

低空网络信息服务能力白皮书

Whitepaper for Information Service Capability of Low-altitude Network

2023



中国移动（成都）产业研究院

中国移动通信研究院

2023 年 6 月

引言

《低空网络信息服务能力白皮书》结合无人机低空应用需求，发挥 5G 及 5G-A 移动通信网络和技术优势，为低空经济发展提供安全可控、全域覆盖、经济高效、智能开放的低空信息基础服务能力体系。

截至 2022 年底，全国移动通信基站总数达 1083 万个，其中 5G 基站数量为 231.2 万个，已形成覆盖全域的信息服务基础设施体系，如何有效地利用这张大网，为无人机管理和服务提供强有力的技术支撑、促进低空经济持续开放与蓬勃发展是摆在我们面前的迫切任务。随着空中活动需求的增加，各类飞行器能力正逐步覆盖全空域、多行业需要。无人机的能力范围涵盖了从低空到高空的各个高度层，包括微型无人机、中型无人机、大型无人机等各类机型，应用于公安、交通、应急、物流、测绘等诸多领域，正推动生产生活方式的转变。与此同时，在国际标准、产业能力上，5G 及 5G-A 通信网络正加速推进与无人机系统等各行各业的深度融合，依托于 5G 网络可实现对无人机的可信接入和位置管理，并借助于通感一体化、网络 AI 等 5G-A 新技术，助力打造无人机飞行业务的全域监管及高效服务的全新能力。

中国移动（成都）产业研究院联合中国移动通信研究院从低空综合信息服务能力和低空网络增强能力出发，构建面向低空应用的信息基础服务能力技术体系。以低空网络增强能力为支撑，通过综合信息服务平台“中移凌云”实现低空空域产业各方的实时连接，促进信息的高效传递与共享，支撑任何时间、任何地点、任何角色间的高质量通信，保障了管理者看得见、叫得到、管得住，应用者全域飞、安全飞、智能飞，实现了高效率、低成本的“一键净空”。充分发挥中国移动大网优势，将 5G 及 5G-A 网络能力适配监管方和产业界需求，加快建设新型低空信息基础设施和“连接+算力+能力”新型低空信息服务体系，以信息能量化推动低空经济的数字化建设。

目录

一、低空经济的发展情况	1
二、低空无人机发展面临的挑战	3
三、面向低空应用的信息基础服务能力技术体系	4
3.1 总体架构	4
3.2 低空综合信息服务能力	5
3.2.1 全生命周期身份管理服务	5
3.2.2 信息连接服务	7
3.2.3 飞行基础服务	8
3.2.4 合作飞行信息服务	8
3.2.5 非合作飞行信息服务	9
3.2.6 算网融合服务	9
3.2.7 智能辅助决策服务	10
3.3 低空网络增强能力	11
3.3.1 低空网络增强架构	12
3.3.2 可信身份识别机制	12
3.3.3 安全管理及定位追踪能力	13
3.3.4 网络 AI 辅助无人机监管	15
3.3.5 通感算一体化	16
四、演进路线	18
五、总结	19
六、缩略语列表	20
七、参考文献	21

一、低空经济的发展情况

习近平主席在中共中央政治局第三十四次集体学习时强调，要加快新型基础设施建设，加强战略布局，加快建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施，打通经济社会发展的信息“大动脉”。2022年1月中国民用航空局、国家发改委、交通运输部联合印发《“十四五”民用航空发展规划》，大力引导无人机创新发展，积极拓展服务领域，完善法规标准体系，创新无人机产业生态。

近年来，无人机产业已呈现快速发展的态势，2022年中国民用无人机市场规模已达443.58亿元，预计2022-2027年我国工业无人机行业市场规模年复合增长率（CAGR）为39%，到2027年我国工业无人机行业市场规模将达到3138亿元（数据来源：前瞻产业研究院）。无人机产业构成主要由上游（无人机零部件制造商及分系统研制商）、中游（无人机系统集成及服务提供商）、下游（公安、应急、交通、巡检、测绘等应用场景）为主，随着产业技术的不断创新，将颠覆众多行业的传统作业方式，朝着行业多领域、性能多样化的新局面发展。结合AI人工智能、信息通信、北斗导航等新一代通信和信息技术，无人机产业成为推动经济增长和满足人民生活需求的新引擎。



图 1-1 中国无人机市场规模

以上数据表明，无人机产业已进入快速增长期，无人机充满整个低空立体空间已成为一个明确趋势。同时，国内外相关机构均着手制定低空空域管理的相关办法及法规。2023年4月国务院审议通过《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》，规范无人机飞行以及有关活动，并加快完善监管体制机制，健全监管服务平台，提升监管服务能力，确保飞行活动安全有序。该条例的出台，标志着国家加快了对无人机飞行管理体系

的建设与健全，对整个无人机产业的发展具有重大意义。另外，美国 FAA 在无人监管方面也颁布相关要求，规定无人机通过 Remote ID 系统进行身份广播，为政府部门提供追踪和控制的能力；欧盟航空安全局（EASA）也在积极解决无人机安全交通管理面临的问题与挑战，制定了监管草案，明确提出了要在 U-space 中建立更高级别的安全要求。

二、低空无人机发展面临的挑战

低空空域无人机活动的特点包括设备异构、高密度、高频次、全覆盖、大连接、高时效、高安全要求等。目前低空网络服务面临辅助监管机制不完善、低空网络覆盖仍需优化、低空业务保障有待提高等诸多难题。传统单一的监管及运营服务方式已经无法满足无人机的监管和服务需求，从单一到体系化转变的趋势逐渐显现。

（1）服务监管机制尚不完善

无人机分类分级复杂，平台构型包含多旋翼、固定翼、混合型等多种。无人机产品的异构化导致对于无人机的服务及管理缺乏有效的规则及机制，造成了目前无人机使用过程中难识别、难监管、难处理等一系列难题，亟需统一的监管机制实现对无人机接入、鉴权授权、飞行业务等有效管控。

（2）低空网络服务仍需优化

蜂窝网络基站的密度不断增加，已经具备了广域覆盖和高速数据传输能力。但现有大量无人机仍依赖于与地面站的单点通信方式，极大限制了无人机空中作业的灵活性和自主性，导致信息孤岛现象严重，飞行信息无法有效共享，削弱了数据资源带来的经济价值，加大了管理难度。为建立更加开放共享的低空网络服务，需要更加全面的网络架构升级、无线资源优化，同步保障数据链路安全以支撑低空一张大网的落地。

（3）低空业务保障有待提高

无人机需具备高度的智能化能力，包括感知、识别、决策、控制等多方面的技术支持，对网络连接的上下行带宽、业务时延、以及网络的链路稳定性提出了较高的要求，通信网络需要针对不同的无人机业务类型提供特定的网络能力，包括对不同载荷业务的网络能力适配，以及基于网络状况对无人机飞行路径的优化等。

整体来看，低空无人机发展需要推动行业进行体系化服务及监管能力升级，加速行业向规范化、标准化快速过渡，通过提供高效、可靠的监管及服务通道，推动行业向更加成熟、可持续发展的方向迈进。

三、面向低空应用的信息基础服务能力技术体系

3.1 总体架构

为实现对无人机的有效管理，需要监管者能在任何时间任何地点与任何无人机保持低时延的双向通信，以保证监管者对无人机能看得见、叫得到、管得住。

看得见：监管部门及被授权的相关服务能力提供部门能够全方位、实时地了解无人机的运行情况，包括无人机的位置、飞行高度、速度等信息，以及无人机的行为模式、飞行轨迹等数据。只有看得见，才能及时发现无人机的异常行为，有效预防和应对无人机的安全风险。

叫得到：监管部门能够通过各种手段及时向无人机进行管理和指导，如通过实时通信、飞行限制等方式实现对无人机的实时控制和管理。只有叫得到，才能有效控制无人机的行为，提高无人机的安全性和稳定性。

管得住：监管部门能够直接参与无人机的注册、审批、管理等各个环节，以实现无人机的全面、精准监管。

为实现该目标，本文提出了面向低空应用的信息基础服务能力体系支撑监管方随时随地、高效率、低成本的“一键净空”等高效管理能力，信息基础服务能力技术架构如图 3.1-1 所示。

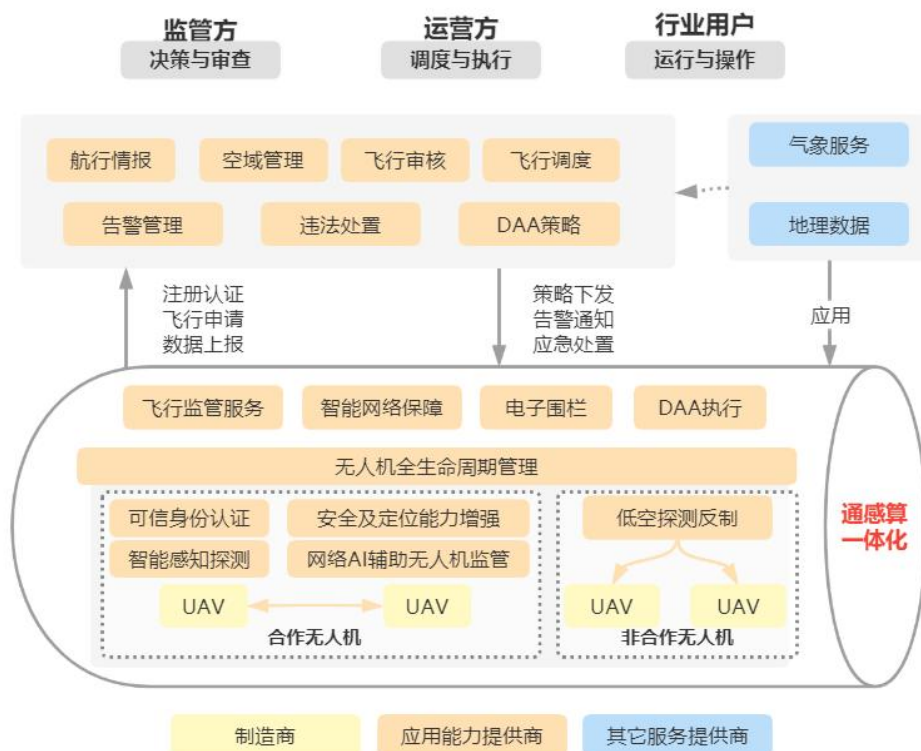


图 3.1-1 技术架构

3.2 低空综合信息服务能力

国家大力推动低空产业经济发展，借助大规模移动通信网络，提供高可靠低时延、大带宽、广连接和高安全性等优势，提供全天候随时随地无人机高质量信息服务，实现无人机分级、分类、分区域的连续管理，加强移动通信网络在无人机领域的应用，助力低空产业数字化的发展。

3.2.1 全生命周期身份管理服务

随着无人机应用的不断扩展，无人机数量的不断增加，无人机的统一身份认证能力变得尤为重要。无人机的统一身份认证能力可以有效提高无人机的安全性、可管理性和可追溯性，是构建无人机全生命周期高速信息通道的关键。

我们提出通过用户信息与设备信息相结合，构建无人机在全球范围内的唯一身份标识信息，提供面向无人机设备和操作人的数字身份证管理体系。SIM(Subscriber identity Module)卡是移动通信用户所持有的 IC 卡，称为用户识别卡。该身份信息由运营商生成和管理，每张 SIM 卡具有全球唯一的身份信息，可以有效避免身份的冲突。同时，SIM 卡存储了唯一识别码和身份信息，其身份信息支持与无人机其他信息进行强关联，采用密钥加密和认证机制进行保护，即使窃取了 SIM 卡也很难破解其中的加密信息，促进更加全面、可靠的无人机管理。此外，运营商可以对 SIM 卡进行远程管理和监控，在发生异常情况时对 SIM 卡进行锁定和保护。以 SIM 卡作为无人机唯一身份有着唯一性、安全性、可靠性、灵活性等诸多优势，可提供完备、安全的数字身份管理体系。

无人机身份信息统一认证流程包含了注册、分发、认证和权限管理四个环节，分布在无人机的研发制造、认证适航、流通运行和监管服务的全生命周期，支持随时随地获取无人机的身份、所属权、运营人等诸多信息。

研发与制造。低空无人机的种类繁多，不同设备有不同的硬件、软件和通信标准，这种差异性使得设备之间难以互操作和互通，增加了设备的管理和维护成本。全生命周期身份管理推动设备生产商在设备生产之初完成无人机身份凭证联网备案，实现“一机一码”的管理体系，从源头提供符合监管要求的无人机产品，确保设备的统一规范化和安全合规性。

认证与适航。无人机驾驶航空器具有多样化、个性化的需求，目前适航认证环节缺

乏基于现有设施的统一身份监管通道，结合无人机驾驶航空器具有快速更新、升级的特点，适航认证的周期也需要大量人力成本支撑。基于 SIM 卡的全生命周期身份管理服务以“一人一码”方式实现认证与适航过程中的管理。在无人机起飞前，可通过综合信息服务发送身份信息及飞行计划，监管方或服务提供方进行联网身份认证及飞行计划审核，身份及飞行权限认证成功后无人机正常启动执行任务，否则，无人机将被禁止起飞。无人机统一身份的认证与适航流程如图 3.2.1-1 中所示。

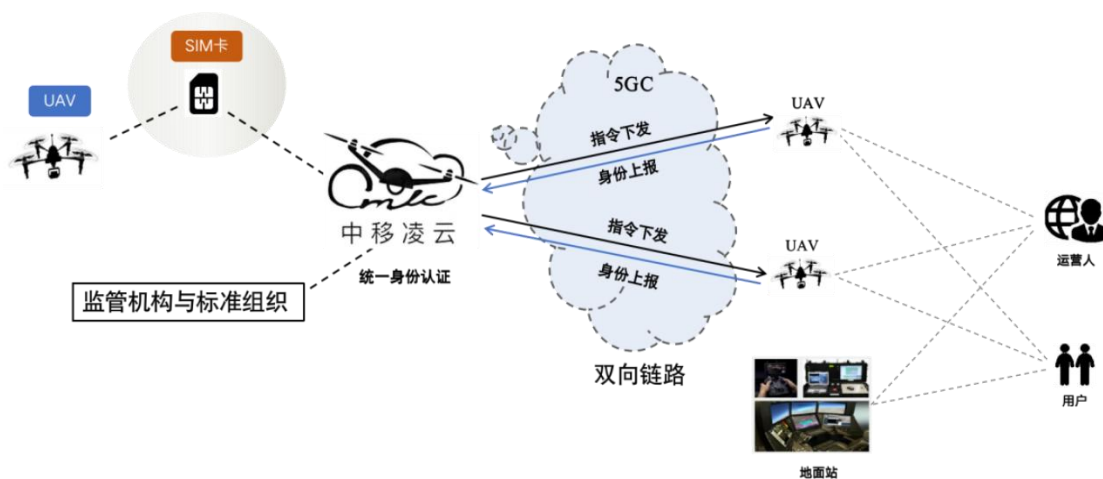


图 3.2.1-1 无人机统一身份的认证与适航

流通与运行。在智能化流通与运行中，无人机需要可信的追踪渠道，降低信息绑定及变更成本。低空综合信息服务用于连接各个子系统，将设备和传感器数据整合到统一集中化信息处理平台中，实现数据的互通和共享，支撑飞行过程中实时监测与权限管理。其中，权限管理包含对无人机的操作、运行和访问等行为进行管理和监督，授权过程应严格基于统一身份凭证，根据无人机的使用范围和任务进行授权管理，确保无人的安全性、合规性和可靠性。

监管与服务。全生命周期的身份管理能力进一步支撑监管的科学化、规范化、标准化，既向监管方提供了全局视野，强化了合作无人机的管理效率，降低黑飞误检率，同时也为其他服务提供商提供了可靠的实时信息反馈。基于现有基础设施完成低成本监管通道搭建，通过技术手段保障监管的效率和成本，建立起全方位、多层次、多方参与的管理体系。

经过多年发展，移动蜂窝网的身份认证和鉴权技术已相当成熟，有极大的安全和完备性优势，各大通信运营商也已经形成完备的管理体系。无人机作为新兴行业，可以在此成熟体制的基础上，快速复用其能力。低空综合信息服务能力支持蜂窝网身份认证和鉴权能力的对外开放，为服务和监管方提供完整的能力映射，快速实现“一机一码”和

“一人一码”的闭环管理，助力监管和服务方快速打造无人机全生命周期身份管理能力。

3.2.2 信息连接服务

信息连接作为无人机与行业相关方信息互通的关键环节，是低空信息共享的基础底座。该服务基于无人机的身份认证信息可提供不同等级的信息通道，一方面为不同类型的行业用户给予不同服务等级的连接能力，同时为运营人、监管方可提供定制化连接通道。通信网络和云平台的融合，实现了一套实时在线、互联互通、低成本、稳定可靠、可回溯的信息连接通道，充分发挥云网融合优势，为无人机的安全监管提供有效基础能力支撑。

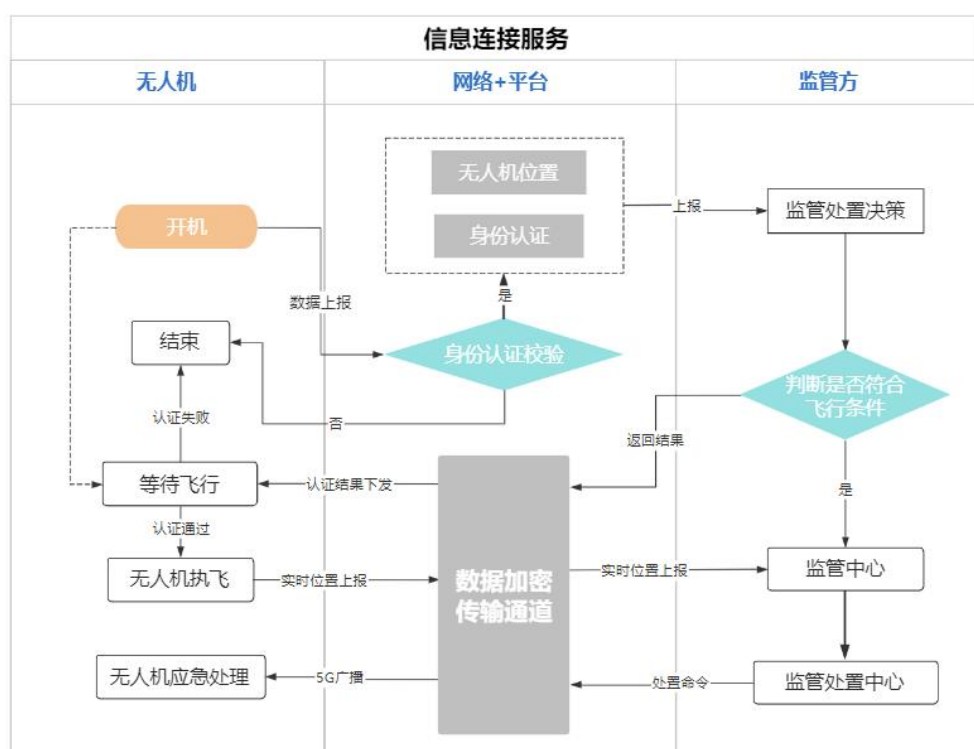


图 3.2.2-1 无人机信息连接服务流程

网联无人机(网联无人机是指接入 4G、5G 等移动通信网络并完成身份认证的无人机)具有联网即认证的实时合法验证特点，开机后通过移动通信网络上报位置及身份信息进行验证，“网络+平台”可自动验证无人机身份合法性，同时监管机构根据无人机位置判断是否满足起飞要求，验证通过后无人机即可执飞，无需提前报批飞行计划。利用通信网络实现无人机飞行安全监管，一方面，可对接入通信网络的无人机进行身份认证，另外，基于移动通信这张大网，可按需获取无人机实时飞行位置等数据，并支持将数据信息安全合法的开放给监管机构。同时，监管机构可利用通信网络向指定区域无人机广播消息/应急处置指令，实现按区域的无人机精准监管。

3.2.3 飞行基础服务

无人机飞行数据实时共享：无人机的飞行数据可根据用户的业务类型划分隐私等级，根据隐私等级实现飞行数据的合理开放。无人机飞行数据实时共享是低空经济发展的第一步：①无人机飞行位姿数据在机群协同作业、空中交通动态规划、无人机实时飞行导航等能力应用中提供了重要依据；②根据无人机飞行任务类型网络质量保障可自动调整优先保障区域；③可自动分析飞行热点区域，其分析结果作为有效依据为监管和运营提供辅助决策。

无人机飞行电子围栏：用户可对低空区域设置电子围栏，支持对电子围栏范围、属性、有效时间、告警规则等进行自定义。作为运营人，可利用电子围栏对空域进行精细化管理，从而实现低空资源的合理分配，有效提高空域利用率。对于监管方，可将空域划分为不同属性的电子围栏并设置无人机飞行告警规则，实现对空域的自动、高效管理。作为飞行用户，可实时查看电子围栏划设情况，根据飞行任务合理规划飞行航线及时间，提高飞行安全性与合规性。

3.2.4 合作飞行信息服务

随着无人机在低空飞行中的活动日益增多，确保其飞行安全和与其他飞行器的协同成为必要要求。机机之间、管理者和服务提供者之间均需要标准、高性能的信息共享服务。

对于合作类无人机，其无人机身份、飞行计划、实时飞行动态等基础信息均已在低空综合信息服务系统中记录，系统可对其生命周期进行管理并向其提供服务。合作飞行信息服务可实时获取合作类无人机飞行动态信息，根据目标的位置、速度和航向等信息，对潜在碰撞威胁进行预警，根据检测到的障碍物和其他航空器的位置，为无人机生成安全的飞行路径。

合作飞行信息服务可以根据管理方和服务提供方下达的策略，对合作类无人机进行管理。合作飞行信息服务可作为探测和避让(DAA)系统的一部分，不仅支持提供高质量信息通道，对无人机进行飞行过程监视，还支持根据预先制定的规则，实时上报告警，执行禁飞、限飞、避让等指令。

除此之外，合作飞行信息服务支持对合作类无人机进行强制管理，确保其安全、合法和可持续的运行，同时保障其他航空器、地面设施和公众的安全。合作飞行信息服务具备一键净空能力，支持快速响应和净空操作，减轻无人机对敏感区域或临时管制区域

造成的潜在安全威胁和干扰。该服务采用自动化控制技术，通过预设逻辑实现无人机的快速响应和净空操作。一旦系统检测到无人机的入侵或潜在威胁，可以通过一键操作启动净空程序。

3.2.5 非合作飞行信息服务

随着我国低空环境开放试点的进一步扩大，国家空域监管部门对低空飞行的安全防护与反制也提到了更高的位置上，直接关系着低空空域的开放进度和低空经济的走向，包括空军、民航、公安在内的主要管控部门都出台了相应的政策法规，明确要求在逐步开放空域的同时必须加强低空飞行的监管与反制能力。

随着 5G 通信技术的不断发展，除了传统的雷达等探测技术以外，在移动通信系统中引入感知能力，利用基站进行目标区域或目标物体进行感知，可以高效完成非合作无人机的探测与原理。

非合作飞行信息服务具备禁飞区的统一管理能力，一方面执行监管方下发的禁飞区指令，一方面结合无人机上报的飞行计划作统一管理。基于无人机的统一身份凭证，结合实时飞行位置、速度及飞行计划等信息，在提高白飞管理效率的同时降低黑飞的误检率。针对基站检出的黑飞无人机，提供实时可视化结果，并与数据库比对筛选后给予警告。除此之外，非合作飞行信息服务具备无人机恶意行为检测能力，对黑飞无人机的行为信息进行全面评估，辅助反制决策，其服务执行流程如图 3.2.5-1 中所示。

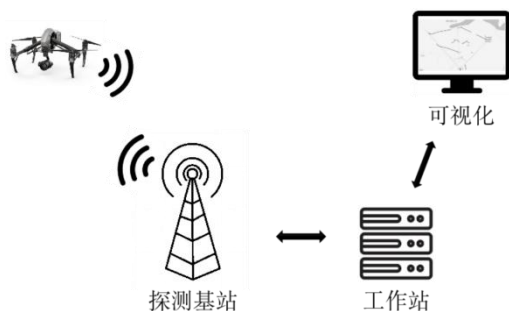


图 3.2.5-1 非合作飞行信息服务流程

3.2.6 算网融合服务

算力、存储、带宽是构建“连接+算力+能力”新型信息服务体系过程中必须面对的难题。随着无人机行业的数字化升级，需要算力与网络更加紧密地融合。网络需要感知业务的个性化算力需求，具备全局数据处理和计算能力，提供最优的数据到算力的路由

服务，实现综合能效的最佳匹配。

低空综合信息服务平台集成了当前低空的无人机身份、位置、传感、飞行计划、权限等信息，同时可接入第三方服务提供的气象、地理等信息，结合网络质量指标及算力资源分布及使用情况，具备实现在云、边、端之间按需分配和灵活调度计算资源、存储资源以及网络资源的绝佳条件。

算网融合服务实现数据与算力的均衡连接、高效协同和弹性扩展，其结构如图 3.2.6-1 中所示。算网融合服务基于场景类型与算力分布，按需建立从数据到算力间的连接，从单个处理器的多核算力均衡扩展至多台服务器间的多机算力均衡，实现全局算力协同供应。同时，支持根据网络、数据、算力动态分布调整扩展策略，最终实现“东数西算”织就全国算力一张网，构建全国一体化数据中心全新布局，让算力成为公共服务。

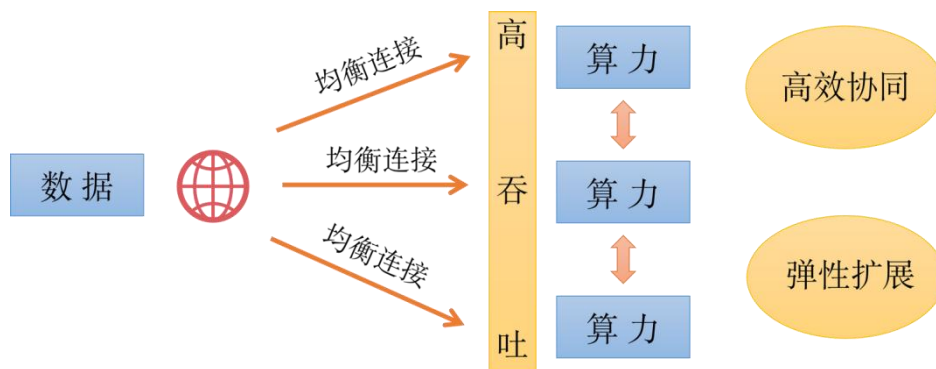


图 3.2.6-1 算网融合服务示意图

3.2.7 智能辅助决策服务

随着低空运行的发展，无人机的数量和运行频次均会激增，对飞行的监管和服务必然需要更高效的手段，必然需要智能化系统来辅助提高人工监管、控制和服务的效率。综合信息服务能力支持管理多种探测设备，提供主动和被动的探测能力，融合位置，地理，网络，任务等多种数据信息，并经过其核心网连接实现统一管理，同时提供全网调用的算力能力，在此基础上，可向第三方提供全域覆盖的智能辅助决策能力，以大幅提高低空综合信息服务的数字化水平，为通信保障、航线划设、飞行避障、多任务协同、监管调度等功能提供强大的智能数字底座。

低空综合信息服务能力协调多个无人机的任务分配、路径规划和数据传输，实现无人机的整体监控、任务调度和资源管理。在无人机通信中，网络资源包括无线频谱、带

宽、信道等。通过动态路由选择，可以根据当前网络资源的利用情况和无人机的通信需求，实时调整通信路径，选择最优的路由方式，使得各个无人机之间的通信负载均衡，充分利用网络资源。

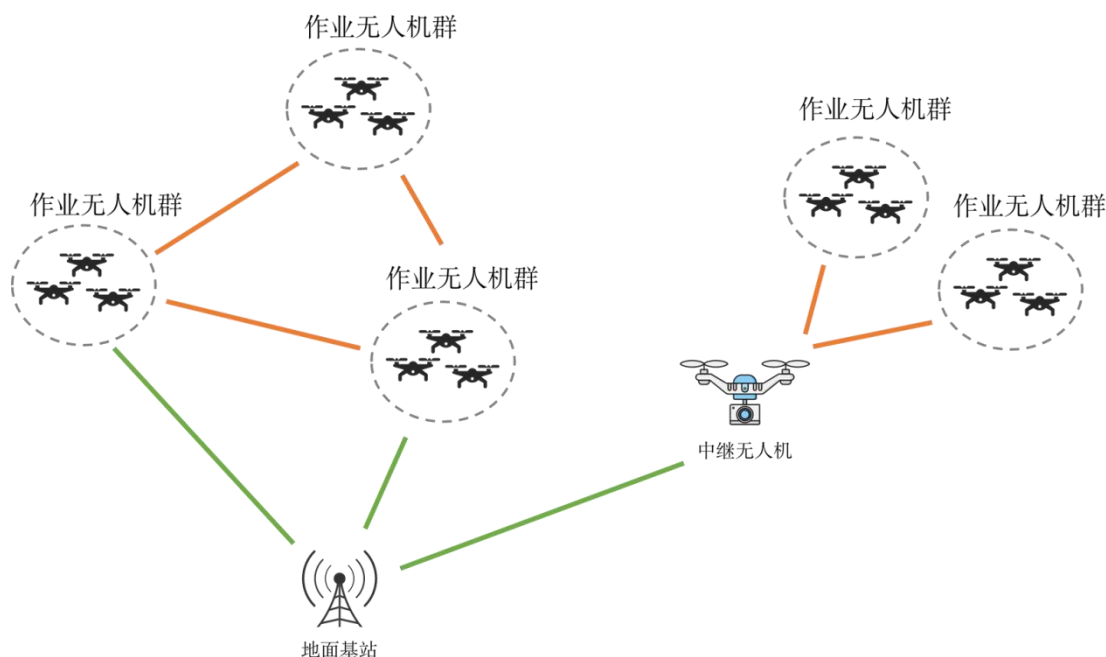


图 3.2.7-1 无人机动态路由分配

除此之外，在无人机和地面站之间备选多条通信链路，提高通信的可靠性和抗毁能力。在无人机通信中，由于环境的复杂性和不确定性，单一链路通信可能会受到干扰、信号衰减或故障等问题的影响，导致通信中断或信号质量下降。多链路冗余策略支持高效评估多条链路，即使其中一条链路发生故障或受到干扰，仍然能够保持通信的连续性和稳定性。

3.3 低空网络增强能力

5G 网络自 3GPP R17 版本开始，拉开对无人机业务的定向适配增强的序幕，通过通信网络实现对无人机的标识引入、可信识别、鉴权授权及定位追踪；同时也可通过网络智能化实现对无人机业务质量的保障和飞行轨迹智能分析；亦可以通过进一步引入通感一体化能力及网络算力提升，实现对无人机飞行及业务状态的高效监管及服务。中国移动牵头推动 R19 无人机课题的研究，持续推动网络对无人机航路监测与优化及无人机避障的深度支持。

3.3.1 低空网络增强架构

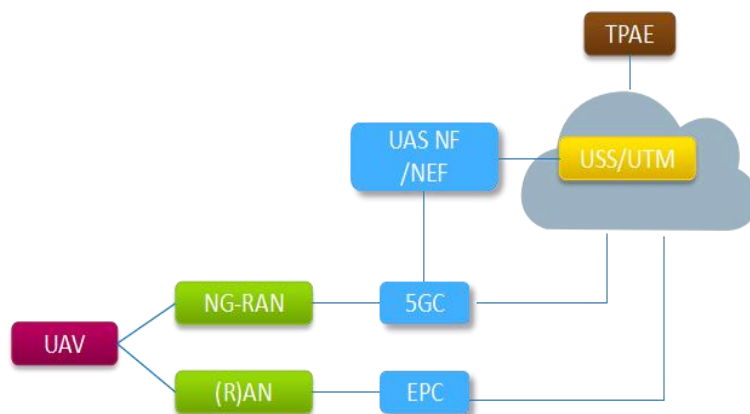


图 3.3.1-1 3GPP 无人机组网架构

为了加强网络与无人机业务的融合与适配，5G 网络可通过引入网络切片、边缘计算等成熟技术及解决方案，提升无人机业务隔离、传输质量和业务性能；同时可针对网络侧鉴权、授权，智能化分析以及无人机 SLA 策略等新型技术方案进行拓展研究，实现对无人机业务安全性及连续性进一步保障，进而加速通信网对无人机产业的支持步伐。

从架构上引入无人机业务专用网元 UAS NF，该网元可作为连接网络与无人机业务侧的枢纽，并通过网络侧设置的无人机标识增加网络对无人机类设备的识别与管控，包含对无人机设备及业务的鉴权、授权等相关结果的对外开放。

网联无人机鉴权授权：可在 UAV 在启用 UAS 服务连接之前，通过通信网络设定特定流程 USS UAV Authentication & Authorization (UAAA)实现对 UAV 进行认证和授权。

无人机可信标识引入：建立可信的无人机标识管理体系，为具备传统 CAA 级 UAV ID 的无人机设置可以在 5G 网络中使用的标识，并将上述两类标识进行关联管理，打通网络域与无人机管理域的协同连接，实现无人机标识的可信管理。

无人机飞行授权和 C2 配对授权：对典型无人机业务的适配，通信网络支持进行无人机飞行业务的授权申请流程，同时也支持 UAV 与通过同一通信网络连接的 UAV 控制器或通过公网或者其他方式连接到 UAV 的 UAV 控制器之间配对的授权。

3.3.2 可信身份识别机制

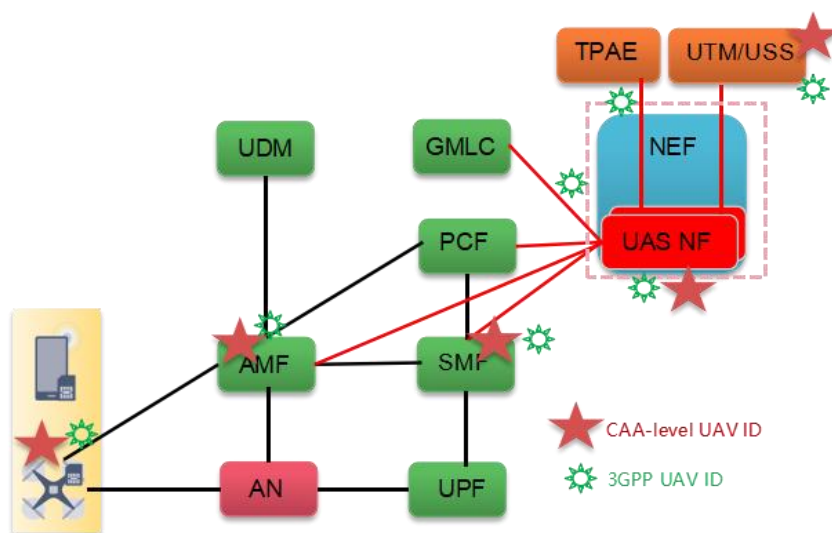


图 3.3.2-1 3GPP 无人机可信身份识别

无人机可信标识是真正实现网联无人机方案的关键所在，首先标识需要具备域内唯一性及统一性，保证无人机在应用时可被网络精准识别；其次无人机可信标识的引入需要考对通信网络以及无人机应用领域的整体性影响，需要兼顾方案引入的实际可行性。无人机身份凭证管理需要无人机完成身份注册，获得唯一的身份凭证。设备注册过程需要提供无人机的相关信息，包含无人机制造商、型号、所有者等信息。身份认证管理机构对无人机的信息进行审核，并将其相关信息与唯一标识绑定。在无人机联网使用时，通信网络可以基于标识完成接入、鉴权等一系列操作。

结合上述思考，目前建议无人机可信标识有两种形式的 UAV 身份凭证：①民航当局（例如 FAA、中国民航局）分配的 CAA 级 UAV 身份凭证，在 USS 系统中唯一临时标识 UAV；②3GPP 中规定的 3GPP UAV 身份凭证（例如 GPSI、外部标识符），在 3GPP 系统唯一标识 UAV。USS 使用 CAA 级 UAV 身份凭证识别 UAV。3GPP 系统使用 MNO 分配的 3GPP UAV 身份凭证识别 UAV。

3.3.3 安全管理及定位追踪能力

鉴权授权：UAV 在启用 UAS 服务连接之前，3GPP 系统可依托于成熟的安全管理机制实现对 UAV 的接入或通信的授权，即 USS 在 3GPP 系统的支持下，通过 UUAA 过程进行认证和授权。

对无人机的鉴权授权可依据业务特点及与运营商的策略在接入、会话，甚至是 C2 控制链路建立时灵活确定。因此对于 UE，可能需要支持在注册和会话建立流程中执行 UUAA，而网络侧则需要根据 UE 提供的 CAA-Level UAV 身份凭证、UAV UE 的移动性信息

等确定是否要执行 UUA。

当无人机为 C2 通信建立连接时，也需要获得 C2 授权，即从 UAV 控制器或 USS 向 UAV 发送 C2 信息，或向 UAV 控制器报告 UAV 的遥测数据。C2 授权包括以下内容：①UAV 到无人机控制器配对授权：在 UAV 和无人机控制器进行 C2 通信之前，授权与联网无人机控制器或通过互联网连接到 UAV 的无人机控制器配对。②飞行授权：无人机提供飞行授权信息时的飞行授权。C2 授权可在 UAV 请求建立会话连接或者修改会话连接时执行，UAV 需要使用现有 PDU 会话/PDN 连接来交换 C2 通信相关消息，网络侧可根据 C2 要求进行网络承载资源修改，以满足 C2 链路的通信需求。

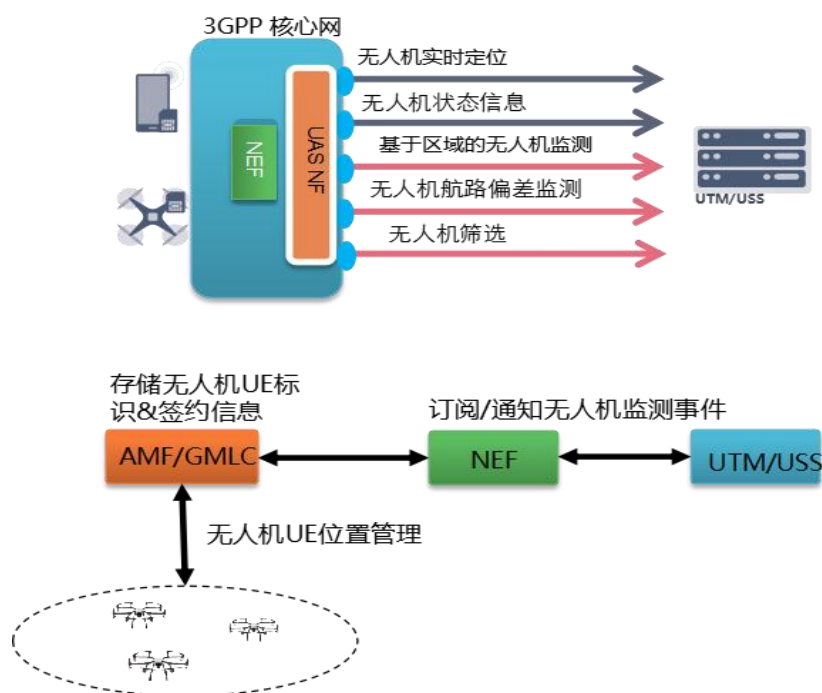


图 3.3.3-1 3GPP 无人机追踪

位置追踪：基于 5G 网络能力可实现对单个 UAV 或指定区域内无人机设备位置信息的实时获取。其能力主要包含如下内容：

1) 无人机位置报告：

基于网络的无人机位置报告，USS/可信第三方平台可使用目标 3GPP UAV 身份凭证向 UAS NF 订阅。USS/可信第三方平台可以请求按照所需的位置精度即时报告/延迟报告（例如定期报告）目标无人机的位置信息。

2) 无人机状态监控：

基于 3GPP 网络的电子围栏：USS/可信第三方平台可以订阅无人机进出某地理区域的事件报告（例如经度/纬度、地域编码等）。3GPP 网络将请求的地理区域信息可以映

射到 3GPP 定义的区域信息，UAS NF 向 5G 网络订阅，以使用现有网络功能实现对区域内无人机的状态监测。

3.3.4 网络 AI 辅助无人机监管

以人工智能、大数据等为代表的新一代信息技术，是支撑产业数智化转型的重要产业要素。通过在通信网络中引入核心网智能化网元 NWDAF，其智能感知、预测、诊断和决策的能力可以辅助无人机等行业应用进行监管，如提供无人机业务质差智能保障及无人机飞行轨迹智能分析。

(1) 无人机业务质差智能保障

面向无人机高清视频传输和通信业务的大带宽、低时延特性，通过 NWDAF 对无人机数据的全面收集和分析，可主动发现质差无人机（通信服务质量差的无人机），对其进行网络服务质量的重点保障。

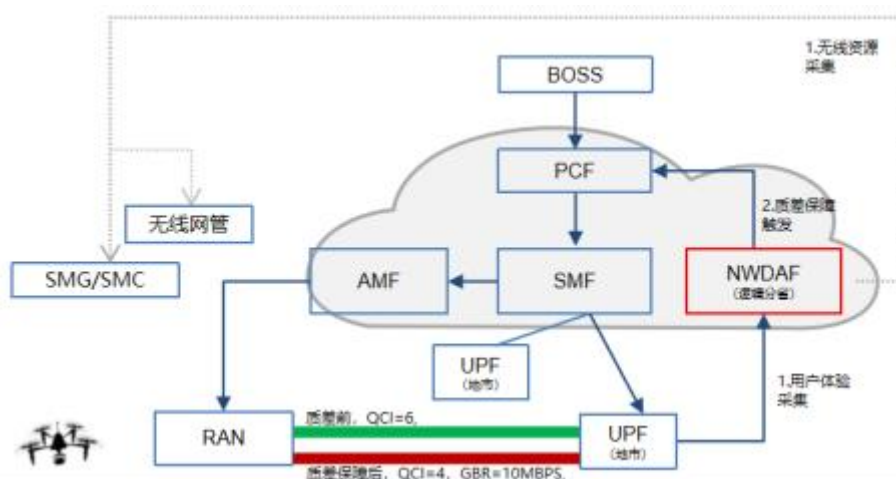


图 3.3.4-1 无人机业务质量保障

NWDAF 通过结合无人机体验指标变化和通过无线网管获取的无线资源情况，进行实时、精准地保障，使网络能够合理配置和灵活使用无线资源，减少无效资源消耗，以助力无人机可靠通信及大规模应用。

NWDAF 首先通过 UPF 订阅用户体验数据，在 NWDAF 内部进行数据分析及 QoE 建模，通过 UPF 实时上报的数据，及时发现质差的无人机，结合考虑无线的情况，通过 PCF 对该无人机进行质差保障，如建立专有业务流保障其带宽和时延。

(2) 无人机飞行轨迹智能分析

NWDAF 可根据 AMF 或应用平台系统获取无人机的历史 TA 或 cell 信息及其时间戳、历史地理区域及其时间戳等信息，进行无人机的位置统计分析及其未来位置预测，给出智

能化的轨迹分析。

一方面，基于 NWDAF 的位置预测能力，并结合无线网络信息的感知能力，NWDAF 可以快速识别即将进入无线质差区域的无人机，提前告警并可反馈建议路线给无人机应用平台，以辅助无人机绕行网络不佳区域等。

另一方面，通过 NWDAF 的轨迹预测能力，并结合三方平台获取的管控禁飞区域信息，可向无人机或无人机应用平台提供管控区域提前预警，避免无人机接近或者进入禁飞区域，实现无人机的智能动态管控。

3.3.5 通感算一体化

通感算一体化监管体系指将通信、探测感知和计算能力相融合，构建一个综合高速信息体系，用于全面管理合作与非合作无人机。首先，通过通信技术广覆盖的优势实现与无人机实时双向通信；进而，利用探测感知技术获取无人机的位置、行为、轨迹、环境等信息；同时，充分发挥算网融合能力对数据进行处理、分析和决策，最终使能通感算一体化服务与低空监管体系。

通信感知一体化技术融合了通信和感知功能，既可以通过通信链路获取合作无人机的位置、速度、姿态等关键信息，又可以通过感知技术获取非合作无人机的位置和速度，以及其周围的环境信息，以支持快速决策和风险评估。算网融合将计算和网络资源相互融合，将计算资源和网络资源进行整合与优化，更加高效精准地将算力需求调度到相应的资源节点，提供高效、可扩展和可靠的计算和通信能力。在无人机监管中，算网融合技术可以提供强大的计算能力支持，用于处理大规模的数据和复杂的算法，以实现实时的监管和决策。

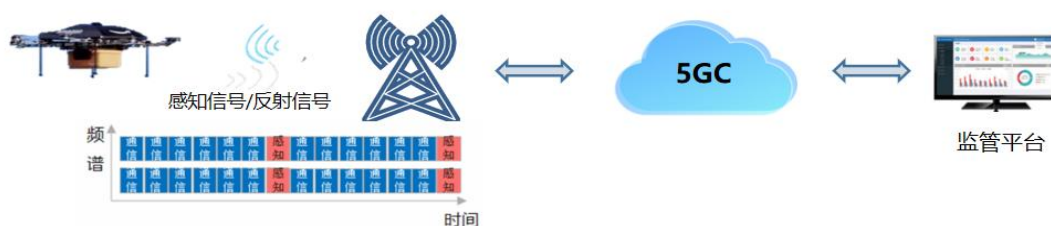


图 3.3.5-1 通感一体原理

面向未来，使用高频探测，比如毫米波，实现无人机探测感知具有明显优势：第一，波长短，可探测更小物体；其次，带宽大（最大 400MHz），分辨率高；再次，基站波束更窄（和 Cband 相比），探测精度更高；最后，运营商总频谱资源变多，有余力发展感知业务。因此，目前已在毫米波频段开展相关测试研制，并致力于使用不同的频率资源

适配多样化的感知场景。高频预估可以满足辅助自动驾驶、道路监管等场景高感知精度要求，低频预估能满足无人机监管场景的感知精度要求。在低频通感领域目前仍存在带宽瓶颈导致距离精度受限、天线瓶颈导致角度受限、杂波干扰导致虚警/漏警率高、站间干扰严重等难题，成为将来低空通感一体化的研究趋势。

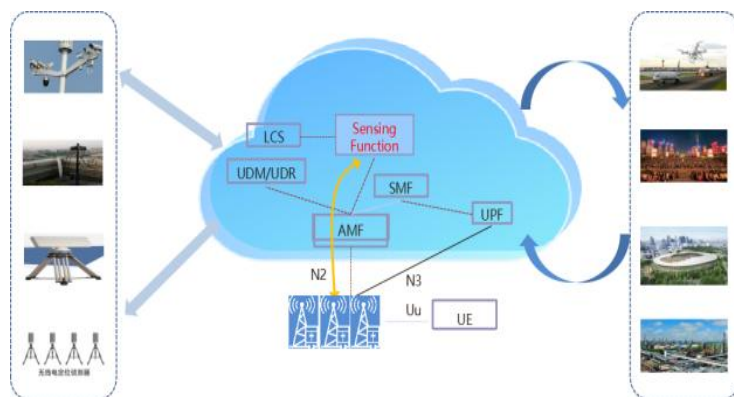


图 3.3.5-2 平台化通感能力开放

基于基站实现无线感知，同时基于核心网对感知业务进行控制及调度可真正实现“1+1>2”，即通信与感知可双向赋能、实现共促共进。尤其要指出的是为使能感知业务，5G 核心网引入感知功能网元 SF，针对不同感知场景输出对应感知探测结果，实现对感知业务的平台化的能力开放：

首先，SF 实现基站及无人机等终端的感知数据的收集，通过网络的数据汇聚，可将零散的感知能力聚点成网，实现感知能力的网络化变革，实现“网络感知”向“感知网络”演进。

其次，感知可辅助通信网络的优化，如收敛波束训练时长、减少波束测量消耗等，高效利用网络进行感知价值挖掘，提升网络效能。

再次，SF 可以基于大量感知数据，与核心网 NWDAF 互动实现智能化的信息处理，进而实现平台化的对外能力开放，输出无人机轨迹追踪、防碰撞、黑飞检测等感知结果。

最后，网络架构的演进支持感知业务的授权鉴权，以及感知数据的汇聚及处理，促进感知和通信的深度融合。

四、演进路线

面向未来低空市场的蓬勃需求，需立足通信网络的全新定位，开展低空综合信息服务平台与无人机低空网络之间的协同发展，加速运营商多维（网络+运营）服务能力渗透，面向重点场景推出整体解决方案，分阶段构建低空网络信息服务能力集合，助力低空无人机飞行业务的蓬勃发展。

第一阶段：技术&标准引领

- （1）基于 5G 及 5G-A 网络实现无人机管理闭环，具备初步统一身份注册、分发、认证、权限管理体系；
- （2）提出基于低空业务的通感一体化主动探测网络架构，验证黑飞探测能力；
- （3）在国内外标准/行业组织主导推进标准规范体系的建立。

第二阶段：架构&能力增强

- （1）构建面向无人机系统的增强网络架构，在 5G 及 5G-A 网络中新增 UAS NF 及感知处理网元，实现信息及网络能力对外高效开放，同时也可实现对无人机的感知及定位；
- （2）引入核心网智能化能力，推动网联无人机状态分析，在鉴权授权、航路规划、飞行服务保障等方面做定向性功能增强；
- （3）通过边缘计算能力下沉，算力本地化，提供“业务运营+体验管理”一站式网络解决方案，提高无人机产业效能。针对无人机实际应用场景中广域网络覆盖、数据高隔离、安全保密、网断业不断等实际场景需求。

第三阶段：产业&能力升级

- （1）面向无人机集群，搭建多播广播辅助无人机 DAA，针对无人机避障通知等区域性的多播广播业务，可通过网络侧多播广播技术实现对 DAA 消息的多播广播；
- （2）构建具备精准感知定位的通感一体化探测架构，形成成熟的通感算一体化信息基础服务能力集合；
- （3）构建成熟产业及通信标准，形成设备制造、通信组网、行业应用等多方面标准及规范，全方位提升国际竞争力和产业影响力。

五、总结

无人机服务与监管、低空网络与业务保障对低空网络信息服务能力提出了更高标准和挑战，同时也为低空综合信息服务能力和低空网络增强能力的技术发展提供了良好契机。在此背景下，中国移动（成都）产业研究院联合中国移动通信研究院编写《低空网络信息服务能力白皮书》，深入探讨如何为低空经济发展提供安全可控、全域覆盖、经济高效、智能开放的信息服务能力，提出面向低空应用的信息基础服务能力技术体系总体架构，给出了低空综合信息服务能力、低空网络增强能力的关键技术分析，并规划了面向未来的演进路线。

借此白皮书，我们诚挚地邀请全球运营商、电信设备供应商、无人机生产商和系统服务提供商，以及关注低空信息基础服务能力的企业和研究机构，积极参与到相关的研究和产业化工作中，携手助力低空网络信息服务产业的飞跃发展！

六、缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
3GPP	the 3rd Generation Partner Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation of Cellular Mobile Communications	第五代蜂窝移动通信技术
AI	Artificial Intelligence	人工智能
GMLC	Gateway Mobile Location Centre	网关移动定位中心
NF	Network Function	网络功能
NWDAF	Network Data Analytics Function	网络数据分析功能
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
QoE	Quality of Experience	体验质量
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
SF	Sensing Function	感知功能
TPAE	Third Party Authorized Entity	第三方授权实体
UAS	Uncrewed Aerial System	无人飞行系统
UAV	Uncrewed Aerial Vehicle	无人驾驶飞行器
UE	User Equipment	用户设备
UPF	User Plane Function	5G 用户面网元功能
USS	UAS Service Supplier	无人机服务供应商
UTM	Uncrewed Aerial System Traffic Management	无人机系统交通管理
UUAA	USS UAV Authorization/Authentication	USS UAV 鉴权/授权
UUID	Universal Unique Identifier	通用确定 ID

七、参考文献

- [1] 《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》
- [2] 《民用无人驾驶航空发展路线图 V1.0》（征求意见稿）
- [3] 《“十四五”通用航空发展专项规划》
- [4] 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》
- [5] 《民用无人驾驶航空器安全运行管理规定》
- [6] 3GPP TS 23.256: Support of Uncrewed Aerial Systems (UAS) connectivity, identification and tracking
- [7] 3GPP TS 23.288: Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services

联系我们

地址：中国（四川）自由贸易试验区成都高新区和乐二街 150 号 1 号楼 2 单元

电话：028-60103266

邮箱：qiuyuhe@cmii.chinamobile.com

网站：<https://www.uavcmlc.com/cms/#/home>

© 2023，中移（成都）信息通信科技有限公司（又称中国移动（成都）产业研究院）及中国移动通信研究院版权所有。

版权声明：除特别注明之外，本白皮书所有内容（包括但不限于文字内容、图片及排版设计等）之著作权均属于中移（成都）信息通信科技有限公司及中国移动通信研究院，并受法律保护。未经事先书面许可，任何单位及个人均不得复制、发行或通过任何方式传播本白皮书；经事先书面许可转载、摘编或以其他方式使用本白皮书内容时，应注明“来源：中移（成都）信息通信科技有限公司及中国移动通信研究院”。本白皮书部分信息源自合作方或第三方，如您发现本白皮书使用了您拥有著作权的作品并对此持有异议，请您发送电子邮件至落款邮箱，我们会及时与您联系或采取必要措施。