
5G 泛低空网络

部署与服务运营白皮书

V1.0



2019 年 6 月

目录

1. 引言.....	2
2. 需求及挑战.....	2
2.1.市场发展需求.....	2
2.2.网络挑战分析.....	4
3. 5G 泛低空网络部署解决方案.....	6
3.1 总体体系.....	6
3.2 网络侧部署解决方案.....	6
3.4 泛低空网络标准进展.....	11
4. 5G 泛低空网络服务能力.....	12
4.1 基于 MEC 的泛低空网络服务.....	12
4.2 基于网络切片的泛低空网络服务.....	14
4.3 安全服务能力.....	15
5. 泛低空网络服务运营模式分析.....	17
5.1 泛低空网络服务典型模式分类.....	17
5.2 泛低空网络服务典型运营模式.....	18
6. 总结.....	19
主要贡献单位.....	20

1. 引言

随着民用无人机技术的迅猛发展并成熟，无人机应用逐渐从视距应用扩展到超视距，从消费领域扩展到巡检、农业、物流、安防、森林火灾监测、环境监测、安全和边境监控等多个行业领域，随着低空无人机交通管理技术的成熟与政策标准的完善，预计会给产业界带来七到十倍的商业机会。然而，部署大量的无人机会对地面设施、公共安全、空中有人飞行器等造成影响，亟需建立低空无人机网络。

根据中国民航局 2019 年第一季度无人机云平台统计数据，飞行高度在 300m 以下的无人机占据 95%，因此本白皮书从此类实际需求出发，重点介绍低空无人机网络部署与服务运营，进一步梳理归纳行业应用对低空通信性能的需求，评估基于 5G 通信网络对低空空域的覆盖能力，在此基础上保证无人机可靠联网、有序飞行，促进无人机行业的健康发展。

2. 需求及挑战

2.1. 市场发展需求

民用无人机市场是近几年快速发展的新兴产业，2017 年《工业和信息化部关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》发布，提出到 2020 年，民用无人机产业产值达到 600 亿元，年均增速 40%以上；到 2025 年，民用无人机产业产值达到 1800 亿元，年均增速 25%以上。

中国民用无人机制造全球领先，今年以来国家也积极出台鼓励政策，确定了“先低空后高空、先载货后载人、先通用后运输、先隔离后融合”的发展路径，通过深圳试点实现了低空 63%空域开放，构建 UTMIS 平台打通军航、民航、公安等管理系统，立法明确企业法人作为无人机业务运营主体，为无人机低空运行

创造了良好的政策环境：

- 2019 年 5 月发布《关于促进民用无人机发展的指导意见》征求意见，无人机发展路线图：先低后高、先载货后载人、先通用后运输、先隔离后融合；
- 2018 年 11 月中国民航局发布地方法《深圳地区无人机飞行管理实施办法（暂行）》；
- 2018 年 12 月深圳启动无人机飞行管理试点，推出了无人机综合监管平台 UTMIS 系统，低空 120m 开放 63%空域；
- 2018 年 6 月 1 日实施《民用无人驾驶航空器经营性飞行活动管理办法(暂行)》，无人机商业飞行由民航局颁发运营许可，运营主体为企业法人，截止到 2019 年 4 月发布无人机业务运营许可企业 6087 家；
- 2018 年 1 月国务院、中央军委空中交通管制委员会办公室组织发布《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，对轻小型无人机松绑：产品认证管控、低空 120m 为非管控空域、可靠被监视。

随着民用无人机尤其是工业无人机的发展，行业应用对无人机数据链提出了越来越高的要求。根据对无人机 6 个典型行业应用的调查发现，行业普遍对通信链路的诉求是：低空 300m 无缝覆盖、上行传输带宽 15-60Mbps、飞行控制时延 10ms；

娱乐 下行速率：600kbps 上行图传速率：15~60Mbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：100m	巡检 下行速率：600kbps 上行图传速率：15Mbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：勘探100m、高空巡检300~3000m	监控 下行速率：600kbps 上行图传速率：15~60Mbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：100m
植保 下行速率：600kbps 上行图传速率：15~60Mbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：喷洒10m，测绘300m	物流 下行速率：600kbps 上行图传速率：200kbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：100m	救援 下行速率：600kbps 上行图传速率：15~60Mbps 图传时延：200ms 控制时延：10ms 覆盖高度：100m

纵观现有的低空无人机通信链路技术，从 6 大方面对无人机的数据链通信技术进行对比，可以看出基于移动网络具有明显优势，尤其是 5G 网络采用 Massive

MIMO 技术，具有大带宽、低时延、高可靠、大连接特点，将成为无人机数据传输链路新的解决方案。

通信需求满足度	卫星	专用通信站	WiFi	4G	5G
上行速率 15-60M	不满足	不满足	满足	部分满足	满足
时延 10ms	不满足	不满足	部分满足	部分满足	满足
通信距离 100km	满足	满足	不满足	满足	满足
通信成本<100 元/Gb	不满足	不满足	满足	满足	满足
网络容量	不满足	不满足	不满足	满足	满足
低空 300m 覆盖	部分满足	满足	不满足	不满足	满足

2.2.网络挑战分析

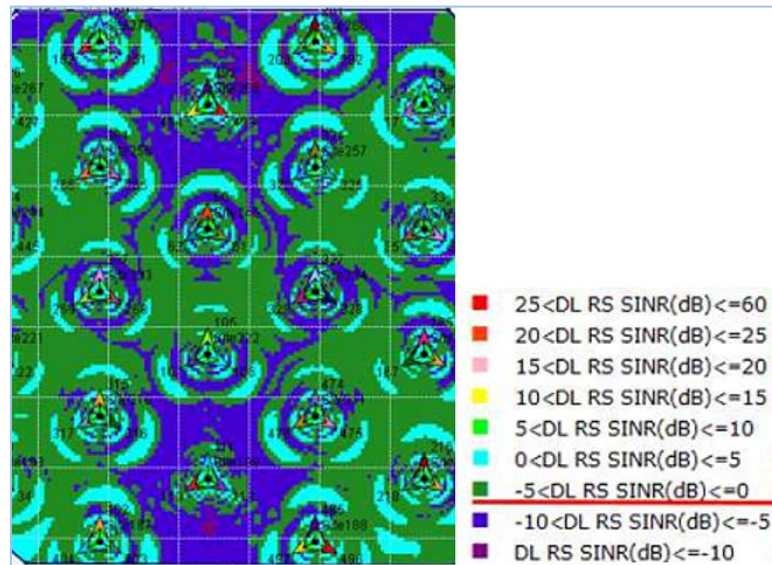
传统的移动通信网络，目的是满足人与人的通信诉求，移动基站的天线朝向地面，因此空中覆盖不足，无法满足低空无人机通信的诉求，对网络的挑战主要表现在：

- 同时满足地面与低空网络覆盖的“低成本”网络建设方案

对于无人机物流、巡检等应用，虽然有固定的线路，但仍然需要一张线状、连续的广域覆盖网络，新建无人机专网投资太大，因此需要建网成本低、不影响地面通信的网络建设方案。

- 干扰问题

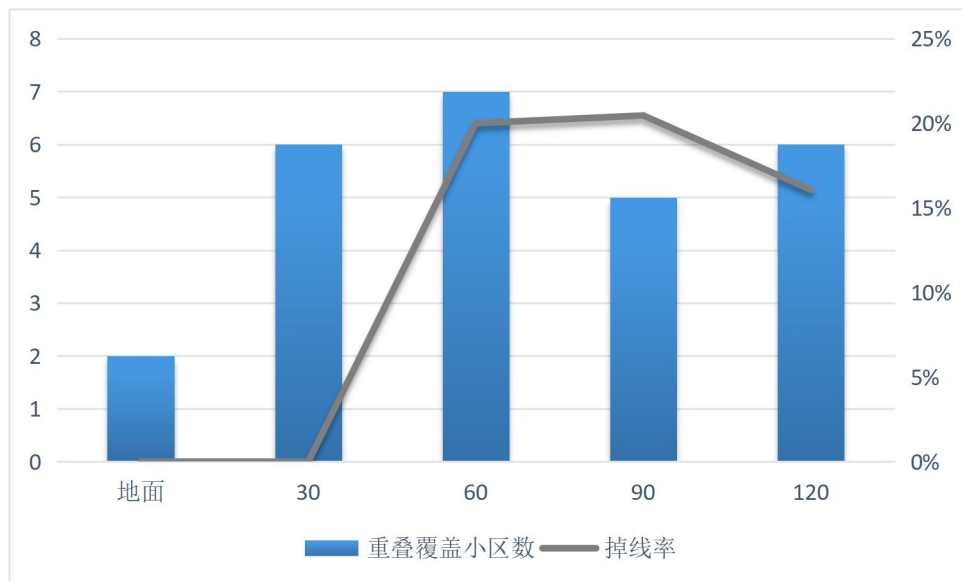
由于无线信号在空中沿 LOS 径传播，无遮挡，存在大量越区覆盖，无人机在空中会收到大量邻区信号，导致下行平均 SINR 下降到 0dB 以下，如下图示：



无人机上行到周围多个基站都是 LOS 径，无人机终端上行业务会干扰周边邻区的地面用户上行性能，邻区越多，干扰的范围越大。

● 切换问题

普通城区站间距一般 500m，测试发现空中 300m 可以收到 2.5km 以外基站的信号，无人机飞行过程中，杂乱的小区信号导致频繁发生切换，切换到较远基站的小区时，将发生通信断链，LTE 网络测试发现随着高度升高，重叠覆盖的小区数增多，掉线率升高。



3. 5G 泛低空网络部署解决方案

3.1 总体体系

根据前面分析，大量业务需求集中在低空 300m 以下，因此接下来将围绕低空 300m 以下的通信解决方案进行阐述，5G 泛低空网络部署解决方案体系如下，包括基础能力和增强能力两大部分。



3.2 网络侧部署解决方案

根据 IMT2020 发布的 5G 关键能力图，5G 空口能力相对 4G 得到了极大提升：主要体现在上行速率提升至 100Mbps，通信时延缩小到 1ms，连接数量扩大到每平方公里 100 万个，可靠性达到 5 个 9 (99.999%)。然而，为了满足低空网络特殊的覆盖需求，仍然需要使用针对性的技术手段和部署方案，才能够提高低空网络覆盖质量。

3.2.1 低空网络增强能力

- 300m 以下立体覆盖

5G 引入了 Massive MIMO 天线，天线数量提升到 32/64/128 个，实现了天线与射频单元合一，天线数量增多，可以使用大规模天线阵列对信号进行联合接收解调和发送，实现波束从传统单一宽波束演进成三维立体波束，具备了空分复用能力，增加了垂直维的自由度，可灵活调整水平维和垂直维的波束形状，因而实现了对低空 300m 的立体覆盖。

300米低空



例如，以城区场景的航拍直播业务为例，当无人机距离 5G 基站较近且无遮挡时，经过优化低空网络覆盖质量可以达到较为优质的水平：

飞行高度	RSRP (dBm)	SINR (dB)
10 米	-67.25	25.03
30 米	-65.85	25.27
50 米	-77	24.52

注：以上数据测试来源于单个 5G 基站覆盖下的无人机悬停测试

- 干扰消除

通过 **Massive MIMO** 垂直面和水平面的波束赋形，可以对准无人机形成精准的窄波束进行发送和接收，减少了小区内或者小区间的干扰，可以采用如下的方式：

- 基站侧：采用 **Massive MIMO** 形成较窄 **Beam** 对准服务用户，采用协作传输的方式，即多个小区间协调在时、频、空、码、功率域的资源来减少干扰，如 **SFN\CoMP** 等技术；
- 终端侧：通过功控优化，控制终端发射功率；通过码、频域等错开，降低终端干扰；



- 移动性增强

由于空中遮挡较少，信号特征是 **LOS** 径，导致空中信号杂乱无章，因此可根据具体场景空地通信需求，采用超级小区等方式将多个小区进行合并，降低空中切换概率，保障通信连续性；

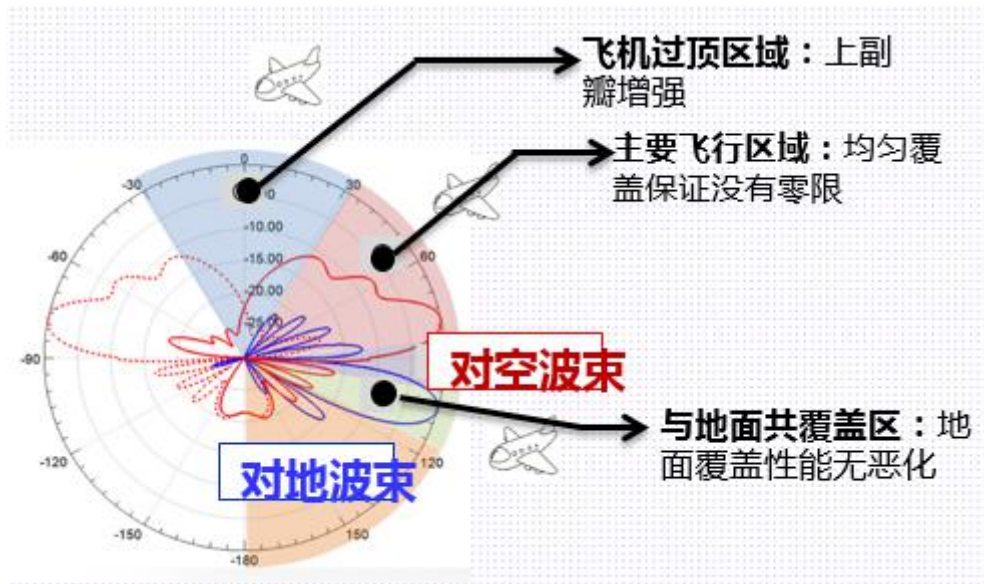
根据中国无人机运行统计，轻小无人机飞行速率小于 **50m/s**，**5G** 空口设计可满足 **400km/h** 的移动速度，因此在频偏算法上无需进一步优化。

3.2.2 低空网络建设方案

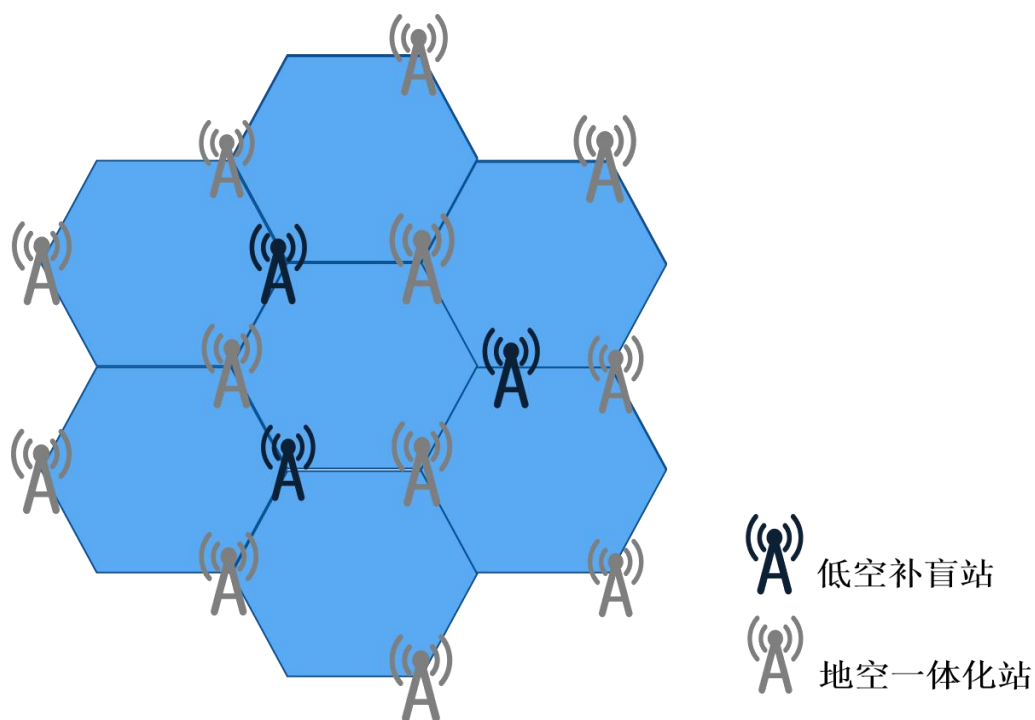
低空网络的建设的 **3 个原则**：满足无人机的操控链路和载荷的通信带宽与时延需求；对地面用户的影响小；低成本。

根据以上原则，可以采用以下 5G 低空网络建设方案：

- 城镇区域：基于 Massive MIMO 的空地一体化基础覆盖网络，增加部分低空专用站；
- 基础覆盖：在城区由于部署了 Massive MIMO 基站，采用低空一体化网络方案，天线主波束面向地面覆盖，保障地面网络覆盖能力，利用波束的旁瓣覆盖低空区域。现有规划以地面为主，波束普遍抑制上旁瓣增益，导致覆盖低空的旁瓣增益不足，无法满足低空业务要求。可以选择新的波束设计增加旁瓣增益以满足低空网络要求，同时保持地面用户体验不受影响。



- 热点或盲点覆盖：为满足无人机的操控链路和载荷的通信带宽与时延需求，在热点或盲点，按一定比例增加低空水平覆盖专用站。



- 农村区域：在郊区农村由于采用多 T 基站，对于业务量非常小的区域，可通过调整天线倾角兼顾地面和低空覆盖；对于业务量较大的区域，可通过建设专用对空站实现低空覆盖；同时可利用 4G 网络弥补部分 5G 网络低空覆盖的空洞；

无论在城区场景，还是郊区农村场景，都加载低空覆盖软特性，以提升低空覆盖性能并控制对地面用户的干扰。总体来看，在无人机发展的初期，5G 覆盖将“按需建设”，基于低空一体化网络方案，可有效利用地面站资源，有效降低对空覆盖的站点投资，通过一定比例的专用站，就能搭建一张无缝的无人机低空覆盖网络。在无人机发展的成熟期，由于低空无人机数量急剧增加，同时载人无人机等对通信链路的可靠性要求等更高，这时可考虑用专门频率建设专用低空覆盖网络。

3.4 泛低空网络标准进展

3.4.1 3GPP 标准进展

3GPP 对无人机行业非常重视，优先启动低空 300m 以下无人机通信技术研究，包括跟踪管理、应用需求两个方面。

3.4.1.1 无人机远程识别、跟踪和管理研究

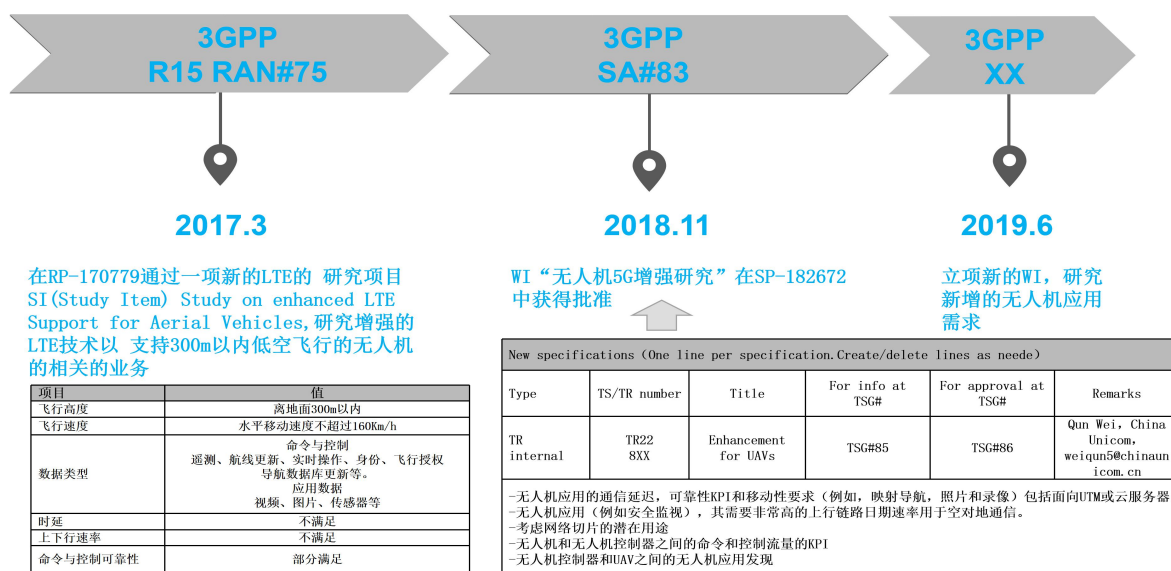
2018 年开始，经过多次 3GPP 会议讨论，已经批准了远程识别方面多个课题，普遍认为无人机应该有唯一的身份标识，无人机运行过程需要进行身份认证，并且可利用 3GPP 通信原有的鉴权技术，帮助识别“非合作”的无人机，加强空域的安全保障。



3.4.1.2 无人机远程作业应用研究

随着无人机在各行各业的广泛应用，3GPP 加强了对无人机远程作业应用需

求的研究，中国联通看好无人机未来发展前景，利用自身在无人机应用领域的丰富经验，积极参与 3GPP 应用提案的输出。



3.4.2 IEEE 标准进展

2019年3月IEEE立项了三个WI，期望研究无人机低空航路网、无人机载荷需求、无人机应用框架，预计2020年完成标准制定工作，工作组规划如下：

工作组	主题
1939.1	<i>P1939.1 Standard for a Framework for Structuring Low Altitude Airspace for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Operations</i>
1936.1	<i>P1937.1 Standard Interface Requirements and Performance Characteristics for Payload Devices in Drones</i>
1937.1	<i>P1936.1 Standard for Drone Applications Framework</i>

4. 5G 泛低空网络服务能力

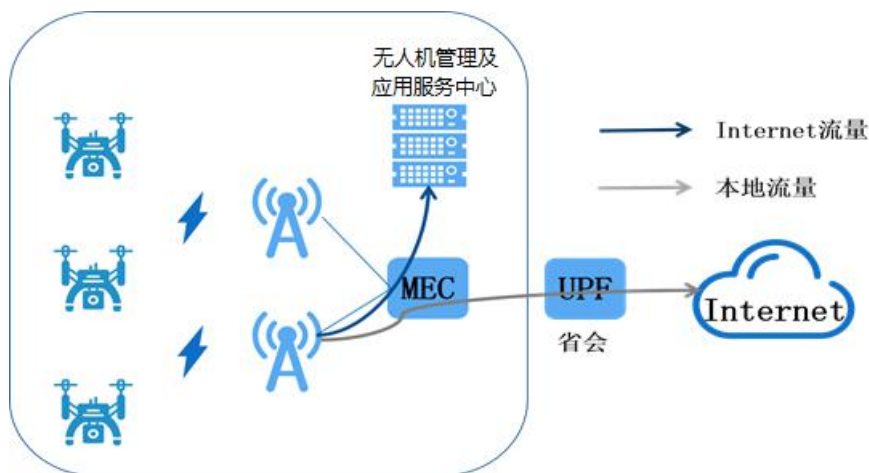
4.1 基于 MEC 的泛低空网络服务

在传统网络架构中，核心网部署于网络的逻辑中心位置，业务数据的流入流

出均通过核心网完成处理和转接。当网络用于承载服务对象为大众用户的业务服务时，这种网络架构能够较好的适应接入点广泛分布、业务集中式的数据传输需求。而当网络用于承载企业用户为服务对象的业务服务时，这种架构就表现出较高的数据访问局限性，因此边缘计算服务应运而生。

针对于泛低空航空器的特殊业务需求，MEC 技术能够提供以下三方面的网络服务能力：

- 超低传输时延保障服务：在网联无人机服务业务场景下，尤其针对远程控制类业务需求，数据传输时延要求极高，将 MEC 服务器部署于靠近基站的接入环、接入汇聚环等网络边缘位置，使得网络节点最大程度的靠近业务，从数据传输路径上降低了端到端业务响应时延。
- 路由选择服务：基于 MEC 解决方案，可以直接打通网联无人机与无人机管理及应用服务中心的传输通路，而不需要核心网转接，以缩短无人机控制指令数据，无人机状态信息，无人机挂载的传感器、摄像头等采集的感知数据，甚至于无人机挂载的控制指令数据等的传输距离。与此同时，为业务数据直接存储于本地从而提升数据安全性，并且为多机交互通信提供了更丰富的解决方案。利用下沉部署的 MEC 服务器提供网联无人机数据路由选择服务的示意图如下所示：



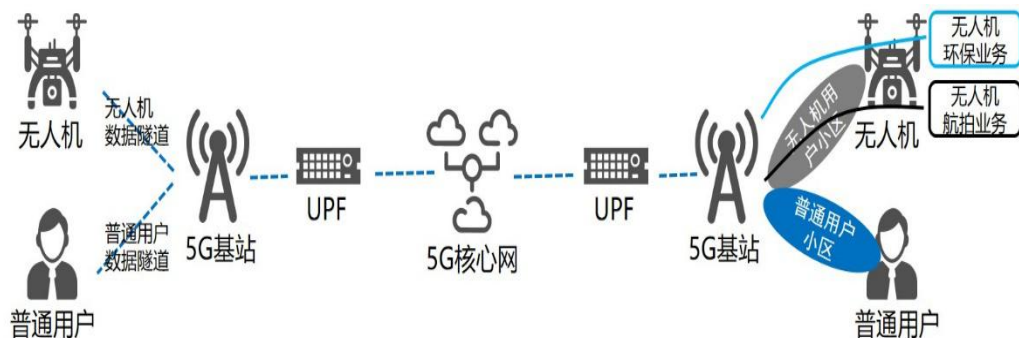
- 边缘化计算服务：MEC 服务器可以提供计算、存储、处理等边缘服务能

力，从而卸载网联无人机上部分资源需求较高的业务，如图像和视频的人工智能识别、自动化控制、高清图像存储等，从而既有效降低无人机的功耗和成本，又能够进一步提升计算能力。

4.2 基于网络切片的泛低空网络服务

网络切片，本质上就是将运营商的物理网络划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络根据不同的服务需求，比如时延、带宽、安全性和可靠性等来划分，以灵活的应对不同的网络应用场景。基于网络切片可以为网联无人机应用提供的定制化网联服务能力，具体包括以下三方面内容：

- **专享数据链服务：**为网联无人机业务提供端到端的数据传输链路保障，以数据传输带宽、网络传输延时和抖动、数据丢包率等为基础保障指标，提供从接入网、传输网到核心网的按需定制化的链路保障，当公共网络容量受限时，仍能够充分满足网联无人机的专用业务需求；
数据隔离服务，通过建立逻辑上独立的网络传输通道，甚至进一步建立部分物理层上独立的传输通路，结合资源调度、配置专用虚拟服务单元等方式，为数据隔离提供链路层支撑，提供安全、稳定、独立的数据链服务，网络服务示意图如下所示：



- **数据链自管理服务：**面向规模化、系统化要求较高的网联无人机业务，基于多租户模式，可以提供数据链自主管理服务，及用户作为网络切片

的租户，可以查看所租用的网络状态和统计指标等，实现用户高度自主化的服务支持。

4.3 安全服务能力

安全运行是无人机在垂直行业领域广泛应用的前提，网联无人机基于移动网络接入实现飞行中的实时联网化，并结合严格的用户认证机制，为无人机管理提供了有效的支持，也保障了无人机应用的有序开展。

4.3.1 无人机安全管理能力

相比 4G 移动通信网络，5G 网络在安全机制上具备更丰富的能力，包括用户认证和加密机制、精细定位能力等，可以有效识别“非合作”目标，为无人机的安全飞行管理提供支撑。

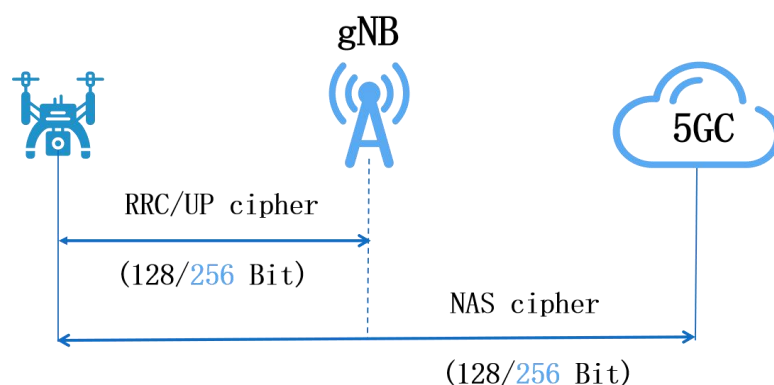
3GPP 定义了 5G 终端和核心网之间双向认证鉴权，进一步确保所有接入设备的可信性和通信安全。



此外，5G 密钥可提升至 256Bit，相比 2/3/4G 网络技术中密钥为 64/128Bit，网络的安全性大幅提升。

地理位置定位是无人机应用的基础技术需求，目前民用无人机主要采用 GPS 定位，定位精度相对较高，但也存在易受环境影响而失准的问题。基于移动网络

的定位，其定位精度与频谱带宽成正比，带宽越宽，定位精度越高。由于 5G 网络的常规空口频谱带宽为 100MHz，基于高斯信道 3TS 模型，理论定位精度可达 2.38m，相较于 20MHz 带宽时可达到的 12.13 米有大幅提升，可以为网联无人机提供备份定位服务。



4.3.2 网络安全服务能力

5G 网络从数据链保障层面，能够基于 MEC 技术、网络切片技术为网联无人机的应用服务提供额外的安全服务能力。

利用 MEC 技术，将 MEC 服务器下沉于网络边缘，借助网联无人机感知的数据可以直接接入无人机管理平台和应用服务平台的，不仅减少网络迂回，进一步降低数据链路层面可能引入的安全风险，也更适应于部分数据管理和分析平台本身即与外网隔离的场景。例如部分面向安防场景的网联无人机服务，借助智能路由选择技术架设“移动传输专网”，将安防视频数据可以直接接入城市安全管理中心，不仅进一步降低了视频、数据、指令的交互时延，提升了安防响应速度，而且，通过访问归口集中化，可以实现应用平台和安防指挥统一化，方便业务管理和应用拓展，提升系统的安全性和稳定性。

利用网络切片技术，可以根据客户需求的不同，建立相对独立的分层网络，例如为地面大众用户提供基础网络切片，为低空网联无人机提供专享网络切片，或者为开展不同类型业务服务的网络无人机提供进一步独立的网络切片，从而实

现端到端的资源调度的隔离，进一步实现数据的直接隔离，从而在公共移动通信网络中形成专用网络服务保障。

此外，在面向垂直行业的高可靠低时延 URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications)机制中，3GPP 提出了安全机制优化满足高性能应用和安全功能不额外增加时延等要求，预计在 R16 协议实现规模商用。

5. 泛低空网络服务运营模式分析

5.1 泛低空网络服务典型模式分类

5G 时代已经到来，5G 网络已经开始逐步具备商用条件，5G 网络服务运营模式的制定也开始摆上了日程。在 5G 网络部署完成后，泛低空网络因其业务类型的特殊性，也将针对性的推出不同的网络服务模式可供用户按需选择。

根据泛低空业务类型以及支撑网络服务的差异性，泛低空网络服务可以划分为以下三种典型模式：

- 共网共用

在这种网络服务模式下，无人机业务和普通 5G 终端用户共用物理网络和逻辑网络，对于 5G 网络而言，无人机被视作普通 5G 终端，可使用 QoS 机制、地空网络联合优化等方案提升地空网络质量。该服务模式的低空网络部署成本相对可控，网络服务费用也较为低廉，但其网络质量也难以做到充分保障，可以满足部分网联无人机业务应用需求。

- 共网专用

在这种网络服务模式下，无人机业务和普通 5G 终端用户共用物理网络，但在逻辑网络分开，按照无人机业务需求特性通过网络切片技术在一个独立的物理网络上切分出多个逻辑网络，并针对不同的逻辑专网配置相应的网络质量保障机制。该服务模式的建设成本高于共网共用模式，相应的网络服务费用也更高，但其网络条件能够充分满足绝大多数网联

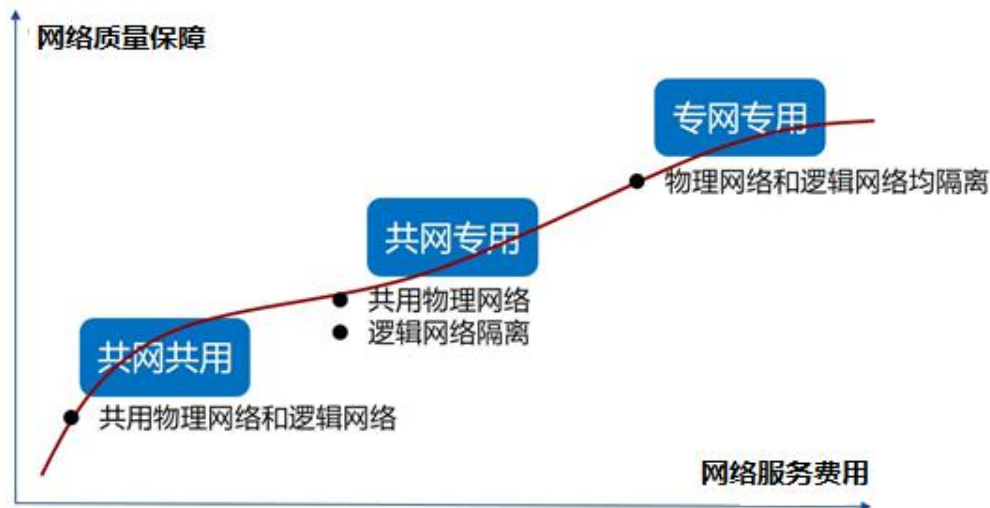
无人机业务应用场景。

- 专网专用：

在这种网络服务模式，无人机业务和普通 5G 终端用户在物理网络和逻辑网络完全分离，专门建设专属的物理专网为无人机业务场景服务。

该服务模式下需要单独新建一条全新的物理网络通道，投资成本极高，但网络业务独享，有极高的网络质量和稳定性保障。

综上所述，三种典型的泛低空网络服务模式各有利弊，高投入也就意味网络保障能力越强。所以在无人机项目实施时，可根据实际业务场景需要和项目预算选择不同的网络服务模式，三种典型的网络服务模式的网络特征如下图所示。

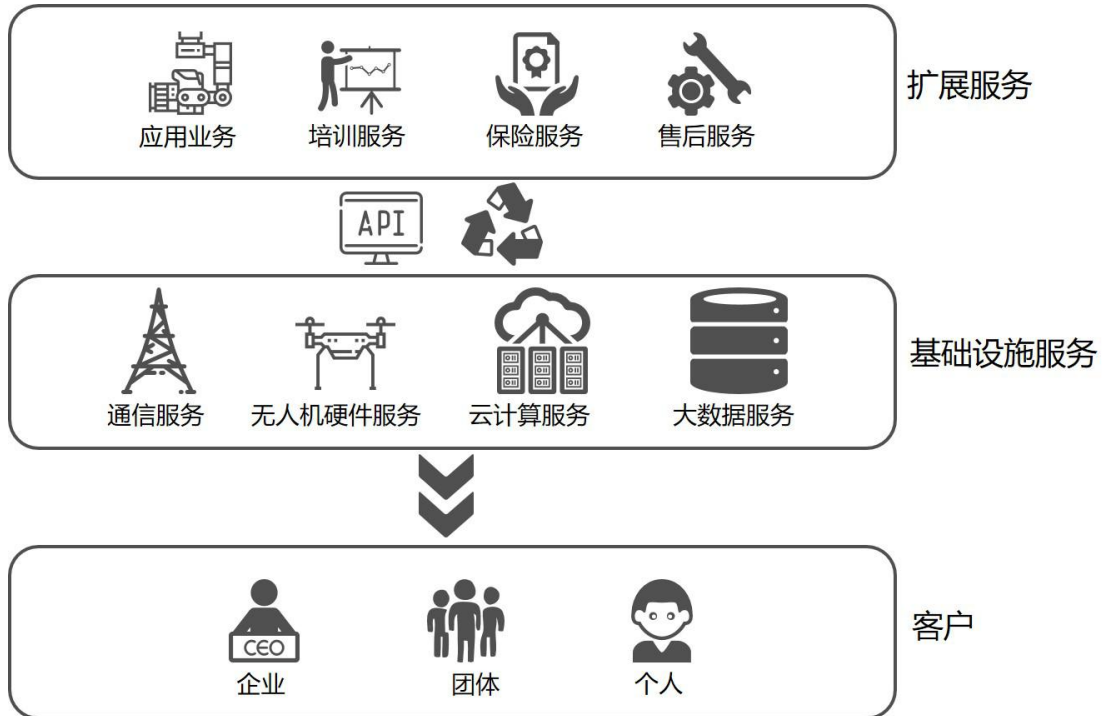


5.2 泛低空网络服务典型运营模式

通信运营商除了拥有无处不在的通信网络外，还具备各种类型云平台的接入能力。运营商在泛低空网络服务模式中所能提供的不仅仅是通信服务，还肩负着打通无人机产业链上下游企业，最终形成产品力提供给客户。

泛低空网络服务按运营内容主要包含两类服务，一类是基础设施服务，主要包括通信服务、无人机硬件服务、云计算服务、大数据服务等，此类服务主要为实际业务开展提供必要的基础支撑；另一类是扩展服务，主要包括应用业务、培

训服务、保险服务、售后服务等，此类服务主要为实际业务的开展提供必要的软支撑。具体服务模式展开如下图所示：



5G 时代的来临，势必会给网络服务的资费标准带来一轮全新的变革，其中通信运营商针对泛低空网络服务的资费设计，可根据不同的业务场景、功能应用和网络服务等级提供可定制的菜单式服务，客户可根据项目需求、预算等实际情况灵活挑选。

6. 总结

随着 5G 标准的制定、5G 网络的全面商用推进，在 5G 时代泛低空无人机业务将迎来全新的发展机遇。中国联通将通过打造稳定的、可靠的、基于场景化的泛低空通信网络，提供完整、便捷、灵活的端到端网联能力，全面带动无人机服务价值提升，助力无人机发展基础环境的改善。我们也将继续着力于让 5G 网络更合理地面向无人机产业进行网络赋能，驱动业务创新，我们也期待着更多的合作伙伴加入进来，与我们一道积极探索 5G 时代的全新商业模式，打造互利、共赢的泛低空生态系统。

主要贡献单位

中国联通 5G 创新中心

中国联通山东省分公司

华为技术有限公司