



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

中国联通 CUBE-RAN 白皮书

中国联通
2018 年 6 月

目 录

1 引言	1
2 移动网络发展趋势	1
2.1 业务发展	1
2.2 技术发展	3
3 无线接入网发展新需求	4
3.1 架构变革	4
3.2 网络开放和 IT 化	5
3.2.1 接口标准化	5
3.2.2 设备通用化	6
3.2.3 能力开放化	7
3.2.4 管理智能化	8
3.3 开源和白盒化	9
4 问题和挑战	10
4.1 接口开放关键问题分析	10
4.1.1 协议划分再探讨	10
4.1.2 CU 和 DU 接口开放	11
4.1.3 DU 和 AAU 接口开放	12
4.2 设备通用化关键问题分析	12
4.2.1 可靠性	12
4.2.2 实时性	14
4.2.3 安全性	14
4.2.4 编排和管理	15
4.2.5 资源高效性	16
4.2.6 解耦	17
4.2.7 设备形态	17
4.3 能力开放关键问题分析	18
4.4 智能管理关键问题分析	19
5 中国联通 CUBE-RAN 规划	20

5.1 无线接入网云化发展的思考	20
5.2 中国联通 CUBE-RAN 定义和目标	20
5.3 中国联通 CUBE-RAN 推进计划	22
6 总结与展望	23
缩略语	24
白皮书联合编写单位及人员	26

1 引言

近十年，移动互联网的飞速发展深刻地改变了人类生活方式。物联网、大数据和云计算等新兴技术正带动各行各业实现信息化和数字化转型。深陷人口红利消失，逐步管道化困境的运营商灵敏地嗅到了这场变革中新兴业务的潜在价值，开始加速挖掘行业客户需求，积极寻求商业合作共赢，努力开辟新的市场空间。

区别于个人客户，行业客户需求千差万别且灵活多变，需为其提供定制化服务，实现业务快速响应和交付。为满足客户体验，运营商迫切需要改变封闭僵化的运营思维，摆脱重资产枷锁，向更加高效敏捷的方向发展，以开放的姿态拥抱多变的外部需求，探索出一条可持续发展的互联网化转型之路。将 SDN/NFV、大数据、人工智能等 IT 领域技术应用到 CT 领域，能够助力运营商重构基础网络资源，开放移动网络能力，引入互联网运营模式，实现云管端协同发展，构建良性循环的合作生态。

中国联通于 2015 年发布了新一代网络技术体系和架构白皮书 CUBE-Net2.0，指明了中国联通网络发展方向。本白皮书提出 CUBE-RAN（Cloud-oriented Ubiquitous Brilliant Edge-RAN，云化泛在极智边缘无线接入网络）的概念。CUBE-RAN 是 CUBE-Net 思想在移动通信领域的深度诠释，旨在通过云化架构演进、多接入融合、资源智能管理和边缘能力开放，打造弹性、敏捷、开放、高效、智能的移动无线接入网。

2 移动网络发展趋势

2.1 业务发展

纵观人类科技史，需求永远是技术发展的源动力。就移动通信而言，仅 30 年的时间，从 2G 快速飞跃到 4G，不仅满足了人们跨越时空限制，随时随地沟通的基本通信需求，还和移动互联网相互促进，共同成就了先进的移动通信产业，如实时通信、短视频、手机游戏和新闻社交等，丰富了交流沟通、信息共享和消遣娱乐的形式，也在逐步改变着人们的工作、生活喜好甚至价值观。此外，互联网向传统行业渗透，将催生除移动智能手机外的各种物联网终端类型。未来的移动网络需要提供海量物联网终端全连接，推动人类社会向万物感知、万物互联、万物智联的时代迈进。需求和技术的螺旋上升推动着移动网络不断向前演进。

移动互联网应用的大量涌现为运营商带来流量的爆发式增长，用户对业务体

验的追求不断攀升，促使现有网络向更大带宽演进。近几年，视频业务在运营商网络流量中占比越来越高，用户对视频的体验需求逐渐从传统的 720P 转向 2K、4K 甚至更高分辨率。大量基于 AR/VR 技术的游戏、赛事直播、在线教育等业务也逐渐进入用户生活。移动网络将演进支持更高的速率、更低的时延，支持解析度更高、体验更鲜活的多媒体内容，加速以 AR/VR 为代表的大带宽业务发展。此外，人们对智慧生活的追求也促进了智能穿戴设备、智能家居设备等终端的成熟。将这些设备通过移动网络连接至远端手机和电脑等进行控制和数据采集分析，可以辅助人们的生活更加便利。依托未来移动网络，用户将体验到全新的、智慧化的生活服务。

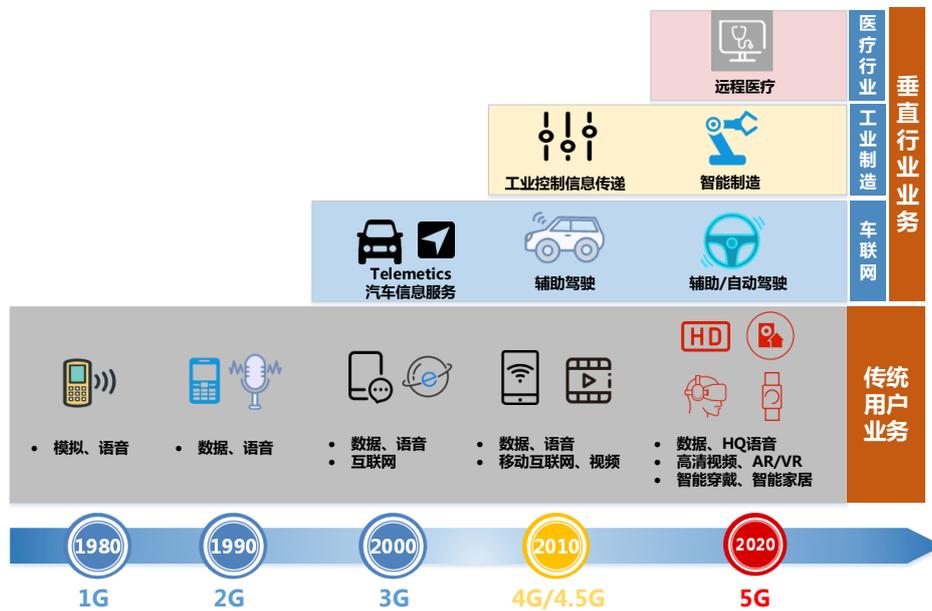


图 2-1: 业务发展趋势

经济社会的发展带动各行各业的数字化转型，而移动网络赋能垂直行业，将加速数字化转型的节奏，工业制造、交通和医疗等行业在数字化转型过程中成为运营商探索的新蓝海。就工业制造而言，实现数字化意味着端到端生产流程智控、随时随地人机交互，需要移动网络提供高可靠，超低时延，海量连接的能力。交通行业中车联网成为信息化与工业化深度融合的领域，车辆将通过移动联网实现智能驾驶，提高交通效率，缓解交通堵塞，大幅减少人为因素引发的交通事故。未来借助移动网络对行驶车辆进行实时数据采集、处理及交互控制，实现人、车、环境和谐统一，道路交通生活更加智能。

未来运营商的客户群体将从传统个人用户拓展至垂直行业客户，两者对时延、

带宽以及可靠性等需求的差异使得未来移动网络业务呈现多样性、快速迭代、定制化、专业化的趋势,应用场景广泛,将给运营商网络部署和运营带来极大挑战。

2.2 技术发展

移动通信从模拟通信发展到 2/3/4G 数字通信,一方面通过引入 CDMA、OFDMA 和 MIMO 等革新技术,带来了空口速率和频谱效率的持续提升;另一方面,信令流程和网络架构也在不断优化和简化,改善用户体验,降低网络复杂度,减轻网络部署和运维负担。

随着 5G 来临,业界提出了 NB-IoT、多连接、网络切片和服务化架构设计等技术方案,一方面这些技术的应用可使能网络支持除传统大带宽业务外的大连接、高可靠、低时延要求业务,另一方面这些技术能力的充分发挥也需要灵活性更高,可扩展性更强的网络基础设施。采用软、硬件解耦的通用硬件设备可以更好地满足灵活性和可扩展性需求,并已经在 CPE、EPC、IMS 和 BRAS 等领域率先得到使用。随着通用处理器性能的提升,也使得在无线接入网领域采用通用硬件设备替代专用设备成为可能。

通用芯片的生产工艺遵从摩尔定律,由 22nm 到 14nm,再到 10nm 的生产工艺,带来了通用服务器处理能力的飞跃发展。芯片工艺的发展、芯片架构和指令集的增强、25G/40G 高速网卡的普及与即将发布的 PCIe 第四代产品共同保障了通用服务器的 I/O 能力,能够基本满足无线接入网的能力需求。其他通用芯片,以 FPGA 为例,当前也已经实现了 20 nm 的生产工艺,随着高性能串行接口技术及硬核浮点数字信号处理能力的提升、SDK 和 API 的完善以及功耗的不断降低,FPGA 已经被越来越多的第三方厂商所熟悉,也为无线接入网的硬件加速及射频信号处理提供了解决方案。

通用硬件设备已经可以基本满足无线接入网的硬件处理能力要求,而用于管理硬件资源的虚拟化技术同样处于不断的深入发展过程中。从虚拟机到容器技术,虚拟化平台的性能不断被挖掘。FPGA、智能网卡等越来越多的周边设备也开始支持抽象化、虚拟化,为设备的通用化提供了有力的支撑。面向通信领域的 SDN/NFV 技术日趋成熟,为运营商探索无线接入网虚拟化提供了更多可参考的解决方案以及广阔的生态环境。

3 无线接入网发展新需求

3.1 架构变革

移动通信每一代都在追求通过技术创新为用户带来更加丰富业务体验。但以往的移动网络，每支持一种新的业务都伴随着一种新制式的端到端网络建设，每增加一个网元功能就要增加一套专用设备，给运营商带来极大的建设和运维负担。深究其原因在于：

- ✧ 各种无线网络制式之间彼此隔离，无法形成有效的整体架构，空口资源和基础网络资源严重浪费。
- ✧ 传统移动网络中，网元功能和硬件设备高度耦合，可扩展性差。
- ✧ 存在大量私有协议接口，网元部署灵活性差；业务开通和维护完全由运营商完成，从需求设计到部署响应周期长。
- ✧ 专用设备的大量应用使得后期网络升级和运营成本巨大。

面向未来，移动网络将渗透到人类社会各个领域，灵活满足各类业务的快速部署需求。打破现有封闭式网络架构，屏蔽上层业务和网络功能对基础网络的依赖性，构建能力开放平台提升网络对业务需求的适应性，是移动网络发展变革的重要方向。

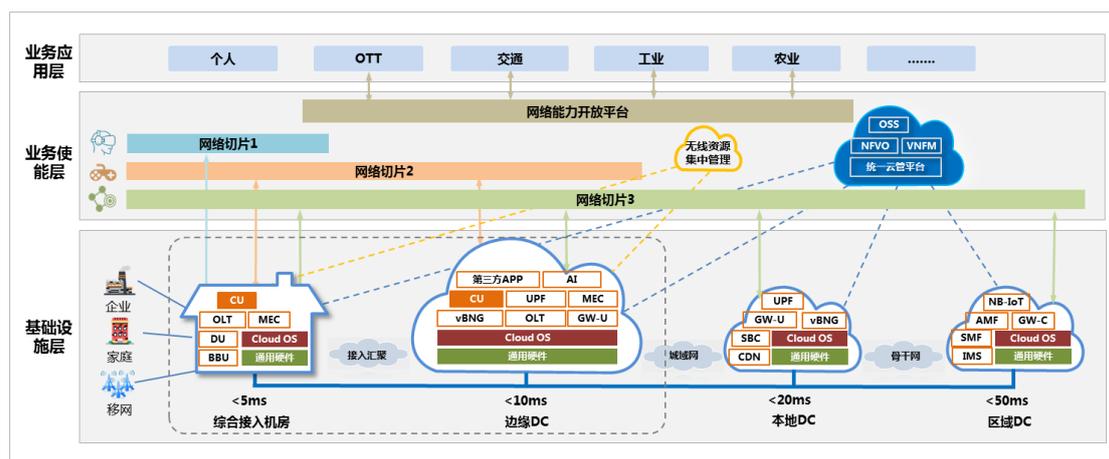


图 3-1：整体网络架构

未来无线接入网将是 3/4/5G 多制式共存、宏微立体多层异构组网。一方面为满足未来多样化业务需求，需加强站间、制式间协同能力，将业务需求分解映射到不同能力的空口资源调度方案，按需调整空口网络拓扑；另一方面需降低无

线功能和硬件设备耦合性，提升硬件设备的共享能力，达到仅靠功能升级，无需新建网络就能满足不同业务需求的目的。这意味着，无线接入网架构需要重构。通过部署无线资源集中控制节点，对各类空口资源进行统一、融合管理是架构重构的重要组成。5G 提出 CU/ DU 分离架构，为集中管理的应用带来契机。将无线资源集中控制功能集成在 CU 中，并使归属不同制式和不同类型的基站都接入 CU，利于干扰协调、多连接等技术使用，避免站间、制式间东西向流量压力。另一方面将 SDN/NFV 技术引入无线侧，CU 功能基于通用硬件设备部署，通过资源统一编排和管理实现 CU 功能按切片业务需求灵活部署在网络中不同位置，推动无线接入网云化发展。

云化架构是无线接入网发展的全新架构，基于此架构，运营商可对一个区域内的所有无线资源进行集中调度和协调，提高频谱利用率和网络容量，同时可实现网络迅速部署和升级，并能根据无线业务负载的变化自适应调整基础网络资源使用情况，节省网络运营成本。云化架构还有利于大数据分析、人工智能等技术的引入，实现空口资源和基础网络资源的管理智能化和自动化发展。此外，为降低高带宽业务对回传网络压力，满足低时延业务需求，核心网用户面将下沉，MEC 等技术会大规模应用，因此实现无线功能、核心网功能和业务的深度融合，也对无线接入网架构产生着重要的影响。

从应用部署层面，随着 SDN/NFV 技术在通信领域的快速渗透和商用化部署，国内外各大运营商都开始构建以 DC 为中心的多层级云化网络架构，并根据不同层级位置和功能规划网元，如图 3-1 所示。CU 作为无线资源集中控制节点，其部署位置和控制区域与面向业务类型、区域组网结构、协同可获得的增益等密切相关。从时延和带宽角度来看，将 CU 置于边缘 DC 会是非常重要的应用场景。除此之外，边缘 DC 还将结合第三方业务承载 UPF 和 MEC 等功能，边缘 DC 将成为运营商最宝贵的资源。

3.2 网络开放和 IT 化

3.2.1 接口标准化

网元接口的标准化和开放化一直以来都是运营商追求的目标。通过实现异厂家网元互通，运营商可以避免被单一厂家绑定，构建充分的竞争环境，降低设备采购成本。对于移动网络，目前核心网网元间耦合性相对较低。而无线接入网设备接口开放程度不高，例如 X2 接口虽然在 3GPP 已有明确定义，但实际网络中异厂家设备互通仍存在较大问题，尤其是在需要站间协同消除干扰或联合调度为

用户传输数据情况下，异厂家设备协作的概率几乎为零。究其原因，一方面是由于无线侧协议参数配置复杂，厂家算法差异较大，难以形成统一的理解；另一方面则是由于深度开放可能会触及主流厂家利益，接口标准化过程受到较大阻力，无法形成详细全面的规范。

未来运营商需根据业务需求实现无线接入设备的快速部署和升级。另外，网络切片技术、SDN/NFV 技术、多接入技术以及 MEC 等技术的应用，也需要无线接入网增强混合组网和资源控制的能力。这意味着无线接入网开放的诉求更加强烈。构建更加开放的无线接入网，接口标准化和开放是基础。

- ✧ 从运维角度看，通过标准化的接口将数据汇聚到管理运维平台上，更易于运营商取得小区级/用户级数据对网络进行优化及分析，增强运营商对数据的把控能力。
- ✧ 采用 CU/DU 分离组网架构，实现多接入统一集中管理，集中控制节点 CU 不仅需要连接不同类型 DU，包括宏站 DU 和微基站 DU 等，还需要连接现网其他制式网元，只有开放接口，才能够打破区域内不同制式、不同类型网元同厂家绑定，灵活地按需部署网络设备，保障网络架构弹性伸缩。
- ✧ 4G 网络在组网集成时，BBU 和 RRU 间接口没有标准化，仅有 CPRI 协议可参考，造成同厂家设备强绑定，运营商没有其他选择空间。而 5G 大规模天线将广泛应用，RRU 和天线组合为 AAU 以降低复杂度，部分 DU 物理层功能也可能下沉到 RRU 中以降低前传带宽，单个 AAU 采购成本剧增。同时，由于 5G 频率较高，组网更加密集，采购数量也更加庞大。因此，运营商面临量价齐升的局面。运营商希望再次尝试推动底层开放，解绑 DU 和 AAU 供应厂商，实现设备厂家多样化，节约设备采购成本。

3.2.2 设备通用化

传统的无线网络设备依托专用芯片或定制化芯片，代码不通用、开发周期长、升级维护困难，且生态不开放。随着通用处理器性能逐步提升至可以满足部分无线网络功能的处理需求，基于通用处理器的通用化电信设备逐步被认可，业界展开了对无线接入网设备的通用化探索。

无线网络设备的通用化在技术演进、网络部署升级和降低成本等方面都具有一定的优势：

- ✧ 技术演进：得益于 IT 行业特性，通用处理器的芯片及软件的演进、更新速度较快，基于通用化设备的无线网络系统性能可以得到快速提升。

- ✧ 网络部署升级：网元功能以软件形式部署于通用设备虚拟化平台中，可通过软件升级的方式就完成新特性的部署。通用化也更利于推动底层硬件管理自动化，网络运维自动化。
- ✧ 降低成本：通用设备的潜在采购市场开放且庞大，通用处理器的软件开发市场更为成熟，依托于通用处理器的软件开发及维护成本也相对较低。另外，打破软硬件一体化的销售模式，实现设备通用化也有利于引入 IT 设备厂家进入无线接入设备领域，实现充分竞争。

此外，随着无线接入网设备通用化的研究与应用，无线网络的部署及运维将实现 IT 化，全业务的统一部署与快速更新能力的实现将有利于进一步推动对无线网络业务与固定网络业务在网络边缘融合的探索，助力固移融合的实现。

3.2.3 能力开放化

深度挖掘无线网络的深层能力并合理开放，释放无线网络的潜在能力与管道价值，将成为运营商应对移动互联网冲击的有力手段。全球运营商都已认识到网络能力开放的价值，并积极构建网络能力开放全生态。从无线接入网角度看，开放能力可概括为 3 个方面：

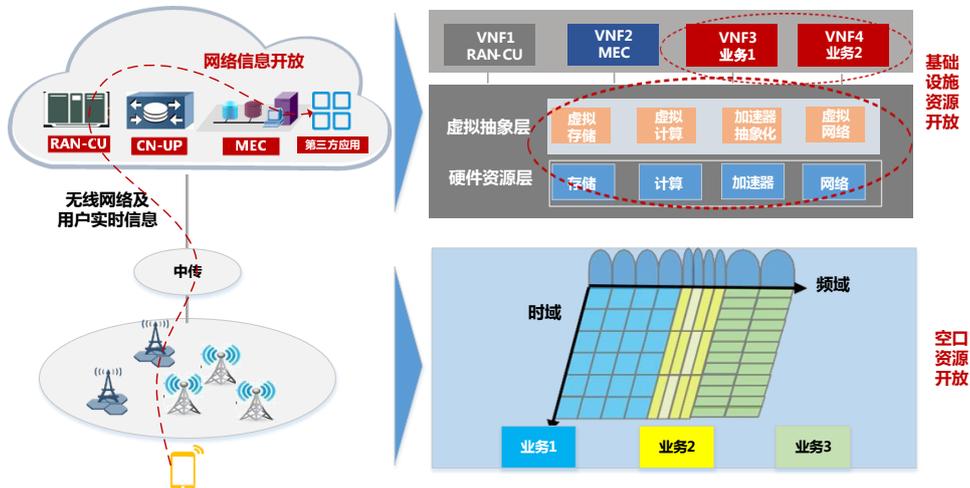


图 3-2: 网络能力开放

- ✧ 空口资源开放。空口资源是运营商最宝贵的资源。面向未来复杂的客户群体和业务需求，可将时、频、空不同维度资源进行划分，与网络切片相结合，允许客户进行需求设计和空口资源定制。
- ✧ 基础资源开放。将高带宽、低时延业务部署在无线接入侧可优化业务体验。

第三方应用可和 CU 同位置部署，且随着 CU 的通用化和云化，也使得两者进一步共享底层基础资源成为可能。将计算、网络、存储硬件资源或者虚拟化后的资源通过共享或单独定制的方式开放给第三方租用，支持第三方应用在网络边缘与无线协议软件功能共平台部署，可在满足客户业务诉求的同时帮助运营商充分利用资源池化优势，节约业务部署成本，探索新的商业模式。

- ✧ 网络信息开放。面向第三方客户，一方面可以提供用户信息和签约信息，实现用户行为模式、业务行为特征分析，达到第三方自主管理、控制用户的目的；另一方面可以提供信道测量数据、QoE 信息等，用于优化业务体验。另外，网络信息的开放还可以使能开发者在无线侧的应用创新。

3.2.4 管理智能化

未来网络服务部署、集成、配置、资源编排、维护将更加复杂，因此需要智能化的网络管理以提高网络的稳定性、可扩展性，降低管理的复杂性，使得网络可根据业务需求变化做出快速响应。

(1) 智能化无线资源管理

未来的网络中多制式、多基站类型将通过集中管理节点（CU）实现无线接入架构融合，无线资源统筹划分。此外，引入网络切片技术后，还需考虑不同切片间、同一切片内的资源分配，CU 与其他网元间接口资源划分。这些都将是无线资源管理方案设计的难度。为提升无线资源管理的效率，可在 CU 引入大数据、机器学习等技术智能地建立网络整体业务数据模型，进行更加灵活合理的资源分配调度，甚至可以通过场景预判，实现资源的预先分配调度以应对后续快速变化的业务需求。同时通过对关键性能指标的分析，对无线信道参数进行优化调整，以保证最优资源分配。

(2) 智能化网络部署及编排

基于 SDN/NFV 的网络架构具有网络层级复杂、网元众多、平台兼容性要求高等特点，需简化网元部署配置复杂度。一方面需根据网络业务自动部署相应的 VNF 和 PNF；另一方面需实现各个网元间自动集成和连接，还需根据网络业务自动订阅和配置网络传输和安全参数，达到自动化网络部署和智能化业务部署的目标。同时系统需在运行过程中依据业务部署情况和资源使用情况，动态的编排 VNF 和 PNF。

(3) 自动化网络错误检测及修复

将集中控制节点 CU 部署在边缘 DC，管控较大区域范围内的大量小区，任意一个 CU 的故障或者宕机都会对业务产生很大的影响。因此，需加强自动化检测网络故障、自动分析故障并实现自我修复的能力。

(4) 自动化软件升级

基于开源的云生态架构，引入更多的第三方端到端应用，使得软件模块及服务数量增加，更新速度要求更快，传统的软件升级模式已无法满足需求，需要深入研究软件自动化升级流程，优化升级流程，缩短升级时间。

3.3 开源和白盒化

随着运营商网络转型步伐加速，运营商开始深刻认识到黑盒设备的局限性，不仅仅将眼光局限在无线接入设备通用化、云化，甚至开始将软、硬件的彻底开源和白盒化作为长期的目标。无线接入设备采购成本在网络建设成本中占比较高。降低无线接入设备开发门槛，通过引入更多厂家形成规模效应，进行灵活的软件功能和硬件配置匹配，从而降低设备成本，是运营商推动开源和白盒化的源动力。另外，开源和白盒化还可以加强运营商对网络数据的控制，从而更好地开放网络能力、实现网络运维与大数据分析、机器学习等技术相结合。

推动开源和白盒化最重要的是构建相应的生态系统，运营商在该生态系统中需要发挥主导作用，深入研究无线接入设备各硬件与软件的组成部分，根据设备的运行环境、业务需求等分解软硬件关键功能及指标，进行各部分模块化设计，定义模块间接口标准，理清方案细节设计，制定设计规范，最终推动设计方案共享。在这个过程中，运营商也应该重视积极参与开源软件和社区工作。

开源和白盒化是运营商的长期目标，但实现开源和白盒化最根本的原则是不能损失无线接入网性能。目前无线接入设备的开源和白盒化整体仍处于研究的初级阶段，还存在许多需要逐步尝试和探讨的内容。评估设备各部分开源和白盒化的迫切性及难易程度，有规划地合力推动其发展至关重要。

4 问题和挑战

4.1 接口开放关键问题分析

4.1.1 协议划分再探讨

无线接入设备解耦及网元间接口拆分，涉及很多复杂因素，3GPP 根据协议模块的构成，结合不同模块实现功能的复杂性及功能间耦合性，提出了 8 种不同的切分方案，如图 4-1 所示，切分点上层协议功能位于 CU 设备单元，通过集中化部署实现网络灵活、弹性伸缩，下层功能位于 DU 设备单元。不同切分方案可从时延、传输带宽、接口/网元实现复杂度，设备通用化、网络运维等多个维度进行对比分析。

从时延和传输带宽层面分析，选项 1 切分方案，对时延要求最低，在 10ms 级别，选项 7 及选项 8 涉及 PHY 切分，需要满足 TTI 级别的定时交互，对时延要求最高。带宽方面，选项 1-选项 6 对传输带宽的要求基本一致，选项 7、选项 8 涉及到 IQ 数据流的传输，对传输带宽要求较高。

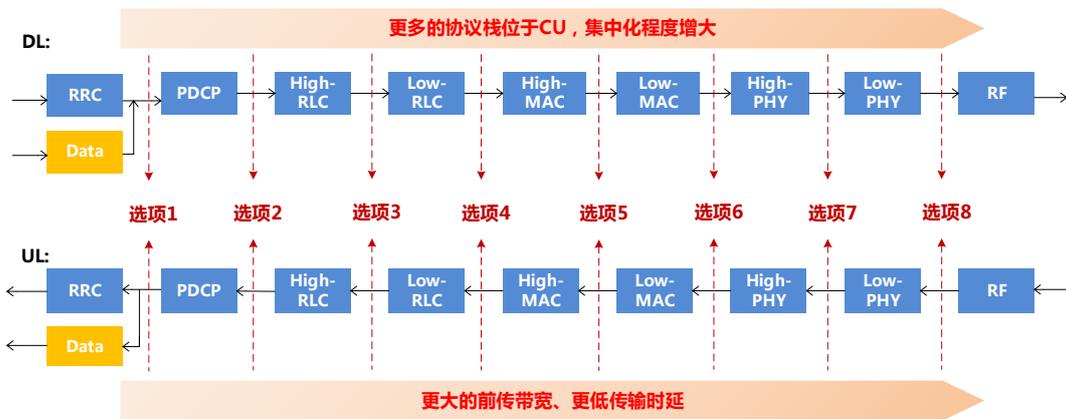


图 4-1: CU/DU 切分方案

从接口/网元实现复杂度层面分析，不同协议层间切分总体要比协议层内部切分实现复杂度低，即选项 1/2/4/6 要比选项 3/5/7 的实现复杂度低，这是由于现有协议内部功能大多是强耦合的，内部切分会对此类功能实现造成难度。在选项 3/5/7 中，MAC 层的内部切分，即选项 5 是实现复杂度最高的，这是由于 MAC 层包含了高度复杂的中心调度算法，对前端网络延迟要求极高，而 PHY 和 RLC 的内部切分仅仅涉及到数据的处理，比如 PHY 层的调制，傅里叶变换，RLC 层对数据包的分段、重组、级联等，功能逻辑清晰，不涉及太多交互内容，因此实

现复杂度相对较低。在不同协议层间切分选项中，选项 1 即 RRC 切分方式由于将信令与数据处理分离，不涉及交互，是层间切分最易实现的，其它三种选项复杂度接近，但选项 2 由于类似于 LTE 双连接 3C 模式，已有大量研究基础并在 LTE 实际部署中得到验证，因此所需附加工作最少，可以更快速地实现，且能够增强 LTE 与 5G 网络的兼容性，利于后续网络的演进。

从设备通用化角度分析，更多的协议功能实现通用化有利于运营商构建新的生态系统，解除设备强绑定的现状。未来 CU 采用通用设备处理的方式，因此选项 1-选项 8 的切分方案通用化的程度越来越高。但有些协议层功能使用通用化设备处理，仍面临较大挑战，比如从运算量来看，物理层的傅里叶变换、编解码、以及 PDCP 层加解密，需要专有的加速器件保证性能。从时延要求分析，选项 5 及其之后的下层切分方案对时延要求高，通用化设备实现难度高。因此，虽然越往下层的切分设备通用化程度越高，但为了保障通信系统的性能，设备性价比会比较低。综合考虑，现阶段选项 1-选项 4 采用通用化方式优势较大。

从网络运维角度分析，CU 的协议集中程度越高，由网络层级造成的配置复杂度越低，越有助于网络的运维。选项 8 切分方案即传统的一体化基站，各层参数能够统一运维，一套操作维护系统可以管理多套基站的所有参数。其它选项中，CU 和 DU 需要 MANO 和 EMS 两套操作维护系统协调工作，增加复杂性。但优势在于 CU 基于通用化，设备运维系统支持切片的灵活管理、更大体量设备及数据云化处理；DU 支持差异化配置、空口灵活调度及定制化切片策略，使得整个网络运维更加灵活、更加个性化，更加符合未来 5G 的市场需求。

综上所述，不同的切分方案在不同维度表现差异很大，虽然 3GPP 标准组织确定了选项 2 作为最终的切分方案，但其它切分方案仍有很多值得探讨的方向。运营商在真正进行网络部署时，除了要考虑上述因素，还需结合自身传输网能力、运维需求以及机房等基础设施条件进行综合评估。

4.1.2 CU 和 DU 接口开放

目前 3GPP 已确定将选项 2，即 PDCP/RLC 间切分作为 CU/DU 分离切分方案，并围绕该方案密集讨论需标准化内容。但仍存在以下问题有待加强关注并推动更深入的标准化，真正实现 F1 接口开放。

✧ 切分后功能/性能保障。由于选项 2 将控制面的 RRC 功能放入 CU 单元，小区级的 RRM 无线资源管理功能放入 DU 单元，使得不同的控制面功能分属不同的处理单元，带来了控制面的延迟，可能影响整体系统性能指标。例如

对于终端随机接入、切换等流程，由于 RRC/RRM 协议模块从传统的强内聚转到低耦合，接入过程跨 CU 和 DU 设备，增加管理控制流程，对业务和用户体验造成较大影响。

- ✧ 操作维护功能标准化。在标准化 CU/DU 间 F1 接口协议时，不仅要关注协议功能的交互与实现，而且要涉及到操作维护层面的功能，例如，如何分别配置 CU 和 DU 设备，如何保持 CU/DU 间配置参数一致性等。
- ✧ F1 接口安全性。CU/DU 在 PDCP/RLC 切分，原来的设备内部接口变为设备间接口，需要一套低成本的机制，如 IPSec 机制，有效保证 F1 接口数据传输的安全性，同时也要考虑传输时延、传输带宽、实现/接口复杂度。

4.1.3 DU 和 AAU 接口开放

DU 和 AAU 间接口对前传带宽和时延的需求会随着系统带宽和天线数变化呈线性增长，从而会提高对相关设备接口器件能力的要求，增加前传网络成本、部署复杂度和传输协议的复杂性。为了解决这些问题，业界对将部分物理层功能下移到 AAU 上达成了共识，并在 CPRI 基础上，提出了支持多种物理层切分方案的 eCPRI 协议，但 eCPRI 协议并不能实现 DU 和 AAU 接口的完全开放。推动 DU 和 AAU 接口开放，仍存在很多问题：

- ✧ DU 和 AAU 设备中承载了无线空口协议中最关键的物理层技术，如预编码和波束赋形、编解码等，此类技术专业性强，主要由少数设备厂商控制，因此较为封闭，非主流厂商无法在短时间内介入。
- ✧ 物理层协议设计复杂，若将如 FFT/IFFT、CP 添加和去除等物理层功能下沉到 AAU 中需要从此功能与其它功能的耦合度、AAU 功能设计和体积功耗，接口复杂度、对传输时延及带宽的需求等多个维度分析方案实现难易程度。实现接口标准化和开放，首先需要明确的就是功能切分方案。
- ✧ 除标准化数据传输协议，还必须同步标准化 DU/AAU 间操作维护接口，特别是 C&M、帧同步、天线配置、IQ 数据通道配置、校准配置等功能和过程。

4.2 设备通用化关键问题分析

4.2.1 可靠性

无线接入设备通用化后，协议功能将以虚拟机的形式在云平台中运行。为了

保障通信业务的正常运行，达到电信级云平台 5 个 9 的高可靠性和故障检测时效秒级的要求，需要从虚拟机可靠性、云平台可靠性、容灾等多个方面着手考虑，建立完善的可靠性保障体系。

（1） 虚拟机可靠性

为了提升虚拟机的可靠性，可以通过虚拟机集群部署、虚拟机 HA 和动态迁移等方式进行保障。

- ✧ 虚拟机集群部署：通过创建集群系统，将冗余的软硬件组件进行组合，达到消除单点故障，缩短设备意外宕机时间的目的。
- ✧ 虚拟机 HA：将一组服务器合并为一个共享资源池，持续检测共享资源池内服务器主机与虚拟机的运行情况，保证故障后的自动恢复。
- ✧ 动态迁移：自动优化资源池内的虚拟机，支持在物理服务器间迁移运行中的虚拟机，降低硬件维护产生的宕机与业务中断影响。

（2） 云平台可靠性

通过区分云平台的服务类型进行部署模式选择，选取云平台所依赖系统服务的封装机制及区分云平台对硬件能力的需求实现可靠性的保障。

- ✧ 基于服务类型的部署模式选择：有状态基础服务采用主备模式部署，无状态基础服务采用引入负载均衡的全主模式部署。
- ✧ 容器的封装：将云平台所依赖的系统服务封装在不同的容器内，依托容器的集群特性、灰度特性与自愈特性保障云平台的可靠性。
- ✧ 硬件识别能力：无线网络虚拟化存在加速的需求，通过基于硬件能力进行资源池划分，保证无线虚拟功能故障恢复和平滑迁移能力。

（3） 容灾

无线网络设备虚拟化的场景下，由于设备在地理上分布式部署以及多制式共存的差异化特性，网络容灾将面临更大的挑战。DU 单元覆盖范围小，可以进行本地容灾备份，而 CU 覆盖范围大，需要考虑进行高可靠的异地容灾备份。由于 CU 设备以云化的方式部署，在容灾建设过程中，还需要考虑负载均衡、数据中心网络互联等问题。此外，不同容灾等级对应的容灾方案在功能、适用范围等方面有所不同，实际的容灾建设需要结合业务以及建设环境进行灵活选择。

4.2.2 实时性

时延是衡量无线接入网性能的关键指标，尤其是未来大量 uRLLC 业务时延敏感度极高，这对网络架构设计、无线空口设计和设备处理能力都将会有更严格的要求。无线接入设备采用通用硬件平台实现，在计算和转发实时性上都面临较大挑战，需要在软件和硬件方面进行优化尝试。

目前软件方面常用的加速方案有：通过 DPDK 轮询机制及绑定核机制降低中断响应时延，稳定时延抖动；采用 SR-IOV 技术实现加速卡物理资源向虚拟机的透传，降低虚拟机监控器介入而产生的时延。通过优化操作系统、虚拟机也可提升通用设备实时性。

但对于集中节点 CU，当需要集中处理上百小区或更大规模小区的数据量时，对设备时延、吞吐量、整体功耗等系统性能要求会更为严格。因此，选择采用智能网卡、硬件加速资源池等专用硬件加速方案达到通用性和实时性的折中是需要进一步评估的。

4.2.3 安全性

从 2G 开始，加密技术就应用在无线接口上以保证用户通信的安全性。到了 3/4G 时代，除对数据面进行加密，还增加终端和网络相互鉴权、完整性保护和控制面加密等。此外，由于传统专用设备软硬件紧耦合，黑客难以实施攻击。然而 CU/DU 分离 RAN 架构的应用和网络云化发展给安全防御带来了挑战，多维的网络服务需要多样化的安全机制来保证。

在虚拟网络架构安全方面，CU/DU 分离后，CU 和其他的 VNF 部署在同一数据中心，需对多租户的数据隔离及加密以保证数据私密性；对软件包进行校验以保证软件包完整性；对管理面，用户面，控制面及内网进行网络隔离，避免相互干扰及非授权用户访问所有数据；对入侵检测和入侵防御实现智能化以保证服务的可信性；对登录事件进行有效记录以保证安全的可追溯性；对 SDN controller 的北向接口进行安全认证，SDN controller 和 SDN switch 数据加密以保证自定义网络的安全性。

在安全编排方面，CU 运行在虚拟平台下，用户可以任意的将 VNF 从一个平台迁移到另外一个平台，或者动态的分配 VNF 到不同的物理区域，这需要对安全场景进行跟踪和统一编排管理，以确保安全规则的一致性和准确性。

在安全智能化方面，为排除安全漏洞不断繁衍升级导致安全的不可预知性，

需要利用大数据，机器学习以探测和缓和未知的风险，以保证最短时间消除安全隐患。

在安全多样性和灵活性方面，网络切片需要针对不同的网络服务优化不同的安全配置以适应不同应用场景的需求。例如，eMBB 业务不仅需要对数据加密还需要对数据进行完整性校验，这些应用依赖于网络方面的安全。而有些 mMTC 业务的安全依赖于应用层，可能不要求网络层的安全。

4.2.4 编排和管理

电信业务种类逐渐增多，用户需求呈现多元化，无线网络全局资源的统一编排与管理面临严峻的挑战。在运营商传统 OSS/BSS 系统中引入管理编排系统，提供可管、可控、可运营的服务环境，实现 VNF、NS 的自动化部署、弹性调度与高效运维管理将至关重要。ETSI 已经制定了 NFV 的参考架构，但对于 RAN 来说，仍需对此架构进行扩展才能满足 RAN 需求。

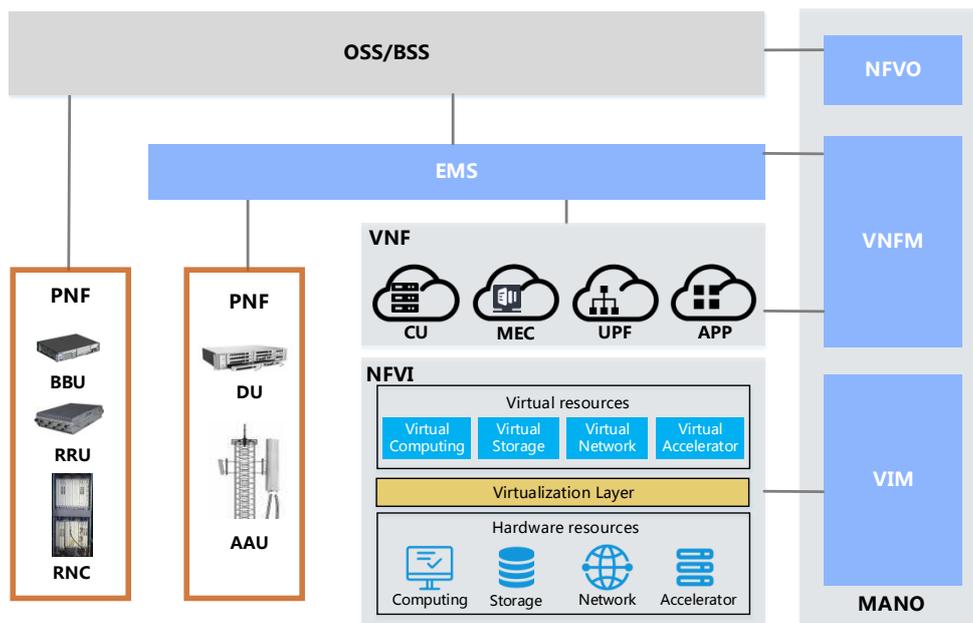


图 4-2: 扩展 MANO 架构

(1) 无线网络业务模型构建

构造 RAN 侧业务模型，实现 VNFD 中无线业务的描述与定义，在 MANO 各模块的接口定义中增加 RAN-VNF 定义。

(2) PNF 与 VNF 的统一编排与管理

无线网络中仍将有大量的专用设备以 PNF 形式存在，包括已有 2/3/4G 无线设备、DU 及 RRU/AAU 单元等。MANO 系统需要增强对 PNF 的直接管控能力；理清 OSS 与 NFVO 间、EMS 与 NFVO 间、VNFM 间的协作关系与交互流程。

(3) 加速资源管理

在无线接入设备应用加速器，其将作为最底层硬件资源的一部分被抽象化为 NFVI 的组成之一。需在 VNFD 中增加虚拟化加速资源的描述，并实现 NFVO 和 VIM 对虚拟化加速资源的管理。

(4) 编排效率、灵活性考量

无线接入网的网络容量、时延等指标是无线网络的瓶颈，相关指标要求在设备虚拟化的场景下需要得到良好的保障，这对编排系统的灵活性及编排效率提出了更严格的要求，因此，编排与管理需要进行架构与业务流程的进一步优化。

(5) 业务网元协同

未来，无线网络虚拟网元与 MEC、能力开放平台等业务虚拟网元存在共平台部署的可能，而 MANO 需在该场景下需要完成统一的编排与管理。因此，需要在编排过程中充分考虑业务需求、网元特性、业务流路径等因素，实现网元的协同工作，保证整个平台的完整性与作业效率。

4.2.5 资源高效性

传统无线接入设备之间相互孤立，网络扩容和功能升级需对每个设备均进行软件或硬件投资，因此采购和升级成本极高。采用通用服务器并引入 SDN/NFV 技术实现基础网络资源的池组化、云化，可大幅增加硬件设备的复用和共享，帮助运营商有效控制部署和升级成本。在保障无线接入设备性能的情况下，选择合适的不同层级的虚拟化技术，如虚拟机技术、容器技术、虚拟操作系统、微容器等，尽可能提升资源复用和共享的效率将是非常有意义的。

另一方面，传统无线接入设备针对协议栈中网络转发部分和密集计算部分，如 IFFT、编解码、PDCP 加解密和信道均衡等，采用了如 FPGA、DSP、NP 和 CPU 协处理器等方式进行加速处理，加速器的使用使得设备整体能耗较低。而通用服务器若仅基于通用处理器，在满足同样性能情况下，能耗会大幅提升。因此，加速器的使用对于无线接入设备来说难以避免，如何在面向各种业务和应用场景，保障不同无线接入设备性能情况下，达到能耗和设备价格之间的平衡是运营商需要深思的。

4.2.6 解耦

采用协议软件功能和硬件设备深度绑定的方式，一方面运营商无法自主软件升级网络支持新的软件功能，难以应对未来随时随地的新业务灵活部署需求。另一方面也不利于运营商开放网络接口，构建多厂家生态环境，降低网络建设成本。但基于 NFV 框架，推动硬件、虚拟化层和协议功能软件三层解耦，各层由不同厂家提供，存在极大挑战：

- ✧ 各层间接口标准不统一，目前大量使用私有协议和接口，不同厂家产品对下层能力要求差异大，各厂家垂直互通、系统集成和联调性能优化的复杂度非常高。
- ✧ NFV 技术引入虚拟化层，会造成多余的 CPU、内存，以及交换性能损耗，增加功能单元处理时延，影响设备整体性能，虚拟化层能力优化是亟待解决的问题。
- ✧ 无线接入设备对性能和实时性等要求非常高，对底层硬件依赖紧密，尤其是底层协议的实现，需要引入加速器进行密集计算处理和高速转发。因此，推动加速资源的虚拟化和接口标准化是实现无线接入设备解耦的关键。
- ✧ 无线接入设备需要保证通信业务不间断，任何一层都会影响系统整体可靠性，如何明确各层可靠性能力指标并实现协同，也增加了 RAN 侧解耦的难度。
- ✧ 从运维角度看，解耦后故障检测、定位和恢复需多厂商配合协作，运营商需要转换网络运营思路，运维人员也需对设备各层能够有深入理解。

4.2.7 设备形态

无线接入网采用 CU/DU 分离架构进行部署，CU 根据业务需求灵活部署在综合接入机房和各层级 DC 机房。综合接入机房作为未来运营商实现固移融合的重要节点，将主要部署无线接入设备和超低时延需求业务；边缘 DC 将规划无线接入 CU、分布式核心网 UPF、MEC 功能以及开放给第三方的业务部署平台等。采用标准通用硬件设备对机房可用空间、电源供应、承重等基础设施有着特殊的要求，无论是现有综合接入机房所还是边缘 DC 都难以满足需求，且两者数量庞大、位置分散、改造难度高、成本巨大。因此如何尽可能利用现有基础设施条件需要探讨。为适配现状，仅从无线接入设备通用化角度看，需要对标准通用硬件设备形态设计进行一定突破：

- ✧ 需能适应比传统数据中心更加恶劣的环境，具有更高的抗冲击、抗振动能力；电源选择范围要更广，支持 220VAC 以及-48VDC。
- ✧ 需更加紧凑，占地更少，例如考虑设备进深减少至 600mm 以内，同时需能通过提供各种安装选项来适应面积有限的机房，如既能作机架式安装也能作壁挂式安装等。
- ✧ 需支持更广泛的工作温湿度范围，如 0 - 55℃，95% 非冷凝湿度等，以适应空调设备限制。
- ✧ 需具备高密度计算能力，可在尺寸受限的情况下，提供无线接入网所需计算资源，高集成度和硬件加速将是关键。

综合接入机房和边缘 DC 基础设施现状复杂，且置于不同位置的接入设备需要管理小区数也不尽相同，实现综合能效比、性价比最优，需考虑因素众多。对基础设施现状进行梳理和归纳，探索适于边缘部署的通用硬件设备能力，推动不同能力规格通用硬件设备的定制化、标准化甚至开源化是重要的发展方向。

4.3 能力开放关键问题分析

网络能力开放可为运营商提供创新商业模式，带来新的发展机遇，但相比传统封闭的网络架构，也同样会带来灵活性、可靠性和安全性等方面的问题。

首先，对于空口资源开放，若空口资源以固定的形式定制给客户，会导致空口资源利用率低下，且在未来引入新的行业客户或已有的客户需求发生变化时，不具备足够的伸缩灵活性。若采用部分共享的形式，则要充分考虑共享空口资源的各类业务如何调度，保障业务体验。

其次，无线接入设备对可靠性、实时性和安全性要求极高。若开放基础资源，需考虑如何避免在第三方对其业务应用进行日常更新以及各类维护操作时，可能造成的无线接入设备功能暴露和无法正常调度管理风险。基础资源开放需要保证与无线接入设备功能的完全隔离。

最后，网络信息开放可以通过直接提供 API 的方式或者中间网元间接传输的方式实现。通过 API 调用的方式使得第三方可能通过非法手段入侵基站，直接获取无线接入网数据，存在较大安全隐患。通过中间的网元方式包括采用 SCEF、MEC 或网管等，其中 MEC 可能会是未来结合业务应用使用最广泛的方式。目前基站和 MEC 间接口均是私有接口，基站和 MEC 无法解绑，因此定义两者间接

口，推动其标准化至关重要。

4.4 智能管理关键问题分析

多接入连接和资源管理、多元的网络业务部署及编排、复杂的网元配置、潜在庞大的网络错误类型、灵活的软件升级需求，使得运营商对网络智能化管理有着强烈的诉求。但引入智能化管理仍存在问题需要解决。

(1) 智能无线资源管理的复杂性

- ✧ 无线接入网切片：引入虚拟化技术后，无线网络将由 VNF 和 PNF 组成，VNF 具有良好的可扩展性，资源粒度可调整，而 PNF 包括部分基带和射频，资源粒度相对固定，对于需要更细的资源划分场景，需考虑 PNF 如何划分。
- ✧ 机器学习模型建立：业务类型多样化、切片方式复杂、与模型相关的无线资源参数多，使得提取数据模型的特征值难度增大，业界需要对参数的提取进行标准化。
- ✧ 机器学习模型验证：机器学习需要大量的数据做训练，而这些数据有些和空口直接相关，设备提供商难以模拟所有实际场景，如何验证模型的有效性和可靠性需要进一步探讨。

(2) 网络服务编排、管理和运营

- ✧ 编排：实现 VNF 和 PNF 智能统一编排，定义可兼容各个厂商编排流程和接口的标准非常关键。目前 VNFM 不直接管理 PNF，难以实现和其他 VNF 的统一编排；自动化集成 MANO 各个层级节点的流程需要标准化；各类 SDN-C 自动化配置节点传输网络的接口也需要标准化。
- ✧ 管理：实时监测平台及网元的告警，建立深度学习模型，对告警及错误进行分析及网元自愈。告警内容及接口需要统一，以便使用第三方智能软件。
- ✧ 运营：软件升级需要不中断服务，实现基于微服务的 CU 虚拟网络功能架构，允许以更小的粒度发布和升级软件。

(3) 兼容性和一致性

适配 SDN/NFV 架构，不同的厂家提供的 VNFM、编排器、网元管理系统不同，集成的流程及接口可能不完全相同，需要推动不同厂家产品间相互适配。

5 中国联通 CUBE-RAN 规划

5.1 无线接入网云化发展的思考

随着各类互联网业务爆发以及垂直行业加速数字化转型，运营商需在尽可能减少投资的情况下满足来自各类客户和业务的差异化需求，而传统通信网络架构封闭、网元众多、功能无法灵活迁移，可扩展性差、采购和运营成本都较高，难以和未来快速变化的业务需求融合，实现网络的可持续发展。未来电信网络应该具备高度的功能模块化、资源共享化、接口开放化、管理智能化和能力开放化等特征，通过一张强大的融合网络支持业务对资源的按需定制。SDN/NFV 技术的引入为传统电信网络变革带来了生机。将网络构建于基于通用基础设施的云化平台上，网元功能虚拟化，控制面高度集中，数据面分散化，有助于实现网元的按需快速部署。另外，从基于功能和硬件紧耦合的重资产型网络向基于软件交付平台的轻型网络转变，能够有力减少运营商的采购和运维成本。全球运营商均已看到其中的价值，纷纷制定计划，统筹推动网络战略转型。目前在核心网、固定接入、数据网和传输网络的解决方案上已开展大量工作。

而对于无线接入网络的虚拟化、云化发展，业界也开始积极探索。C-RAN、x-RAN、TIP 中的 open vRAN 等项目都对相关工作进行了深入研究，但由于无线设备虚拟化难度较高，全球各运营商的网络频段、部署节奏和演进策略等也不尽相同，因此各项目的工作侧重点存在较大差异，成果共享也相对较少。中国联通自 BBU 池组化项目开始就一直在探索基于集中化部署的大规模灵活协同网络架构，明确了池组化对提升频谱效率，降低网络规划和优化成本的价值。在 4G 时代，BBU 池组化技术已经走向成熟并在中国联通的网络中获得大量应用。无线虚拟化、云化是 BBU 池组化的延伸演进，两者的核心理念是相似的。

5.2 中国联通 CUBE-RAN 定义和目标

面向未来，中国联通提出 CUBE-RAN 的概念，CUBE-RAN 与中国联通 CUBE-Net 一脉相承，是其在 RAN 侧的深入。CUBE-RAN 是 Cloud-oriented Ubiquitous Brilliant Edge-RAN（云化泛在极智边缘无线接入网络），旨在通过优化网络架构、引入 SDN/NFV、大数据和人工智能等 IT 技术、推动网络全面开放，实现 CT 和 IT 理念在 RAN 的深度融合，构建弹性、敏捷、开放、高效、智能的 RAN，推动端到端融合 ICT 基础网络建设。CUBE-RAN 作为中国联通无线接入网重要演进方向，由以下四个层面的含义构成：

- ◇ **无线云化发展。**RAN 设备将逐步从专用向通用转变。引入 NFV，构建云化基础设施池，实现无线协议功能软件化，并与基础设施解耦，从而支持面向业务需求的小区、RRC 连接等快速弹性扩缩容。引入 SDN，将控制面和数据面功能解耦，控制面集中化部署，数据面按需分布式灵活部署，支持无线资源的动态配置，以及端到端编排和管理，满足面向各行业的网络切片需求。NFV 和 SDN 在 RAN 的结合应用，使得运营商可充分利用资源云化效应，有效降低前期网络建设和后期运营维护成本。
- ◇ **多接入融合发展。**未来多制式，宏微立体多层组网，需要对无线资源进行统一、集中、融合管理，为用户提供泛在的无线接入服务。5G CU/DU 架构的提出，是实现该目标的有利契机。CU 作为集中控制节点和数据面锚点，一可结合 DU，通过灵活的功能划分和位置部署满足不同业务带宽、时延等需求；二可通过多连接、小区间干扰协调和移动性增强等技术的应用提供无缝移动性，提升资源利用率，优化用户业务体验；三可有效避免基站间数据迂回，降低传输带宽压力和业务时延；四还可对来自不同接入制式网络的数据流进行高效路由。另外，从网络长期演进角度看，CU 可屏蔽无线侧制式差异，通过升级实现与演进核心网的对接，降低网络升级复杂度。实现融合组网，要求各类无线接入设备可灵活互通，因此开放接口，推动异厂家设备接口解耦是必然趋势。
- ◇ **管理智能发展。**引入机器学习和人工智能手段，一方面可实现智能化的无线资源管理。未来无线网络布局复杂，异构特征显著，在集中控制节点对无线信道条件、业务量分布以及用户体验信息等进行全面分析，给用户业务分配合适的接入小区，通过流量疏导有效应对潮汐效应，优化无线网络架构和资源利用率。另一方面可实现智能化的网络编排、管理和运营。未来网络需要具备自动部署、自动监控和自动愈合的能力，收集平台运行数据并进行智能分析，实现网络自动化。
- ◇ **边缘创新发展。**从面向传统个人业务向面向全行业服务转变，通过业务创新发展，突破人口红利消失，营收增长乏力的困局。未来将有大量业务部署在网络的边缘，如视频监控、AR/VR 等高带宽需求业务，以及车联网等低时延需求业务，或者通过局部专网的形式构建，如园区智能办公、工业控制等，借力边缘计算等技术，实现 RAN 和业务在网络边缘的直接深度融合，提升 RAN 灵活应对创新业务的能力，缩短端到端业务部署应用的周期，亦可以催生更多创新业务在边缘的尝试。

基于以上构想，本白皮书对 CUBE-RAN 的工作进行了梳理，并提出 CUBE-RAN 现阶段研究目标如下：

- ✓ 目标一：网元接口切分再探讨，明确不同切分方式的适用业务和应用场景，定义接口，推动标准化，实现异厂家接口互通；基于切分结果，提出智能化无线空口资源集中管理方案，实现 RAN 的灵活组网和部署。
- ✓ 目标二：基于通用基础设施平台，从软/硬/虚实现及部署维度重点研究满足无线通信协议可靠性、实时性和安全性的技术解决方案，给出无线设备开发整体参考设计，推动软/硬/虚三层解耦。
- ✓ 目标三：扩展 ETSI NFV MANO 参考架构，研究适用于 RAN 的自动编排和管理技术，支持 VNF 和 PNF 的统一管理，实现 MANO 与 OSS/EMS 对接；梳理与中国联通通信云整体架构设计的关系，推动面向不同业务的端到端网络资源编排和管理。
- ✓ 目标四：分析无线网络能力开放典型需求及面向不同业务的支持方案，实现无线网络与边缘计算平台接口互通及标准化。
- ✓ 目标五：结合中国联通边缘云规划，研究基于通用设备的无线网络基础设施需求，包括机房空间、供电、空调等，探讨未来设备形态演进方向。

5.3 中国联通 CUBE-RAN 推进计划

打造高度弹性、敏捷、开放、高效、智能的无线接入网络，意味着运营商需要打破现在完全基于黑盒设备的烟囱式封闭网络，推动整体网络架构变革，让 IT 化网络建设、运营和管理的思想扎根。而推动这种 IT 化的转变并不是一蹴而就的，一方面需要运营商深度参与设备需求定制、研发试验和系统集成的各个环节，另一方面需要运营商理清传统网络和新建 IT 化网络之间的关系，在初期就做好详细规划。中国联通将通过和厂家联合研发的方式，重点突破技术难点，并加强与其他相关研究组织、标准组织和开源社区等的成果分享和合作，逐步推动 CUBE-RAN 的应用落地和长期演进。CUBE-RAN 的发展将是一个循序渐进的过程，围绕 CUBE-RAN 现阶段目标，近期推进规划如下：

(1) 研发试验阶段

推动基于通用基础设施平台的多接入无线虚拟化设备联合研发，聚焦解决面向 RAN 的通用设备开发关键性问题，包括不同 RAN 性能需求下的 NFVI 能力规格要求、虚拟化层优化、加速器抽象化和标准化等；实现异厂家系统集成，包

括 CU-DU 和 DU-AAU 接口对接，以及 VNF 和基础设施平台解耦等。

以 4G 为起点，推动 CUBE-RAN 功能验证和多种应用场景、组网场景下性能验证，验证 CUBE-RAN 的云化效应，探索 CUBE-RAN 适用业务和应用场景，和业界分享研究成果，推广 CUBE-RAN 理念。

（2）部署探索阶段

对 MANO 进行扩展，实现对传统无线接入网络设施和通用基础设施平台的异构资源统一管理，MANO 与 OSS/EMS 的对接，并推动接口标准化。

通过实际业务案例，推进基于 5G 的 CUBE-RAN 落地部署和同步应用验证，初期面向 eMBB 业务，将云化 CU 置于汇聚节点，管理多个接入环下小区，通过商用化探讨 CUBE-RAN 价值，为进一步网络架构演进作指导参考。

（3）应用推广阶段

引入智能化技术，优化无线资源集中管理，以及网络资源编排和管理；推动网络接口更加开放，以及设备开源和白盒化发展。

推动 CUBE-RAN 灵活按需部署，实现与业务的深度融合；以前期成果为指导，推动多接入网络架构变革和统一管理；将 CUBE-RAN 逐步融入中国联通通信云架构中，结合网络切片等技术，构建和完善端到端统一资源编排和管理机制。

6 总结与展望

本白皮书是 CUBE-RAN 的第一本白皮书，总结分析了未来无线接入网络发展的新需求以及实现变革面临的多重问题和挑战，给出了中国联通 CUBE-RAN 的概念和愿景。后续我们将根据 CUBE-RAN 的研究目标和计划有序推进无线接入网络的 IT 化转型。在此，中国联通以开放的姿态，诚挚邀请所有运营商、设备厂商、虚拟化平台提供商、系统集成商、测试仪表厂商和行业客户等加入研究和试验工作。同时，中国联通也将积极参与 ETSI、ONAP 和 TIP 等相关工作，并持续向业界贡献 CUBE-RAN 的阶段性研究成果，和业界一起构筑无线接入网络 IT 化发展全生态，掀起无线接入网络全面变革的浪潮。

缩略语

3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
AR	Augmented Reality	增强现实
BBU	Base Band Unit	基带单元
BRAS	Broadband Remote Access Server	宽带远程接入服务器
BSS	Business Support System	业务支撑系统
C&M	Control and Management	控制和管理
CPE	Customer Premise Equipment	用户端设备
CPRI	Common Public Radio Interface	通用公共无线电接口
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CU	Centralized Unit	集中单元
DPDK	Data Plane Development Kit	数据平面开发套件
DSP	Digital Singal Processor	数字信号处理器
DU	Distributed Unit	分布单元
eMBB	enhanced Mobile Broad Band	增强移动带宽
EM	Element Manager	设备管理器
EMS	Element Management System	网管系统
EPC	Evolved Packet Core	演进分组核心
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	欧洲电信标准化协会
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
HA	High Availability	高可用性
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP 多媒体系统
I/O	Input/Output	输入/输出
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
MANO	Management and Oechestration	管理与编排
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
mMTC	massive Machine Type Communication	大规模机器类通信
NFV	Network Function Virtualization	网络功能虚拟化
NFVI	NFV Infrastructure	NFV 基础设施

NFVO	NFV Oechestrator	NFV 编排器
NP	Network Processor	网络处理器
NS	Network Service	网络业务
OSS	Operation Support System	运营支撑系统
PCIe	Peripheral Component Interface express	总线与接口标准
PDCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚协议
PNF	Physical Network Functin	物理网络功能
QoE	Quality of Experience	体验质量
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
RRU	Radio Remote Unit	射频拉远单元
SCEF	Service Capability Exposure Function	服务能力开放功能
SDK	Software Development Kit	软件开发工具
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
SR-IOV	Single Root Input Output Virtualization	单根输入输出虚拟化
UPF	User Plane Function	用户面功能
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	超可靠低时延通信
VAC	Voltage Alternating Current	交流电压
VDC	Voltage Direct Current	直流电压
VIM	Virtualized Infrastructure Manager	虚拟化基础设施管理器
VNF	Virtual Network Function	虚拟网络功能
VNFD	VNF Descriptor	VNF 描述符
VNFM	VNF Manager	VNF 管理器
VR	Virtual Rrality	虚拟现实

白皮书联合编写单位及人员

中国联通

H3C

英特尔

诺基亚上海贝尔



中国联通网络技术研究院：

迟永生、唐雄燕、冯毅、王友祥、黄蓉、刘珊、梁辉、李静

新华三技术有限公司：

李徐焰、随鑫、柳斯白、陈峰、薛海强、孙福生、白春宇、熊君、徐健、褚遵利、周全

英特尔（中国）有限公司：

姜渊志、祝涛、张可、孙向辉、卞峰伟

上海诺基亚贝尔股份有限公司：

李国平、陈刚、王碧、张金龙、王云志