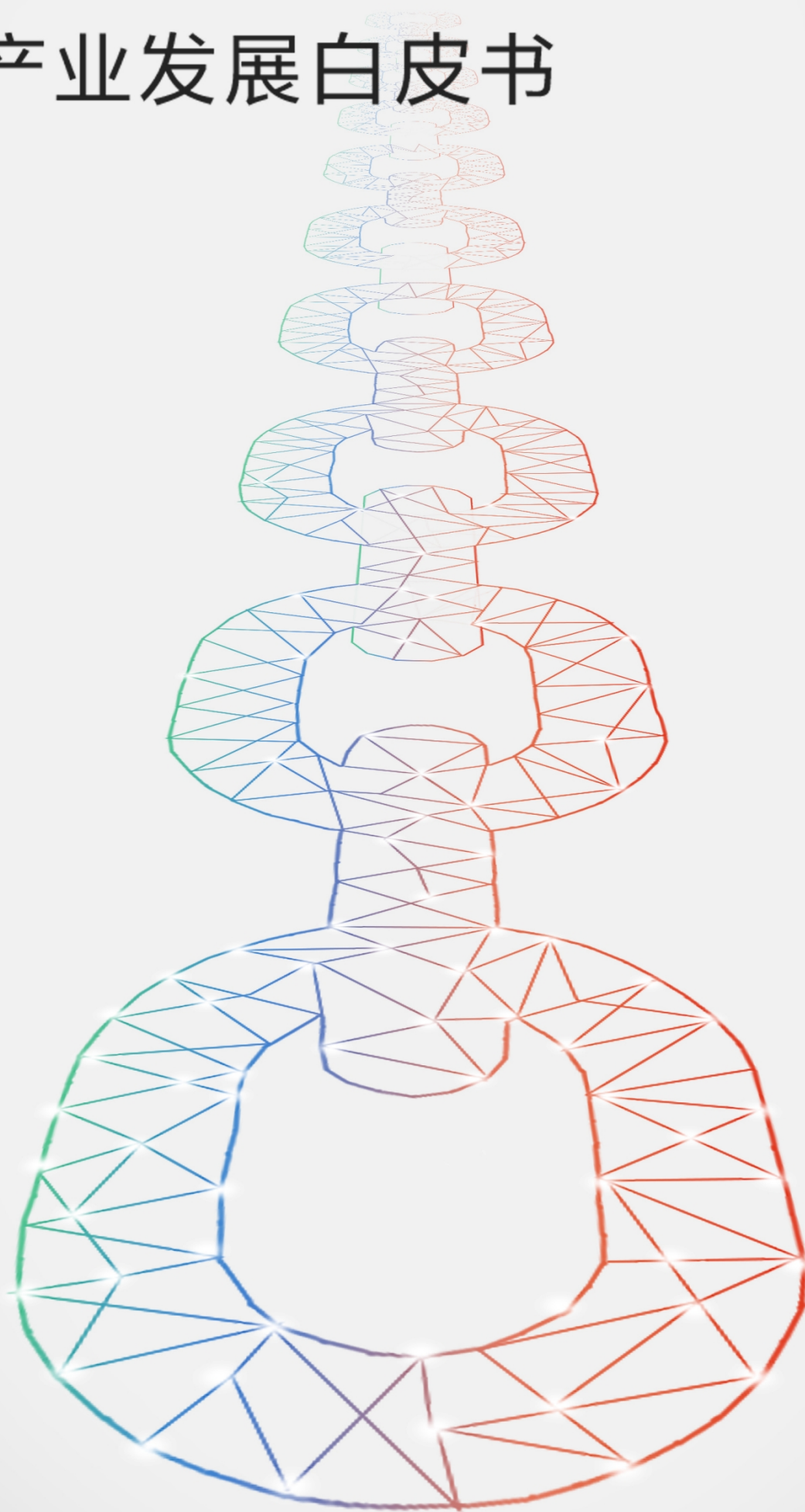


5G-Advanced

新能力与产业发展白皮书





引言	P3
1. 5G-A新能力赋能数智化社会	P3
2. 卓越网络	P5
2.1 X-Layer跨层融通赋能元宇宙	P5
2.2 通信感知融合助力数智新发展	P8
2.3 UDD频谱新范式同时满足行业大带宽与极致时延需求	P15
2.4 空天地一体使能全场景按需接入	P18
2.5 严格有界确定性, 扩展工业互联网新边界	P23
3. 智生智简	P28
3.1 eIoT构建无源物联网, 开启千亿联接新空间	P28
3.2 5G+AI, 智简网络运维, 智生网络性能提升	P34
3.3 无线云网算业一体构建新服务	P38
4. 低碳高效	P42
4.1 智能中继绿色有效提升网络覆盖	P42
4.2 新能源与新技术进一步驱动节能减排	P45
5. 结论与展望	P48
参考文献	P49

引言

“ 2021年4月，国际标准化组织3GPP正式确定5G-Advanced（下文简称5G-A）为5G演进官方名称，这意味着全球5G技术和标准发展进入新阶段。5G-A定位于数智社会的核心基础设施，将全面深化和使能数智社会转型，为数字强国建设注入新动力。中国移动着眼于5G可持续发展，联合产业界于2021年8月发布“5G-Advanced创新链产业链融合行动计划”，提出“卓越网络”、“智生智简”和“低碳高效”三大愿景和十大使能关键技术，旨在推动5G-A全球统一标准，着力降低产业门槛，加速打通关键环节，将创新链成果高效快速落实到产业链中，并通过产业链的繁荣进一步带动创新链的提升，从而实现创新链和产业链的螺旋式推进，成为驱动5G-A可持续发展的引擎。本白皮书将围绕X-Layer跨层融通、通信感知融合、UDD时频统一全双工、空天地一体、极致确定、eIoT蜂窝物联网、AI自智网络、无线云网算业一体、智能中继、低碳节能十大关键技术，介绍中国移动和产业伙伴在需求识别、技术布局、方案设计、产业推进方面的进展。”

1. 5G-A新能力赋能数智化社会

5G 的快速发展已经极大地改变了我们的生活，逐步促进行业数字化转型升级。可以预见，未来的数智社会，物理世界将与数字世界深度融合，移动互联网升级为全真全感互联网，通过大数据、原生智能、全息感知等新技术，在教育、医疗、交通等领域促进普惠社会。通过3D视频、全息视频、感官互联等新应用，满足人们不断提高的娱乐和交流需求，实现高品质的智慧服务。在商业层面，数字经济成为核心舞台，数字孪生把我们所有物理世界的设备、生产流程，产品用数字化的方式构建在一个纯粹的数字世界里，行业将从工具效率提升演进为决策效率提升。

5G-A进一步提升网络能力，支持下行10Gbps、上行1Gbps、宽带实时交互、毫秒级交互时延的能力将激活AR/VR产业并全面使能元宇宙，把全感

官交互沉浸式体验带入现实。5G-A也将支持最全面的物联网能力，模组类型将涵盖从工业级高速连接到RedCap、无源物联，从Gbps到Kbps的全系列物联网模组能力，全面使能万物智联，为千亿连接提供最强大的产业支持。进一步，5G-A还将支持感知、高精定位等超越连接的能力，一网多用，为未来智慧城市构建、数字社会重构和运营商持续探索新产业提供充足动力，构建高效治理的和谐数智社会。

本文将从“卓越网络”、“智生智简”和“低碳高效”三大方向，介绍X-Layer跨层融通、通信感知融合、UDD时频统一全双工、空天地一体、极致确定、eIoT蜂窝物联网、AI自智网络、无线云网算业一体、智能中继、低碳节能十大关键技术。

2. 卓越网络

2.1 X-Layer跨层融通赋能元宇宙

“5G的普及给用户体验带来了跨代升级,360度自由视角视频已经逐步应用在直播等领域,XR等新应用带来的虚拟体验正逐步跨越现实体验的边界,实现沉浸式的实时交互。虚拟世界将从便捷度上超越现实世界,虚拟体验将从真实度上接近现实体验,一个数字新大陆“元宇宙”即将繁荣。元宇宙是虚拟世界与现实世界的深度融合,而XR是元宇宙连接人们生活的载体,是虚拟世界和现实世界之间的通道。XR指的是由计算机技术和可穿戴设备产生的所有真实和虚拟相结合的环境和人机交互,包含了AR (Augmented Reality, 增强现实), VR (Virtual Reality, 虚拟现实) 和MR (Mixed Reality, 混合现实) [1]。”

场景需求:沉浸体验到虚实互动,元宇宙实现万物数字化

“以XR为代表的元宇宙具有丰富的应用场景,既支持医疗、教育、电子商务、工业与制造等面向行业的toB应用,也支持包括影视、直播、游戏、社交等面向消费者的toC应用。随着元宇宙概念的兴起,以虚拟现实为代表的新一轮科技浪潮正在迅猛发展。据Omdia Research机构发布的全球VR市场报告显示,2021年全球消费级VR头显设备销量已达1250万台;预计到2026年,全球范围内的活跃VR头显设备数量将达到7000万台。另据高盛公司预测,到2025年,仅虚拟现实软件应用的规模就将达到350亿美元。”



XR

XR:100Mbps@10ms
 XR pro:-Gbps@5ms



触觉互联网

视觉:5ms,触觉:1ms
 PER<0.01%

图2.1-1 XR业务的技术挑战



元宇宙

64K 6D 120FPS
-10Gbps@ms

图2.1-1 XR业务的技术挑战

“XR产业的高速发展带来了广阔的想象空间,但也对网络传输提出了更高的要求。如图2.1-1所示,低时延下泛在10Gbps体验,毫秒级时延满足实时流畅的交互,10Gbps满足16K 6D的沉浸体验共同构筑了连接现实与虚拟的桥梁。当然,更高的要求也给5G网络带来了更大的挑战。”

1) 挑战1

多流业务的精细QoS保障:XR业务可能同时包含音频、视频、控制信号、信息采集信号等多种信息流数据,如何对多种形态业务流进行协同传输,以保障其到达端侧的时间差在可接收范围,是5G网络需要解决的一个问题。另外,XR视频业务具有特殊的流量特征,如I帧优先级高,B/P帧优先级低。现有5G网络QoS保障的最小粒度为QoS流,无法针对同一QoS流内不同优先级的报文进行识别并区分保障。

2) 挑战2

网络资源效率:为了让单用户强交互XR业务(如VR游戏、VR社交)获得良好的实时互动体验效果,要求下行速率至少100 Mbps,上行速率至少20Mbps,MTP(motion to photon)的双向时延不超过15ms。单用户对速率和时延的高要求,导致网络为大量XR用户同时提供服务时存在挑战。

3) 挑战3

终端能耗高:对于头盔、眼镜等小尺寸XR终端,发热和耗电量大小直接影响用户体验,如何针对XR业务开展节电研究成为5G系统能力提升的重点。

关键技术:业务标记信息感知;网络状态信息感知;
终端醒来的时机精准匹配业务到达时间

关键技术1:业务标记信息感知,辅助网络精细化QoS保障和容量提升

多流协同信息感知,保证多流同步传输:

通过感知XR应用层的数据流信息,网络可以通过使用分层QoS映射的方式将具有不同QoS需求的数据流映射到不同的QoS流上,并结合差异化调度、多QoS流关联协同和多QoS流同步增强等方式,对XR业务进行更加精细化的调度和传输,从而提升XR业务的用户体验。

帧差异性信息感知,优先保障高优先级帧:

XR业务不同类型的数据可能具有不同的重要性。例如:(1) 一个GOP内的第一个I帧是最重要的帧,其它P帧基于I帧进行编解码;(2) 在分层编码方案中,基本层视频帧的重要性要高于增强层视频帧;(3) 视频帧内的不同宏块、ROI区域的重要性不同。网络通过感知这些业务层面的标识信息,可以对重要性不同的数据进行差异化调度,并在网络拥塞时优先丢弃重要性较低的数据来保障重要性更高的数据的传输需求。

帧完整性信息感知,保障帧级QoS需求:

单个帧的完整性传输是保障XR业务体验的重要因素。一个较大的视频帧在传输时,通常会被划分成多个IP数据包进行传输,这些数据包对应同一个视频帧,并在应用层是相关联的,丢失其中1个或多个IP数据包将导致对应的视频帧解码失败。网络可以通过感知帧完整性和帧级QoS信息,尽量保证同时调度单帧数据,或在必要时进行策略性的丢包处理。例如一个IP数据包丢失,则丢弃属于同一视频帧的其它IP数据包,以避免传输无用的数据,从而节省网络资源。通过这些方式,网络能够更加有效地提供端到端的“帧级”QoS保障。

端到端时延信息感知,上下行时延精准分解适配网络状态:

XR业务要求较低的双向传输时延,如何为上下行选择合适的QoS,并将时延按需分解到上下行,是Rel-18研究的一个重点。潜在技术包括在保持时延总量不变的情况下,根据网络状态对上下行时延进行灵活调整等。来保障重要性更高的数据的传输需求。

关键技术2:网络状态信息感知,辅助业务调整码率等参数,保障最优业务体验

“ 通过网络与业务之间及时的信息交互,使得XR业务能够及时感知网络状态信息,如拥塞状态、无线带宽、资源调度周期等,进而促使业务层对发包内容、大小和码率等作出调整,以适配网络的状态,从而保障整体业务体验达到最优。”

关键技术3:终端醒来的时机精准匹配业务到达时间,降低终端能耗

“ 为了降低运行XR和CG服务时的整体UE功耗,延长有效的终端电池寿命,5G-A将在C-DRX和PDCCH监听等技术领域进行增强以支持XR/CG业务准周期性、非整数周期和可变数据速率和抖动的特点。潜在的技术方案包括:通过自适应调度周期/偏移调整来匹配业务数据的到达时间和克服数据到达的抖动;通过提供多种周期长度资源的组合来支持非整数周期业务;通过增强WUS信号让UE提前进入DRX激活期的方式来克服抖动问题并降低功耗等。”

产业推进:3GPP标准已立项;中国移动研究院与咪咕、业内合作伙伴联合推进XR样机研发

“ 中国移动较早地洞察了视频、语音以及交互式多媒体业务的未来发展趋势,在4G演进的后期便着手针对视频和语音类业务和网络的联合设计开展技术攻关,引领网业协同技术创新,在3GPP RAN率先提出了“无线智能感知与业务分发”、“视频和语音业务增强”、“视频业务进一步增强”等系列项目。

面向XR,3GPP早在2018年就启动了一系列研究工作。SA4工作组在Rel-16和Rel-17率先开展了针对AR业务的研究,后续其它SA工作组和RAN工作组也陆续启动了XR相关的立项研究。RAN1工作组于2021年从容量、终端节能、覆盖和移动性四个方面对XR业务进行了初步探索,2021年12月,3GPP RAN确定了Rel-18中对XR和CG业务的标准立项,将从XR网络感知应用、容量提升和终端节能三个方面开展标准化工作;在SA2,中国移动牵头了Rel-18 XR及多媒体增强项目,将从多流协同、网络信息开放、媒体流QoS保障、网络抖动降低、针对媒体业务的节电增强五个方面开展标准化工作。

XR产业的发展离不开多领域技术的进步和协同,同样也离不开网络传输针对XR业务的优化适配。中国移动正积极与产业界紧密合作研究,推动从应用、编码到传输的端到端X-Layer跨层融通解决方案。目前,中国移动研究院正联合咪咕、业内合作伙伴开展一系列XR样机的研发和测试工作,通过推动3GPP标准化和开发支持XR服务的样机系统等,推动标准化和产业化工作的稳步发展,并预期在未来2-3年内逐步开展端到端的XR产业落地的试点工作。”

2.2 通信感知融合助力数智新发展

“通信感知一体化通过空口及协议联合设计、软硬件设备共享,使用相同频谱资源实现通信功能与感知功能的融合共生,使得无线网络在进行数据通信的同时,还能通过分析无线通信信号的直射、反射、散射,获得对目标对象或环境信息的感知,实现定位、测距、测速、成像、检测、识别、环境重构等功能,为提升频谱利用率和设备复用率、提升通信网络价值带来一个全新的维度。”

场景需求:面向行业一网多能,感知与通信的融合共生

感知需求在千行百业普遍存在,车联网领域的路、车、人感知,安防领域的人员入侵检测,航空监管领域的无人机感知,医疗康复领域的人员跌倒识别等。通常情况下,满足此类需求需要专用频谱资源和专属网络。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,可以通过软硬件升级,在满足通信需求的同时,也具备原生的感知能力,凭借广覆盖的优势,汇聚各个感知端点组成感知网络,构建低成本、高精度、无缝泛在的通信感知一体化网络,实现面向行业的一网多能。

面向车联网场景,随着交通领域联网化、数字化、智能化、云化的趋势,需要在海量交通终端设备进行实时数据通信的同时,高效感知路、车、人的实时状态,使车联网系统在区域、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。如图2.2-1所示,车联网集感知、决策和控制等功能于一体,对于道路监管、自动驾驶、高清地图构建等业务同时存在通信与感知的需求。在通信方面,实现L3自动驾驶所需的高精地图下载对通信速率需求高达单车20Mbps;在感知方面,受限于车载雷达的视角、距离和感知精度,因此需要路侧感知信息辅助扩大感知范围和处理能力,为自动驾驶汽车安全运行提供超视距辅助。虽然目前公路周边已经安装了相当数量和多种功能的感知设备,如摄像机、毫米波雷达、激光雷达等,但是传统设备感知距离仅能实现100m-300m;而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,单点感知范围可以达到500m,进而实现低部署密度、低成本、低开销的环境感知能力,并通过网络架构优化、业务流程适配以及车联网协同等机制进一步降低感知时延、提高感知范围、同时通过长时间时域累积提升感知准确度。

面向低空无人机场景,通信感知一体化主要用于无人机监管、路径规划和避障等。无人机出货量每年增长29%,消费者领域无人机保有量超过84万。无人机飞行距离超过10km,不明身份的无人机有可能出现在重要场所,恶意的无人机可能会破坏生活和生产安全。传统基于雷达的感知存在部署成本高、频谱资源短缺、感知范围受限等问题。基于通信与感知融合技术对低空无人机进行感知定位和追踪,通过通信网络的协同调度,可以实现广域的电子围栏,辨识和阻拦即将侵入特定区域的无人机。此外,还可以将周围环境的感知结果提供给处理中心,辅助无人机路径规划和避障等。

在经济和产业价值方面,2019年国家公路投资2.2万亿,其中信息化占2.5%(566亿),且正在逐年增加。2020年中国低空无人机监管与防御市场空间超15亿元,

未来3~5年空间超过330亿元 [2]。因此,可以预见,通信感知一体化技术可为车联网场景和低空无人机场景打造百亿级的经济和产业价值。



图2.2-1 智慧交通场景和低空无人机场景图

在实际部署中,通信感知一体化技术面临如下挑战:

挑战1

一体化空口和硬件设计。如何通过一体化的设计在相同的频谱资源、共用一套软硬件设备或共享部分设备器件的情况下,同时使能通信功能和感知功能。

挑战2

感知工作模式设计。如何利用蜂窝通信系统的特征,提供比雷达系统自发自收感知工作模式更丰富的应用场景。针对不同场景、不同应用、不同感知需求设计多样化的感知工作模式。

挑战3

灵活化感知网络架构设计。如何通过灵活的网络架构满足多样化感知需求,例如缩小从感知信号发送到感知结果获取的时延,满足车联网场景自动驾驶等业务对低时延高精度的感知需求。

挑战4

感知业务流程设计。面向不同业务场景,网络需支持终端、核心网网元和第三方业务平台的感知需求,如感知业务的触发、修改和结束。

关键技术：一体化感知信号设计；多样化感知工作模式；灵活化感知架构；规范化感知业务流程

“通信感知一体化设计，是实现无线感知能力的基础。通信和感知的资源通过时分、空分、码分等方式实现通信感知一体化波形，使得感知功能在通信基站上按需叠加，降低感知的部署成本；在保证通信性能的前提下，使能5G支持多样化感知收发工作模式，实现通信感知同覆盖；通信与感知架构的一体化，还能够在不同行业快速打通端到端感知服务，还可以保障数据安全。”

关键技术1：基于OFDM的感知信号设计实现一体化空口和硬件共享

“针对同时使能通信和感知功能的一体化空口和硬件设计需求，进行一体化感知信号波形设计。考虑波形研究的成熟度和硬件集成的复杂度，通信感知一体化优先考虑以OFDM波形为主体的感知波形设计。此外，通信感知一体化通过软硬件设备共享，在相同频谱资源发送感知信号和通信信号，一种复用方式是感知信号和通信信号通过时分/频分/码分的方式实现彼此正交的传输，降低通信信号和感知信号之间的干扰；另一种方式是复用通信信号实现感知功能，最大化资源利用率。感知信号设计方面，为了满足感知信号距离、速度、角度等感知参数精度要求，感知信号设计可以在5G系统的下行信道状态信息参考信号和跟踪参考信号等基础上进行增强。如图2.2-2所示，为了提升距离估计精度，通过频域稀疏性设计使得感知信号占用更大带宽的同时节省资源开销；为了提升速度估计精度，感知信号在时域进行重复传输，提升多普勒估计准确性；为了提升角度估计精度，通过窄波束扫描的方式发送感知信号，同时还能最大化感知信号链路质量，最小化感知信号与其他信号之间的干扰。”

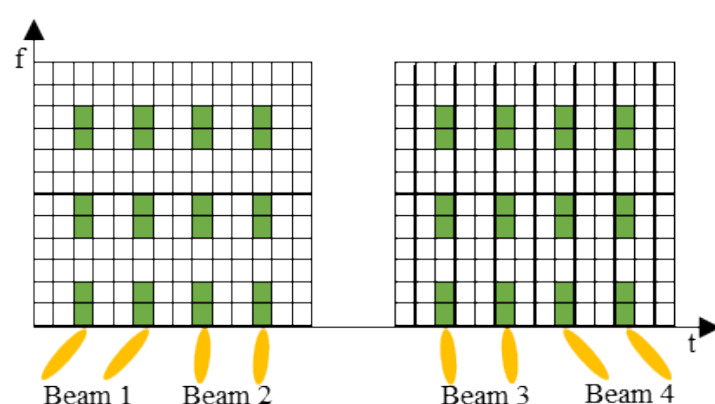


图2.2-2通信感知一体化感知信号设计

关键技术2：三种架构六种模式使能丰富感知应用场景

“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，根据感知信号发送和接收方式的不同分为自发自收、A发B收和协作组网三种架

构。如图2.2-3所示，具体分为基站自发自收，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，终端间协作感知六种工作模式 [3]。

基站自发自收工作模式与传统雷达感知工作模式相似，主要挑战是如何做到收发信号的隔离，例如通过独立的收发天线实现发送和接收的硬件隔离。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。基站间协作感知的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，收发的干扰隔离实现比基站侧更困难。终端间协作感知工作模式多用于局域感知场景，对于传播环境复杂、基站感知直射径较少的场景，感知性能受限。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2.2-3 通信感知一体化工作模式

关键技术3: 灵活化网络架构满足不同感知场景需求

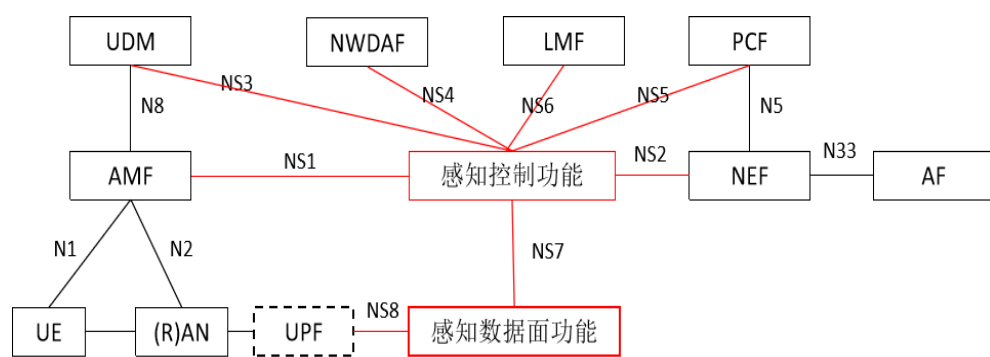
“针对灵活化、轻量化管理的网络架构需求，引入感知功能，设计一体化网络架构。通信感知一体化包括感知数据收集处理及感知控制等基本功能。基站侧在收集到感知相关数据后，需要把收集到的感知相关数据上报给感知控制功能单元；感知控制功能单元基于对感知相关数据的处理和分析，生成对应的策略或控制信息，并通过接口消息的方式交由相关的节点或功能实体执行相应的策略或控制。值得一提的是，根据感知功能应用的不同目的，感知功能生成的策略或控制的执行主体可以是核心网功能，也可以是接入网节点；相应地，根据通信感知功能应用的目的不同，感知功能在逻辑上的位置可以在核心网，也可以在接入网。目前产业界一种普遍观点是仍然沿用现有的移动通信系统架构，把感知功能作为核心网的一个功能，且与其他核心网功能实体之间存在潜在的接口交互。在某些情况下，考虑到感知的对象很多都是非合作对象，即对象被感知是在非主动的情况下实现的，

这时这些对象在网络内本身就不存在与感知业务相关的身份信息,自然感知对象的反射数据是在基站侧还是在核心网侧进行分流处理并没有本质区别,尤其当应用目的仅涉及到接入网相关功能(如波束调整和动态调度等),感知功能在逻辑上属于接入网是一种更合理的架构方式[4]。通信感知一体化网络架构的潜在方案包括两大类:

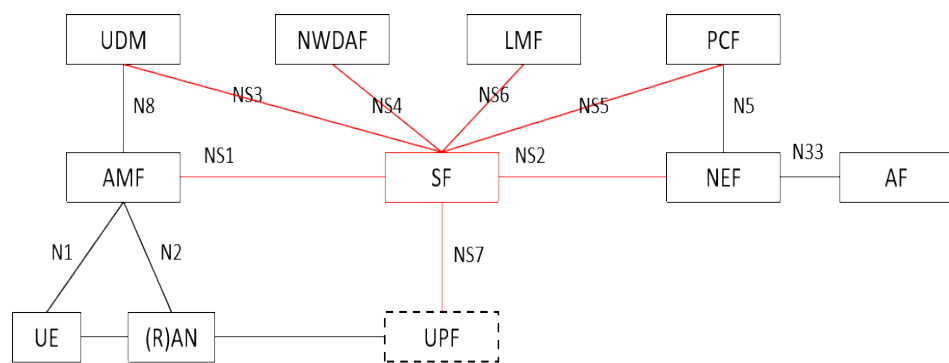
C-U分离和C-U融合的网络架构:

1)C-U分离架构,如图2.2-4(a)所示,感知控制功能和感知数据面功能分别属于核心网不同的两个网元,分别实现感知业务的控制与感知数据的采集与分析,可与5GC网元进行交互,符合现有网络架构演进方向,业务逻辑清晰。

2)C-U融合架构,如图2.2-4(b)所示,该架构下感知网元控制功能和感知数据面功能同属于核心网一个网元,适用于轻量级网络感知需求;感知数据可直接经由控制面或用户面传输到感知网元,可减少新接口的引入,简化网络架构。 ”



(a) C-U分离架构



(b) C-U融合架构

图2.2-4 C-U分离和C-U融合的网络架构

本地化网络架构:

“ 1)本地分布式架构,如图2.2-5(a)所示,感知功能逻辑上属于接入网,并进一步在逻辑上属于基站内部的一个功能,感知功能可以通过N2接口与5GC交互。该架构可通过接入网感知功能辅助RAN侧实现对空口的动态控制,可以满足感知功能的实时性要求,并且不需要引入新的开放接口,架构简单,传输节点少,易部署。

2)本地集中式架构,如图2.2-5(b)所示,感知功能逻辑上属于接入网,但是属

于独立于基站之外的一个单独节点或实体。该架构可通过接入网感知功能辅助RAN侧实现对空口的动态控制,可以满足感知功能的实时性要求,通过引入新的开放接口(Itf)来实现多站协同的感知功能控制,也可适配单站级别的感知控制功能。

3)综合式架构,如图2.2-5(c)所示,感知功能在逻辑上进行了进一步划分,一部分感知功能属于接入网,另一部分感知功能属于核心网,本方案独立于现有核心网AMF来进行两层感知功能之间的交互,并且可以根据不同的感知应用场景来进行不同的感知信令配置及感知数据收集,最大限度地扩展了通信感知一体化的应用范畴。”

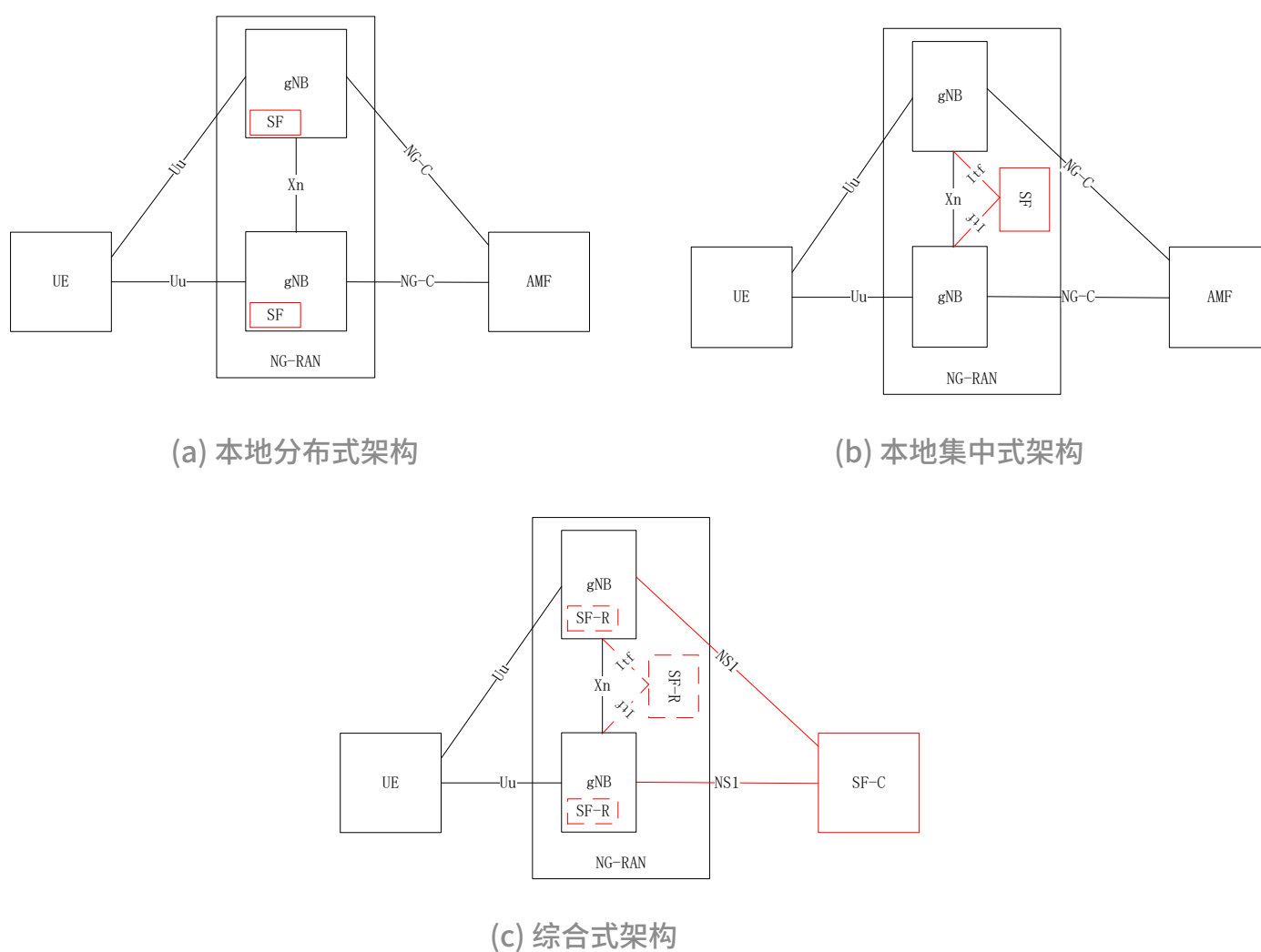
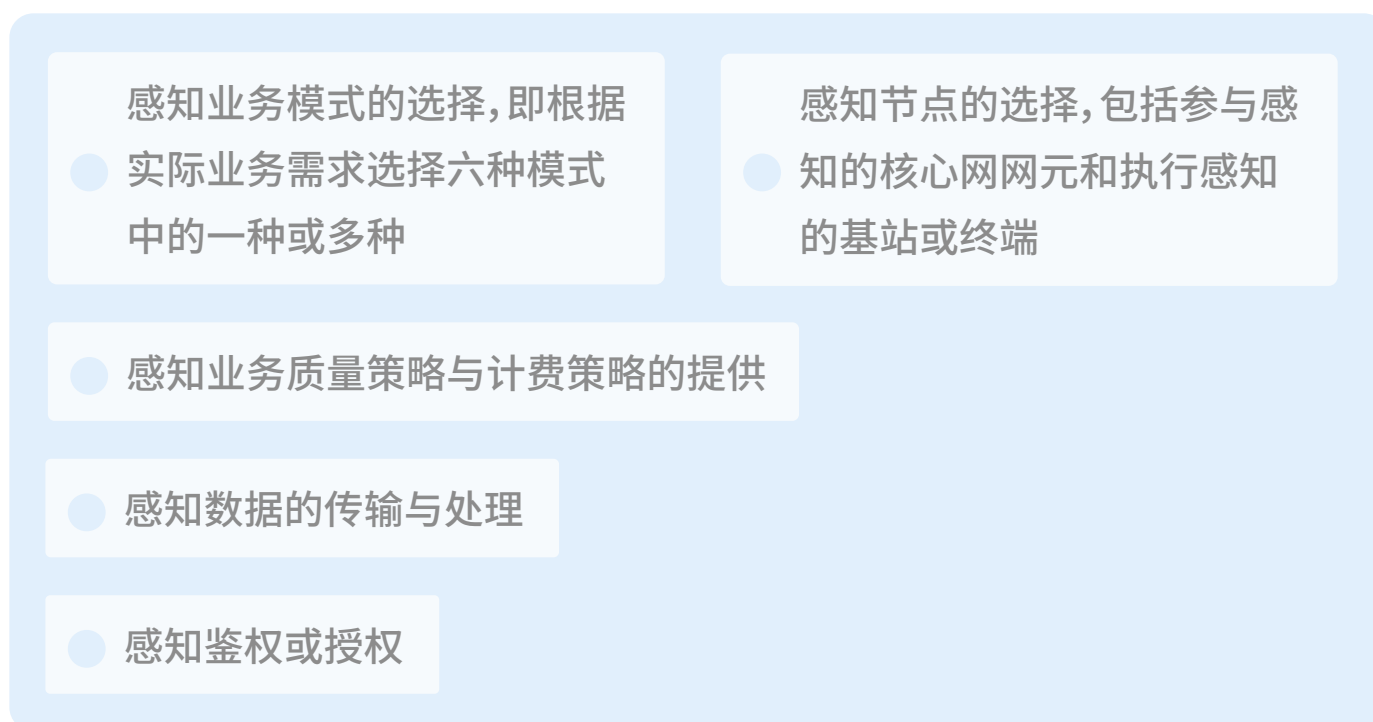


图2.2-5 本地化网络架构

关键技术4:基于不同网络架构的感知业务流程支撑感知业务实现

“面向不同的应用场景,感知业务需求可由终端、网络或业务平台提出,核心网可根据需求选择相应的网元参与,同时选择合适的基站或终端执行感知,基站根据需求调度无线资源进行感知或传输数据。此外,由于感知业务涉及敏感数据,如人体特征及行为、涉密机构位置及机构内人员活动等,调用感知业务需通过鉴权或授权。”

面向感知业务的流程控制需支持如下机制:



产业推进:3GPP已启动场景需求研究;中国移动和华为发布感知距离超过500m、角度精度达0.2度、速度精度小于0.1km/h的样机系统

“ 国际标准组织3GPP和国内IMT-2020推进组针对通信感知一体化开展了研究工作。3GPP SA1于2022年2月确定通信感知一体化Rel-19新立项,主要讨论通信感知一体化场景和需求。3GPP RAN和SA2计划将于2023年底讨论空口和网络架构Rel-19新立项。IMT-2020通感任务组于2021年8月开始针对场景需求、关键技术、网络架构、外场测试、仿真评估五个方面开展研究工作。

中国移动联合产业伙伴在通信感知一体化领域展开全方位的技术研究和合作,基于5G基站的频段和5G网络部署情况,对于感知应用的组网方案、关键技术、干扰管理、感知指标和能力与产业伙伴定期展开深入的技术交流,共同推动原型样机开发。

目前,中国移动联合华为开展通信感知一体化样机研发和测试工作,分别在交通场景和低空场景对车辆感知和无人机感知进行了测试验证,验证结果显示,感知距离超过500m,角度精度达0.2度,速度精度小于0.1km/h。相对于当前主流无人机感知技术,该样机感知目标更多,种类更全,区域更广,结果更加可信。产业界也正在探索更多的通信感知应用场景,并根据样机开发和场景应用成熟度,预期在未来2-3年内逐步开展通信感知一体化产业落地的试点工作。”

2.3 UDD频谱新范式同时满足行业大带宽与极致时延需求

“ TDD频谱是5G的主力频谱,时分双工是5G在TDD频谱上的主要工作模式,传统的以下行时隙为主的TDD无法有效满足工业互联网应用场景中提出的极致时延和高可靠需求,亟需双工模式的变革来助力行业的数字化转型升级。”

场景需求:利用TDD频谱满足工业场景的极致低时延和高可靠需求

“传统的toC业务以eMBB为主,通常对下行速率和容量有较高要求,因此5G公网的TDD帧结构中下行时隙占比较大。然而,toB应用尤其是工业互联网场景对5G的时延能力提出了极致要求,例如,在智慧工厂、智慧港口等工业互联网场景中,5G应用开始从行业辅助生产环节向核心生产环节延伸,行业核心生产环节涉及到的机器运动控制、机器间协同、机器视觉AI检测等应用。据统计,在所有工业控制协议中,约15%要求端到端时延不高于1ms、约35%要求端到端时延不高于4ms、约30%要求端到端时延不高于10ms,留给空口传输的时延会更短,这就要求5G-A空口需要具备极致低时延和高可靠能力以支持工业互联网的实时应用,推动工业网络向无线化演进。另外,有些toB应用也会自下而上产生海量数据,将大量的人和机器的信息传递上云[5],提出了大上行的传输需求。”

关键技术:时频统一全双工打破TDD性能天花板,实现极致时延与覆盖,挑战频谱效率极限

“UDD时频统一全双工开辟了全新时频复用模式,可以利用单载波提供“0”等待时延,并可以有效提升上行覆盖,一网多能支持低时延高可靠与大上行或大下行业务的高效共存,满足运营商的中长期部署需求。如图2.3-1所示,UDD时频统一全双工技术包含双载波UDD和单载波UDD技术两种。

双载波UDD技术又分为SUL补充上行和双载波互补帧结构两种方式,如图(a)和图(b)所示。基于SUL的D-UDD通过将一个单独载波作为全上行来配合TDD载波使用,可以极大提升上行的覆盖和降低时延。基于互补帧结构的D-UDD在两个TDD载波上配置互补的上下行时隙配比,可以实现在任何时刻都既有上行传输机会也有下行传输机会,从而提供极致时延能力,但是需要终端具备载波聚合的能力。这两种方式中国移动均已推动在前期标准中实现,并已在现网中进行了推广应用,后续还可以通过跨载波灵活HARQ反馈和重传合并等增强进一步提升性能。

单载波UDD如图(c)所示,也即子带全双工技术,在一个载波内将不同的子带配置为不同的传输方向,通过自干扰消除、子带间干扰抑制等关键技术,使用单载波就可实现任何时刻的上下行传输,满足1ms以内的极致时延需求,并可通过上下行带宽灵活调整,有效匹配大上行或大下行需求。同时,由于上行传输的机会相比传统TDD模式大大增加,因此可以通过上行重复传输等手段大大提升上行覆盖能力。”

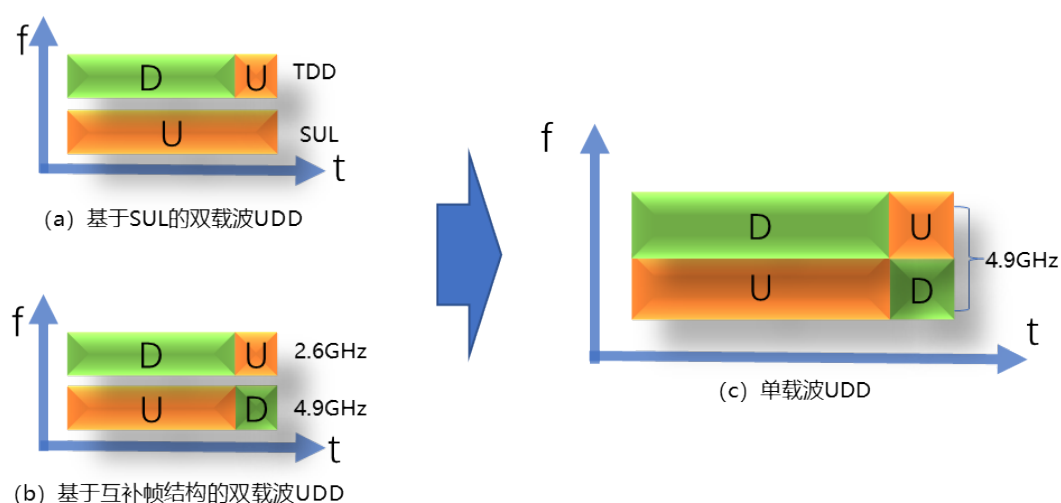


图2.3-1 UDD时频统一全双工

“ UDD时频统一全双工需要解决复杂严峻的干扰问题,尤其是单载波时频统一全双工,包括子基站侧的上下行自干扰、基站间或终端间的子带间交叉链路干扰甚至终端侧的上下行自干扰等新的干扰类型,关键技术包括:

1)基站侧自干扰抑制技术:包括天线域、射频域和数字域自干扰抑制技术 [6]。其中,天线域可以采用收发分离天线架构,并且在收发天线之间增加一些隔离板或金属栅栏,以增加干扰隔离度;射频域可以采用频率固定的或频率可调的子带模拟滤波器,或模拟射频自适应滤波器,在射频域削弱上下行子带间的干扰,避免LNA或ADC饱和;最后,可以在基带采用先进的数字域干扰删除算法,进一步删除残余干扰。

2)基站间/终端间的子带间交叉链路干扰抑制技术:子带间交叉链路干扰为非线性干扰,需要定义新的干扰测量量以及相应的测量和上报机制,进行针对性的干扰检测和抑制。

3)资源分配和系统设计:S-UDD网络中,终端形态灵活多样,既可以是存量TDD终端(不能感知S-UDD网络配置)、也可以是新型TDD终端(可以感知S-UDD网络配置),还可以是具有子带全双工能力的终端。针对存量TDD终端,需要研究如何无感知地工作于S-UDD网络中;对于新型TDD终端,需要研究S-UDD网络配置指示技术,并且优化诸如SSB与上行传输冲突、DCI调度信令中多个子带非连续频域资源指示、多个子带非连续CSI测量资源指示等问题;对于具有子带全双工能力的终端,将结合终端能力,进行更多性能优化。”

产业推进:主导3GPP标准制定;中国移动与业内合作伙伴联合发布UDD样机,实现10x上行能力提升和极致空口时延

“ 中国移动于2021年6月,主办了UDD时频统一全双工研讨会,邀请业界企业共同探讨UDD时频统一全双工的未来发展方向。同年12月,中国移动在3GPP主导了Rel-18 NR双工演进的立项 [8],作为报告人继续整合和引领国内外通信行业力量,主导UDD技术的研究和标准制定工作,推动相关技术的早日成熟和实验验证。

中国移动还积极与产业界紧密合作研究,通过联合样机研发,推动产业化工作的稳

步发展。中国移动在2021年12月份发布的基于互补帧结构的D-UDD样机通过在2.6GHz和4.9GHz TDD载波上使用互补TDD配置,验证了D-UDD双载波时频统一全双工的技术潜力,实现了空口4ms端到端确定性低时延和99.9999%可靠性的传输能力。本次发布的基于SUL的D-UDD样机通过50MHz的SUL和100MHz的TDD,并使用上行多用户8流,实现小区峰值首次突破3Gbps,达到10倍上行能力提升。 ”

2.4 空天地一体使能全场景按需接入

“ 近年来,全球低轨卫星互联网部署热潮兴起,“天地一体”成为国家空间信息基础设施重点演进方向之一。NTN(non-terrestrial network,非地面网络)被视为地面通信网络的重要补充。3GPP在Rel-15就提出了卫星接入网络整合到5G网络的需求,Rel-16启动了NTN的技术研究,并在Rel-17完成了5G融合卫星通信系统的第一阶段标准化工作。期间,确立了首个NTN和地面网络融合的移动通信网络架构,并完成了适配卫星网络的高传播时延和多普勒偏移等特性的空口协议功能设计。 ”

场景需求:天地一体化网络实现广域覆盖

“ 由于陆地的覆盖仅占地球表面的6%,且陆地覆盖不足也依然是个重大的问题,尤其是偏远地区,伴随着5G的通信触觉进一步延伸到更广阔的空、天、地、海领域,NTN(non-terrestrial network,非地面网络)被视为地面通信网络的重要补充。通过深度融合天基和地基网络,利用卫星通信可以不受地形地貌的限制提供强大的覆盖能力,尤其是低轨卫星具有传输时延低,且成本较低廉,系统容量大的特点,与地面5G的融合能够为用户提供更为可靠的一致性服务体验,降低运营商网络部署成本,连通空、天、地、海多维空间,形成一体化的泛在网络格局,比如,可以有效得解决偏远地区由于缺乏网络部署和接入成本高,处在偏远地区的车辆和船只无法通过地面网络接入因特网,运输和物流、农业、环境监测、采矿等场景下无法通过地面网络采集到状态信息采集和下发控制管理命令等问题;以及克服在应急场景下,当地面网络基础设施因灾难损坏,无法及时提供高可靠的应急通信的难题。 ”

从需求和技术方面来看,实现天地一体化网络面临如下挑战:

挑战1

天地一体网络拓扑编址路由机制不统一:一方面,天地一体网络无法复用地面IP编址和寻址。面向5G-A网络的天地网络中,卫星与地球的相对高速移动,导致其基础设施全球高动态时变,星间与星地链路拓扑频

繁变化,编址不稳定,现有的地面IP编址和寻址无法直接应用于天地一体网络。另一方面,天地一体网络的拓扑频繁变化。卫星高速移动所导致的卫星网络内部及与地面网络之间的拓扑关系不断变化是一直困扰天地网络路由机制设计的难题之一,尤其是在网络业务负载显著加重时,随着卫星规模增长,切分卫星运行周期内的静态拓扑片段难度急剧增加,使得星上存储开销和维护开销急增,星上面临路由表爆炸问题,对网络可用性造成极大影响。

挑战2

天地一体网络存储需求将激增:随着5G-A网络的低时延、大数据量、AI等复杂业务应用的出现,这些应用不仅使网络流量正在以前所未有的速度增长,还产生巨大网络数据量的存储的需求,这给天地一体网络的存储带来了巨大的挑战。

挑战3

缺失天地融合的统一的空口设计:相对于传统的地面通信,卫星通信的传播环境、移动性、卫星轨位变化和多重覆盖等方面和地面网络有着很大的差异,体现在空口的时延、同步、移动性等多方面与地面移动通信存在诸多不同。而目前的5G系统的空口设计主要是针对传统地面网络,需要统一的波形设计和统一的空口技术可以尽可能扩大产业链,保持技术体系的一致性,使得两方面优势互补、合作共赢,网络可以真正利用卫星通信的广域覆盖的优势,以及飞行器的灵活分布的优势,弥补地面通信的不足,提供业务的连续性,尤其是在应急通信、对空通信、海洋通信等场景下。

挑战4

缺失星地统一的频率资源分配机制:频率资源仍是制约星地融合的主要瓶颈,随着低轨星座的大面积部署,频率冲突的问题将愈发严重,探索星地频率规划及频率共享新技术是实现星地融合需要解决的首要问题。

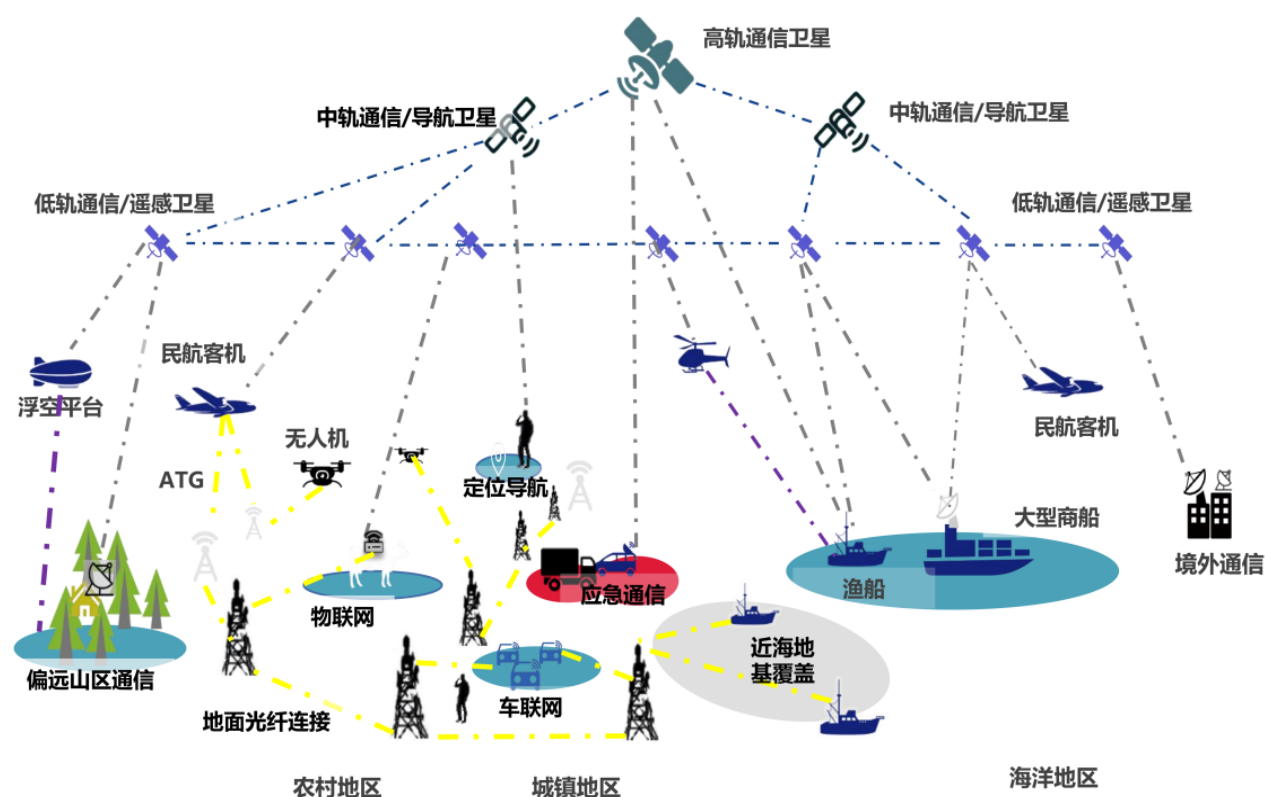


图2.4-1 天地一体化网络应用示意

关键技术:基于位置的天地一体统一编址路由;多级池化分流存储技术;天地网络融合的统一空口技术;星地、星间频率资源的协同管理

关键技术1:基于位置的天地一体统一编址路由,实现卫星互联网的稳定、高效、可扩展

“ 面向天地一体网络无法复用地面IP编址和寻址的问题,近年来国内外研究多个编址与卫星移动相解耦的方法。目前的研究主要聚焦于基于位置信息的IP编址,为IP地址赋予位置属性,实现IP编址与逻辑接口解耦,降低用户IPv6地址切换频率,使用户地址分配与卫星切换无关。基于IPv6的新型编址和寻址,利用空间卫星的运动特征对全球地表位置进行层次化分区和编码,构造层次化的 IPv6 空间位置编址,实现天地统一寻址,打破异构网络之间壁垒,化异构互联为同构融合,在高动态空天地环境下确保卫星互联网的稳定、高效、可扩展。

此外,卫星高速移动所导致的卫星网络内部及与地面网络之间的拓扑关系不断变化是一直困扰天地网络路由机制设计的难题之一。当卫星网络仅承载简单业务时,卫星接入的业务负载相对于星间链路的高速传输能力而言较轻,发生网络拥塞的概率较低。此时,具有较低复杂度的静态路由算法就足以解决星座网络路由问题。但是如果需要承载宽带多媒体业务,则网络业务负载显著加重,且随着卫星规模增长,切分卫星运行周期内的静态拓扑片段难度急剧增加,由于时间片增长规模正比于链路切换次数,使得星上存储开销和维护开销急增,星上面临路由表爆炸问题,对网络可用性造成极大影响。基于IPv6的新型编址和寻址体系利

用稳定且规则的星座特性,以及分层的编址特征,并且采用地理位置寻址的方式在地面用户间传输流量,可以在不重新收敛的情况下实现稳定、高可用性和高效的天地融合网络寻址。”

关键技术2:多级池化分流存储技术,保证天地一体网络高效可靠的服务

“随着5G-A网络的低时延、大数据量、AI等复杂业务应用的出现,这些应用不仅使网络流量正在以前所未有的速度增长,还产生巨大网络数据量的存储的需求,这给天地一体网络的存储带来了巨大的挑战。通过分流存储技术,将多种类型的存储集成到一个芯片上,用以消除海量数据存取处理并行的时延,分流存储技术可以消除传统的数据中心集中式存储产生的“存储墙”瓶颈的问题,通过直接利用存储器结合内部算数逻辑单元实现对数据的就近处理。通过云原生技术,对天地一体网络的多类异构计算架构进行统一抽象和虚化,实现对全局数据资源的动态高效存储的实时处理,形成多级虚拟化的分流存储单元,最终形成多级池化分流,解决数据洪流和存储分配不均衡问题。通过多级池化分流的存储技术,有望构建新的分布式空地天一体网络体系架构,实现空、天、地基的接入端分流存储,传输路由端和中心端的分流存储。通过多级池化分流存储技术,保证天地一体网络高效可靠的服务。”

关键技术3:天地网络融合的统一空口技术,基站/核心网上天,降低端到端时延,星/地网络双连接或无缝切换提升用户体验

“无线空口技术体制是移动通信网络的基本要素,从产业链的生态环境和技术发展的相互融合看,卫星通信需要充分利用5G地面通信的研究成果,同时面向卫星通信的传播环境、移动性、卫星轨位变化和多重覆盖等方面进行针对性设计。例如,针对卫星网络空地之间的高传播时延和多普勒偏移等特性进行优化设计。因此,在目前5G地面通信的基础上,设计一种适配天基系统和地基系统融合的特性,更灵活,更高效的使用卫星设备,飞行器设备和地面设备的网络结构,小区结构和协议功能,具体涵盖了以下关键技术:

1)转发卫星架构和再生卫星的架构:转发卫星架构中的卫星仅具备射频滤波、频率转换和放大功能,只能通过NR协议将用户数据重新定向至地面基站,只能实现信号的简单的放大和发送功能,被称为透明转发(bent-pipe)模式;而再生卫星架构中的卫星则会搭载全部基站单元,因此,额外具备调制/编码、解调/解码、交换/路由等功能,被称为再生放大(regenerative)模式。这样,5G-A技术可以提供基于部署和业务的需求的接入网功能的弹性部署,即,再生模式、部分再生模式、透明模式多形式的无线接入网架构。当然,再生卫星架构是未来的发展趋势,能够有效降低信令和业务的处理延时、提升用户体验,并综合利用星地的空口和硬件资源。通过星链,可以更好地进行覆盖的延伸,可以提供更为灵活的网络部署选择。

2)超远距离传输技术增强:卫星以及高空平台和地面基站之间的超远距离带来了星地传播较大的时延,需要在5G地面设计基础上针对调度时序管理、HARQ功能编排以及上行传输时延补偿等功能增强或重新设计。

3)面向基站超高速移动的技术增强:卫星以及高空平台和地面基站之间的相对移动速度较快,带来了很大的多普勒频移,需要在上行时频域同步、路由区更新管理、测量管理、移动性管理以及馈线链路切换等方面进行增强和重新设计,真正实现无论何时何地,终端可以动态得选择地面网络、临空平台或者卫星网络,并在地面网络、临空平台或者卫星网络之间无缝得按照业务QoS需求接入网络,获得最优的用户体验,泛在广域覆盖。”

关键技术4:星地、星间频率资源的协同管理,提升频谱利用效率

“当地面5G和基于5G的卫星通信系统的共存时,一个重要的问题是频率资源的分配和利用。在传统的频率分配中,卫星和地面资源是分离的,随着技术和产业的发展,这两种通信模式是融合的,因此有可能采用统一的频率分配。因此技术上需要考虑通信模式共存时的半静态或动态的资源共享模式以优化资源的利用。对于采用星地双链传输技术,网络可以基于动态共享频率资源的策略,根据业务类型来确定星地频率资源的分配。而在频率管理中,一个重要的环节是干扰管理。在多星之间、星地之间,干扰管理需要考虑不同运营主体和相同运营主体的应用条件,来确定采用不同的干扰规避或者频率监管的策略。

另一方面,作为地面通信的补充,卫星通信也亟需寻求新的高频频谱资源,满足多样化应用需求。为了充分利用现有卫星产业基础,同时符合ITU频谱划分规则,Rel-18 3GPP重点考虑10GHz以上频谱作为NTN潜在频谱范围,开展射频指标研究。”

产业推进:主导ITU-T标准制定,积极推动试验验证

“天地一体网络作为5G-A阶段的全新业态,中国移动正积极联合高校、研究所和产业界在关键技术研究及标准化推动、技术交流与产业合作平台、新型业务场景挖掘与应用研究以及演示验证试验等方面全方位推动产业发展。在标准化领域,发布了ITU首个天地一体标准,并初步构建了覆盖需求、场景、架构、网络切片、业务连续性、能力开放、流量调度、算力网络等领域的全球首个天地一体国际标准体系,提出了基于统一IP基座和一体化路由机制的空天地一体网络架构,从而将天地一体的标准化领域从无线接入网、核心网扩展到IP网络和算力网络。在应用研究以及演示验证试验方面,正积极推进与中兴通讯、中国星网、中国卫通等在体制协议、业务模式、网络方案、系统联测等方面的合作,推动卫星与通信产业协同发展。此外,依托清华、北邮等合作载体,开发星地一体原型产品。2021年12月,自主研发的5G-A核心网实验单元联合北京邮电大学开发的星载核心网,搭载宝酝号小卫星在轨运行成功。”

2.5 严格有界确定性, 扩展工业互联网新边界

“5G服务工业互联网是5G从消费互联网向产业互联网转型的重要领域。面向严苛的工业场景要求,5G需要从传统”尽力而为“向”言出必行“转变服务能力,引入确定性传输技术实现“有界时延、有界抖动、高精度时间同步”。但是由于移动网络本身的局限性,如移动性、无线传输质量易受环境影响等问题,目前的5G网络缺乏确定性保障机制,现有5G QoS能力也无法满足确定性需求,同时,当前网络管理缺乏跨层联动能力,确定性能力难以端到端贯通,影响运营维护。5G-Aadvanced阶段网络将进一步引入新的协议机制来满足确定性传输要求。”

场景需求:移动通信网络引入确定性,助力工业4.0,实现工业互联网

“确定性网络是一种通过对网络数据转发行为的控制,从而实现可预期、可规划的,将时延、抖动和丢包率等控制在确定范围内的网络技术。确定性技术引入移动网络是实现工业互联网的重要基础能力之一,可以增强5G网络无处不在的连接、通信、和算力服务,以灵活、安全和统一的方式将人、机器、产品和各种其他设备连接起来,满足工业系统灵活性、多功能性、资源效率、成本效率、工人支持以及工业生产和物流的质量等需求。

确定性网络在工业中的应用涉及工厂内流程和工作流程的自动化控制、监控和优化,包括闭环控制、移动面板等应用。这些工厂自动化制造相应的应用场景通常以对底层通信基础设施的最高要求为特征,特别是在通信服务可用性、确定性和延迟方面。在未来的工厂中,要实现工业互联网,需要将确定性技术引入移动通信网络中,同时需要保障网络的可靠性、确定性和低时延。

在闭环控制应用中,工厂中安装了多个传感器,每个传感器执行连续测量,测量数据被传输到控制器,控制器决定设置执行器。此应用中的延迟和确定性至关重要,因此该应用在延迟和服务可用性方面有非常严格的要求。闭环控制所需的服务区域通常大于运动控制,不需要与公共网络交互(例如,服务连续性、漫游)。

控制面板是人与生产机械之间交互以及与移动设备交互的关键设备。这些面板主要用于配置、监控、调试、控制和维护机器、机器人、起重机或整条生产线。除此之外,控制面板通常配备紧急停止按钮和启用装置,操作员可以在发生安全事件时使用它们,以避免对人员或机器造成损害。当按下急停按钮时,受控设备需要立即进入安全静止位置。现阶段,控制面板主要通过有线连接到它们控制的设备,随着设备的增多,控制面板之间的有线连接也会变得异常繁杂。未来工厂期望通过确定性的无线网络,提高控制面板安装和移动的灵活性,打造柔性控制产线,提高生产效率。”

关键技术:跨域确定性协同;确定性资源保障;极致空口性能;新型5G协议;高精度时间同步;广域确定性;确定性协议简化

关键技术1:跨域确定性协同

5G系统不是孤立的提供确定性业务保障,提供确定性能力首先需要支持5G和业务系统之间实现确定性协同,此外5G系统内也需要支持跨域的确定性能力协作,从而形成统一一致的确定性服务体系。从而,形成了5G跨域确定性协同的两层含义:

一是5G与外部系统之间的确定性协同。5G系统是嵌入在确定性需求的业务流程之中,5G系统需要支持与业务相关的OT、IT、CT系统进行确定性协商。5G系统支持两种协商方式,一种是作为外部确定性网络的子节点,例如5G作为TSN桥嵌入TSN网络中,进而提供端到端的确定性服务,这种模式要求业务网络也同时支持TSN,同时需要支持和5G网络协商TSN桥的配置,进行统筹调度;另一种是5G系统内提供时延确定性,例如5G系统内生TSN确定性,对外直接提供时延确定性服务,这种模式不要求业务网络支持TSN,且在业务有定制需求时,可以通过标准接口满足对5G网络确定性通信需求的配置和维护。

二是5G内部各系统域之间的确定性协同。5G系统内部分为核心网(core network, CN)、传输(transport network, TN)、无线(access network, AN)等域,根据数据传输的通路,大体可以拆分为五个环节:终端内的数据调度与解析、无线空口的数据通信、基站内的数据封装与调度、传输网络的调度与转发、核心网内的数据调度与封装。为了实现5G网络的确定性服务,需要提升上述五大环节的确定性服务能力,同时也需要各域通力协作满足系统级确定性需求。面向终端和核心网内的数据调度和封装,分别定义了DS-TT(终端侧TSN翻译, Device Side TSN Translator)和NW-TT(网络侧TSN翻译, Network Side TSN Translator)接受5G系统的统一调度和协商。面向无线空口数据通信、基站内的而数据封装调度,定义了面向确定性网络的QoS、到达时间等确定性参数协商机制。面向传输网络的调度与转发,支持通过5G系统的需求进行动态协商,从而构建N3接口确定性传输通路。



图2.5-1 跨系统确定性协同示意

关键技术2:确定性资源保障

移动通信网络实现确定性的掣肘性问题之一在于空口资源短缺,可通过资源专用和优先使用来保障。

一方面可通过RB资源预留、闭合用户组(CAG)等技术实现不同等级的无线资源专用。RB资源预留针对特定的一组重点保障的切片业务,可以为其预留一定比例的PRB资源,并可从时域、空域、频域等全维度进行精细化管理。CAG可实现小区级的用户面和控制面无线资源专用保障,完全避免其它用户影响,从而提供更高等级的确定性资源保障。

另一方面可通过网业协同来实现差异化的优先调度。5G网络采用的Delay Critical GBR(Guaranteed Bit Rate)类型流来保障确定性通信,基站可根据相关配置对时延敏感业务进行优先调度和资源抢占,并结合详细的业务特征进行精细化保障。5G引入了TSCAI(Time Sensitive Communication Assistance Information)时间敏感通信辅助信息,描述用于5G系统的TSC(Time Sensitive Communication)流量特性。该信息由核心网下发给无线接入网,可帮助无线接入网通过配置授权、半持久调度或动态授权等方式更有效地调度周期性、确定性的流量。TSCAI包括TSC流的方向、突发周期、突发到达时间和流存续时间等。此外还可探索更实时更深入的网业协同机制,实现业务包级别的精细信息交互和调度优化,并引入业务包时间戳全生命周期管理,降低抖动,进一步提升传输的确定性。

关键技术3:极致空口性能

为进一步增强确定性时延保障能力,需要在提升端到端设备“超高可用”性的基础上,追求更极致的空口性能,提升网络连接的“超高时延确定性”。

超高可用:可将单设备可用性提升与冗余备份方案结合。单设备可用性提升方面,终端侧可研制工业级终端,无线侧可提升RRU、BBU等单体设备的可用性等;冗余备份方面,终端侧可采用双发选收方案,无线侧可通过RRU和BBU单板冗余、链路冗余等方案,传输和核心网侧采用惯性运行和孤站自制等传输和核心网备份方案。

超高时延确定性:空口时延确定性是端到端时延确定性的关键,无线侧可从极致性能原子能力引入和智能化分级分档模板配置两方面开展优化。空口性能提升方面,通过降低时延或提升传输可靠性均能有效提升时延确定性,可创新研发和引入系列空口增强原子能力,如低码率MCS、URLLC超高优先级调度、上行预调度、mini-slot、PDCP复制、slot重复、DAPS、互补TDD等、DS帧结构、大子载波间隔等;分级分档模板配置方面,将原子能力灵活组合并与切片、5QI关联形成模板,根据业务特征和无线环境变化精确、智能匹配模板,实现原子能力的高效使用,避免“过保障”和“欠保障”。

关键技术4:新型5G工业协议

随着5G在工业等领域应用的深入,业界对轻量化、内生确定性的5G协议栈的呼声渐高。针对5G协议栈层级多、复杂度高的问题,大力做“减法”,压缩合并相关协议层及相关功能,实现功能层级的简化;针对跨层协同难、网络和业务系统整体非最优的问题,创新做“加法”,增强内生确定性及网业融合感知能力,实现能力定制增强;最终形成极低时延、极高确定性的轻量化新型5G协议,更好的适配5G 2B需求。

关键技术5:高精度时间同步

时间同步时确定性能力的重要一环,一方面高精度时间同步提供了5G网络内实现确定性的基础,另一方面高精度时间同步也实现了5G对外提供服务时,满足机器安全控制、运动控制等场景需求的基础。首先,5G网络支持通过空口SIB9等增强对终端侧进行授时,从而统一5G内各设备的时钟域,形成5G终端、无线、传输、核心网时钟统一的高精度时间同步域。其次,5G网络支持多种高精度时间同步协议,支持采用外部时钟源的UPF-UE、UE-UE、UE-UPF多方向时间同步,也支持从UE、UPF对业务系统的高精度授时,通过基站和终端协同,可为行业终端提供us级的高精度时钟,从而满足业务系统的高精度时间同步需求。更进一步,5G系统支持提供弹性授时服务,加强5G时间同步能力对外部业务域的开放,支持基于外部业务请求配置高精度时间同步能力,支持授时源的切换,从而满足周期性业务流等场景发包周期调整、授时范围协商等应用需求。

关键技术6:广域确定性

5G系统虽然是广覆盖网络,但当前的5G确定性网络多是局域范围内的确定性,无法支持广域的确定性。为实现广域确定性机制,3GPP在R18 5G-Advanced阶段已开展将Detnet技术引入移动通信网络中的研究。

Detnet研究起源于IETF组织,沿用TSN的技术体系,将基于以太网的确定性技术扩展到广域IP网络,解决基于IP等L3的确定性。当前3GPP针对广域确定性的研究主要围绕着如何将IETF定义的Detnet中央控制器与5G系统进行映射开展,其中的映射关系包括将Detnet流量配置文件和流量规范转换为5GS QoS参数和TSCAI,以及5G系统和Detnet之间的能力开放和信息交互。

关键技术7:确定性协议简化

TSN协议是针对局域网场景设计,已发布的基本协议有13个,路由计算复杂,无法适应大规模流传输的场景,因此在5G支持TSN过程中,通过简化协议实现一定程度的确定性成为业内研究的一个重点方向。简化思路主要包括两种,一种是静态部署用户面门控协议,对业务流进行预配置调度,另一种是简化确定性传输机制,做粗粒度的周期时间调度。前者简化了对5G核心网控制面的要求,只对UE侧和UPF侧的转发面提出协议支持要求和配置要求,缺乏实时性和全局优化。后者协议机制得到简化,便于5G网络引入,但标准化程度低,产业思路有待收敛。

产业推进:3GPP、IEEE、IETF、CCSA标准已立项;中国移动与业内合作伙伴联合推进端到端融合验证

“ 3GPP从R16开始引入TSN机制,5G系统作为透明的TSN桥集成在TSN系统中,支持了IEEE面向二层网络时间同步、流量调度和整形、可靠性、配置管理等方面定义的TSN协议,并对5G网络进行时间同步机制和确定性QoS增强,无线侧通过设计TSN辅助参数(包括周期性,流方向,流的到达时间)辅助无线资源预留。R17阶段在R16基础上进一步完善支持基于5G的确定性能力开放,拓展TSN业务边界;增强时间同步,支持对更精准时钟的选择和对多终端同时授时。R18阶段,面向Detnet和弹性授时的确定性网络相关研究已经成功立项,5G-Advanced将进一步支持确定性能力的灵活支持实现、跨域协同,同时基于IETF面向园区网络、专用WAN等场景的确定性能力定义,实现确定性的报文调度和端到端时延保证机制,满足基于三层网络端到端时延确定性和大规模可扩展性确定性的传输。面向国内的典型应用场景,CCSA也开展了面向产业融合的边界网络节点、园区/产线级确定性组网技术等方面研究,推动确定性技术的成熟。

中国移动正积极与产业界紧密合作,推进面向无损传输的新型工业现场网络关键技术攻关和原型样机测试工作,通过开展5G+新型短距、5G + TSN /TAN、SRv6、5G工控网关实时虚拟化等技术研究,逐步构建面向无损传输的新型工业现场网络体系,推动蜂窝移动通信深入工业生产,并参照等时以太网协议的特点,尽可能在新型工业无线的全栈

上满足“快、好”的需求,即高可靠、高精度同步、低时延、低抖动、低丢包率的“两高三低”要求,推动5G切入生产现场,满足行业强需求。

在原型样机方面,中国移动与星闪联盟已经于2021年11月在业界首次发布了面向5G-A的基于新型工业无线的电机同步控制原型系统,演示了5G+星闪融合技术在齿轮啮合高精同步控制的应用。与此同时,在信息港完成5G+TAN多路冗余传输测试验证,基于双路5G链路性能比单路5G丢包率降低40%。

近期中国移动在5G ACIA牵头“工业5G服务能力分析”,明确在满足确定性需求下可以使用的不同网络技术,以及不同技术付出的网络资源代价,指导相关确定性增强技术的应用;在AI中联合产业各界完成“URLLC需求白皮书”,明确制造业典型业务对于低时延、高可靠、确定性的要求,为技术发展指明方向。

中国移动将在标准基础上进一步推动5G确定性技术的完善,集合OT、IT、CT的多方力量,建立统一的融合标准和产业架构,形成确定的技术发展路线,支撑产业界的协同发展。中国移动将秉承开放的态度,构建5G确定性技术测试床,打造产业验证平台融合贯通OICT多域链条,促进端到端产品研发、方案验证和应用孵化,最终形成可用好用的产品,为企业数字化转型、5G工业互联网等产业发展提供全面支撑。”

3. 智生智简

3.1 eIoT构建无源物联网,开启千亿联接新空间

“ 无源物联网是基于陆地移动通信网络提供的基于反向散射超高频RFID(射频识别技术)的无电池供电标签识别与传感器信息采集的通信网络。”

场景需求:面向零售、工业、电力、医药、畜牧、物流等垂直行业,提供覆盖广、成本低、定位准的无源物联

“ 超高频RFID最早用于服装和商超零售,之后逐步扩展到工业控制、能源电力、医疗医药、物流运输等多个领域。据IDTechEx研究报告统计[12],2021年全球RFID行业市场规模为116亿美元,并且呈现上升趋势,预计2022年RFID行业市场规模将达到122亿美元,其中,全球零售领域将使用无源标签约200亿片,是超高频RFID技术应用最广泛的领域。在高频RFID领域,市场需求主要用于门禁管理、非接触式支付和交通应用,2021年行业销售了26亿张支持HF和NFC的支付卡。在LF RFID领域,市场需要6.4亿个用于动物追踪的标签。

近年来,RFID在国内也有广泛的应用。在零售领域,海澜之家、富安娜已建立了基于RFID的供应链管理系统,监控产品从生产到销售的全流程环节。在工业领域,海尔实现了基于RFID的家电全生命周期跟踪,华晨宝马构建了基于RFID的物料管理系统,有效提升管理效率和生产智能化水平。在能源领域,国家电网建立了基于RFID和二维码的电力设备管理系统。在医疗领域,国药集团实现了基于RFID的疫苗全程

追溯,与温度传感器结合,保障疫苗品质。在畜牧业领域,将RFID与温度传感器、三轴加速度传感器结合,可以用于牲畜的盘点与健康监测。在物流领域,京东在重庆建立了基于RFID的智慧仓储中心,中国邮政将投入1亿元升级85个处理中心集包分拣线。追溯,与温度传感器结合,保障疫苗品质。在畜牧业领域,将RFID与温度传感器、三轴加速度传感器结合,可以用于牲畜的盘点与健康监测。在物流领域,京东在重庆建立了基于RFID的智慧仓储中心,中国邮政将投入1亿元升级85个处理中心集包分拣线。 ”



图3.1-1 典型无源物联网应用场景

面向实际部署场景,传统RFID技术面临如下挑战:

挑战1

通信距离受限、干扰大。传统超高频RFID读写器采用收发一体全双工架构,同时发射激励信号并接收反射信号,存在较强的系统自干扰和异系统互干扰,加上标签较低的接收灵敏度,以及RFID频段发射功率限制,导致传统RFID技术覆盖受限、通信距离不足10m,集成传感器之后,通信距离不足3m。

挑战2

无法连续组网,部署与人工运维成本高昂。传统商用RFID读写器存在严重的自干扰和互相干扰,通信距离受限,只能依赖人工手持或卡口式部署盘点标签,难以组成具有自动化盘点功能的连续覆盖的局域网或广域网,导致部署、运行与维护的成本高、效率低。

挑战3

不支持定位。传统RFID不支持定位,也不支持大规模组网,主要依赖手持读写器或卡口式部署盘点标签实现出入库管理,难以实现对标签的自动化位置追踪与定位。

关键技术:抑制干扰、提升通信距离,简化协议栈,支持米级定位

“ 针对上述传统RFID面临的挑战,通过蜂窝无源物联技术(eIoT)构建新型无源物联网,在不显著增加标签的成本、功耗、复杂度、体积的前提下,增加通信距离、降低读写器间干扰、实现低成本大规模组网、支持对标签的定位。 ”

无源物联网需要攻克的关键技术包括:

关键技术1:联合干扰抑制,提升通信距离

通过站间资源协同与联合调度优化,规避读写器间干扰;设计集中式收发与分布式激励,降低读写器激励信号对接收器的自干扰;同时,借鉴蜂窝通信的多天线波束赋形、正交载波和编码等技术,提升接收灵敏度,实现室外200米、室内20米的覆盖。

关键技术2:极简协议栈与信令设计,降低功耗与成本

设计同时适用于无源与半无源标签的协议栈与控制信令,支持蜂窝网空口数据收发,实现无源标签1uW级功耗,半无源标签100uW级功耗,成本与RFID标签相当。

空口协议栈与信令相比5G极大精简。标签仅需支持应用层、NAS层(可选)、RRC层、MAC层、PHY层。NAS层的设计取决于网络架构中是否包含核心网。无核心网的无源物联网架构无需支持NAS层,通过应用层实现简化的鉴权认证;有核心网的无源物联网架构需要支持NAS层,通过核心网实现对标签的鉴权认证。传统5G通信中的SDAP层、PDCP层和RLC层均可透传。信令方面,RRC层支持寻呼,用于标签的分组与盘寻;MAC层支持随机接入、RFID信令传输以及数据传输。PHY层支持上下行调制,如ASK或BPSK等,复用LTE/NR信号波形生成方式和物理层参数,保持无源物联网信号与LTE/NR信号的子载波正交,减小干扰,确保无源物联网与LTE/NR共存。

关键技术3:支持米级精度定位

蜂窝物联网与基于蜂窝的5G定位技术相结合,可以为行业提供米级精度、更低成本的室内外定位方案。不同于NR蜂窝系统基于PRS和SRS参考符号的定位,无源物联网受限于标签的解调能力和窄带频谱,无法支持复杂的大带宽参考符号解调。无源物联网可考虑通过多站密集组网,联合确定标签位置。

关键技术4:蜂窝无源物联网架构设计,使能局域/广域组网

设计端到端的网络架构,拓展蜂窝系统支持无源物联能力,实现广域标签定位与传感信息采集,拓展应用场景。下文将详细介绍端到端网络架构和无线网络架构。

蜂窝无源物联网的端到端网络架构可以根据有无核心网分为两种架构。

无核心网架构类似传统RFID,通过应用层实现开卡、鉴权认证、访问管理等功能,RAN集成读写器功能,支持低成本、低功耗、低复杂度的无源和半无源标签。如图3.1-2所示,RAN具备读写器功能,与第三方服务器之间可以通过Proxy代理网元相连,代理网元具备面向第三方服务器的路由、API认证、计费、接入访问等功能。无核心网架构可以直接接入垂直行业客户现有的RFID管理平台,是一种可以兼容现存管理平台的客户友好型解决方案。

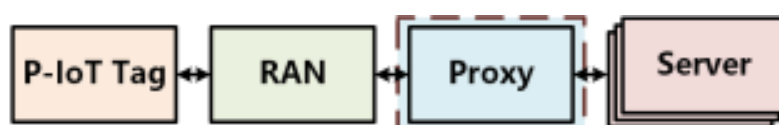


图3.1-2 无核心网架构

“有核心网架构可支持类似5G的开卡、鉴权认证、流量计费等功能,适用于无源和半无源标签。如图3.1-3所示,无线网接入5GC核心网,并通过Proxy代理网元与外部服务器相连。该架构下,标签的开卡、鉴权认证、计费、位置管理等功能均由核心网管理,标签的盘寻、读写等功能可由物联网服务器或核心网提供。”



图3.1-3 有核心网架构

综上所述,无核心网架构与有核心网架构对比如下:

		无核心网方案	有核心网方案
场景		局域网场景与广域网场景	广域组网场景
功能	开卡	无，或应用层实现	核心网实现
	移动性	无，或应用层实现	核心网实现
	读写器鉴权	新增网元，或应用层实现	核心网实现
	标签鉴权	无，或应用层实现	核心网实现，运营商可控
	计费	包月计费，或应用层流量计费	包月计费或核心网流量计费
标签	类型	支持无源与半无源标签	支持无源与半无源标签
	功耗	无源 1μW，半无源 100μW	无源 1μW，半无源 100μW

无线网络架构,根据供能与触发节点的不同,可以分为基站直连的无源物联网(图3.1-4)和基于终端辅助的无源物联网(图3.1-5)两大类

基于基站直连的蜂窝无线无源物联网架构如图3.1-4所示,可进一步细分为3种子架构

- 如图3.1-4中1-1是蜂窝直连架构,基站直接为标签提供电磁波供能及下行触发信令,标签反向散射的上行信号也直接由基站接收。
- 如图3.1-4中1-2是基于辅助供能的蜂窝直连架构,通过分布式供能节点,近距离为标签供能,改善下行覆盖。
- 如图3.1-4中1-3所示,是基于中继通信的架构,中继节点与标签间可通过传统RFID技术通信,中继节点与基站间可通过5G空口或有线回传。

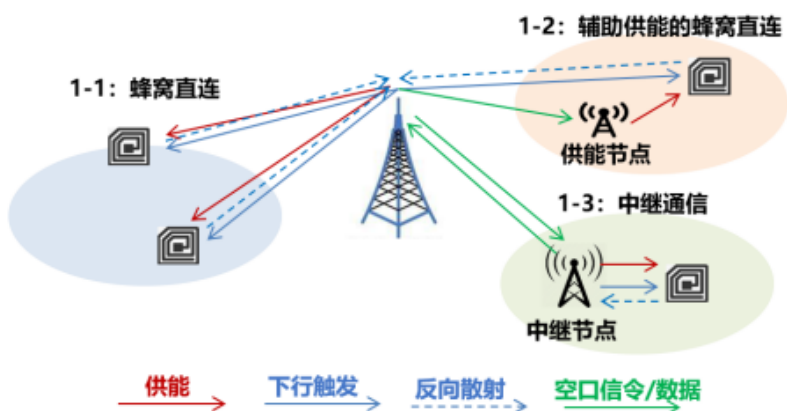


图3.1-4 基于蜂窝连接的无线无源物联网架构

基于中继终端辅助的无线无源物联网架构如图3.1-5所示,可进一步细分为4种子架构

- 图3.1-5中2-1是由中继终端辅助为标签供能,并由中继终端提供下行触发信令,基站接收标签的反向散射上行信令。
- 图3.1-5中2-2是由基站向标签供能并发送下行触发信令,标签的上行反向散射信令发送给中继终端。
- 图3.1-5中2-3是由中继终端辅助供能,基站向标签发送下行触发信令同时接收上行反向散射信令。
- 图3.1-5中2-4是由中继终端直连供能/触发,基站只与中继终端间通过5G空口连接,不与标签直接相连。

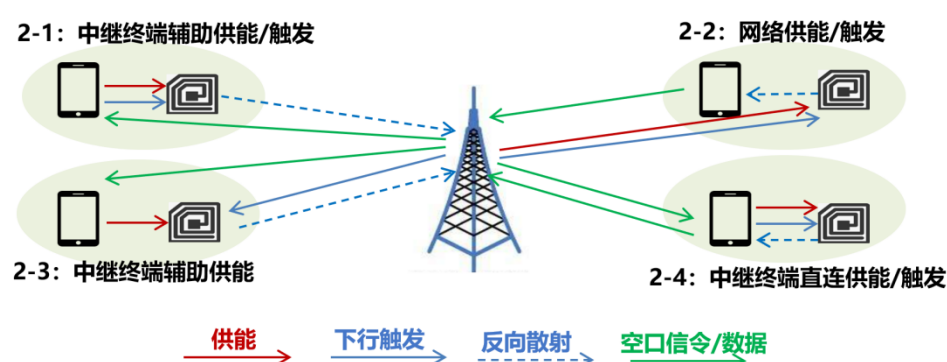


图3.1-5 基于终端辅助的无线无源物联网架构

产业推进:需求已获广泛认可,国内已启动标准制定,中国移动与华为联合研发通信距离超200米的无源物联网样机

“当前超高频RFID核心技术主要被欧美企业垄断,英频杰、恩智浦、意联等欧美企业占据95%的芯片市场份额,中国企业份额不足5%。近年来,中国移动、华为、展锐、OPPO、vivo等国内公司积极开展新型无源物联网技术研发,并在3GPP国际标准化组织上率先提出基于蜂窝的无源物联相关提案,推动国际标准制定工作,目前3GPP SA1已于2022年3月开展基于环境供能的物联需求研究项目[13],中国移动和华为在3GPP RAN提出了面向5G-A的蜂窝无源物联网研究项目[14, 15]。在国内标准方面,中国移动在CCSA主导成立了国内首个新型RFID技术研究项目《基于蜂窝通信的无源物联网应用需求研究》,相关技术立项工作也在积极准备中。

中国移动与华为已于2021年9月开展面向5G-A的无源物联网联合样机研发,截止2022年4月已完成一体式样机与小型化半无源标签的开发,通信距离已超过200米;计划于2022年9月将打通业务层端到端通信,形成具备完整无源物联网功能的样机系统。”



图3.1-6 样机开发时间规划

3.2 5G+AI, 智简网络运维, 智生网络性能提升

“ 人工智能 (AI) 在越来越多的行业和领域发挥了提升工作效率与性能、降低成本等优势,如语音识别、自然语言处理、照片处理、内容推荐等,移动通信的专家们也在思考如何引入AI构建智能的5G网络。大量的数据是人工智能和机器学习的基础,而移动通信网络中存在海量的数据;依靠机器学习算法对输入数据进行挖掘,可以从海量数据中学习隐藏的不易建模的规律,并利用这些规律进行相应的预测或决策。”

场景需求:千行百业需求导致网络部署和运维复杂度高,复杂的优化问题基于传统通信理论难以求解

“ 5G网络在迅速发展过程中面临如下挑战。首先,当前toB千行百业对网络的需求差异巨大,且5G应用场景丰富、频段多样、组网方式灵活,这些因素为不同业务提供最优网络体验带来极大挑战。传统的依赖人工进行需求的转译和网络的调整,不仅部署成本高昂,而且效率低下。其次,随着网络规模的增加,5G网络拓扑更加复杂,协议设计更加灵活,需要优化的KPI指标多样,网络运维的复杂度显著提高。传统的依赖运维人员定位问题、解决问题方式流程复杂且成本高,不再适用。此外,传统物理层设计采用模块化的设计方法且问题建模通常基于较理想的假设,无法准确描述实际环境。考虑实际环境因素的问题建模复杂,基于传统的通信理论难以求解,导致设计结果不一定是最优的。

网络优化方面,AI可以持续迭代专家经验,自动完成业务需求到网络需求的意图转译,通过站点自感知和自配置实现网络的智能规划,并进一步感知业务行为并进行主动预测,实现业务体验的最优化保证。网络运维方面,基于大量历史运维数据和AI算法可以检测网络问题,并优化网络决策,实现网络异常检测、移动性能优化、负载均衡、基站节能等典型应用。网络孪生作为更高阶段AI化的能力,将进一步提升网络管理智能化水平。AI还可更精准自识别业务特征,更实时发现业务质差,进一步结合网络资源和业务需求特性,智能决策业务质量保障策略,实现网随业动。运营中的5G网络包括周围环境的信息可以全部在云端的仿真平台上建模,不仅网络自身的变化可以动态实时模拟,未来业务发生的特征也可以建模实现在线预测,甚至可以针对每一个可能的终端及其可能的体验进行准确预测。AI化的自智网络将最小化对于人的依赖,极少的运维工程师配合云端的大脑就能够实现对网络的高效、智能管理。物理层设计方面,可利用AI提取信号特征,逼近复杂函数处理非线性问题,从而提升系统性能。在核心网设计方面,通过AI定制化提取媒体面的数据特征和业务侧的需求信息,在网络指标与业务体验中构建关联关系模型,从而形成更匹配的移动接入选择、路径选择、QoS等策略。还可通过端到端联合优化的系统设计方法打破模块壁垒,通过持续自学习和自优化达到全场景的动态自适应,最终获得网络性能全局最优和用户体

验全场景最优。物理层AI的典型应用包括：信道估计、信道预测、信道状态信息反馈、波束管理、定位精度提升等。核心网AI的典型应用包括：智能寻呼、UPF选择、流量异常监控、智能QoE评估和优化等。在5G-A中将开始定义在网络侧、基站侧和终端侧构建AI建模、训练、推理的能力。网络侧、基站侧和终端侧将来可以在模型的优化和模型的建立上进行交互，以提升了网络侧、基站和终端侧各自的AI化的效率。

利用AI应对上述挑战时，需要考虑如何基于网络的数据、算力并利用AI算法达到系统设计与优化的目标。为了实现AI与5G网络的融合，无线接入网和核心网都需要引入新的功能模块并对现有的网络架构和信令流程增强。此外，与传统通信算法相比，AI算法可解释性差，且泛化能力受限，需要设计AI模型全生命周期管理方法，保证AI算法应用于网络的可靠性及稳定性。”

关键技术：数据、算力与算法；无线智能网络功能框架及典型用例研究；AI模型全生命周期管理

关键技术1：数据、算力与算法

“ 5G与AI融合的各用例中都需要数据进行AI/ML模型训练，数据是AI赋能5G的前提。通信系统中存在海量的数据，但数据类型繁多，存储在不同的网元。AI与5G结合的不同用例所需的数据类型不同，数据获取的难易程度也不同。如有些用例所需的数据基于单个网元就可获取，而有些用例需要汇聚多个网元的数据，网元间的数据交互不可避免。AI/ML模型的性能依赖于数据的质量，可以说没有高质量的完备的数据就没有高性能的模型。

物理层AI技术通常需要大量与信道相关的数据，而无线信道环境复杂多变，构建完备的数据集具有一定挑战。与部署运维自动化相关的用例通常需要的数据或信息来自UE、服务基站和相邻基站，包括：UE的测量报告、移动速度和方向、移动性轨迹预测、UE使用的业务的特征，UE在新的目标网络的性能信息，基站自身及相邻网络节点的无线资源使用状态（包括小区级和波束级别的），目标网络的资源状态更新，系统KPI性能，如吞吐量、时延、当前节点和邻节点的无线链路失败情况等。

核心网作为业务汇聚点，其AI实现所需的数据来源主要包括5GC控制面数据、用户面数据、以及应用侧的业务数据，还可获取OAM的网管类数据，数据的粒度包括：用户级、流级、帧级、业务级、切片级等。具体的，核心网开展AI所采集的数据包括：用户移动性数据，用户通信类数据、会话信息、业务体验指标数据（包括流量、速率、丢包、试验等等）、用户注册数、应用侧体验数据、设备资源使用情况、无线侧资源情况、拥塞状态等信息。

AI的训练、推理都需要算力支撑。算力源于芯片，目前AI芯片包括通用型的GPU，可定制的FPGA，以及专用的ASIC三种类型。其中，GPU具备强大的并行计算能力和完善的生态系统，其架构本身也比较适合深度学习算法，是目前使用的主流。不同用例的模型训练、模型推理的部署节点不同，对算力的要求也不尽相同。物理层用例对实时性要求较高，不适宜进行复杂度过高的模型训练与推理，可考虑在基站层面引入具有一定算力的通用处理器，通过基站内生算力完成模型训练及推理，保证算法的时效性。随着智能手机的快速发展，手机终端也具备一定的算力，部分物理层用例的模型推理也可在终端侧完成。核心网用例对实时

性要求也较高,考虑到核心网网元较多,数据来源与推理单元可能不一,算力的部署分为独立部署和内生部署两种形式:对于数据多源、数据源与推理单元不一、计算复杂的情况,算力独立部署;对于数据源单一,且与推理单元为同一网元的情况,算力内生部署。对于内生算力或固定节点无法满足算力要求的应用,可在边缘节点或云端完成模型训练和推理,或借助端、边、云多形态的算力支撑和丰富AI在无线网络中的应用。

相比AI在图像处理、语音识别、机器翻译等领域的应用,AI在通信系统中的应用还处于起步阶段。目前在5G大部分用例中使用的AI算法为借鉴在其他领域中较为成熟或效果较好的算法。但这种将已有AI算法与无线通信用例简单结合的方式并不一定完全适用于解决通信场景中的问题,对一些应用的实时性、鲁棒性也无法保证。传统通信与机器学习属于不同学科分支,如何将两个学科进行深度融合,设计更加适合无线通信中各应用用例的AI算法还需要长期的探索。 ”

关键技术2:智能网络功能框架及典型用例研究

“ 实现AI构建的智能5G网络的两个关键问题是:AI使能的5G网络各用例需要哪些功能模块?对现有的网络架构和信令流程有什么影响?中国移动作为3GPP Rel-17、Rel-18无线AI项目和核心网项目的报告人,牵头制定了业界统一的AI/ML使能5G网络的功能框架,包括数据采集、模型生成、模型部署、模型推理这四个环节,如下图所示。 ”

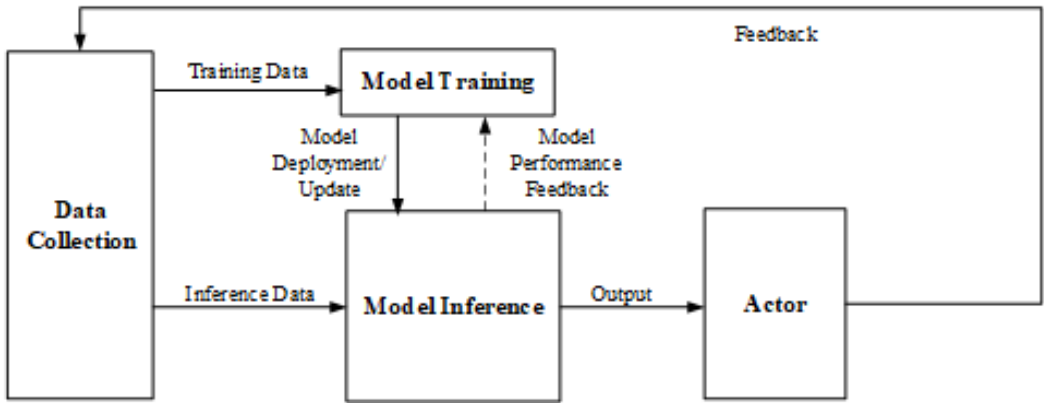


图3.2-1 AI/ML使能无线智能5G网络功能框图

“ 基于上述功能框架,AI可以用于实现移动性能优化、负载均衡、基站节能等典型应用,以负载均衡为例来说明AI如何使能网络优化。负载均衡的目的就是使得业务在小区和小区的区域内进行较为均衡的分布,把拥塞的小区中的部分业务转移到其它小区中去,或者把用户转移到别的小区或载频或网络来提升网络的性能。负载均衡可以通过优化切换参数和切换行为来实现。基于AI的负载均衡通过采集来自终端和网络节点的多样的测量和反馈信息,历史数据,以及预测的负荷信息等,可以提升负载均衡的性能,提供更高质量的用户体验,并提升网络性能。

AI技术也可以应用于空口的信道估计、接收机设计、信道状态信息反馈、波束管理、定位等关键技术,下面以波束管理为例来说明AI如何应用于物理层设计。波束管理的主要目标是测量网络和终端之间的部分模拟波束对并选择其中最优的波束对进行数据传输。在高频场景下采用大规模天线系统形成模拟波束可以提高波束赋形增益,保障系统覆盖,模拟波束数量增加会提升波束赋形增益,但也显著地增加了波束测量开销及时延,为5G系统

的波束管理带来极大挑战。现有的波束管理过程可以通过AI技术进行优化,基于AI的空间波束预测可以部署在终端侧或基站侧,终端侧可以通过测量少量波束的质量预测所有波束对中的最优波束并以特定的方式上报,或者基站根据终端测量上报的少量波束的质量预测所有波束对中的最优波束,从而降低波束测量开销,提高选择最优波束的准确率。

AI技术还可以应用于核心网的智能寻呼、QoE评估、智能业务识别、SLA保障、切片负载分析及预测等方向,以智能寻呼为例来说明AI如何应用于核心网。传统寻呼机制是通过AMF通过UE近期访问的小区列表及TA列表寻呼UE,该寻呼过程存在大量无效寻呼信令,浪费网络资源。通过引入AI技术可以提升寻呼优化,首先通过AMF持续采集UE移动性数据(如TAU,服务请求等),然后利用该数据进行模型训练,可以获得UE从此gNB出发移动至相邻各gNB的概率,进而最有可能访问的gNB列表(列表中访问概率由高至低),在执行寻呼时,根据列表中最靠前的gNB开始寻呼,能够减少大量无效寻呼信令,节省网络资源,提高寻呼效率,降低寻呼时延。”

关键技术3:AI模型全生命周期管理

“ AI模型全生命周期管理包括模型生成、模型部署、模型推理、模型监控及模型更新。AI模型通常是基于一个或某几个场景的数据而训练生成的,模型训练可在网络侧或终端侧采用与其计算和存储能力匹配的方式进行,训练好的AI模型经过模型验证与测试后将用于模型推理。根据模型训练节点与模型推理节点是否相同。”

有以下不同的AI模型部署方式:

- AI模型和推理在网络或终端的一侧完成,模型部署对另一侧透明
- AI模型和推理在网络或终端的一侧完成,模型部署需要对现有的信令增强,如网络和终端需要交互AI模型相关的辅助信息或对现有的参数配置做增强
- AI模型的训练在网络或终端的一侧完成,另一侧需要参与推理,这种方式可能需要模型部署时交互AI模型

“ 为了保证AI模型可稳定地运用于通信系统,AI模型部署后,需要对其性能进行监控,并根据监控结果判断是否需要更新AI模型或回退到传统算法,从而保证网络的性能。其中,模型监控所依据的性能指标可以是衡量模型的性能指标也可以是衡量系统性能的吞吐率等指标。当满足模型更新的条件时,可进行模型更新以获得与当前场景相匹配的更优的AI模型。”

产业推进: 标准、测试、产品全面推进,加速迈向5G 自智网络

“ 针对无线接入网,3GPP在Rel-17引入了RAN侧AI研究项目,制定了AI使能的无线智能接入网的功能框架和典型用例的潜在解决方案。该研究项目已在2022年3月按时完成。作为报告人,中国移动将继续牵头开展Rel-18 RAN侧AI的标准化工作[13]。同时,Rel-18将同步开展AI在5G空口的应用的研究项目[14],典型应用案例包括基于AI的信道状态信息反馈、基于AI的高频波束管理等。针对核心网,3GPP在Rel-15首次提出了核心网的智能化实体,负责数据收集、分析、推理功能。作为报告人,中国移动在Rel-16及Rel-17分别定义了核心网智能化网元NWDAF的集中化架构和分层架构,并引入行业用户监测等特性,提供AI平台化能力,满足大规模部署要求。中国移动将继续在Rel-18将开展面向分布式架构增强、新场景、智能协同等课题,以全面适应智能化落地需求。预期AI将是3GPP未来版本中长期研究的项目,将持续推进5G与AI的融合发展。

产业界也正在积极部署、探索AI在5G网络中的应用。其中,基于AI的网络节能方案已在部分网络中部署,有效增加了网络的平均节电时间。基于AI的负载均衡与载波选择、智能MCS优化、KPI异动检测、基于AI的天线权值自优化、智能寻呼、QoE评估、SLA保障等用例也已开展外场测试,预计将在未来的2-3年开展商用验证。 ”

3.3 无线云网算业一体构建新服务

场景需求:固化的网络基础设施难以适应行业灵活需求,高昂建设成本制约边缘计算产业发展

“ 随着5G网络与边缘云计算的进一步融合,企业正在将越来越多的现场业务通过行业专网迁移至私有云之上,对5G网络提出了更高要求。 ”

挑战1

行业客户对5G专网提出了能力定制、成本可控、部署敏捷、使用简便四大方面的需求。如某国际知名汽车制造企业要求专网时延稳定小于4ms,大型矿山要求10天内完成网络建设开通,信息化成熟的企业则有线上化、自动化订购网络能力、网络服务、网络运维的要求。传统云平台、无线网络、行业应用互不感知、各司其职的集成方案,在业务指标、系统成本、建设周期、功能扩展等方面,已无法满足未来云网算业融合场景下的行业需求。

挑战2

传统边缘侧算力平台需要独立算力资源、传输资源、机房资源的支撑,建设维护成本高。伴随着边缘计算技术及市场的发展,越来越多的云服

下沉至边缘侧算力平台，就近提供最近端服务，产生更快的网络服务响应，降低数据回传成本，满足行业在实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的基本需求。但边缘侧算力平台需要算力资源、传输资源、机房资源的支撑，例如一个可就近提供32路视觉AI识别的边缘计算平台，考虑到设备购置、站址、传输、日常维护，其三年的综合持有成本在30万元以上。高昂的建设、维护成本，是制约边缘计算产业发展的重要原因。

关键技术：无线云网算力底座构建；无线云网算力资源编排；无线云网算力协同

“ 无线云网算力一体网络是以智能化为核心、以业务质量保障驱动无线网络控制、无线算力编排一体调度的网络。无线云网算力一体网络通过对算力资源、网络资源及业务资源的统一编排，实现网络可感知业务需求并提供定制化传输服务，业务可觉察网络状态并实时调整业务传输策略，为无线云网络及多样化业务应用可对全局资源进行规划管理并按需动态部署端到端服务能力，满足未来云网算力融合场景下的行业需求。同时，无线云网算力一体网络可有效发挥5G连接快、站点多、覆盖广泛深入的特点，通过无线功能流转释放空闲算力及传输资源，一张具有50万套基站规模的无线云网络，可提供相当于2个10000标准机架超大型数据中心的云计算服务能力，是理想的边缘算力平台，同时具备时延与成本的优势，充分满足内生智能、算网一体等维度的智能化边缘计算业务需求，解决边缘算力平台建设成本问题。另外，无线云网算力一体网络具有异构基础设施统一管理，网络功能灵活拆分，网络服务按需软件部署等能力，可有效解决灵活的网络服务需求与固化的网络基础设施之间的矛盾，实现无线功能在云网基础设施中随着业务需求动态流转，为潮汐业务、突发流量、故障迁移等场景提供了新的解决方案。”

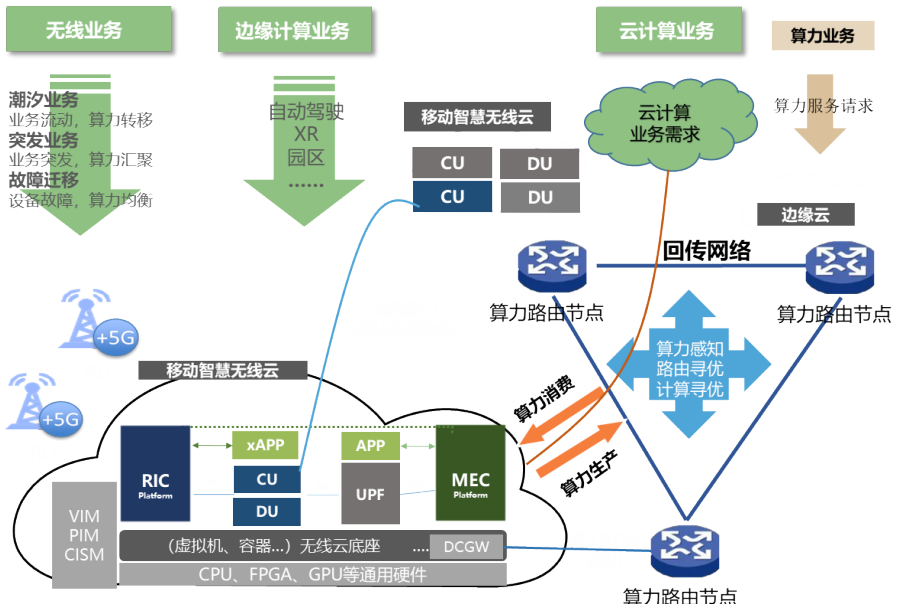


图3.3-1 典型无线云网算力一体服务应用场景

“为使5G网络能更好的满足行业市场的能力定制、成本可控、部署敏捷、使用简便等需求,未来的无线网络应该构建在更加通用的基础设施之上,具有更加灵活的网络服务特性以及更加开放的业务融合能力。”

关键技术1:无线云网算力底座构建

“无线网络云化是构建无线云网算业一体网络算力底座的基础,其关键技术主要包括无线网络功能虚拟化、无线云平台、通用硬件及硬件加速器。

无线网络功能虚拟化:基于现有以网元为单位的容器化无线网络功能,通过无线协议栈服务化设计,包括RAN功能服务拆分、数据持久化、新型服务能力定义和开放、统一服务框架、协议流程设计等,提供原子级网络功能服务,更好实现不同网络场景下(业务类型、用户数量、网络能力)算力灵活适应性、部署灵活性、服务的高可用性。

无线云平台:无线云网基础设施具有分布式、高实时性、高处理性能等要求。在虚拟化层需要增加CPU核绑定、CPU核隔离、轻量化云平台管理、高精度时钟同步虚拟层交互技术(例如PTP/1588v2同步信号在虚拟网元中的使用)、SR-IOV网络加速等技术来满足无线侧应用部署。同时,无线云网基础设施需要被全网统一编排管理,无线分布式场景如何纳入统一的编排管理是未来的研究重点。

硬件方面:无线云网基础设施,需要兼顾灵活性和处理效率。基础设施采用通用硬件平台部署无线云平台,可以支撑网络功能的编排、算力的调度,以满足无线云网高度灵活、敏捷部署需求。硬件加速器的合理使用,在计算密集型、深度流水线化和大规模并行操作的环境中,可以大幅提高应用程序的性能,进而使硬件加速器成为保障无线云网基础设施绿色节能的关键。无线基础设施所采用的异构硬件加速器,可由不同类型的芯片实现,包括采用通用处理器(如cpu)、专用处理器(如gpu/npu/dpu)、可编程门阵列(fpga)等通过编程实现功能的芯片,及采用特定集成电路(soc/asic)实现固定功能的专用芯片。在实际应用中,需要根据目标场景的数据与运算处理特征,选择加速器类型,并合理规划其所承担运算任务,以降低CPU开销,满足差异化场景对效率与灵活性的要求。异构硬件加速器可以通过加速器抽象层AAL,实现基于功能集合(Profile)的解耦。为满足多样化业务应用处理,如XR图像渲染、AI训练等,还需可灵活加载GPU等异构算力能力。

无线云网算力底座为运营商提升了无线网络复制能力,降低网络规划、建设成本。面向垂直行业,随业务、产线调整的无线网络改造成本将由无线云网算力底座的引入而大大降低,虚拟化网络功能、无线算力池化共享及无线云网编排促进了从物理网络改造到虚拟网络改造的转变。”

关键技术2:无线云网算力资源编排

“无线云网算力资源编排包括容器无线网元和业务应用的编排。虚拟化无线网元编排需实时感知网络状态,并适配无线网络功能服务化演进。业务应用编排关键技术包括业务资源需求感知、业务应用的动态调度。业务应用资源需求感知是指对业务的需求进行解析,通过需求解析获得业务特征、性能需求,完成需求到无线云网算力资源的

匹配。业务调度是指无线侧编排具备业务应用的调度能力,设计态可以为业务应用寻址最优部署节点,运行态可以根据指令优化业务应用资源配置,支撑业务应用SLA保障。

无线云网算力资源编排可实现无线云网算业一体网络算力资源高效利用。面向无线侧分布式、离散的算力特征,低时延云网调整的需求,编排体系架构需要考虑:

1)构建全域与无线域多级编排架构。无线域编排器规划无线网、业务应用预期算力资源,通过全域编排器授权获得试用权。与无线侧容器基础设施管理器交互,实现分布式云节点的统一编排。

2)多样化算力服务对象编排。在算力服务呈现上,在硬件能力描述的单一服务方式上,扩展虚机、容器、功能、函数的算力服务,进一步提高无线算力服务的安全性同时,构建无线Function as a Service (FaaS)的服务能力。 ”

关键技术3:无线云网算业协同

“ 在无线云网算业一体网络算力感知和编排基础上,进一步感知网络、用户行为与业务状态,基于业务需求实现按需调配无线云网算力资源、生成最佳算力路由、配置无线网络资源、定制无线网络能力,形成云、网、算、业协同联动,使能合理、优化、高效的算力使用,为业务提供确定性网络连接及高性能计算服务。其中:

1)无线云网算力感知包括算力属性(通用处理器FLOPS能力、异构算力如GPU的FPS能力等)、算力拓扑(如算力位置、算力连接关系等)、算力状态(如算力负载、可用性等)。

2)网络状态包括网络负载(如PRB利用率、用户数、网络带宽占用)、干扰、用户级链路质量(如速率、时延、抖动、可靠性)等。

3)用户行为包括用户移动轨迹、用户移动性特征(如高速、低速、静止)、在网络中某一位置的时间规律、业务偏好、用户时空分布等。

4)业务状态包括业务类型、业务数据包传输时延、业务数据处理时延、业务质量体验(如业务层速率、时延、抖动)、业务部署位置、消费的用户等。

以车联网为例,无线云网算业一体网络可提供无线网络连接、路况实时图像信息采集和处理的一体服务,综合考虑无线云网算力状态、无线网络状态、用户的移动性、业务特征,选定最优无线云网算力节点部署图像处理应用、编排业务路由,动态调整服务化无线协议栈组件部署及弹缩,并动态实施无线云网算业一体调度,保障端到端业务连接和计算体验。 ”

产业推进:无线云网络已具有商用部署案例,无线云网算业一体网络演进已成为产业共识

“ 无线云网络已经具有商用部署的案例。无线云化技术的成熟为无线云网算业一体网络演进提供了重要的基础。中国移动正积极与产业界紧密合作,推进基于统一的智慧算力底座的网络接入、算力共享、算网一体关键技术攻关和原型样机测试工作。无线云网算业一体网络,作为中国移动算力网络的重要组成部分,也将按照“泛在共生、融合统一和一体内生”三个阶段发展。无线云网算业一体网络已纳入中国移动算力网络创新实验网测试计

中,预计在2022年底完成第一阶段测试,验证基于无线云网络的动态算力共享和开放以及面向业务体验保障的网业协同方案。 ”

4. 低碳高效

“ 5G网络通过大规模天线阵列和大带宽使能高速率传输的同时也极大增加了5G网络的能耗,新硬件、新能源和新技术的综合运用,将助力实现绿色5G和“双碳”目标。 ”

场景需求:5G基站功耗高,亟需绿色升级措施,助力双碳落实

“ 5G基站单载波带宽是4G的5倍,收发天线数量也成倍增长,导致5G的基站功耗是4G的3~4倍。截至2022年5月,中国移动的5G基站数量已超过85万,降低5G基站功耗已经成为构建可持续5G发展的一项重要工作。 ”

4.1 智能中继绿色有效提升网络覆盖

“ 5G新频谱主要包含中频和毫米波两个频段,更高的频段意味着更大的传播和穿透损耗,通常需要部署更多的基站来保证网络的覆盖性能,如果有一种绿色低碳的网络覆盖提升技术,将可大大减少所需部署的5G基站数量,进而有效降低5G网络的整体能耗。

对于中频频谱,虽然其覆盖特性好于毫米波、可实现连续覆盖,但在深度覆盖场景下依旧存在信号弱、覆盖差等问题。射频直放站是中国移动自2G时代就采取的一种覆盖增强手段,其成本低、无需对移动网络进行改造,但其简单的、无差别的信号放大和转发的工作方式,在放大有用信号的同时,也会放大干扰信号和噪声。因此,在某些场景下射频直放站会对其他基站产生干扰,导致信号质量降低。对于毫米波,其传播和穿透等损耗非常大,根据测试数据显示,树木遮挡对毫米波损耗可达7-27dB,毫米波的穿墙损耗可达3.5dB~78.8dB,绕射损耗可达18dB以上。由于毫米波的部署成本高、无法连续覆盖等问题,毫米波在全球的商用进展并不顺利。射频直放站由于不支持波束赋形,无法在毫米波有效使用。3GPP在Rel-16引入的接入回传一体化IAB技术虽然可以提升毫米波覆盖,但是由于功能复杂,功耗较大,相比于基站设备成本优势不明显。因此,亟需一种绿色低碳、支持波束赋形、具备干扰控制能力的技术方案,提高中频以及毫米波频段的网络覆盖。5G-A中的智能中继和智能超表面技术通过基站辅助的状态转换、网络控制的波束选择和超表面智能反射等技术可以有效满足上述需求。 ”

关键技术:基站辅助的状态转换;网络控制的波束选择;超表面智能反射

关键技术1:基站辅助的状态转换实现干扰控制

“传统射频直放站无差别放大信号,在放大有用信号的同时也会放大干扰信号以及噪声,而智能中继通过基站辅助的状态转换可以有效减少对系统中干扰信号的放大,确保信号质量,降低接收机侧的底噪抬升。状态转换的重点研究内容包括上下行时隙配比以及开关控制信号的指示。一方面,智能中继的控制单元可以通过读取系统广播的上下行时隙配比,自适应确定上下行转发状态。另一方面,智能中继通过半静态和动态的开关状态指示,在确保公共系统信息被正确转发的同时,降低对干扰和噪声的放大,也进一步降低对其他小区的干扰,并达到节能的技术效果。”

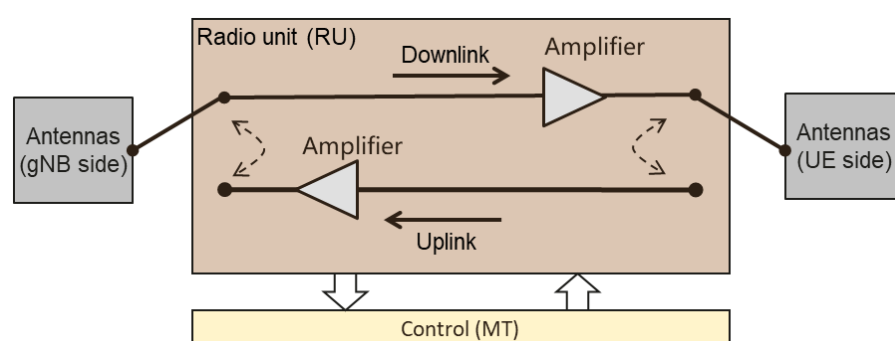
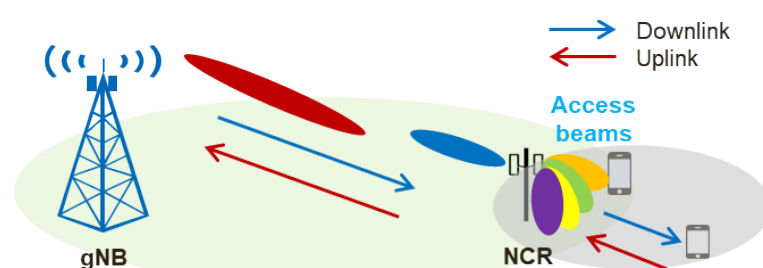


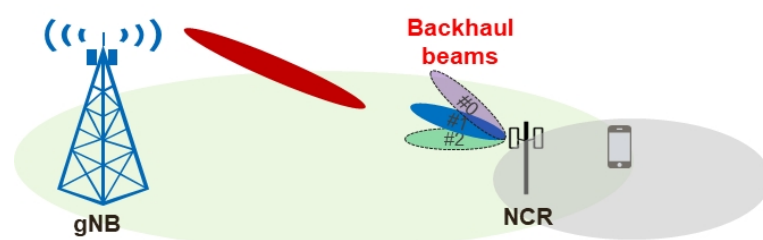
图4.1-1 智能中继架构示意

关键技术2:网络控制的波束选择实现智能赋形

“智能中继通过网络控制的波束选择可实现精准的波束赋形,具体包括基站与智能中继之间的回传链路波束管理以及智能中继与终端之间接入链路波束管理。对于回传链路,可采用动态的波束测量以及波束指示,以提高回传链路传输质量和可靠性。对于接入链路,既可采用波束与转发资源半静态绑定或配置方式,降低信令开销,提高资源配置和指示的效率,也可采用动态的波束测量以及波束指示,提高传输的灵活性。”



接入链路波束赋形



回传链路波束赋形

图4.1-2 波束赋形技术示意

“ 由于智能中继在功能上仅实现必要功能的最小集合,大大简化了协议的设计。在控制模块上,可以复用现有5G芯片,借助5G芯片的规模优势,降低控制单元的成本。数据转发模块,仅仅实现射频的放大、转发功能,并没有引入类似IAB的调度和数据解析和打包功能,大大降低了功能复杂度,也降低了其部署对现有网络的影响,因此降低了部署的成本。”

关键技术3:超表面智能反射实现多径同相叠加

“ 智能超表面是材料学和通信学科交叉的产物,使用最新的材料技术和可控的电磁反射单元,对空间中散射、反射的多径分量进行改造。将散射在空间中的无用的多径信号,向目标的方向进行反射,并进行正向的能量叠加。一方面,提高了接收端信号总的能量强度;另一方面,通过在空间构建反射的多径信道,提高空间信道的秩,从而提高信道容量,提高传输速率。而通过大规模阵列和可控反射模块构成的智能超表面,可以达到可观的信号操控效果。

智能超表面更接近于无源器件,仅需要通过功率很小的控制信号,对材料的反射系数进行调整,几乎无需供电且结构更加简单。因此,智能超表面具有更广泛的应用场景,且更容易部署,且有着更低的产品成本优势。”

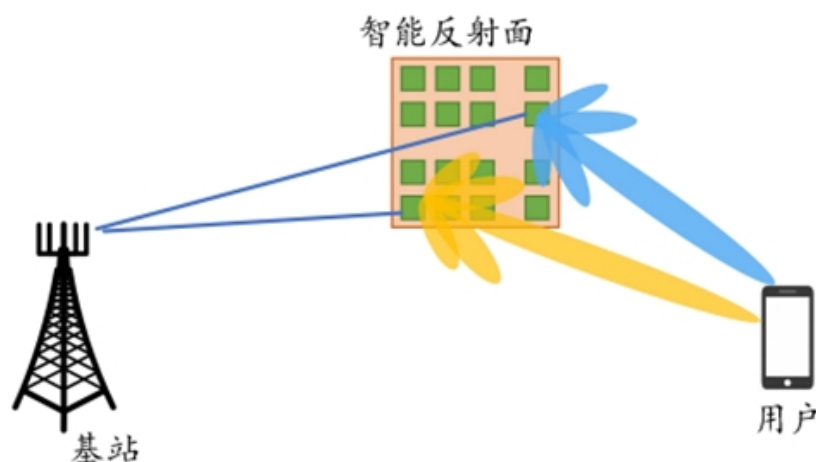


图4.1-3 超表面智能反射实现多径同相叠加

产业推进:3GPP启动智能中继的研究工作,推动智能超表面从学术走向产业;中频中继产品相对成熟但智能化欠缺,毫米波频段尚不成熟

“ 在中国移动与中兴通讯的积极推动下,3GPP于2022年初启动了Rel-18智能中继的标准研究工作,将推动智能超表面从学术走向产业。当前,市场上流通的部分中频射频中继已经具备一定程度的智能化功能,产业相对成熟。通过将终端模组与射频放大链路进行组合,具备简单的智能化功能,例如终端模组可接收系统消息。而面向毫米波频段,国内尚未正式开展毫米波频谱商用,毫米波中继产业尚不成熟。通过3GPP对智能中继的标准研究工作,能够有效提升中频中继的智能化水平,解决毫米波智能中继的技术问题,并为毫米波的部署提供低成本、智能化、易部署的覆盖增强手段。

中国移动联合中兴通讯作为创始单位联合发起成立智能超表面技术联盟(RISTA

)、并担任系统技术组负责人。在样机研发和测试方面,中国移动联合中兴通讯完成了2.6G和4.9G可重构超表面的原型验证。”

4.2 新能源与新技术进一步驱动节能减排

关键技术:提升清洁能源使用占比;节能技术全方位增强

关键技术1:新能源运用

“从源头出发,通过引入太阳能清洁能源,降低基站的市电消耗,升清洁能源使用的占比,真正契合绿色5G的需求。具体包括引入光伏基站和研究匹配的能源调度机制。光伏基站的选址是一个重要的研究课题,需要克服光照不足问题,同时还要做好与市政,小区物业等部分的协调沟通,保证站址满足光伏承重要求等。

另一个关键点是如何做好电能的储存。在能源调度方面,风、光、水等新能源发电和气候变化紧密相关,具有间歇性、随机性特点,新能源并网带来的电网功率平衡、运行控制方面的难题需要克服;需研究5G基站储能系统与发电网络的高效协同,以缓解新能源并网带来的电网功率平衡问题。此外,网络负荷、新能源并网的随机性对储能系统的影响,协同网络架构设计、算法,均有待研究。”



图4.2-1 新能源应用节能技术

关键技术2:节能技术增强

“软件升级包括基于网络实现的节能功能研究和节能技术标准化研究两方面。

基于网络实现的节能功能方面,一方面提升基站的无线资源管理能力,当前阶段5G的部署中,多层网络仍然是主要场景,如何从能耗角度结合多层网络协同的特点,制定适配的无线资源管理策略,实现用户在不同网络的合理迁移和分布,以增加基站休眠机会,都需要进一步研究。另一方面针对特殊场景的用户分布特征,开展匹配的节能策略研究,如针对室内场景的潮汐效应,针对高铁场景的时间规律特性等,制定并引入匹配的节能技术将大大降低网络能耗。”

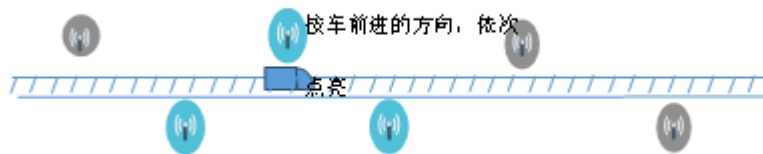


图4.2-2 高铁场景节能技术

“ 节能技术标准化研究方面,目标是弥补基于网络实现的方案无法实时动态响应用户数及业务量变化的缺点,实现更加精细化的节能手段运用。在2021年12月通过的3GPP RAN Rel-18版本研究项目中,网络节能成功立项[15],中国移动将深度参与该项目,研究并识别出网络节能的关键技术点,从包括时域、空域、频域和功率域等各个方面使能更动态、高效、精准的无线传输,并辅助以终端反馈和基站间交互信息等方式提升节能效果,结合能耗模型和评估方法,选择出能够平衡节能效果和网络性能影响的方案进行最终的标准化。”

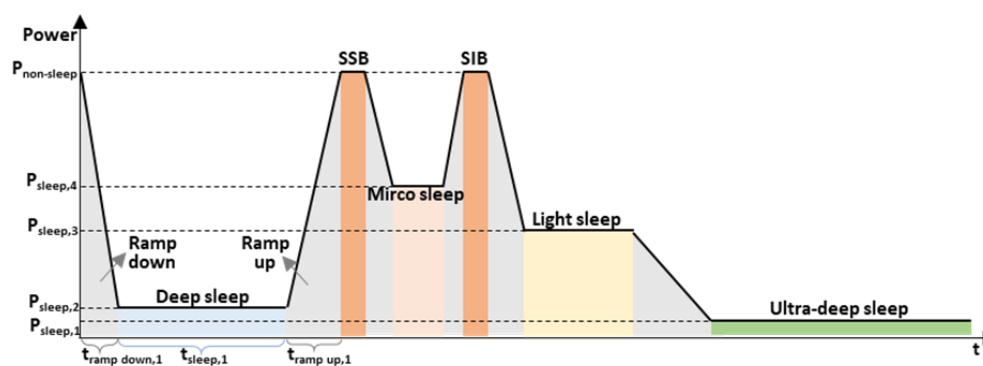


图4.2-3 不同睡眠模式的功耗建模示意图

“ 另外一个使能基站节能及高效传输的潜在标准化技术是弹性载波架构。弹性网络是一种更加通用的多载波管理方案,其主要的技术特征及优势在于[16]:

1)节省非必要信息发送:多个频率资源共享同一个小区,公共系统信息和寻呼信息只能在锚点频率资源中广播,在相邻频段同步的情况下,甚至可以节省同步信号的发送,从而降低非锚点频域资源上的网络开销,更高效的利用低频零散频率资源。

2)灵活负载分流:即使终端驻留在同一个锚点频率资源上,也可以从不同的非锚点频率资源发起随机接入,无需等到切换。

3)降低小区管理复杂度:各个载波不再作为独立小区管理,可实现小区间管理的简化。

从上述特征描述可以看到,弹性网络简化了部分载波的信号及小区管理信息的发送,从而可以实现更加灵活的载波关断,同时还可实现按需进行业务分流。此外,在弹性载波架构的愿景下,还需进行整个协议层框架的优化,确保上述优势落到实处。”

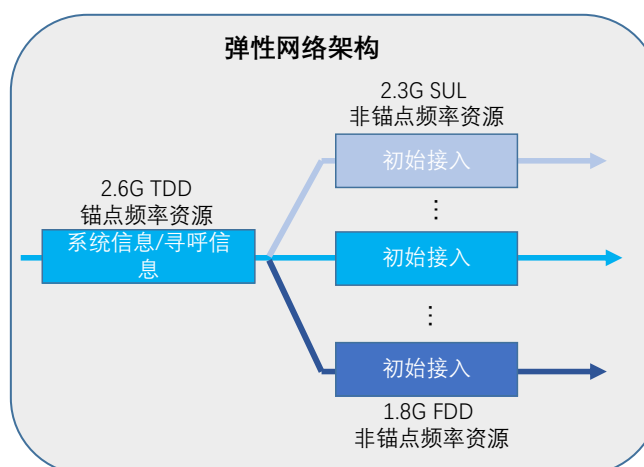


图4.2-4 弹性网络架构

产业推进：凝聚产业力量；样机、测试与标准同行

“ 中国移动通过联合产业界合作伙伴研发基站高能效材料、新器件、新结构,实现5G单站功耗相比商用初期下降约35%,接近4G的2.5倍;开展节能动态调压、BBU休眠和池化的探索、推动和验证,实现亚帧静默、通道静默、浅层休眠、深度休眠等节能功能的规模部署和性能优化,基于业务负荷进行5G基站器件休眠,实现低负荷场景节电10%~30%,极低负荷场景节电超过50%。

产业方面,2021年,中国移动在NGMN作为Green Future Network Project项目的联合负责人,重点参与网络能源效率部分内容撰写工作,在NGMN发布《绿色未来网络—网络能源效率白皮书》。2022年,项目组将继续跟进Green Future Network Project第二阶段的工作,依托NGMN 5G TTI第二阶段立项,联合全球合作伙伴开展5G演进相关技术验证和评估,配合发布5G演进测试规范和测试结果白皮书。

此外,中国移动还进一步加强产业合作,筹建绿色5G基站产业及标准推进委员会,目标是聚焦5G基站绿色低碳,做好技术研究和标准化推进,凝聚产业共识、形成产业合力、构建产业生态,助力我国碳中和、碳达峰战略目标达成。

未来针对关键技术中提到的新能源及基于网络实现的节能功能研究,将继续结合已有网络进行测试方案制定,及局部场景下的节能效果测试。针对需要标准先行的节能技术开展标准化研究,中国移动与业内合作伙伴联合进行样机开发,计划于今年6月输出初步的空口动态节能方案及弹性载波架构的测试结果,之后持续进行样机的研发与完善,确保标准方案行之有效。”

5.结论与展望

X-Layer跨层融通、通信感知融合、UDD时频统一全双工、空天地一体、极致确定、eIoT蜂窝物联网、AI自智网络、无线云网算业一体、智能中继、低碳节能十大关键技术共同绘出了5G-A“卓越网络、智生智简、低碳高效”三大愿景，助力赋能数智化社会的进一步发展。

实现这些关键技术在未来的落地和部署，需要进一步考虑如下问题：一是在网络建设方面充分利用现有5G的投资，在现网基础上快速叠加5G-A新能力以满足千行百业数智化转型需求。二是进一步丰富终端形态，推动终端模组、芯片厂家与网络侧同步做好产品规划和开发，支持全系列的物联能力，为数智社会的千亿联接提供支撑。三是业务和网络能够协同发展、联合创新，进行快速地迭代。业务侧能够更好地更准确地感知到网络的状态，从而更快地发放自己的业务，更早地产生商业价值。同时，通过感知业务特征，网络侧能够充分利用空口资源，大幅度提升容量，达到双赢的效果。



参考文献

- [1] 3GPP TR 26.928, Technical Specification Group Services and System Aspects; Extended Reality (XR) in 5G, V16.1.0
- [2] IMT-2020 5G-AHCS_0204, 5G-A通信感知场景研讨, 华为, 2021.9
- [3] 3GPP S1-214101, 3GPP based Wireless Sensing Services, XIAO MI, Nov. 2021
- [4] 徐晓东, 李岩, 叶威, 王飞, 刘亮, 胡南, 通信感知一体化应用场景、关键技术和网络架构, 移动通信, 2022.5
- [5] 中国移动研究院, 华为. 5G大上行能力在行业数字化中的价值白皮书, (2020). http://www-file.huawei.com/-/media/CORP2020/pdf/download/Values_of_5G_Uplink_Capabilities_in_Industry_Digitalization.pdf
- [6] Kenneth E. Kolodziej. In-Band Full-Duplex Wireless Systems Handbook. BOSTON: Artech House, 2021.
- [7] 3GPP RP-182864, Revised WID on Cross Link Interference (CLI) handling and Remote Interference Management (RIM) for NR, 2018.
- [8] 3GPP RP-213591, New SI: Study on evolution of NR duplex operation, 2021.
- [9] RFID Forecasts, Players, and Opportunities 2022-2032 Raghu Das, Dr Yu-Han Chang and Dr Matthew Dyson IDTechEX
- [10] 3GPP SP-220085, New SID: Study on Ambient power-enabled Internet of Things SA1 (from S1-220192)
- [11] 3GPP RP-211990, Motivation for NR Passive IoT for automotive industry CMCC, BMW Brilliance Automotive
- [12] 3GPP RP-213369, Study proposal on Passive IoT Huawei, HiSilicon
- [13] 3GPP RP-213602, New WI: Artificial Intelligence (AI)/Machine Learning (ML) for NG-RAN, RAN#94-e, Dec 6-17, 2022.
- [14] 3GPP RP-213599, New SI: Study on Artificial Intelligence (AI)/Machine Learning (ML) for NR Air Interface, RAN#94-e, Dec 6-17, 2022.
- [15] 3GPP RP-220297, Revised SI: Study on network energy savings for NR.
- [16] 3GPP RWS-210334, Motivation of study for frequency combination based elastic cell.

