

目录

1. 5G-A 无线架构演进驱动力	1
1.1. 政策指引.....	1
1.2. 业务驱动.....	2
1.3. 技术牵引.....	6
2. 5G-A 无线架构演进面临挑战	8
2.1. 网络层面：海量资产需兼容.....	8
2.2. 业务层面：灵活多样不确定.....	8
2.3. 运营层面：投资回报挑战大.....	9
3. 5G-A 无线融合新架构	10
3.1. 架构设计理念	10
3.2. 架构具体阐述	11
4. 5G-A 无线融合新架构关键技术	14
4.1. 前向兼容的系统融合方案	14
4.1.1. 空口融合方案.....	14
4.1.2. 设备融合方案.....	15
4.1.3. 组网融合方案.....	17
4.2. 通专异构的资源动态共享方案	19
4.2.1. 专卡专用方案.....	20
4.2.2. 通用融合方案	20
4.3. 自组自愈的弹性可伸缩组网方案	21

4.3.1. 弹性可伸缩网络	21
4.3.2. 自组织网络.....	22
4.3.3. 自治愈网络.....	23
5. 5G-A 无线融合新架构典型应用	25
5.1. 通感融合场景	25
5.2. 通智融合场景	27
6. 未来展望	30
缩略语	31
参考文献	32

1. 5G-A 无线架构演进驱动力

无线架构是无线网络运营和发展的基石，其演进受政策的指引、业务的驱动和技术的牵引。随5G-A时代的到来，政策、业务需求和技术出现了显著的变化。通过基站架构变革，使无线网络遵循技术发展、顺应时代特征、响应市场需要，赋能千行百业发展。

1.1. 政策指引

随着5G、云计算、大数据、人工智能等技术的快速发展，网络和算力等数字基础设施的加速建设，数字化正深刻改变着生产方式、商业模式和治理结构。在生产领域，数字化深入智能制造和工业互联网，提高了生产效率和产品质量，降低了运营成本。在商业领域，数字化催生了新的商业模式，如电子商务、在线服务等，拓宽了市场边界，提高了交易效率。在治理方面，数字化促进了政府决策的科学化、精准化，提升了公共服务的便捷性和响应速度。

数字经济作为全球经济发展的新引擎，正深刻影响着全球经济的各个领域。根据GSMA智库发布的《2023年全球移动经济发展》报告，移动技术和服务在2022年创造了全球GDP比重的5%，贡献了5.2万亿美元的经济附加值，并在更广泛的移动生态系统内提供了2800万个工作岗位。据全球数字经济白皮书（2023年）数据，2022年测算的51个国家的数字经济增加41.4万亿美元，同比增长7.4%，占GDP比重的46.1%。

作为数字经济的引领者，为推动5G、云计算、大数据、人工智能等技术的融合创新发展，国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》中提出，到2025年数字经济核心产业增加值占GDP比重达到10%的目标，并对数据要素市场体系、产业数字化转型、数字产业化水平、数字化公共服务和数字经济治理体系等方面提出了具体的发展目标。规划提出加快新一代信息技术的发展，包括5G、云计算、大数据、人工智能和物联网，以促进技术创新和产业升级。推动数字经济与实体经济的深度融合，通过产业数字化转型，发展新业态和新模式，促进经济高质量发展。低空经济作为数字经济的重要组成部分，将开辟全新的商业机会和经济空间，《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030年）》中提出，到2030年推动低空经济形成万亿级市场规模的目标；推动低空经济与数字技术的深度融合，发展基于低空经济的新业态和新模

式，这不仅推动经济高质量发展，也将提升中国在低空经济领域的国际影响力和竞争力。

中国移动作为数字经济发展的排头兵，积极推动以5G-A新技术、新业务、算力网络、智能化为核心的新型基础设施建设，致力于构建“连接+算力+能力”的新型信息服务体系。这一战略将通过5G-A与智能化的深度融合，推动新质生产力的发展，为数字经济的高质量发展注入强劲动力。

1.2. 业务驱动

随着低空经济、车联网等新场景的出现，用户对高质量业务体验的诉求和运营商对降本增效的迫切需求，在通信网络应该具备无线感知及智能化的能力，成为无线网络经营的新着力点，而算力为无线网络升级提供基础保障。

1.2.1. 感知成为通信网络新能力

感知是通信系统新的服务能力，通过无线信号感知环境与物体，并将感知数据提供给应用服务，实现数字与物理世界的映射。这不仅提升社会经济效率，还促进社会的发展与安全。基于通信的感知服务目前涵盖低空、水域和道路场景，并向更多领域拓展。



图 01 感知应用场景丰富

1) 低空场景

“低空经济”在2024年全国两会首次写入政府工作报告，提出到2030年中国低空经济将形成万亿级市场规模。随着低空经济的快速发展，无人驾驶航空器数量将呈爆发式增长，低空空域安全有序是壮大低空经济的必要前提，低空飞行器必须要“看得见、呼得着、管得住”。例如，在无人机快递中，低空管理网络必须跟踪管理无人机航线，确保飞行安全并及时处置非法入侵者，确保低空飞行安全。

面向低空的通感融合技术可解决现有城市低空管理方案精度低，部署难，审批慢的痛点，提供泛在连续的广域精准感知能力，为低空经济的规模发展保驾护航。

2) 水域场景

水域：航道管理、电子围栏、边防监测等场景中有广泛的船舶感知需求。国家“十四五”规划提出推进数字航道建设，低成本、易部署的广域感知能力可保障全国航道的安全有序运行。海上的能源、渔业等场景也有生产安全保障诉求，通过设立感知电子围栏，可以有效防止未经授权船舶进入生产区域，保护围栏内的设施和船舶。

3) 道路场景

汽车保有量持续提升，自动驾驶能力走向L2以上，对道路运行效率提出更高的要求。车辆的监控和管理设施天然分布在所有道路，提供感知车况，感知路况，结合通信能力提升道路效率。道路感知需要实现道路交通参与者的类型、速度、位置、航向角、轨迹等微观数据的感知，和违停、超速、压线、闯红灯、事故、施工、抛洒物等交通事件的感知，以及车流量、占有率、排队长度等交通流信息的检测功能。

1.2.2. 算力成为通信网络新要素

算力作为新的社会生产资料，成为各行各业不可或缺的资源，通讯网络作为最广泛的存在，一方面发展新业务需要算力支持，另外一方面未来也可提供算力服务，作为云和端算力的有效补充。

1) 新业务发展需要算力

通信技术的迅速发展推动了新业务需求的涌现，包括感知服务、定位功能和高可靠性业务的灵活切片等，这些业务均要求基站具备强大的算力支持。在感知业务中，基站不仅需要传输数据，还需对数据进行处理、消除噪声、提升精度，以满足上层应用的需求。此外，AI和机器学习类的广泛应用需要处理大量数据和进行模型训练，这对基站的计算能力提出了更高要求。

因此，为了满足新业务的发展需求，基站的算力必须得到显著提升，以确保能够高效、稳定地处理各种复杂计算任务。

2) 低时延业务需要本地部署

在通信网络中，一些业务对时延要求极高，需要本地算力部署以满足其超低时延需求，并有效节约骨干网传输资源。这在网络性能和经济性上都是理想方案。以下是通过本地部署算力受益的典型业务：

工业自动化和智能制造：这些领域的M2M通信要求极低时延（小于10毫秒），

并需稳定的网络条件以避免抖动，确保操作的精确性和安全性。本地算力部署可实现实时监控和控制，满足高可靠性和时延要求，从而提高生产效率。

云手机和云游戏：为了确保无卡顿、高质量的用户体验，这些应用需保证时延小于20毫秒和至少5Mbps至25Mbps的稳定传输速率。本地算力的部署能显著减少网络传输时间，提升服务质量。

虚拟现实（VR）和增强现实（AR）：这些应用需快速渲染和响应用户动作，时延要求在20毫秒以内，以避免用户眩晕和不适。同时，高达200Mbps的传输需求若通过云处理，会浪费大量骨干网资源。本地算力能降低延迟，提供流畅的交互体验，并优化经济性。

本地算力显著降低了业务处理时延，满足创新业务的实时性、可靠性和效率要求，成为通信网络发展的重要趋势，支持更多对低时延有严格需求的业务。

3) 端云边协同需要本地算力

在AI迅速发展的时代，端云边协同架构成为应对多样化连接主体和交互需求的关键。它提升了数据处理效率，并增强了系统灵活性和可扩展性，其中本地算力是重中之重。

首先，确保稳定的低时延。与AI助手或智能体的交互需快速响应，这对网络的确定性要求极高。中国的网络实测数据显示，轻载时RAN到服务器的时延为20毫秒至60毫秒，但在高峰时可达2900毫秒，对交互类业务非常不利。减少终端到服务器的传输跳数，尤其是在RAN附近部署AI推理服务，是降低时延的有效策略。

其次，算力下沉到边缘。端云边架构要求处理多样化和实时性的数据，这使本地算力变得不可或缺。将算力接近网络边缘数据，不仅降低数据传输延迟，还提高了处理效率，允许本地进行初步数据分析和决策，减轻云端负担。

此外，随着连接主体和内容的增加，数据安全性和隐私保护愈发重要。本地算力可在数据外传前进行加密和匿名化处理，加强数据安全。对于终端，由于体积、电池和散热能力限制，算力常受限。在高推理算力需求下，借助边缘算力而非云端是理想选择，因为后者在时延和带宽方面有更多限制。

1.2.3. 智能化成为通信网络新特征

1) 差异化业务体验需要智能化保障

随着直播、游戏、视频会议等新型移动互联网应用的蓬勃发展，用户规模持续扩大，高端用户比例逐步提升，用户对高质量体验的需求日益迫切。然而，传统的基站无法感知业务，不能满足普通用户和VIP用户的差异化体验诉求，需要引入新的智能化技术进行精细化和差异化的业务处理和体验保障。面向未来，5G-A业务会有更高的网络诉求，如XR业务需要10毫秒级低时延、大上行带宽工业视觉回传需要大上行需求、核心生产控制的4毫秒@99.999%的高可靠等差异化需求。

在基站中引入智能化能力后，网络具备了实时感知、建模预测和多维决策的能力。网络能够实时感知并判断体验状态、网络资源及业务形态，进一步综合分析，实现动态调控，从而按需触发并精准适配体验保障策略。例如：在短视频业务中，可以加速首帧缓存，降低首帧时延，提升视频码率，从而提高观看清晰度；在直播业务中，保障上传速率并提供稳定的上传缓存，以减少直播卡顿；在游戏和视频观看等业务中，能够预测关键帧的发送时间，提前进行资源编排，提升观看体验。

2) 绿色低碳网络需要智能化节能

伴随着网络性能的持续提升，能耗也在不断增长。当前ITU要求，在2030年，ICT产业碳排放需要降低45%以上。同时国家发布《贯彻落实碳达峰碳中和目标要求，推动数据中心和5G等新型基础设施绿色高质量发展实施方案》，提出碳达峰碳中和目标，对5G-A提出具体的能效改进要求。

但当前无法兼顾节能和高QoS高优先级业务，核心矛盾在于节能深度、节能时机与业务的精确匹配。通过智能化能力，识别出对体验敏感的业务，基于识别结果，动态调整业务优先级，基于用户行为预测、网络负载预测等智能技术，进行时空频功域综合编排，实现体验和节能双优。

3) 高自治网络需要智能化运维

随着无线网络从2G发展到5G-A，新业务持续涌现，频谱和结构复杂性持续增加，使网络管理愈加复杂。过去五年，网络特性、配置参数和规则数量翻倍，导致运营支出持续上升。同时网络能力的演进也需保障业务的高度稳定，因此对网络运维提出更高要求。

当前无线各功能域相对独立，运维管理需要人工参与，导致效率低且成本高。引入智能化运维能力后，通过运维任务目标协同各领域功能，实现智能运维。例如，在排障中，传统模式需与运维工程师反复沟通，平均耗时长且需人工持续监控。而在智

能运维下，通过故障自感知，系统自修复，降低故障时间，减少人工参与。

1.3. 技术牵引

移动通信技术发展日新月异，从2G、3G、4G、5G到5G-A，每一代通信制式都带来了革命性的技术创新和突破，不仅提升了通信网络的性能，也持续地扩展其应用范围和深度，为通信产业注入了新的活力和可能性。

面向未来数字社会的构建，移动通信技术在通信的基础上，将不断扩展能力边界，加速通信和感知、智能化等技术融合。

➤ **通信技术和感知技术将逐步融合**：随着数字孪生世界的到来，无线通信从语音和数据的传输，走向物理世界的感知扩展，通信和感知技术逐步融合，使感知成为面向下一代网络的关键服务。关键技术不断创新，主要包括：

- **灵活部署架构**：感知本地化架构及紧耦合架构灵活部署，可在网络侧按需实现感知业务的运营管理能力。

- **混合波形空口**：连续波+脉冲波混合波形，配合通感融合帧结构，低干扰低开销的条件下，满足不同场景的感知能力需求。

- **超级广角硬件**：垂直超广角 AAU，两级移相架构配合“宽切换+窄扫描”多粒度波束设计关键技术，可实现垂直扫描 60°低空一体覆盖能力。

- **差分高精工参**：基于 PPK 的差分解算高精定标技术，可实现基站工参精度大幅提升，优化基站感知精度。

- **通感协同组网**：通信感知一体化系统的组网设计，通过基站与基站通感协同，实现感知联合去重与通信干扰规避，从而优化系统性能。

➤ **通信技术与智能化技术深度融合**：人工智能将在通信感知一体化系统中发挥关键作用，通过机器学习和深度学习算法优化网络性能，进一步提升通信效率和感知精度，使得资源利用率最高，系统能效比最高。

- **精准业务感知及保障技术**：基于机器学习的数据传输特征感知系统，高效快速地构建特征库，实现无线内生的业务感知技术，精准、快速对重点业务进行保障，提升用户感知的同时激发流量。

- **智能网络优化技术**：借助 AI 技术对网络资源差异化、精细化的编排，提高网络性能，实现通信资源更加合理化应用。

● **智能网络节能技术**：基于业务识别、用户行为预测、网络负载预测等多种 AI 技术，精确预测全时段网络负载和能耗需求，动态调整网络资源分配和节能策略，实现体验与节能 的高效协同。

2. 5G-A 无线架构演进面临挑战

新技术的融合及新业务的引入对基站架构提出了新的挑战，需要从网络层面、业务层面及运营层面三个维度分析亟待解决的痛点，成为新架构演进首要解决的目标。

2.1. 网络层面：海量资产需兼容

新技术及新业务的兴起不仅带来了更多的经营机会，也对无线网络和设备提出了新的挑战。

1) 对无线网络的挑战

当前无线网络主要支持通信相关业务，部署了海量的设备，网络中已经沉淀了大量的资产，如BBU、AAU/RRU、光纤和回传设备等。新业务的发展需要充分利用现有资产的价值，并与新增投资有效结合，利用一张网的优势共同支撑新业务的发展。

2) 对无线网元的挑战

➤ AAU的挑战：

- 通感一体：通信与感知业务一体化设计，在波束形态定义、时频资源分配、帧结构设计、数据接口要求方面，均需针对感知业务需求而量身打造。

- 地空一体：地面与低空双区域兼顾，相比纯地面覆盖需要适配低空场景的波束垂直维扫描、时频资源调度等方面需求。

➤ BBU的挑战：

- 硬件资源的灵活扩展和无缝兼容：通感算智等新技术、新业务的部署需要在已有BBU中按需增加新的硬件资源。新硬件资源的增加需要克服对BBU的供电、互联、散热产生的影响，使已有通信业务正常运行。

- 硬件资源灵活支持多业务：新的硬件应具备业务灵活性，以适应快速变化的业务需求，延长硬件的生命周期。

面对网络层面的多种挑战，设备的前向兼容性尤为重要。通感算智等新技术、新业务的引入应充分利用现有资源，降低投入。

2.2. 业务层面：灵活多样不确定

通信网络以广泛的网络覆盖为基础，为消费者和行业客户提供语音通话、短信服务、

数据流量等传统业务，应用的范围相对明确，增长趋势主要取决于人口增长、经济发展等因素，商业模式也相对成熟。

新业务的引入，在应用范围、发展态势和商业模式方面存在不确定性。

➤ **应用范围不确定**：传统通信业务通常覆盖全面，但新业务的特性决定了其初期只能在特定区域部署。通感等业务可能首先集中在低空应用场景，未来会根据市场需求扩展到更广区域。因此，网络需要支持区域性部署，并随着需求变化灵活调整覆盖范围。

➤ **发展态势不确定**：新业务不仅涉及多种类型，其生命周期长短不一，市场需求也难以预估。这导致业务类型频繁更新，规模随时变化。为了应对这种复杂性，网络必须具备足够的动态调整能力，能够快速响应各种业务需求。

➤ **商业模式不确定**：新业务的引入往往要求创新的商业模式。传统语音和数据收费方式已不再适应新的业务需求，网络提供商需探索新模式，结合新业务所带来的实际市场价值，进行深度市场分析，制订合理的盈利策略，以期在较长的投资回报期内实现盈利。

面对业务的这些特点，网络和基站需要具备足够的灵活资源，有力支撑业务孵化。新业务的部署应该是平滑的，与现有网络和服务能力是兼容的，新业务能够分区域灵活部署，根据业务能力发展灵活扩容，实现业务量增长和业务增加的便捷部署。

2.3. 运营层面：投资回报挑战大

由于新业务与传统业务的差异性，新业务引入带来了网络运营层面的重大挑战，主要包含投资压力和投资回报两方面。

➤ **初期投资压力大**：以通信网络为例，通常需要建设一张广覆盖的网络，网络中的每个基站都配置了独立部署的硬件资源BBU和RRU，硬件的采购、安装和调试需要大量的成本开支，同时，基站与基站之间、BBU与BBU之间无法实现硬件资源的共享。而新业务通常由局部部署开始，再扩展到更大的范围，当业务发展不均时，会导致硬件资源使用的不均衡，资源利用率无法最大化。

➤ **投资回报周期长**：无论是传统业务还是新业务，在业务发展初期，市场需求可能不稳定，业务规模可能不明确，需要经历逐步培育的过程，导致业务回报周期长。

新兴业务的引入从运营层面要求架构能够按照新业务的发展趋势按需部署硬件资源，以循序渐进的方式部署网络，降低新业务的运营成本。

3. 5G-A 无线融合新架构

无线融合新架构以平滑演进支持通感算智新业务快速部署为目标，以通专异构为基础，灵活支持未来多种不确定性新业务发展，以弹性扩容缓解投资压力，打造灵活、低成本、高效的多技术融合的无线网络。

3.1. 架构设计理念

1) 平滑演进

随着新技术的发展，无线架构需要考虑演进平滑性，保护已有投资，以确保技术升级过程中的业务连续性、风险控制以及资源的有效利用：

➤ **从前向兼容角度**：要求新业务硬件资源可以与存量网络设备保持兼容性和共部署，充分利用存量资源，减少资本投资，提升运营效率。

➤ **从后向兼容角度**：对后续新业务的引入要具备兼容性，延长新业务硬件的使用时间，同时考虑新业务硬件的跨平台应用能力。

通过兼顾平滑性与投资保护的原则，在多种新业务发展的过程中能够实现有序演进，既保证了业务的稳定运行和用户体验，又最大程度地保护了既有投资，实现了技术升级与经济效益的双重目标。

2) 通专异构

面向感知、计算、AI等多样化服务，以及未来新技术、新业务种类的不确定性，新架构需要具备高度的灵活性，以应对服务请求的时间、空间、业务量差异及资源分布的复杂性。对于新部署的业务硬件资源，应具备一定的通用性，具备处理逻辑计算、浮点运算、AI模型微调，快速推理等能力，灵活调配硬件资源实现多种业务的同时应用。

同时，由于通信网络分布广、体量大的特征，随着“碳中和”和“碳达峰”政策实施，对通信网络的能耗要求将更加严格。专用硬件在通信信号处理、感知信号处理等标准化强、高度定制化的业务上有性能及功耗的优势，因此专用硬件也依然是重要的组成部分。

新的无线架构应该求通存专，使用多样化的算力资源，算力资源合理分配和高效调用，实现谱效、能效、成本最优配置。

3) 弹性扩容

为了确保无线系统能够按需部署、灵活扩展，实现硬件资源按照业务发展逐步叠加，避

免一次性投资过大，以及在业务发展初期资源利用率低的问题，需支持以下能力：

- **硬件资源模块化：**硬件资源采用统一的模块化设计，可以通过便捷叠加的方式实现能力扩充。
- **硬件资源按需部署：**硬件资源能够集中配置，在不同的基站间共享，各基站按需获得硬件资源，而不是每个基站同时部署。
- **硬件资源灵活扩容：**能够紧密结合业务需求，能够按需不断评估业务需求的变化，调整网络硬件资源以支持业务增长。

3.2. 架构具体阐述

根据上述设计理念，中国移动提出了5G-A无线融合新架构，匹配感知、算力、智能化业务的需求，解决需求多样化、业务不确定性和投资决策复杂化带来的挑战，为无线网络的能力拓展提供支持与助力。

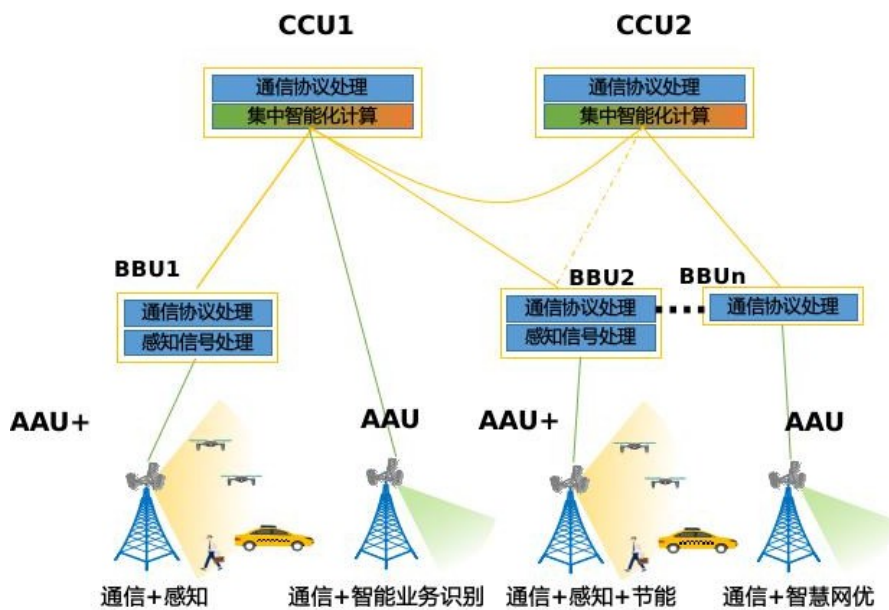


图 02 5G-A 无线融合新架构

5G-A 无线融合新架构通过新硬件平台和新组网架构，打造新的无线基础设施底座。

1) 新硬件平台：

CCU (Central Computing Unit)：构建智能融合计算能力，通过部分 BBU 加载新的智能融合硬件平滑升级为集中计算单元，在通信功能基础上，将智能化计算资源池化，成为多业务能力引擎。

BBU (Baseband Unit) : 提出前向兼容的系统融合方案, 通过对已经规模部署在运营商网络的 BBU 平滑升级, 广泛支持新技术及新业务的应用。

AAU+ (Active Antenna Unit plus) : 提出空口融合、双维波束扫描、资源动态调度、双波形快速切换等技术, 实现通信及感知等新业务的一体部署。

智能融合板:

2) 新的组网:

提出自组自愈的弹性可伸缩组网方案, 打破无线硬件资源与站点强绑定的束缚, 实现 CCU 与 BBU 之间的灵活网络连接, 为新技术及新业务提供触手可及的资源。采用池化集中、灵活分享的方式实现了按需部署、灵活扩容的低成本部署方案。

- CCU向多个BBU共享其智能化计算能力。
- CCU间具备进行业务迁移及资源分配的能力

此基础上, 5G-A 无线融合新架构可以继续演进, 以匹配后续新技术及业务的发展需求。

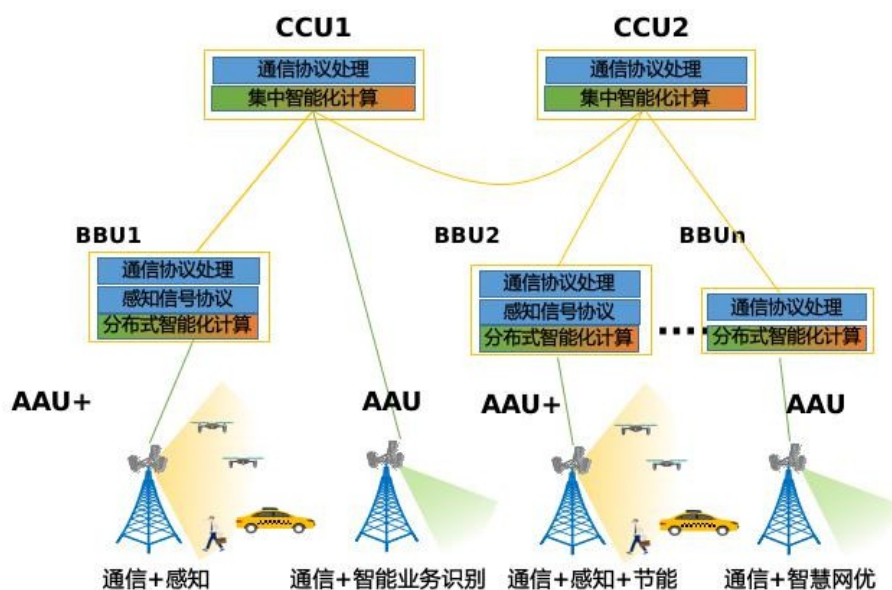


图 03 5G-A 无线融合新架构演进方向一

5G-A 无线融合新架构演进方向一: 分布式智能化计算能力部署

BBU (Baseband Unit) : 为了满足更低时延的业务处理要求, 通过部署分布式的智能化计算能力, 满足本地处理的需求。

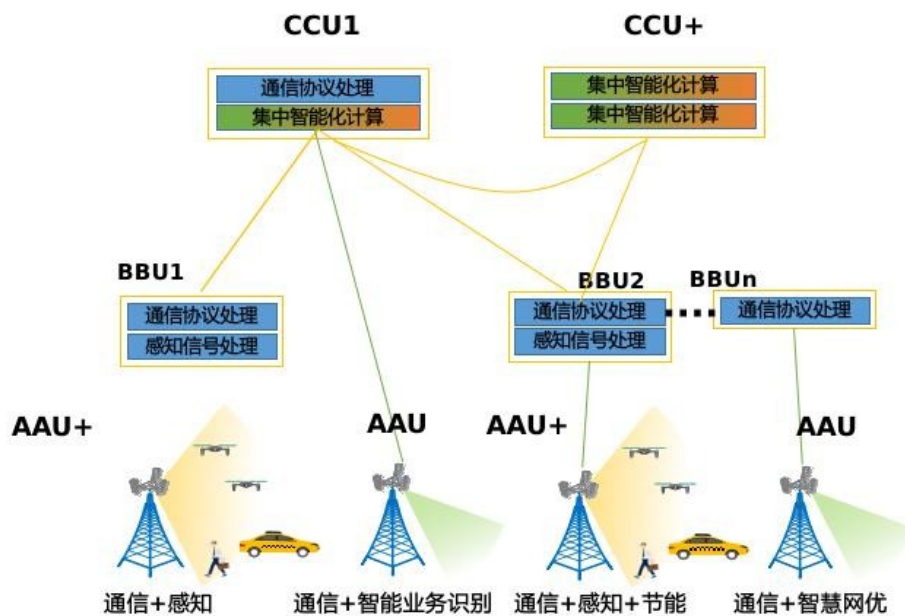


图 04 5G-A 无线融合新架构演进方向二

5G-A 无线融合新架构演进方向二：CCU 计算能力升级，如服务器或专用计算网元等形态。

CCU+ (Central Computing Unit Plus)：随着业务爆炸式发展，CCU 智能化计算能力受限，引入智能化计算能力升级的 CCU+，补充计算能力。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/915040043114011333>