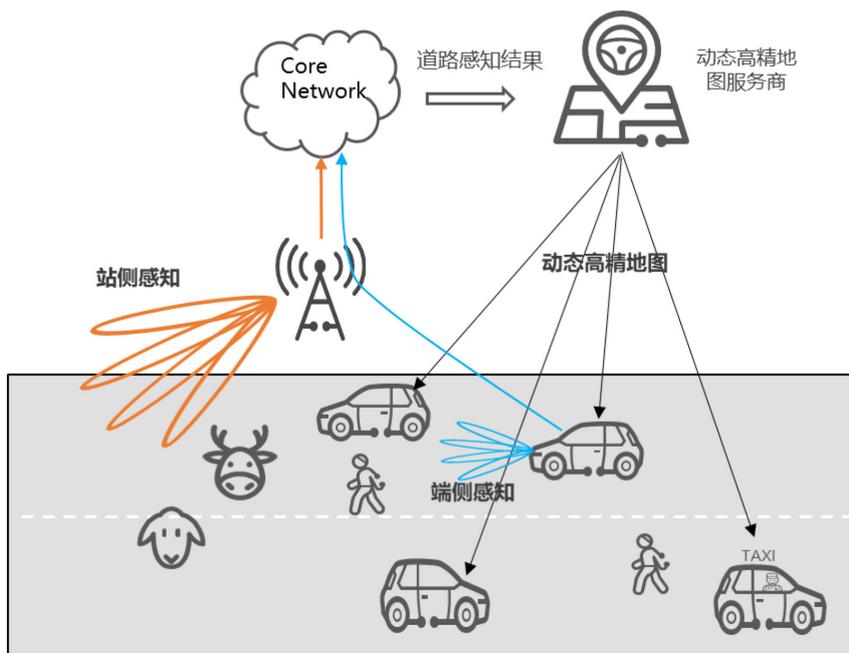


图1 动态高精地图构建示意图

注：本文中所有图均为示意图，仅针对通感融合某种工作模式举例示意

### 2.1.2 业务需求

参考5GAA (5G Automotive Association, 5G汽车联盟) 给出的高精地图场景需求[1], 给出了感知数据传输速率和感知时延需求。高清地图对于信息实时性、准确率、连续性具有很高要求, 因此刷新率、传输速率、时延要求高。由于地图主要是针对室外道路公共区域, 不涉及安全隐私风险。此外, 考虑到公路场景下, 主要是包括汽车、摩托车、行人等移动物体, 针对这些移动物体的尺寸、形状、移动速度、安全距离、路宽等给出了速度范围、距离分辨率、速度分辨率、距离精度、角度精度、速度精度。例如, 小车长度、宽度、高度分别为4m、1.7m、1.5m, 高速单车道宽度为3.75m, 限速120km/h, 速度超过100km/h的安全距离为100m, 速度低于100km/h的安全距离为50m, 当然还需考虑堵车等低速密集场景时车间距只在5-10m时, 对感知分辨率和精度的提出了更高要求。综上所述, 给出了下述感知业务指标需求。

表1 智慧交通高清地图构建感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 2\text{km/h}$
感知距离分辨率	$\leq 0.5\text{m}$
感知速度分辨率	$\leq 0.5\text{m/s}$
感知距离精度	$\leq 0.5\text{m}$
感知角度精度	$\leq 0.2^\circ$
感知速度精度	$\leq 0.5\text{m/s}$
感知数据刷新率	20Hz-30Hz
感知数据传输速率	30-50Mbps
感知时延	50-100ms
安全隐私	低

注: 根据感知服务等级不同、应用场景不同, 对指标需求不同, 例如低感知服务等级对感知数据刷新率要求为20Hz, 高感知服务等级对感知数据刷新率要求为30Hz。

## 2.2 应用案例2：道路监管

### 2.2.1 案例描述

智慧高速作为新型交通基础设施建设的核心场景之一，集成应用5G、物联网、大数据、人工智能等新兴技术，推进高速公路传统基础设施系统升级迭代，是推动交通领域绿色、智能转型的基础。当前，高速公路建设开始由高速增长阶段转向高质量发展阶段，在转型发展的过程中存在智慧管控手段不足的痛点。本案例主要从车辆信息统计和行人入侵高速检测两个子场景来展开描述。

#### 一、车辆信息统计

智能交通系统中，车辆信息统计包括车流量检测和车速检测。其中，车流量检测系统是非常关键的一个环节，包括对城市交通道路中的车辆、行人等进行信息采集和监控，实时地对道路当前的拥堵情况、紧急交通事故等进行智能化调度管理，从而实现了缓解交通阻塞和提高交通服务质量的作用。传统的车流量统计技术包括感应线圈检测、波频检测（如超声波检测和微波检测）、视频检测等等。但是传统统计技术存在诸多约束和不足之处。例如，感应线圈检测是基于环形线圈在磁场中的电磁感应原理计算出道路中的车流量，但是线圈填埋方式费事费力，维护成本高。波频检测的方法是利用电磁波的反射特性，检测器向车辆发出电磁波并接收反馈信息进行检测，但是这种方法检测距离有限并且分辨率低。视频检测方法是通过监控摄像头来捕捉道路中车流量的信息，通过一系列图像处理和分析算法对车辆目标的特征进行提取，但是检测结果受环境影响较大，由于光照强度变化产生的阴影，使得车辆在车流密集时很容易发生粘连问题，导致车辆检测存在误差，影响车流量统计的准确性。

如图2所示，基于通信与感知融合技术，利用通信感知融合基站或者多站协同实现全天候、不间断地探测行驶车辆的移动轨迹和移动速度，在监控交通道路、卡口等重要路段统计各类车辆进出区域的数量以及车辆行驶速度，从而根据实时监控的车流量分析路口、路段的交通状况，为交通调度、路况优化提供精准参考依据。

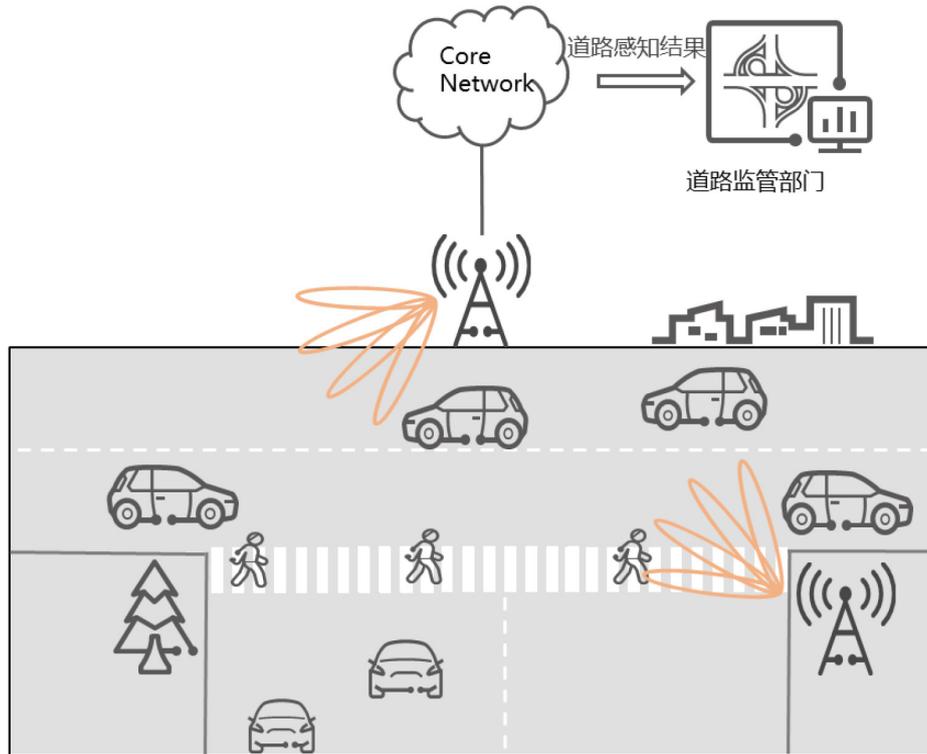


图2 车辆信息统计示意图

## 二、行人入侵高速检测

高速公路是最低限速60km/h的全封闭道路，通常车流量大、车速快。“高速公路，行人勿入”是高速交通安全常识，但行人上高速已经成为最易引发高速公路事故因素之一。根据交管单位发布的行人违法上高速的案例，比较典型的示例是以下几种：高速服务区工作人员在上下班途中横穿高速公路、周边村民横穿高速公路抄近道、行人上高速拾荒、客车驾驶员在高速路行驶过程中甩客等等。行人、非机动车违法上高速公路的危害极大，不仅危及自身生命安全，还会危害高速公路行车安全。高速公路车速较快，驾驶人很难发现突然横穿道路的行人，有时驾驶人即便发现了，往往也来不及刹车避让，最终导致碰撞事故发生。同时为了躲避违法进入高速公路的行人，驾驶人往往会采取紧急避让措施，但这种情况极易导致车辆失控，危及驾乘人员的安全。

如图3所示，基于通信与感知融合技术，利用通信感知融合基站对高速周边环境进行检测，定位并跟踪入侵高速公路的行人。同时，还可以第一时间通知交管单位进行执法，劝阻行人赶紧离开，保障高速公路的安全行驶环境。

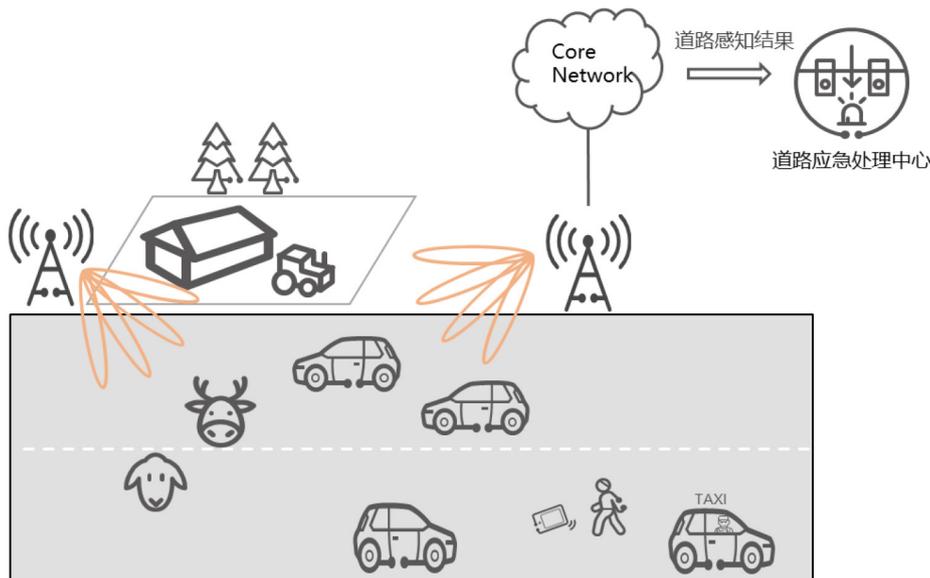


图3 行人入侵检测示意图

综上所述，基于通信与感知融合技术，利用通信感知融合基站或者多站协同可以实现对道路环境的感知，实现全方位、全天候、不间断地探测行驶车辆的移动轨迹和移动速度，并将感知信息上传至处理中心，还可以利用感知通信融合技术对车辆进行持续跟踪，实现事件状态的动态监测、全面提升高速公路运行状态智能感知能力，为高速公路交通安全提供数据支撑。

### 2.2.2 业务需求

道路监管的感知业务需求同时适用于车辆信息统计和行人入侵高速检测。道路监管对于信息实时性、连续性要求较低，但对准确度要求较高，因此刷新率、传输速率、时延要求可以适当降低。由于监管主要也是针对室外道路公共区域，不涉及安全隐私风险。其它参数指标类似2.1中的分析，但指标要求可以低一个等级。综合考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表2 智慧交通道路监管感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 2\text{km/h}$
感知距离分辨率	0.5m-1m
感知速度分辨率	0.5m/s-1m/s
感知距离精度	0.5m-1m
感知角度精度	$0.2^\circ$
感知速度精度	0.5m/s-1m/s
感知数据刷新率	10Hz-20Hz
感知数据传输速率	10-30Mbps
感知时延	100-500ms
安全隐私	低

## 2.3 应用案例3：高铁周界入侵检测

### 2.3.1 案例描述

随着高速铁路技术的快速发展和大规模投入运营，列车速度不断提升，列车的安全运行愈发重要。由于列车运行的环境有高架桥、山区以及隧道等等，针对高铁沿线及相关设施的破坏活动时有发生，轨道异物入侵问题已经严重影响到了铁路的安全行驶，给高铁运行安全带来了严重的威胁，因此需要对轨道进行检测防护，防止异物入侵轨道。

表3列举了不同种类的异物给铁路运输带来的安全危害。异物入侵事件具有突发性和随机性，发生的时间和地点往往很难预测。传统铁路安防工程量大、成本高且需要人工操作进行干预。此外，现有技术误报率过高、无人值守区域导致监控盲点，已经越来越难以达到日益提升的安全运输环境需求。

表3 异物入侵的类型和危害

异物类型	典型异物	危害
地址灾害	塌方、滑坡、落石	阻断列车运行线路
车辆	列车、机动车辆	与列车发生碰撞
人/动物	行人、牛、羊	与列车发生碰撞

目前，面向高速铁路的5G技术在车地之间已经建立了满足支持高速移动、高速率、高可靠、高实时的通信链路。如图4所示，基于通信与感知融合技术，通信感知融合基站可以实现对铁路轨道环境进行感知，实现全天候的异物入侵检测。

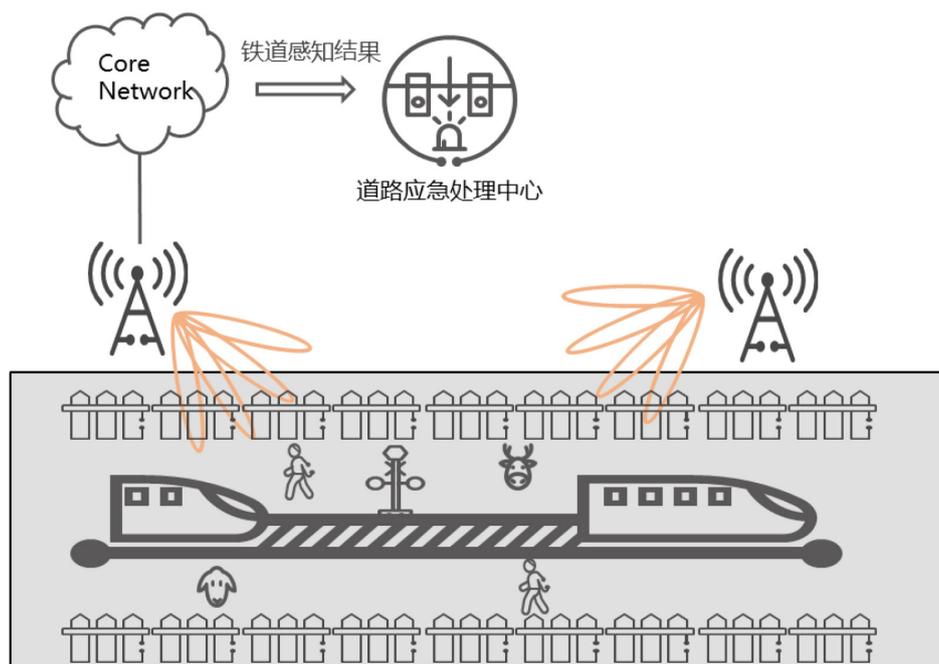


图4 高铁周界入侵检测示意图

### 2.3.2 业务需求

国铁周界检测主要是针对车辆、人、大型动物、塌方滑坡等进行检测，因此检测物体尺寸可以以分辨人为基准（1.7m\*0.5m），移动速递以人步行为基准（2km/h）。入侵高铁周界属于高危型事

件，因此对于信息实时性、准确率、传输速率具有一定要求，但考虑到入侵物体速率较低，刷新率和时延要求可稍微降低。而由于主要是针对室外铁道公共区域，不涉及安全隐私风险。根据《高速铁路设计规范》[2]，高速单车道宽度为1.435m，护坡宽度3m，单轨路基宽度8.6m，可以推断出安全保护带宽度可以为3-4m，所以给出了下述感知业务指标需求。

表4 智慧交通高铁周界入侵感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 2\text{km/h}$
感知距离精度	0.5m-1m
感知角度精度	$0.2^\circ$
感知数据刷新率	10Hz-20Hz
感知数据传输速率	5-10Mbps
感知时延	100-500ms
安全隐私	低

## 智慧低空场景通感融合需求分析

根据中国民航局2019年第一季度无人机云数据统计[3]：运行高度在120m以下的无人机占96.5%，1000m以下的无人机占据99.9%。未来几年无人机在国内将有数百亿元产业空间，预测到2025年，国内无人机市场总规模将达750亿。其中行业应用农林植保约为200亿，安防市场约为150亿，电力巡检约为50亿，而用于航拍娱乐的消费级市场为300亿。借助于5G网络，低空无人机发展迈向全新阶段，无人机能全天候、全空域执行侦察、预警、通信等多种任务，同时无人机也可广泛应用于航拍、警力、城市管理、农业、地质、气象、电力、抢险救灾等垂直行业。在未来城市中，将有大量无人机被应用于

工业巡检、治安巡逻、交通运输等场景，另外还有部分无人机被应用于繁多的细小领域，例如保险取证、畜牧监测、文物保护。

目前的无人机空域管理系统并不能做到针对群体性飞行的管理，包括空中防碰撞、流量管控、空域管控，也无法解决无人机与民航、通航之间空域使用的冲突。面对未来数以百万架的无人机，依旧存在着监管不力、安全等问题，主要有以下几点原因：

- 1) 无人机监管难度大，低空无人机数目多，体积小，执行任务复杂多样，很难用雷达来监控它们。
- 2) 无人机缺乏有效的信息获取手段，难以全面、及时感知规避障碍物，导致空中碰撞的风险增加。
- 3) 从无人机运营方面，缺乏高效飞行任务的申报渠道，造成黑飞现象屡禁不止。

针对上述问题，本章节主要列举了无人机领域内的通感融合场景，以期有效地利用通信感知融合技术，获得更为全面的空域信息，能够更好地识别潜在威胁目标，确保低空无人机更安全、更可靠的规避飞行，构建更加稳定的无人机网络控制及运行系统。

面向无人机场景，利用基站通信功能实现信息回传和飞行控制；利用基站对一定区域进行感知可识别无人机的飞行状态、检测障碍物、监测气候变化等，提供监管类和辅助飞行类服务，进一步地，利用基站对机上终端的感知功能可针对特定无人机进行监管。

具体智慧低空感知业务场景可归纳如下：

- 无人机监管：针对存在电子围栏的区域，若感知到无人机接近围栏边界或将突破围栏限制时，给出围栏告警；
- 无人机避障：对空域进行全方位多角度的探测并将感知结果提供给无人机，为避障预警提供冗余量，提升避障成功率；
- 飞行入侵监测：监测特定区域，若感知到非法无人机，则给出入侵告警；
- 飞行路径管理：感知无人机位置、高度、航向、速度等信息，若发现与原计划飞行轨迹不符，则给出飞行一致性告警；同一区域存在多个无人机时，根据各无人机的位置、高度、航向、速度等信息，预测其航迹，若预计无人机间将发生冲突，则给出冲突告警。

### 3.1 应用案例1：无人机监管和避障

#### 3.1.1 案例描述

下面主要介绍无人机监管和无人机避障两大应用场景。

##### 一、无人机监管

轻小型民用无人机在航拍、农业、测绘等领域大显身手，同时也会干扰民航飞行，造成事故。为

实现对无人驾驶航空器的依法管理，中国民航局发布了《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》[4]。条例明确，除空中禁区、机场、军事禁区、危险区域等周边一定范围内，微型无人机无需批准可以在真高50米以下空域飞行，轻型无人机可以在真高120米以下空域飞行。此外，按照相关规定，无人机飞行前还要向空管部门申请飞行空域和计划，得到批准后才能行动。除此之外任何飞行都叫“黑飞”。但是，当前很多无人机飞行并未严格遵守国家相关规定，导致未经许可闯入公共及敏感区域、意外坠落、影响客机正常起降、碰撞高层建筑等“黑飞”事件时有发生。在实践中，通过技术手段限制非法违规飞行，是防止“黑飞”的主要手段。比如，主流无人机厂商均推出了电子围栏功能，无人机接近不准起飞的地带会自动发出警报，并无法操控进入禁飞区域。目前，除了机场附近得到了较严格的电子围栏保护，类似轨道交通沿线、高铁站、码头等重点区域，依然是一些电子围栏的盲点。

基于通信与感知融合技术，利用通信感知融合基站或者多站协同实现对特定区域的全天候、不间断地探测无人机的出现或邻近、以及跟踪无人机的移动轨迹和移动速度，以实现非法进入的无人机进行监管，为安全低空提供精准参考依据。

## 二、无人机避障

无人机感知与规避技术是实现未来无人机空域集成应用的核心技术之一。由于中低空以及超低空的空域越来越“拥挤”，无人飞行器与其他物体发生碰撞的风险与日俱增，造成了极大的安全隐患。通常，无人机基于搭载的机载传感器（如雷达）对空间环境进行感知，主要的感知目标包括飞行空域的各类合作/非合作动态目标以及各类静止障碍物。在复杂的无人机任务环境和气象条件下进行目标的检测、跟踪、识别，实现精确、稳定的目标状态获取和可靠的态势感知和威胁评估是无人机环境感知的主要挑战。目前，主流无人机型具备全向感知与避障系统，应用了红外感知、目视感知系统、毫米雷达波等多种技术，能够探测在其安全邻域或空域监视范围内是否存在障碍物（包括静止物体或运动的其它飞行器），通过分析自身和障碍物的相对运动状态，由操作手或自动进行分析决策，从而解除潜在的碰撞危险。感知系统是无人机感知与规避系统中第一个环节，需要检测并获取障碍物信息，为决策系统提供支撑。

出于对单机传感设备带来的高成本考虑，一些无人机可能不会安装或只安装低能力的用于避障的传感设备。那么对于这些中小型无人机，可以借助通信感知融合基站实现对空域中无人机进行面向区域或者面向特定目标/设备粒度的感知，将周围环境的感知结果（比如障碍物的位置、形状和其他无人机的飞行速度）提供给处理中心，可以实现无人机避障。此外，单机感知和避障系统由于建筑物等遮挡存在探测范围受限的问题，通信感知融合基站的连续组网可以对空域进行全方位多角度的探测并将感知结果提供给无人机，可以为避障预警提供冗余量，提升避障成功率，如图5所示。

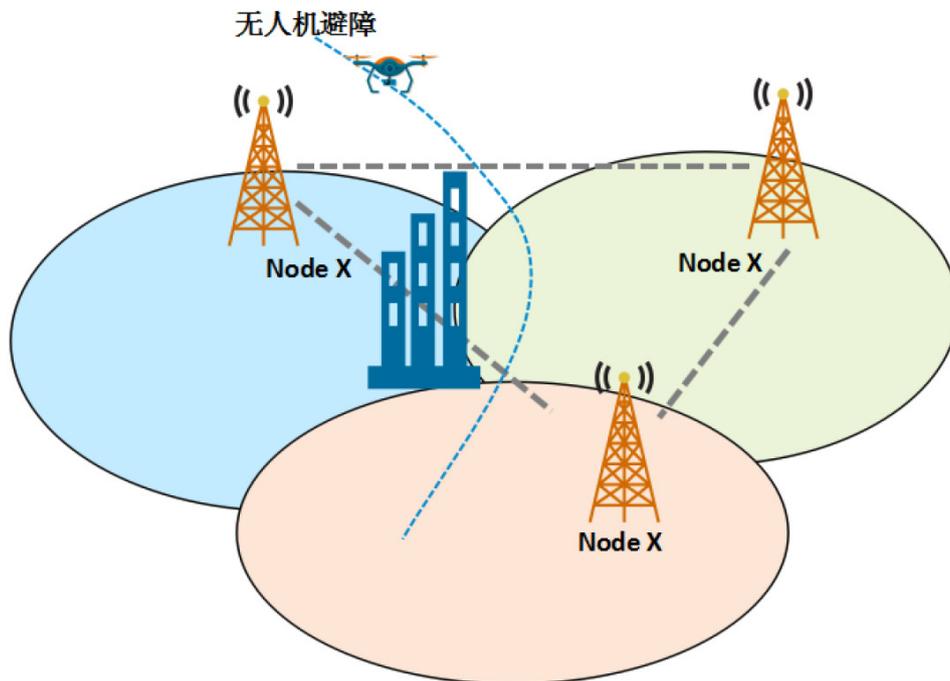


图5 无人机避障示意图

### 3.1.2 业务需求

对无人机的感知指标是参考雷达能力。感知数据量和感知数据刷新率、感知带宽、感知特征、感知方法等因素有关，在该场景中，需要对无人机周围环境进行感知，感知特征（障碍物的位置、形状和其他无人机的飞行速度等）众多，感知数据量大，基站得到的感知信息发送给核心网感知管理功能会对基站和核心网之间的通信速率有要求，特别是在实时性要求较高的情况下，感知数据传输对通信速率的要求高。此外，感知时延应该是毫秒级别的。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表5 智慧低空无人机监管和避障感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 10\text{km/h}$
感知距离分辨率	$\leq 10\text{m}$
感知距离精度	$\leq 0.5\text{m}$
感知角度精度	$\leq 0.5^\circ$
感知速度精度	$\leq 0.5\text{m/s}$
感知数据刷新率	0.3Hz-5Hz
感知数据传输速率	10-30Mbps
感知时延	100-500ms
安全隐私	低

## 3.2 应用案例2：飞行入侵检测

### 3.2.1 案例描述

随着无人机市场的不断拓宽，越来越多的民用无人机进入到生活当中，无人机被广泛地应用于民事和军事领域，比如航拍摄影、商业表演、物流配送等等。越来越多的民用无人机进入到生活当中，在带来便利的同时也造成了“黑飞”事件频发，严重危害公共安全和个人隐私。无人机“黑飞”的定义，在2.2.1.1章节中已有相关描述，详细定义可参见中国民航局发布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》。目前对无人机的监管存在盲区，给社会的安全和公共秩序造成了不容忽视的危害。例如，近期每年都存在无人机扰航事件发生，导致航班延误，扰乱客机飞行任务和秩序。对于体育馆、广场等公共活动区域，无人机入侵还可能潜在地威胁到人群的人身安全，导致安全事故发生。

无人机具有飞行高度低，有效探测面积小，不容易被侦测发现的特点，当前的无人机探测技术包括雷达探测、音频探测、视觉探测等等。雷达探测技术根据对雷达回波的多普勒频移信息的分析，进一步探测运动目标。音频探测技术通过采集声音信号并进行信号处理，提取无人机的声音特征进行无人机探测。视觉探测技术通过采集图像信息进行图像处理实现无人机的探测。但是，当前的探测技术

也存在诸多缺点，例如雷达探测易受低空杂波影响，多普勒效应不明显，反射面积小，雷达检测困难且成本较高。音频探测受环境噪声干扰大，探测距离较短，适用范围较小。视觉探测技术主要依赖于运动目标检测技术，探测精度不高。

由此可见无人机“黑飞”情况的避免除了加强有效的无人机监管之外，在通感融合系统中，可以利用无线基站，对覆盖范围内进行全空域检测，定位并跟踪侵入到范围内的无人机，可利用通感网络实现对无人机位置信息的实时感知，进而实现面向固定区域的无人机入侵监测。此外，考虑到当探测空域内的无人机入侵之后，会立即采取行动来驱赶“黑飞”的无人机，无需对入侵空域的无人机的数量进一步识别，因此通感场景下的业务需求可以不用过多考虑感知分辨率。而且由于探测空域较大（如机场10km\*10km）且存在安全缓存区，所以不需要过高的感知精度要求。该需求可广泛应用于政府机关、旅游景点、港口码头等固定重点安全区域以及地点灵活的重大活动保障（例如演唱会、开/闭幕式等）。基于同一实现技术逻辑，可针对无人机的飞行范围实现电子围栏预警：利用感知网络，针对划定电子围栏的区域，若网络感知到无人机接近围栏边界或将突破围栏限制时，给出无人机突破围栏告警，可有效提高无人机飞行安全。如图6所示，无人机进入医院电子围栏范围内，有严重干扰医院急救直升机的起飞/降落的可能，对医院里的人员和物品可能造成影响。通过无人机飞行入侵检测，让无人机及时避开电子围栏，可有效避免该影响。

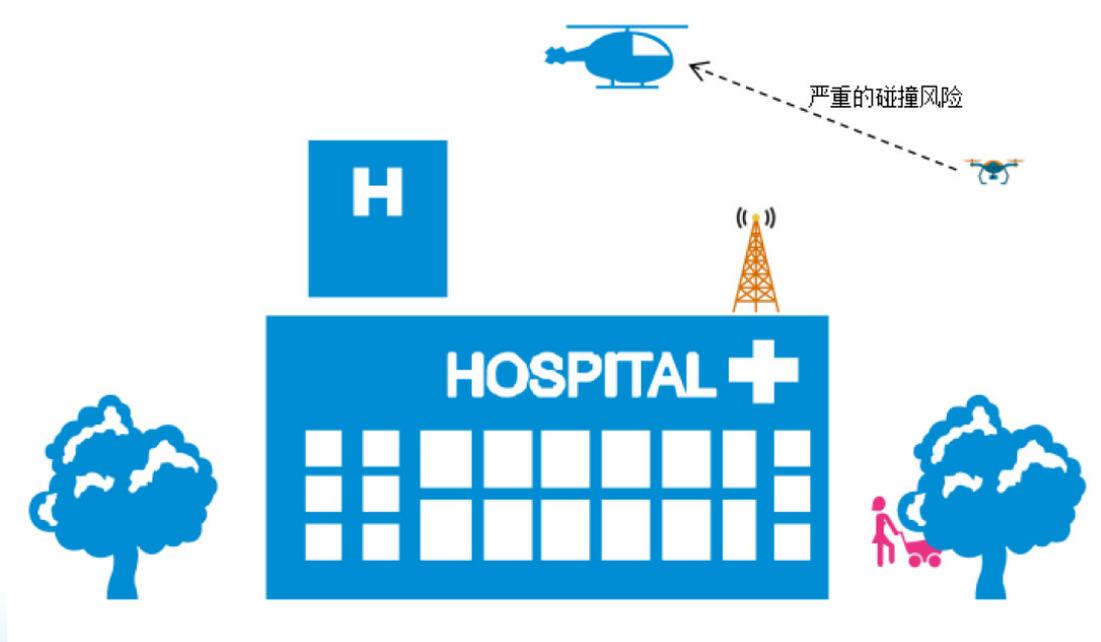


图6 无人机突破电子围栏示意图

### 3.2.2 业务需求

感知精度相关指标参考雷达能力。该场景下的技术要求相比路径管理或避障场景的技术要求要低（精度要求低），感知数据量相比路径管理应用低。在该场景中，无需对无人机身份进行识别，因此安全隐私要求低。综合考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表6 智慧低空飞机入侵检测感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 10\text{km/h}$
感知距离精度	50m
感知数据刷新率	0.3Hz-2Hz
检测概率	$\geq 95\%$
虚警概率	$\leq 5\%$
感知数据传输速率	5-10Mbps
感知时延	100-500ms
安全隐私	低

## 3.3 应用案例3：飞行路径管理

### 3.3.1 案例描述

随着无人机的广泛应用和普及，无人机在执行飞行任务时，如何在有限的时间内避开环境中的障碍物和拥堵航线，规划合理、安全、有效的飞行路径规划直接影响无人机的飞行效率。无人机路径规划是无人机自主飞行的关键因素之一，它指的是为无人机规划出从起始点到目标点的一条或者多条实际可飞的路径。一般情况下根据环境信息和各条航线上的无人机飞行状况，选择最优路径，以避开障碍物、避免飞行拥堵、防止进入飞行限制区、防止在人员密集区域飞行等。

一方面，对于合法的受监管无人机，会将其自身信息注册登记到运营商网络和无人机监管中心。利用基站的感知能力，通信网络可获得无人机位置、高度、航向、速度等信息，并将上述信息提供给相关的无人机服务商或飞行管理中心，基于对各条航线上的无人机数量和飞行速度等信息的统计，可

辅助其对无人机飞行路径的管理。具体地，当目标无人机接入通信网络后，利用自带GPS等设备或蜂窝网络定位技术，获得定位信息并将坐标发送给无人机服务商或飞行管理中心。基于无人机位置信息和基于感知得到的各条航线上的无人机飞行状况，无人机服务商或飞行管理中心的无人机操作系统依据反馈信息对既定飞行路线作出调整，同时通信网络可利用感知或高精度定位等技术对无人机进行定位跟踪，进行飞行路径辅助监测，如图7所示。

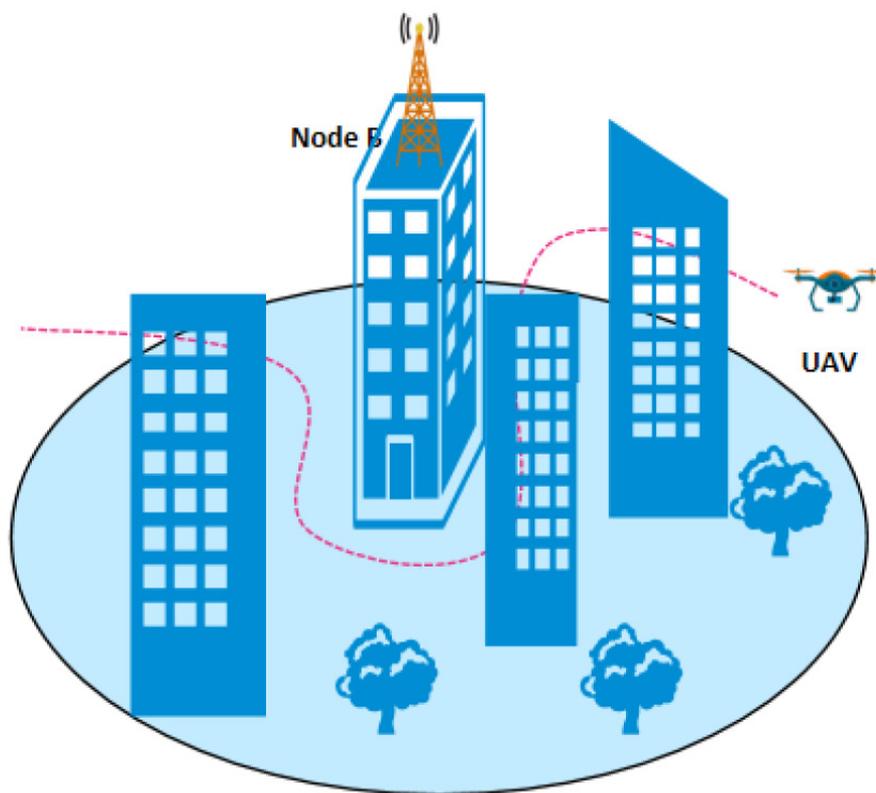


图7 无人机路径管理示意图

另一方面，对于非法的无监管无人机，其可能会无意或有意地闯入无人机航线上，影响其它合法无人机的正常飞行甚至导致重大安全事故，因此需要对此类无人机进行及时发现及时处理。通信网络可以通过基站对各航线进行实时感知，当出现不可识别的非法无人机时，快速反馈给飞行管理中心进行相应应急处理，如现场捕获非法无人机并定责等。

需要说明的是本案例中的合法无人机是指网联无人机，即可实现与基站接入的通信终端。通信网络可利用通信功能实现信息回传与飞行控制，同时通过感知功能，识别无人机的飞行状态，飞行路线

中的路障等，提供辅助飞行服务。

### 3.3.2 业务需求

感知精度的相关指标参考雷达能力。在该场景中，既需要对无人机特征进行识别，也需要对周围环境进行识别，感知信息较多，感知数据量大。此外，需要对无人机的进行实时控制，因此，对于端到端的感知时延要求高。在该场景中，需要识别被感知无人机的身份，安全隐私要求也高[5]。综合考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表7 智慧低空飞行路径管理感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	$\geq 10\text{km/h}$
感知距离分辨率	10m-20m
感知距离精度	0.5m-1m
感知角度精度	$0.5^\circ-0.8^\circ$
感知速度精度	0.5m/s-1m/s
感知数据刷新率	0.3Hz-2Hz
感知数据传输速率	30-50Mbps
感知时延	50-100ms
安全隐私	高

## 智慧生活场景通感融合需求分析

智慧生活应用范围很广。5G-A通感融合旨在通过通信设备间的信号传输感知生活场景中的环境

信息或者环境变化的特征，用于服务于人们的生活，如健康监测、家居安全、家居健身服务、出行安全等。结合5G-A通信网络空口特点，当前智慧生活领域应用通感融合技术的主要应用案例包括呼吸监测、入侵检测、手势/姿态识别、运动健身监测、天气监测等。

## 4.1 应用案例1：呼吸监测

### 4.1.1 案例描述

呼吸频率是重要的生命体征，能够有效反映当前身体健康状况，呼吸与人的健康状况息息相关，呼吸急促或呼吸不畅等症状都反映了身体的非健康状况，例如常见的感冒、流感、肺部病毒感染等疾病，也会引发咳嗽、鼻塞等呼吸问题，由于上呼吸道堵塞引起的呼吸暂停症状更是会威胁到患者的生命健康。

在临床医学上，现有医疗设备都是通过有线连接技术获取高精度的呼吸信号，检测器监测由于人体呼吸运动产生的胸腹部压力、呼吸音、气流、温度、胸部阻抗等各种生理参数的变化，接触式检测在医院病床监护场景下被广泛使用，但在居家生活中对日常睡眠进行长期不间断的检测则不适用。一部分人不希望使用可穿戴设备，影响睡眠舒适度，且购买专门的设备以及维护等增加了额外的成本开销。其次，使用过程中可能会因为人体的随机活动导致传感器接触不良或者直接脱落，并且佩戴的检测设备对于部分患者可能产生皮肤刺激，例如婴儿或有皮肤烧伤的病人等。因此，如何在室内实现持续的非接触式呼吸监测技术，是迫切需要解决的问题。常见的非接触式呼吸检测技术例如谐振电路调频法对于电流过于敏感，如电路中本身存在的电路噪音会产生干扰，检测准确度存在问题；涡流检测方法则会带来一定的副作用；红外热成像检测法会因为周围环境的温度导致一定程度的误差，机器视觉检测方法通过摄像头收集人体的视频信息间接获取呼吸信息，但是该方法受到光照条件的影响，并且不能有遮挡，应用场景进一步受到了限制。

相比较之下，利用无线信号检测能够克服以上不足，且由于无线信号在绝大部分场景中广泛存在，不仅可以应用于医疗领域的病床监护也可以应用于日常家庭睡眠情况监测，具有无接触、低成本的优点。

关于呼吸监测，通过基站和终端间发送信号，以及接收信号和感知测量来进行呼吸监测如图8所示。

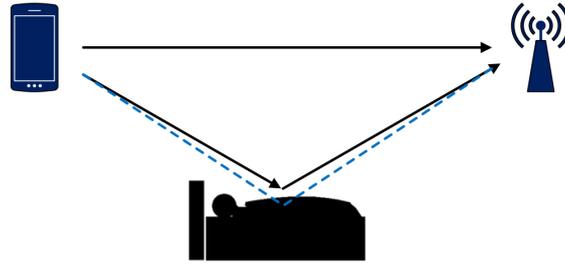


图8 基站和终端间收发信号的呼吸监测示意图

基于3GPP信道模型可进行初步评估，假设采用CDL-D (Cluster Delay Line-D, 簇延时线-D) 信道，其中选择一簇为呼吸影响的反射路径且功率设定为10.1dB，呼吸时胸腔起伏假设为0~0.005m (5mm)，呼吸频率设为0.2Hz。根据信噪比和环境中有无其他移动物等情况分别进行仿真验证，在1根发送天线和4根接收天线、不同信噪比、不同NLOS (Non-Light Of Sight, 非视距) 簇移动状况下仿真结果如图9-图12所示。

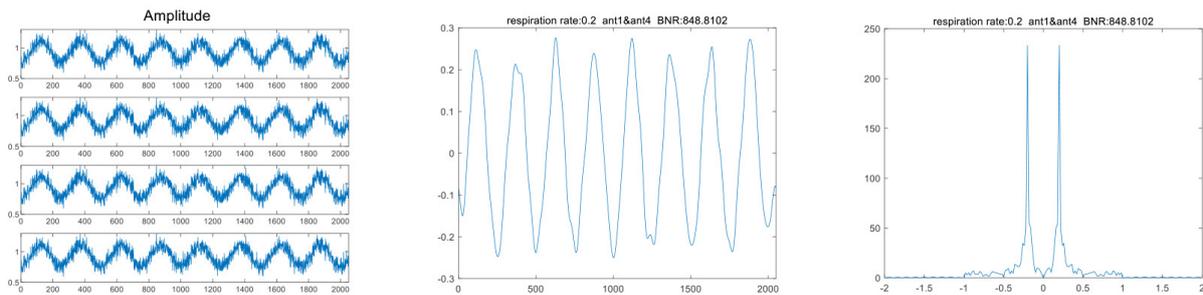


图9 20dB信噪比下环境中无移动物的仿真结果

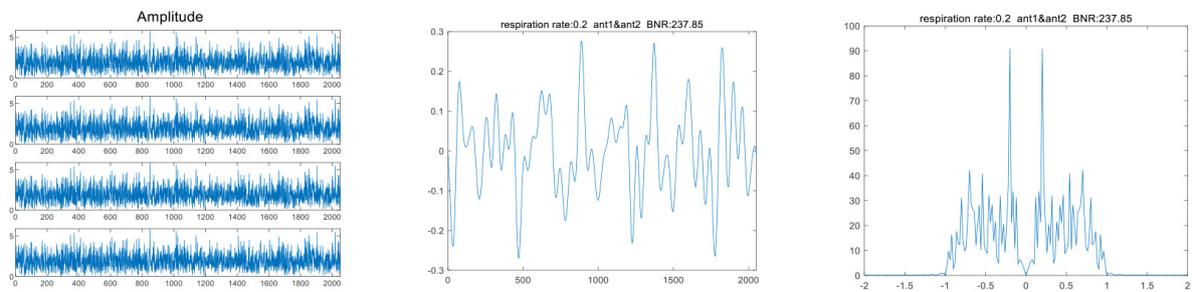


图10 0dB信噪比下环境中无移动物的仿真结果

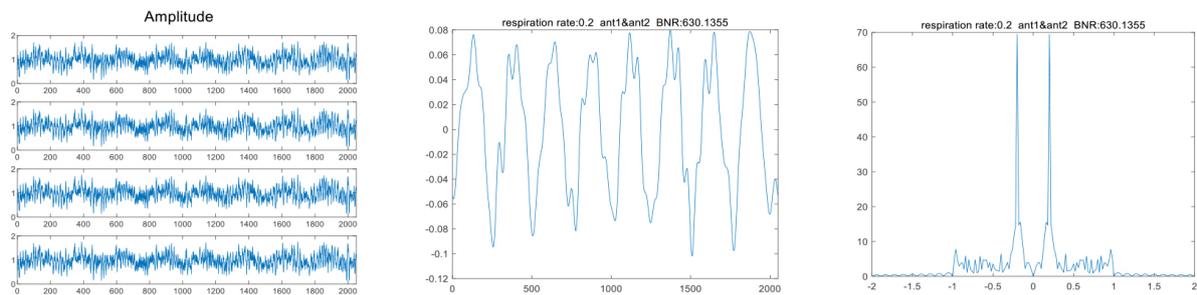


图11 20dB信噪比下非呼吸影响NLOS簇增加3km/h移动速度的仿真结果

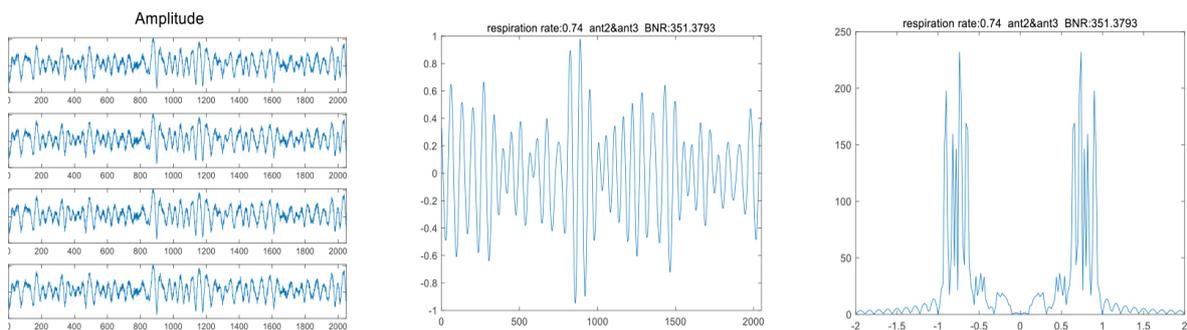


图12 20dB信噪比下呼吸影响NLOS簇增加1km/h移动速度的仿真结果

根据上述仿真结果，呼吸监测感知不仅与信噪比有关，还与环境中其他变化的因素有关。在理想信道无噪声的情况下，并且环境中无其他物体移动的情况下，从呼吸频率检测结果来看，呼吸频率检测效果最佳。随着信噪比降低和环境中其他物体移动，呼吸频率检测结果可以明显观察到上述因素引入的噪声和干扰，尤其是当受检测目标存在移动时，对呼吸检测效果产生严重影响。因此，基于当前5G信号进行呼吸检测是可行的方案，适合于包括睡眠以及病床监护等目标相对静止场景下的长时间呼吸检测。

#### 4.1.2 业务需求

人类典型呼吸频率范围在10~30次/每分钟[6]，呼吸检测结果每隔1~10s刷新一次能够满足呼吸异常情况检测。呼吸速率检测结果体现在多普勒域，相干检测时间窗口为10s时能够达到至少0.1Hz的多普勒分辨率，即呼吸速率相差6次/每分钟以上既可以区分出来。呼吸速率精度体现为多普勒精度 $<0.05\text{Hz}$ ，表示每分钟呼吸检测到呼吸次数与真实呼吸次数相差3次以内，能够满足呼吸异常情况检测需求。已有研究实现人体在距离收发设备12m距离的呼吸检测，呼吸速率误差在0.67次/每分钟[7]。对

于呼吸检测，需要传输的感知数据，可以是呼吸次数或速率（多普勒检测结果），还可以是原始的信道信息。呼吸监测的感知数据传输对于带宽要求较低，且可以选择检测结果较好的子载波数据或者对多个子载波数据进行合并[8]，因此需传输的数据量较小。呼吸等人体生命体征属于个人重要信息，对安全隐私要求较高。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表8 智慧生活呼吸监测感知业务指标需求

业务指标	需求
感知数据刷新率	0.1-1Hz（时间间隔 1-10s）
感知多普勒分辨率	<0.1Hz
感知多普勒精度	<0.05Hz
感知数据传输速率	0.001-1Mbps
安全隐私	高

## 4.2 应用案例2：入侵检测

### 4.2.1 案例描述

随着经济的发展，人民的生活日益改善，人们对生命财产的安全愈加重视。生活中各种无法预测的安全隐患是人身财产的最大威胁，在关键建筑物或特定区域中检测入侵者，对于个人家庭安全以及公共区域安全具有重要意义。在关键建筑物或特定区域中检测入侵者，对于个人家庭安全以及公共区域安全具有重要意义。

传统的入侵检测方法包括基于视频、超声波、红外、UWB（Ultra Wide Band，超宽带）的技术，此外还有激光雷达技术，以及专用传感器技术，例如光感应传感器、声感应传感器、温度传感器、气体传感器等等。其中，基于视频的检测技术是应用最广泛的入侵检测技术，它包括视频分析技术和图像处理技术等，其核心思想是基于计算机视觉的统计机器学习与视频分析技术，将通过摄像头采集到的视频或者图像传入计算机，通过相关的图像识别、机器学习方法来识别入侵者、提取入侵者

的动作和行为。然而，该技术容易受到光照条件和烟雾的影响，在光线不佳或者烟雾环境中，摄像头无法进行准确识别，常常会出现误判、漏判等。此外该技术存在明显的隐私问题，互联网如此发达的今天，用户隐私泄露将会给用户带来巨大损失。再者，基于视频的入侵检测技术还容易产生监测盲区。基于超声波、红外、UWB的检测技术，基本原理就是利用超声波探测器、红外探测器，以及UWB收发模块，发出超声波，红外线，超宽带电磁波，这些信号遇到障碍物会反射回到探测器端，从而实现障碍物检测。此类技术需要专用的超声波/红外探测器/UWB模块，成本较高，而且它们的覆盖距离普遍较短，因此同样容易出现覆盖盲区。此外，基于红外探测器的入侵检测可能还会因为周围环境的温度变化导致一定程度的误差，出现误检、漏检。近年来，激光雷达入侵监控系统基于激光雷达3D点云，有望在一些场合下替代传统视频入侵检测系统，实现对监控区域实现实时监测，还能自动识别目标物的位置、大小、尺寸等信息，动态抓取入侵物体轨迹信息等。然而，该系统需要发射激光信号，激光被组织吸收后，存在容易对人员的皮肤和眼角膜造成伤害的风险，在智慧生活场景中实用性受限较大。最后，基于光感应传感器、声感应传感器、温度传感器、湿度传感器、气体传感器等的入侵检测，能够将感知现场的温度、湿度、气味等各种物理量的变化，转换成适于传输的电信号，最终实现入侵检测。然而，这些传感器往往需要在多个地方大量部署，具有较高的安装成本。

如图13所示，基于无线通信信号的入侵检测技术，利用了无线通信信号覆盖广，不受光照条件影响，且无线通信设备分布广的特点，具有全天候、覆盖广的优势。此外，由于不需要专门安装监视器，或者专用传感器，也降低了使用成本。最后，利用无线通信信号进行入侵检测，还能够保护用户隐私不受侵犯，大大降低隐私泄露可能性。

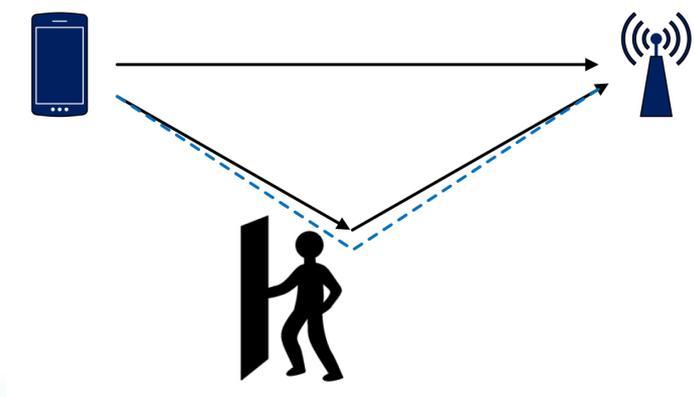


图13 入侵检测示意图

#### 4.2.2 业务需求

入侵检测的感知数据刷新率大于1Hz，有助于用户能够及时更新居家环境状态，这对于涉及人身和财产安全尤其重要。同时，考虑计算实时性问题，感知刷新率达到大于1Hz也是能够实现的[9]。目前，基于不同无线感知原理的入侵检测的检测概率能够达到95%以上。例如，在研究工作[9]中，在LOS（Light Of Sight，视距）和NLOS条件下检测概率分别达到了98.96%和98.17%；在研究工作[10]中，整体检测概率达到了98%以上，而虚警概率小于2%；在研究工作[11]中，静态环境检测概率为98%以上，人体运动的检测概率为97%以上。综上，智慧生活场景下入侵检测概率>95%，虚警概率<2%是可实现且符合业务需求的。如上一小节所述，基于无线感知的入侵检测，相比于基于视频的入侵检测存在隐私性高的优势。由于入侵检测需要持续对用户居家环境进行监测，感知数据的安全隐私等级高。

表9 智慧生活入侵检测感知业务指标需求

业务指标	需求
感知数据刷新率	>1Hz（时间间隔<1s）
检测概率	>95%
虚警概率	<2%
感知数据传输速率	0.001-10Mbps
安全隐私	高

### 4.3 应用案例3：手势/姿态识别

#### 4.3.1 案例描述

在智能家居、智能穿戴设备、智能汽车以及VR（Virtual Reality，虚拟现实）/AR（Augmented Reality，增强现实）等领域都增加中，人机交互技术的重要程度日益凸显。其中，手势识别是一种最直接、最简便的交互方式。在早期的穿戴式手势识别技术中，手势识别需佩戴专用的传感器设备，通过传感器采集信息进行识别、这种方式成本高，而且用户体验收到较大影响。随后随着计算机图像处理技术的发展，手势识别摆脱了穿戴设备，通过视频设备采集手势的视频数据，也能实现手势识别。

然而，这种方式容易受光照条件的影响，当光照不稳定，识别准确率就会降低，另外也存在个人隐私容易泄露的问题。基于无线信号的手势识别技术，因其部署方便、配置成本低、信号传输范围广、适用性强等优点而受到越来越多的关注，其作为一种免穿戴、无接触的人机交互方式，目前已成为学术界和工业界研究的热点领域之一。

在当前互联网社会中，无线网络已逐渐成为现实生活的重要补充和延展，大部分公共区域都实现了LTE (Long Term Evolution, 长期演进) /5G无线网络覆盖，所以基于无线信号的手势识别技术具有天然应用基础。基于无线信号的手势/姿态识别弥补了传统手势识别技术的缺陷，比如部署成本高，用户隐私得不到保护，以及受环境条件制约较大。如图14所示，基于无线信号的行为感知方法，具有实现成本低、部署过程便捷和无需携带设备等优势，并且能够在各种应用环境中进行部署，不受光照条件的影响，相较于传统方法感知范围大幅提升，用户无需担心隐私受到侵犯，甚至在有部分遮挡的情况下也可以进行有效地手势/姿态识别。

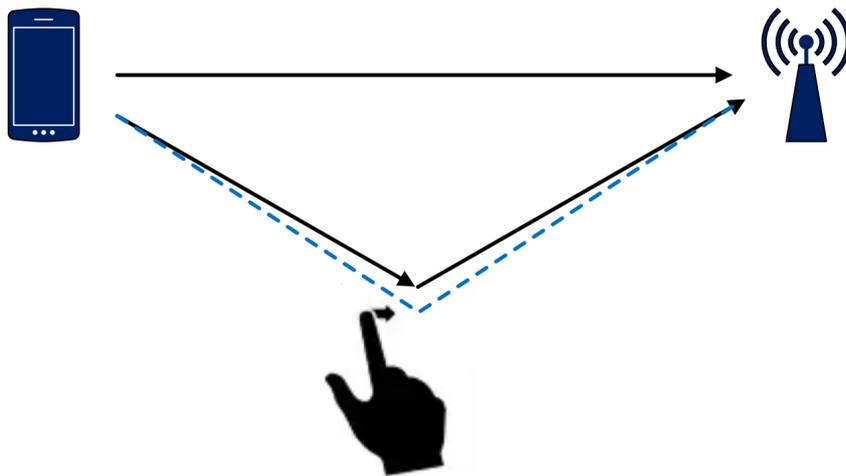


图14 手势/姿态识别示意图

#### 4.3.2 业务需求

为了保证良好的用户体验，手势/姿态识别的识别准确率不能太低。在研究工作[12]中，基于Wifi CSI (Channel State Information, 信道状态信息) 时间序列的手指动作识别准确率达到96%；在研究工作[13]中，通过多接收机感知手势识别准确率能够达到92.7%；在研究工作[14]中，2、3、4、5个

用户同时进行手势识别的识别准确率分别能够达到95.0%、94.6%、93.6%、92.6%以及90.9%。在研究工作[15]中，基于LTE信号也能进行手势识别，平均识别准确率达到95%以上。对于手势/姿势识别类应用，往往可能涉及到用户服务内容、用户操作密码等，安全隐私等级高。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表10 智慧生活手势/姿态识别感知业务指标需求

业务指标	需求
识别准确率	>90%
感知数据传输速率	0.001-2Mbps
安全隐私	高

## 4.4 应用案例4：健身监测

### 4.4.1 案例描述

由于工作、学习压力等外界因素，当前社会亚健康人群急速膨胀，据研究表明，世界上约80%的人群长期处于亚健康状态，很多人时常会感到精神紧张、身心疲惫。长时间久坐、用眼过度等工作生活习惯使得出现颈椎病、焦虑症、重度肥胖等疾病的人群日益庞大，体育锻炼的重要性不言而喻，日常的锻炼与人们的生活息息相关，也逐渐成为现代居民关注的重点。

在这样的背景下，依托互联网技术和新媒体技术的运动健身类APP以及各种配套的健身方案应运而生，无论在办公室，家中还是健身房，只需要有限的空间和简单的器械变可以进行体育锻炼，不受时间和空间的限制。为了向锻炼者提供有用的反馈并改善他们的锻炼体验，需要能够准确监控和评估锻炼效果的强大且易于部署的解决方案。在过去的几年中，常见的方案包括基于视觉以及可穿戴设备等方式，基于视觉的方法利用摄像头或相机采集锻炼动作的视频或图像信息，然后使用图像处理技术以及计算机视觉等方法识别不同动作，然而该方式存在隐私问题和光照要求，且要求摄像头和用户之间无遮挡；基于可穿戴设备的方式需要将设备连接到用户的身体上，这在锻炼期间会带来不便和影响

运动效果，且需要额外的购买成本开销。

相比之下，无线信号具有穿透性强、感知范围大，不记录涉及隐私的敏感信息、无需佩戴装置、低成本等优势，前面提到的典型室内健身场景均有无线信号的覆盖，如图15所示，利用无线信号感知进行例如跑步、深蹲、俯卧撑、仰卧起坐等健身运动的识别、计数等，可以替代摄像头以及穿戴式设备，成为较有前景的运动健身辅助方案。

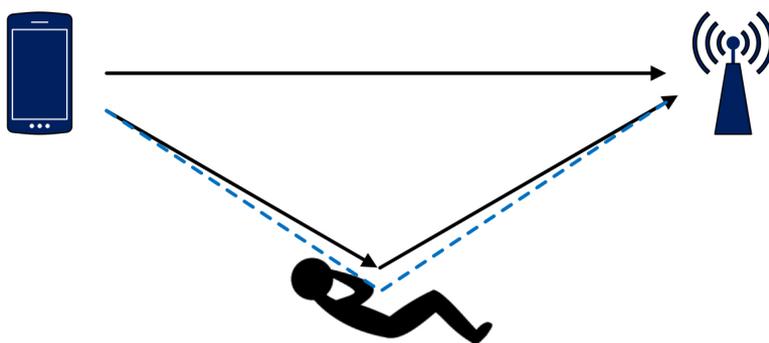


图15 健身监测示意图

#### 4.4.2 业务需求

人类进行跑步、深蹲、俯卧撑、仰卧起坐等健身运动时，检测结果每隔0.5~10s刷新一次能够满足检测需求，对于这些重复性健身动作的频次的检测结果体现在多普勒域，相干检测时间窗口为10s时能够达到至少0.1Hz的多普勒分辨率，即至少可以分辨出每分钟重复次数相差6次以上的健身动作，健身动作重复速率精度体现为多普勒精度 $<0.02\text{Hz}$ ，表示每分钟动作重复次数与真实次数相差1次以内，能够满足实际场景健身动作计数需求，通过对时域数据的分割以及多普勒谱特征的分析可以识别出不同的健身动作[16]，动作识别准确率为 $>95\%$ ，能够满足日常健身辅助需求，对于健身监测，需要传输的感知数据，即检测结果，可以是健身动作识别结果，以及健身次数或速率（多普勒检测结果），还可以是原始的信道信息，对于带宽要求较低，且可以选择检测结果较好的子载波数据或者对多个子载波数据进行合并，因此需传输的数据量较小，健身动作监测属于个人信息，对安全隐私要求较高。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表11 智慧生活健身监测感知业务指标需求

业务指标	需求
感知数据刷新率	0.1-2Hz (时间间隔 0.5-10s)
感知多普勒分辨率	<0.1Hz
感知多普勒精度	<0.02Hz
识别准确率	>95%
感知数据传输速率	0.001-2Mbps
安全隐私	高

## 4.5 应用案例5：天气监测

### 4.5.1 案例描述

天气监测例如降雨监测对天气预报、气候模型、农业、水利工程设计等有重要意义，传统降雨监测主要有雨量计、气象雷达和卫星等。雨量计通过对接收到的雨水进行计量来检测局部区域降雨量，具有空间分辨率高的优点，然而雨量计的空间覆盖范围小，广域覆盖时需要部署大量雨量计及配套设备。气象雷达通过测量雨滴的反射回波信号提取降雨信息，具有时间分辨率高、可定位降雨位置、可检测降雨分布、检测范围广等优点；然而气象雷达误差因素来源较多，设备昂贵、且具有较大的电磁污染、不适合大量部署。气象卫星通过各种气象遥感载荷接收包括红外光、可见光、微波等信号来分析云层及风速风向等气象信息，从而提取包括降雨在内的各种气象信息，具有时间分辨率和空间分辨率高的优点，然而气象卫星获取的降雨强度等信息不精确，通常用作辅助覆盖。

如图16所示，在通信感知融合场景下，可以利用已有的移动通信网络进行天气监测；基本方法是测量通信链路中的信号链路衰减，进而利用信号链路衰减与天气指标之间的关系分析得到对应的天气指标。以降雨监测为例，降雨率 $R$  (mm/hr) 与信号链路衰减 $A$  (dB/km) 之间具有明确的指数关系  $A=aRb$ ，其中 $a$ 和 $b$ 为常数。通信感知融合中天气监测的最大优势是无需额外部署硬件、具有较大的成本优势，此外还具有传感器数量大、空间分布广泛、降雨监测的时间和空间分辨率高、可检测降雨分布等优势。

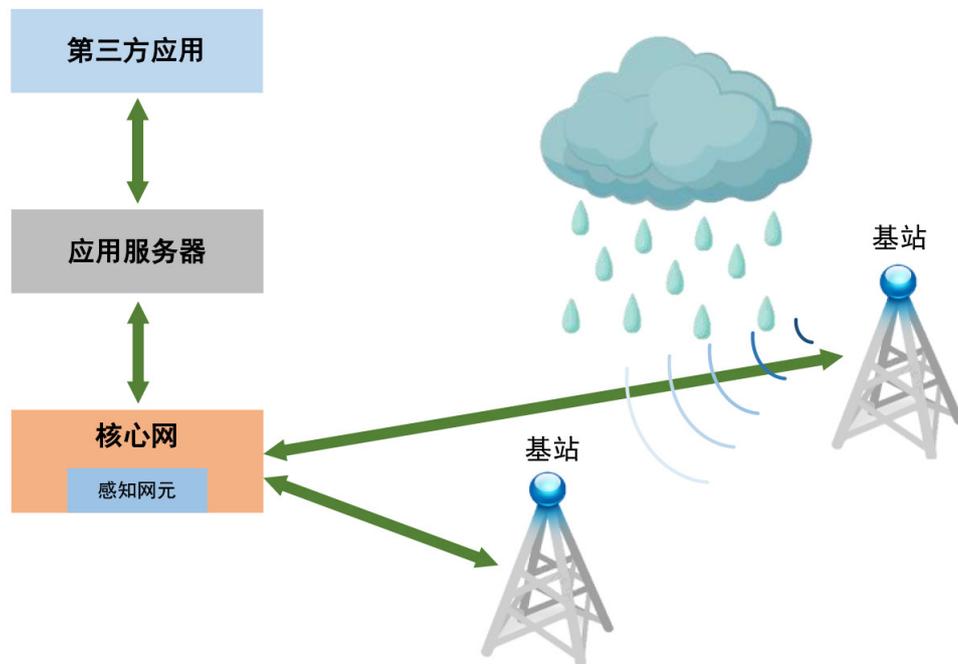


图16 天气监测示意图

#### 4.5.2 业务需求

降雨检测的目标是检测特定的地点在特定的时间是否有降雨、以及在有降雨的情况下的降雨的大小。降雨的大小主要由降雨率来描述，单位是 $\text{mm/hr}$ ；通常又会根据降雨率的范围将降雨的大小分类为小雨、中雨、大雨、强降雨、暴雨和大暴雨等，其降雨率数值的范围分别为：0.49~2.7、2.7~13.3、13.3~27.3、27.3~48.6、48.6~133.2和大于133.2[17]。从降雨率的数值上来看，为了准确的区分降雨大小的分类，降雨率的分辨率需要在 $1\text{mm/hr}$ 左右。降雨过程在时间和空间上具有一定的分布，降雨检测的结果应能够尽可能准确地反应降雨的时空分布、同时又不占用过多的资源。降雨的时间分布用数据刷新率来描述，一方面基于通信链路进行降雨检测具备每10s更新一次的能力，另一方面在基于通信链路进行降雨检测的已有协议中规定每15分钟执行一次降雨检测[18]；因此降雨检测的数据刷新率的指标可以参考已有协议定位每15分钟刷新一次或者相当的数量级。降雨的空间分布指标，即空间分辨率，参考传统的雨量计的部署密度、并结合通信链路的空间分布规律，可确定为 $1\text{km}\sim 3\text{km}$ [19]。因降雨检测仅对信号强度进行测量和分析，需传输的数据量较低。并且降雨信息不涉及安全和隐私问题，所以对安全隐私要求低。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表12 智慧生活天气监测感知业务指标需求

业务指标	需求
感知数据刷新率	0.0011-0.1Hz
感知降雨量分辨率	≤1 毫米/小时
感知降雨空间分辨率	1km 量级
感知数据传输速率	0.1-1000bps
安全隐私	低

## 智慧网络场景通感融合需求分析

通信感知融合将实现通信能力和感知能力的交融互通，一方面，借助于通信系统提升感知精准度、提高感知时效性、实现无缝泛在的感知服务；另一方面，基于对无线通信信道环境的感知、识别与预测进一步提升无线通信系统的性能，助力构建智慧网络。

### 5.1 应用案例1：基站和终端波束管理

在当前的无线通信系统中，广播信道、控制信道、数据信道、参考信号等都采用基于波束的方式进行发送和接收，为了保证基于波束传输的准确性和健壮性，基站和终端需要在传输过程中进行相互的波束测量和确定，以确保使用正确的波束进行控制和业务信道的传输。现有的波束训练和波束跟踪方法需要基站频繁发送训练序列并进行测量反馈，空口时频资源开销过大，同时还具有时延较高，波束跟踪时效性较差，难以及时与无线信道实时匹配等缺陷，进而造成较高的波束失败和通信中断概率。

如图17所示，基于感知技术获取小区内终端位置信息等可以缩小波束扫描范围、缩短波束训练时间：例如当感知工作模式为终端发送上行感知信号，基站测量时，第一步，基站基于终端发送的参考信号做感知，确定终端的位置信息，但是仅仅获取终端的位置信息只能确定终端工作在LOS径时的最

佳波束，终端工作在NLOS径时的最佳波束还需要考虑信号的反射等因素；第二步，终端发送的参考信号经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息，进而确定终端工作在LOS还是NLOS环境，以及对应的更精确的波束信息，辅助缩小通信波束训练范围。

基于感知技术获取通信信道环境信息等可以进行波束预测，降低波束测量反馈开销并提升波束跟踪时效性：例如当感知工作模式为终端发送上行感知信号，基站测量时，第一步，基站基于终端发送的参考信号做感知，确定终端的位置信息、移动速度、运动方向等信息，基于此基站可以预测终端的运动轨迹等；第二步，终端发送的参考信号经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息，基站可以基于预测的终端运动轨迹以及感知的信道环境信息可以进行波束预测，提升波束跟踪时效性。

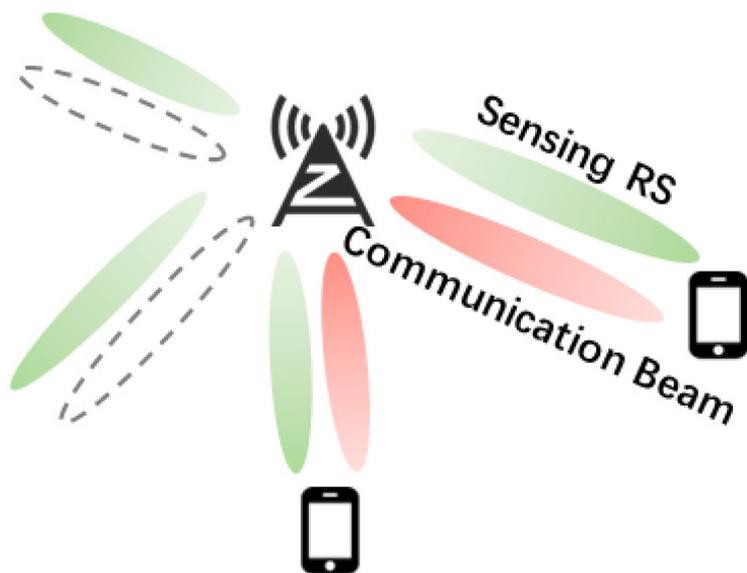


图17 感知辅助基站和终端波束管理示意图

## 5.2 应用案例2：信道估计增强

信道状态信息CSI的反馈决定了MIMO (Multiple-in Multiple-out, 多进多出) 传输的性能，通过CSI反馈可以获知信道能够承载的信息流数、信道的质量或信噪比、信道预编码矩阵等。当前的CSI测量及反馈流程，随着天线数的增加，CSI-RS (CSI Reference Signal, 信道状态信息参考信号) /

SSB信道测量资源和CSI反馈开销随之增加；随着信道环境状态信息的快速变化，CSI反馈结果难以及时与无线信道实时匹配，将会严重影响信道传输质量。

如图18所示，基于感知技术进行通信信道环境识别与预测，提升通信系统信道估计性能：例如当感知工作模式为终端发送上行感知信号，基站测量时，第一步，基站基于终端发送的参考信号做感知，获取信道状态信息，提升信道估计准确性；第二步，终端发送的参考信号经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息。同时，基站可以结合人工智能技术进一步预测信道状态信息，从而降低信道测量和反馈开销，提升通信系统频谱效率。

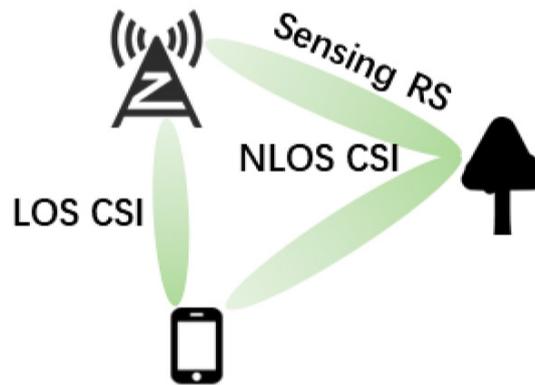


图18 感知辅助信道估计增强

### 5.3 应用案例3：基站和终端节能

相比于4G网络，5G网络传输带宽增大，基站通道数增多，造成系统静态功耗显著增加。此外，5G网络由于部署频段增高，覆盖范围变小，越发密集的基站部署也造成整个网络总体功耗进一步增加。网络实测数据显示基站能耗随着小区负载变化并没有显著变化，深夜空载时段PRB（Physical Resource Block，物理资源块）利用率只有2%，但是能耗高达满载下的60%，也就是说空载时基站能耗仍有很大节省空间。空载时，基站仍要以波束扫描的方式周期性发送SSB（Synchronization Signal Block，同步信号块）、SIB（System Information Block，系统信息块）、寻呼等公共信令，为小区内空闲态终端或新进入小区的终端提供服务。

如图19所示，基于感知技术获取小区内空闲态终端密度和位置等信息，可以辅助基站侧能耗调

整：例如当感知工作模式为“终端发送上行感知信号、基站测量”时，基站基于终端发送的感知信号做测量，可以确定小区内空闲态终端个数及位置等信息，此外，终端发送的参考信号经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息，进而确定终端工作环境，以及对应的更精确的波束信息，从而辅助基站进行合理的节能策略选择。

同时，从终端节能角度，如果只允许连接态终端才能发送或者接收感知信号，则会导致原本没有通信需求的空闲态终端为了实现感知功能需要频繁的进入连接态，严重增加了终端能耗。因此，允许终端在空闲态发送或接收感知信号可以使得终端无需进入连接态就完成感知功能，进而节省终端能耗。

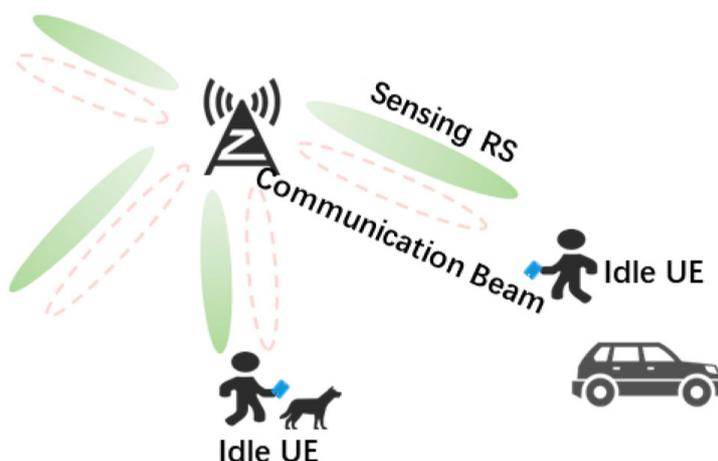


图19 感知辅助基站和终端节能

#### 5.4 应用案例4：基站资源调度与优化

随着互联网技术的发展与智能手机的不断进步，人们对于移动网络的流量需求呈现爆发式的增长。为了满足越来越丰富的通信业务需求和越来越庞大的流量需求，基站在提升网络容量的同时，也亟需解决因此带来的网络能耗增加。

如图20所示，一方面，网络可以基于业务特征、用户喜好等特征感知并预测网络中用户的业务数量以及QoS（Quality of Service，服务质量）的需求，并配置相应的基站资源调度策略。基站通过配置基站天线、频谱资源等手段，保证网络服务的QoS、连续性，满足用户需求。

另一方面，基站可以根据感知无线环境获得的空口质量，终端位置以及环境干扰等信息，进一步优化自己的资源调度策略，进而提升网络服务质量，降低网络能耗。

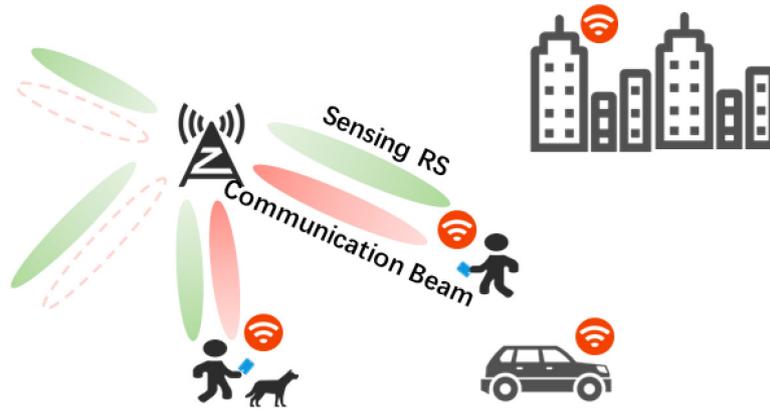


图20 感知辅助基站资源调度与优化

## 5.5 业务需求

基于通信感知融合系统提升无线通信系统的性能的用例对感知技术的需求主要包括感知最大速度、感知精度、感知数据刷新率等。感知最大速度主要取决于通信场景和终端类型，约3km/h-500km/h；基于感知技术获取终端移动运动轨迹等信息，因此对感知的最大速度需求主要取决于终端移动速度。参考TS 38.901[20]，人移动速度3km/h，工厂场景AGV（Automated Guided Vehicle，无人搬运车）移动速度30km/h，高速公路车辆移动速度100km/h，高铁场景500km/h等，因此感知最大速度大约在3km/h-500km/h。感知距离精度主要是考虑终端位置偏移范围对基站波束方向、信道估计准确度的影响，如果终端位置偏移较大，会导致基站侧波束方向不准、信道估计不准等。感知数据刷新率主要取决于具体应用案例，例如对于波束管理、信道估计感知数据刷新率需求较高，例如每10秒刷新一次即可，对于基站/终端节能感知数据刷新率需求较低，可以放松至每100秒刷新一次。综上考虑，给出了下述感知业务指标需求。

表13 智慧网络感知业务指标需求

业务指标	需求
感知速度范围	3km/h-500km/h
感知距离精度	1m
感知数据刷新率	0.01Hz-0.1Hz

## 标准化影响

已经广泛部署的5G网络，具备天然的组网优势，覆盖能力强，天线阵列规模大，可以通过软硬件的升级，在满足通信需求的同时，也具备原生的感知能力，构建通信感知融合网络。针对上述通信感知融合应用场景，需要5G网络提供广域无缝覆盖的通信网络，例如智慧交通场景需要通信网络在道路两旁每隔1km通过立杆或横杆的方式提供线装连续覆盖，智慧低空场景需要通信网络在无人机感知区域提供泛在无缝的区域覆盖，智慧生活场景需要通信网络满足室内、工厂等热点场景的高容量大速率需求。在5G网络基础上，我们从感知工作模式、无线空口、网络架构、感知测量量等方面分析通信感知融合的潜在标准化影响。

### 6.1 感知工作模式

针对不同场景、不同应用、不同感知需求对多样化感知收发工作模式的需求，如图21所示，根据感知信号发送和接收方式的不同，具体主要分为基站自发自收、基站间协作感知、基站发终端收、终端发基站收、终端自发自收以及终端间协作感知六种工作模式。

基站自发自收工作模式与传统雷达感知工作模式相似，主要挑战是如何处理收发信号之间的干扰，例如可以通过独立的收发天线以实现发送和接收硬件隔离的方式获取独立的收发信号。基站间协作感知工作模式能够实时适配感知目标和环境的位置，尤其适用于高速公路或高铁等高速移动场景，为其提供接近全域覆盖的感知服务。基站间协作感知主要挑战是基站间精准同步，多基站间的资源调度以及小区间上下行交叉链路干扰消除等。基站发终端收或终端发基站收工作模式通过下行或上行无线通信信号进行测量感知。终端自发自收工作模式与基站自发自收工作模式类似，主要挑战是终端发送功率较低、天线数较少，导致终端感知范围和感知精度性能受限。此外受限于能力和成本，终端侧收发的干扰隔离实现比基站侧更困难。终端间协作感知多用于局域感知场景，例如基站感知直射径较少的场景，并以协作的方式扩展终端感知范围。同时随着智能设备的发展，智能化终端设备数目和种类越来越多，终端间协作感知将有效提升感知性能和效率。

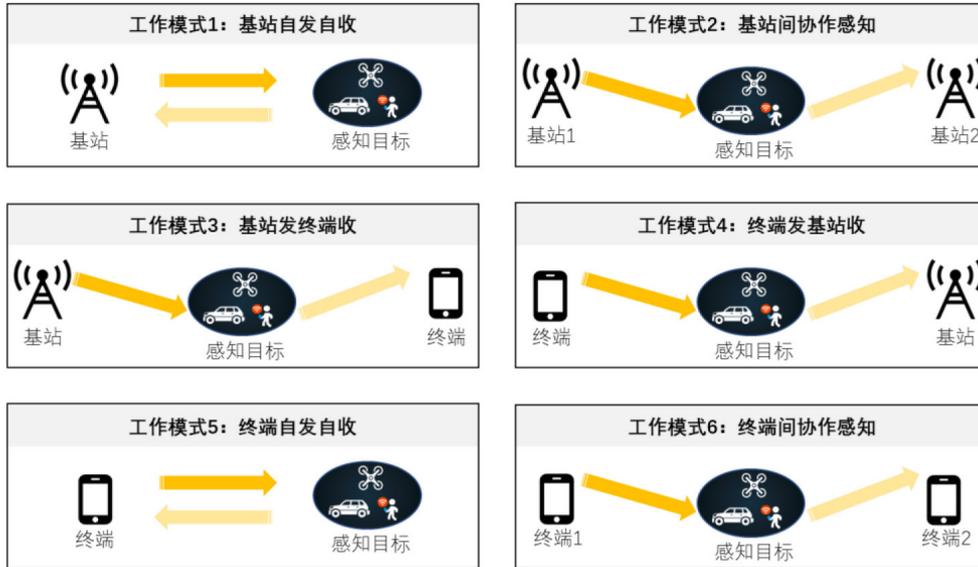


图21 通信感知融合工作模式

## 6.2 无线空口影响

在无线空口方面，对于自发自收工作模式，以基站自发自收模式为例，如图22所示，基站侧发送通信信号，并接收回波进行感知，这里有两种候选方案：（1）将感知信号发射与接收天线隔离或者设计新的接收机；（2）改变现有的信号帧结构来实现自发自收。方案（1）的第一种实现方式是通过2个独立的基站实现发射和接收天线的物理隔离，对标准化影响较小（可能涉及基站间交互）；第二种实现方式是基于现有基站实现全双工发射和接收，会极大改变基站侧原有设计，增加了新的硬件资源、空口资源。方案（2）则需要改变现有信号数据格式内容，对标准化影响较大，但硬件改动影响较小。

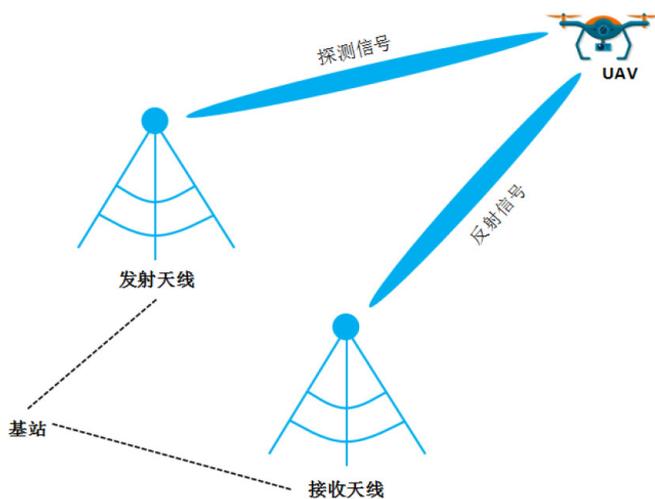


图22 基站自发自收模式

对于协作感知工作模式，以基站间协作模式为例，如图23所示，基站A发送通感信号，基站B接收反射信号。最终数据分析可以在基站A也可以在基站B。基站间协作感知工作模式，需要各基站之间进行同步，并进行信息协同交流，需要增加资源协调，并对资源进行处理。

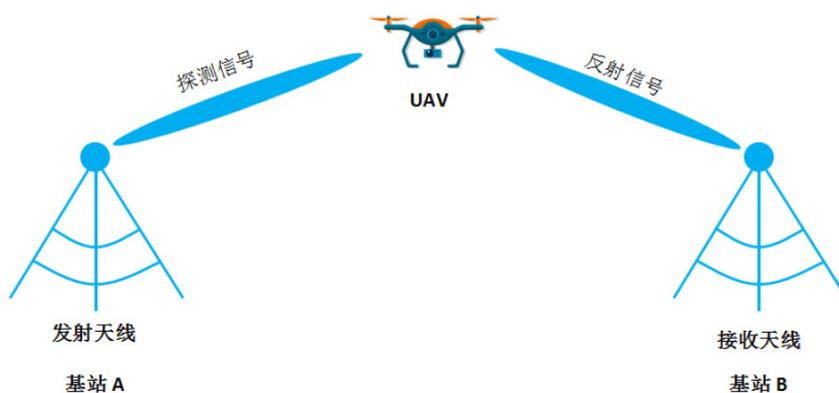


图23 基站间协作模式

对于基站发终端收或者终端发基站收的工作模式，如果复用现有通信下行或上行参考信号，那么需要标准化讨论潜在的感知测量量增强，对空口影响较小。如果需要增加空口感知测量资源或者对现有无线测量资源/信号进行增强，则需要标准化讨论感知参考信号配置及发送方式、感知信号与通信信号复用方式等。如果是基站发送下行感知测量信号，终端进行测量，终端将测量结果上报给基站和核心网感知功能网元，还需要定义感知测量量上报流程以及相关数据格式。此外，还需要考虑感知信号波束管理增强，例如基站指示相关波束进行全空域检测，以满足感知覆盖要求，并提供连续覆盖。

### 6.3 网络架构影响

在通感网络架构方面，需要增加感知功能网元，负责网络感知能力的对外（终端和第三方应用）开放、根据外部服务请求对终端的管控、以及对上报的感知测量数据的处理。感知功能网元的逻辑位置、功能定义、针对功能所需的输入（如必要测量）与输出、与其他网元的交互、新的标准化接口的引入与定义等方面均具有标准化影响。通感网络架构应支持上述六种感知工作模式，并且支持感知模式的选择、修改和多种感知模式的协作。此外，考虑到并非所有网络设备和终端都支持感知能力，故需要考虑为感知服务选择支持感知能力的网络设备和终端，并为其配置执行感知所需要的相关参数。感知数据的收集和处理较为关键，考虑到计算量和传输数据量，可能需要在终端或基站对接收到的信号信息进行一些必要的初步处理，得到感知测量数据后再上报给核心网，或者直接在基站侧对感知数据进行处理得到测量数据。除上述内容外，在5G网络中引入通感融合技术还会对安全、隐私、监管和计费等方面存在标准化影响，需进一步考虑。

### 6.4 感知测量量需求

感知测量通过对感知信号进行处理，获得目标对象的距离、速度、角度、多普勒、信号强度、信道状态等测量量。针对距离测量量：对于自发自收感知工作模式，测量发射波与目标回波之间的时间延迟 $t$ ，从而得到目标与测量点之间的距离 $R=Ct/2$ ，其中光速 $C=3 \times 10^8\text{m/s}$ ；对于A发B收工作模式，测量发送信号和接收信号之间的时间延迟 $t$ 以及根据接收信号AoA（Angle of Arrival，到达角）综合确定感知目标位置信息。针对速度测量量：利用目标运动产生的多普勒效应，通过测量感知信号的多普勒频率来推导目标速度，其中多普勒频率 $f_d=v/\lambda$ ，其中 $v$ 为目标运动速度， $\lambda$ 为信号波长。针对角度测量量：通过不同波束感知信号间的强度差异或多相位中心感知信号的相位差异测定目标角度。智慧生活场景根据信道状态信息CSI的变化特征可以得到呼吸监测、入侵检测、手势/姿态识别、健身监测和天气监测等感知结果。针对呼吸监测，主要测量量为多普勒，根据信道状态信息CSI的变

化特征可以得到呼吸频率、呼吸深度以及睡姿等感知结果。针对入侵检测，主要测量量为信号强度，根据RSSI (Received Signal Strength Indication, 接收信号强度指示) 或RSSI方差特征变化判断检测区域内目标移动，也可以同时利用频域信道响应中的幅度和相位信息进一步提高检测准确度，尤其是NLOS场景检测性能。针对手势识别，主要测量量为幅度、相位和多普勒，根据提取的CSI信号相位的变化特征可以得反射路径长度变化特征，区分不同动态手势[21]。针对健身监测，主要测量量为多普勒，根据对CSI进行时域分割对重复性运动进行计数，通过对多普勒域信号分布特征的分析识别不同健身运动。针对降雨检测，主要测量量为信号强度，无雨/小雨/中雨/大雨时RSSI的概率密度函数具有不同的均值和方差特征[22]，利用RSSI瞬时值、均值和方差进行降雨水平的分类，需要无雨时的RSSI参考值对所有数据进行归一化，以排除其他衰减因素的影响，对于降雨量分类可以采用AI (Artificial Intelligence, 人工智能) 的方法。

以上测量量包括了现有系统支持的信道测量信息（如RSSI、CSI等）以及新的测量量（如角度、速度、信号时间延迟等）。随着通感技术研究的发展以及通感业务的演进，预计后续还会有潜在新的感知测量量引入。在标准中将会涉及现有测量信息是否支持感知业务指标需求的评估，是否改进现有参考信号或引进新的参考信号设计支持更高要求的测量或者新的测量量的研究。

## 总结与建议

通信感知融合基于移动通信基础设施向行业一网多能。通信网络在满足通信业务要求的前提下将使能感知业务，一方面支持更丰富应用业务提高网络资源的利用效率，另一方面可以通过感知为业务智能和网络智能提供基础支撑能力。本研究报告针对通信感知融合的四大典型应用场景，包括智慧交通、智慧低空、智慧生活和智慧网络场景中的十五大典型应用案例，分析了基于通信基础设施使能感知业务的潜能，以及对应场景下的感知业务性能指标要求，汇总通信感知融合需求指标如附录2所示。面向智慧交通场景、智慧低空场景、智慧生活场景，基于移动通信网络进行位置、速度、角度等信息探测感知，构建低成本、高精度、无缝泛在的感知网络。面向智慧网络场景，基于感知信息辅助基站或终端波束管理、信道估计、能耗节省、资源调度与优化等，提升通信系统性能。

通感融合发展目前处于初期阶段，本研究报告综合产业界的观点和需求研究了当前主要潜在通感融合应用案例，旨在为通感融合的空口技术研究、网络架构设计以及设备的研发试验提供参考，并推

动通感融合应用产业发展。针对后续进一步推进加快通感融合技术与产业发展，我们提出以下建议：

- 加强通感融合关键技术研究。通信网络使能感知将包括多方面的关键技术研究，在网络架构侧中将引入新的感知功能，以及感知流程和感知业务的管理；在无线空口侧中涉及感知通信融合波束管理、感知测量相关的信号设计与测量结果获取等方面研究。此外，与其他新兴技术如人工智能技术融合研究以增强通感性能也是一个重要方向。建议结合通感融合应用场景需求，对通感融合关键技术亟待解决主要问题进行深入研究，寻求对应解决方案使能通信网络基础感知应用能力。

- 加快试验验证网络通感融合能力。建议通过试验进一步验证通感融合关键技术性能，包括不同通信频段的通感融合技术研发，和在不同应用场景下的性能验证。考虑结合5G-A商用技术试验，以探索5G-A网络可支持的感知场景，推动5G-A感知能力建设和感知新应用发展，为后续6G通感融合的系统设计作重要参考。

- 加强与垂直行业合作。建议与不同应用场景下的垂直行业加强合作，一起探索通感融合应用需求，充分考虑应用场景的特点和关键问题，为关键技术的研究与标准化提供重要指导，使得研发技术与设备能切实满足产业化需求。

IMT-2020(5G)推进组通信感知融合任务组愿携手通信感知产业相关企业与组织、垂直行业、科研机构与高校等加强合作，一起推动通信感知融合技术与应用的发展。

## 参考文献

[1] C-V2X Use Cases Volume II: Examples and Service Level Requirements, 5GAA, 2020.10.20.

[2] 《高速铁路设计规范》(TB10261-2014)，国家铁路局，2014.12.1.

[3] 《2019年无人机云数据统计报告》，民用无人机检验中心，2020.7.13.

[4] 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（征求意见稿）》，中央军委空中交通管制委员会，2018.1.26.

[5] Moore, Erik George, "Radar Detection, Tracking and Identification for UAV Sense and Avoid Applications" (2019). Electronic Theses and Dissertations. 1544.

[6] S. Yue, H. Hao, H. Wang, et al. "Extracting Multi-Person Respiration from

Entangled RF Signals." Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 2018, 2(2):1–22.

[7]Y. Zeng, J. Liu, J. Xiong, et al. "Exploring Multiple Antennas for Long-range WiFi Sensing." Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 2021.

[8]C. Dou and H. Huan. "Full Respiration Rate Monitoring Exploiting Doppler Information with Commodity Wi-Fi Devices." . Sensors (Basel, Switzerland). 2021 May;21(10):3505.

[9]W. Zhuang, Y. Shen, L. Li, C. Gao and D. Dai. "Develop an Adaptive Real-Time Indoor Intrusion Detection System Based on Empirical Analysis of OFDM Subcarriers." Sensors (Basel, Switzerland). 2021 Mar;21(7):2287.

[10]J. Lv, D. Man, W. Yang, X. Du and M. Yu, "Robust WLAN-Based Indoor Intrusion Detection Using PHY Layer Information." IEEE Access, vol. 6, 2018, pp. 30117–30127.

[11]K. Qian, C. Wu, Z. Yang, Y. Liu and Z. Zhou. "PADS: Passive detection of moving targets with dynamic speed using PHY layer information." 2014 20th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2014, pp. 1–8.

[12]O. Zhang and K. Mudra Srinivasan. "Mudra: User-friendly fine-grained gesture recognition using WiFi signals." Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies. 2016.

[13]Y. Zheng, et al. "Zero-effort cross-domain gesture recognition with Wi-Fi." Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. 2019.

[14]Venkatnarayan, H. Raghav, Griffin Page, and Muhammad Shahzad. "Multi-user gesture recognition using WiFi." Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. 2018.

[15]W. Chen, et al. "Robust dynamic hand gesture interaction using LTE terminals." 2020 19th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). IEEE, 2020.

[16]S. Li, X. Li, Q. Lv, G. Tian and D. Zhang. "WiFit: Ubiquitous Bodyweight Exercise Monitoring with Commodity Wi-Fi Devices." 2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation, 2018.

[17]Mark, A.Richards等著, 雷达信号处理基础, 电子工业出版社, 2017.

[18]Messer, Hagit, and Lior Gazit. "From cellular networks to the garden hose: Advances in rainfall monitoring via cellular power measurements." 2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP). IEEE, 2016.

[19]Messer, Hagit, Artem Zinevich, and Pinhas Alpert. "Environmental monitoring by wireless communication networks." Science 312.5774 (2006): 713–713.

[20]3GPP TR 38.901, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz." (v17.0.0), 2022.

[21]W. Chen, et al. "Robust dynamic hand gesture interaction using LTE terminals." 2020 19th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). IEEE, 2020.

[22]F. Beritelli, G. Capizzi, G. Lo Sciuto, C. Napoli and F. Scaglione. "Rainfall Estimation Based on the Intensity of the Received Signal in a LTE/4G Mobile Terminal by Using a Probabilistic Neural Network." IEEE Access, vol. 6, 2018, pp. 30865–30873.

## 附录1：感知业务指标定义

表14 感知业务指标定义

业务指标	定义
感知距离范围	表征感知距离的范围
感知速度范围	表征感知速度的范围
感知高度范围	表征感知高度的范围
感知距离分辨率	表征区分的两个邻近目标之间的最小距离
感知速度分辨率	表征区分的两个邻近目标之间的最小速度
感知多普勒分辨率	表征区分的两个邻近目标之间的最小多普勒，为相干处理时间的倒数
感知多普勒精度	表征感知多普勒估计值与真实值之间的均方根误差
感知距离精度	表征感知距离估计值与真实值之间的均方根误差
感知角度精度	表征感知角度估计值与真实值之间的均方根误差
感知速度精度	表征感知速度估计值与真实值之间的均方根误差
感知数据刷新率	表征感知结果获取频率，即相邻两次感知结果时间间隔的倒数
检测概率	判断感知目标有无或者感知事件发生与否的能力，通常为假设目标存在的情况下判决为有的概率
虚警概率	判断感知目标有无或者感知事件发生与否的能力，通常为假设目标不存在的情况下判决为有的概率
感知数据传输速率	用于描述感知业务对感知数据（例如感知测量结果）传输速率的要求
感知时延	用于描述感知业务的实时性要求，例如感知功能节点接收到感知服务请求到响应该请求的最大时延
安全隐私高/低	感知数据安全隐私要求
识别准确率	表征能够正确识别出感知目标类别的概率
感知雨量分辨率	表征能够区分的降雨率之间的最小变化量
感知降雨空间分辨率	表征能够区分降雨率不同的相邻空间区域的最小范围

表15 通感融合典型应用场景感知业务指标需求

应用 场景	应用 案例	感知距 离分辨 率	感知距 离精度	感知速度 范围	感知速 度分辨 率	感知速 度精度	感知 角度 精度	感知数 据刷新 率	检测 概率	虚警 概率	感知多 普勒分 辨率	感知多 普勒精 度	感知 雨量 分辨 率	感知 降雨 空间 分辨 率	感知 时延	感知数 据传输 速率	安全 隐私
智慧 交通	高精 地图 构建	≤0.5m	≤0.5m	≥2km/h	≤0.5m/s	≤0.5m/s	≤0.2°								50- 100ms	30- 50Mbps	低
	道路 监管	0.5m- 1m	0.5m- 1m	≥2km/h	0.5m/s- 1m/s		0.2°	10Hz- 20Hz							100- 500ms	10- 30Mbps	低
	高铁 周围 入侵 检测		0.5m- 1m	≥2km/h			0.2°	10Hz- 20Hz							100- 500ms	5- 10Mbps	低
智慧 低空	无人 机监 管和 避障	≤10m	≤0.5m	≥2km/h		≤0.5m/s	≤0.5°	0.3Hz- 5Hz						100- 500ms	0.3Hz- 5Hz	高	
	飞行 入侵 检测		50m	≥10km/h				0.3Hz- 2Hz	≥95%	≤5%				100- 500ms	5- 10Mbps	低	
	飞行 路径 管理	10m- 20m	0.5m- 1m	≥10km/h		0.5m/s- 1m/s	0.5°- 0.8°	0.3Hz- 2Hz						50- 100ms	30- 50Mbps	高	

表15 通感融合典型应用场景感知业务指标需求 续表

应用	应用案例	感知距离分辨率	感知距离精度	感知速度范围	感知速度分辨率	感知速度精度	感知角度精度	感知数据刷新率	检测概率	虚警概率	感知多普勒分辨率	感知多普勒精度	感知雨量分辨率	感知降雨空间分辨率	感知时延	感知数据传输速率	安全隐私
智慧生活	呼吸监测							0.1-1Hz	>95%	<2%	<0.1Hz	<0.05Hz				0.001-1Mbps	高
	入侵检测							> 1Hz	>95%							0.001-10Mbps	高
	手势/姿态识别								>90%							0.001-2Mbps	高
	健身检测							≤0.1-2Hz	>95%		<0.1Hz	<0.02Hz				0.001-2Mbps	高
	天气检测							0.0011-0.1Hz					≤ 1毫米/小时	1km量级		0.1-1000bps	低
智慧网络			1m	3km/h-500km/h				0.01Hz-0.1Hz									

## 缩略语

英文缩写	英文全称	中文
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5GAA	5G Automotive Association	5G 汽车联盟
ADAS	Advanced Driving Assistance System	高级驾驶辅助系统
AGV	Automated Guided Vehicle	无人搬运车
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AoA	Angle of Arrival	到达角
AR	Augmented Reality	增强现实
CDL-D	Cluster Delay Line-D	簇延时线-D
CSI	Channel State Information	信道状态信息
CSI-RS	CSI-Reference Signal	信道状态信息参考信号
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
LTE	Long Term Evolution	长期演进
LOS	Light Of Sight	视距
MIMO	Multiple-in Multiple-out	多进多出
NLOS	Non-Light Of Sight	非视距
PRB	Physical Resource Block	物理资源块
QoS	Quality of Service	服务质量
RSSI	Received Signal Strength Indication	接收信号强度指示
SIB	System Information Block	系统信息块
SSB	Synchronization Signal Block	同步信号块
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人驾驶飞机
UWB	Ultra Wide Band	超宽带
VR	Virtual Reality	虚拟现实

主要贡献单位

CAICT 中国信通院

中国移动  
China Mobile

China  
unicom 中国联通

ZTE 中兴

vivo

HUAWEI

中国电信  
CHINA TELECOM



CICT 中国信科

oppo





联系方式

电话: 15901041712

邮箱: shenxia@caict.ac.cn

COPYRIGHT© 2022IMT-2020 (5G) PROMOTION GROUP.  
ALL RIGHTS RESERVED.

