



中关村泛联移动通信技术创新应用研究院
ZGC Institute of Ubiquitous-X Innovation and Applications

6G 无线网络开放与云化技术 白皮书

中关村泛联移动通信技术创新应用研究院

中国移动研究院

北京佰才邦技术股份有限公司

京信网络系统股份有限公司

联想移动通信科技有限公司

2022 年 12 月

前 言

本白皮书旨在分析 6G 无线网络向开放与云化演进的驱动力、历程与演进理念，并针对相关关键技术趋势及挑战进行剖析。希望能够为产业在研究与设计 6G 开放云化无线网络相关技术、产品和解决方案时提供参考。

目 录

1 驱动力	1
1.1 新时代国家战略的要求	1
1.2 技术与产业发展的驱动	3
2 发展历程与演进理念	5
3 关键技术	12
3.1 异构硬件虚拟化	12
3.2 多维能力编排调度	16
3.3 开放化体系	18
3.4 确定性服务	19
3.5 服务化 RAN	22
3.6 智能控制器	23
4 挑战与展望	23
缩略语列表	26
参考文献	27
致 谢	27

1 驱动力

加快实施创新驱动发展战略。坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，加快实现高水平科技自立自强。以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战。加快实施一批具有战略性全局性前瞻性的国家重大科技项目，增强自主创新能力。

——高举中国特色社会主义伟大旗帜，为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告（2022年10月16日）习近平

6G无线网络是6G体系架构中的关键一环，其发展与演进既要顺应创新型社会、碳达峰碳中和、数字化转型等时代变革的要求，与国家战略高度契合；又要考虑智能化、灵活性、能力融合、产业发展等诸多新的技术、产业驱动因素的需求。从发展方向来看，6G无线网络将从传统的移动通信网络逐步转变为通信、计算、大数据、感知、AI、安全一体融合的新型6G移动信息网络，开放与云化将成为未来无线网络演进的重要趋势。

1.1 新时代国家战略的要求

● 构建创新型社会：打造开放基础设施，构筑技术创新基座

当前，我国人口结构面临老龄化、少子化、不婚化三大趋势，人口增长明显放缓，甚至进入负增长，该现状的本质是在表达对“劳动人口数量”的担忧。面对人口结构的重大变化，如何对冲人口问题给经济发展带来的负面效应是一个重要的研究课题。除了积极的人口政策外，我们更应深入研究决定经济增长的另一关键指标，即“劳动生产率”。该指标蕴含着经济增长率与人口增长率之间的差距，基本可以看作是“人均收入”的对等指标，提高该指标可以有效弥补人口深度老龄化、少子化、劳动力减少等带来的负面效应，从而降低人口增长率低迷对经济的影响。能够提升社会劳动生产率，进而提升国家经济总量的驱动力就是“技术进步”，也就是我们常说的“创新”，即以科技创新驱动经济发展。

6G技术本身就是一系列面向未来的广泛、深入、系统的技术创新探索。不同于传统移动通信技术，以基站为代表的6G无线网络将不再仅仅是一种通信设备，而是与水电、交通、能源等设施类似的新型信息基础设施平台。基于云化技术和开放理念，6G无线网络可以深度融合通信、计算、感知、智能等多种能力，从而面向整个社会打造的一个开放、智能、绿色

的技术创新基座，成为移动互联网、云计算、人工智能、大数据、区块链等关键数字经济技术得以作用到具体的人和物上的桥梁，牵引整个数字经济的发展。

- **碳中和碳达峰：依托能源优势，助力绿色发展**

2030 年碳达峰，2060 年碳中和，这是中国作为一个大国对全人类生存环境的承诺。在具体实施层面，我们遵循两条路径：一是能源生产减碳，也就是清洁能源的生产去碳化；另一个是能源使用减碳，就是一切生产生活的能源用电力替代。中国在清洁能源生产领域技术领先，全球市场上超过一半的装备都是中国生产提供的，而且中国有独步全球的能源互联网系统，从供给侧来讲，我国当前的这些技术和设备囊括了光电、风电、水电、氢能、核电等清洁能源；从消费端来讲，我国拥有生产生活电器化全球领先的生产制造、消费使用体系，给清洁能源一个消费的目的地。

目前，我国有三横四纵能源互联网，这张网遍布了几乎整个中国，地理跨度极大。一方面，强大的清洁能源基础设施为 6G 无线网络在内的新型信息基础设施提供了坚实的能源供应基座。另一方面，庞大的能源互联网亟需数字化、智能化改造，形成全方位的监控运维体系。而基于云化技术与开放理念，6G 依靠海陆空天一体化的立体、多样的覆盖体系与通信、计算、感知、智能深度融合的能力体系，不仅可以满足清洁能源发展的需求，为其提供一整套实现各类应用的基础设施平台，更是对能源基础设施进行深度信息化、智能化升级的有效助力。电力能源基础设施与 6G 信息基础设施的协同组合可以成为我国实现碳达峰、碳中和的重要依托。

此外，开放云化的 6G 无线网络将摆脱传统软硬件紧耦合的无线网络形式，实现软件定义下的无线网络能力，从而最大限度的降低硬件等基础设施更新迭代的成本与资源消耗，这也符合国家碳达峰、碳中和的发展战略。

- **数字化转型：提供灵活按需服务，助力千行百业数字化**

社会的数字化转型的本质是场景的数字化，场景数字化的目标是实现以数据为中心的云计算，而以数据为中心的云计算的根本目的是提升整个社会的运行效率。6G 是云计算获取现实世界数字化数据的重要载体和抓手，是实现提升整个社会运行效率的基础设施。

6G 技术不仅着眼于更加优异的性能，还将着重强调对复杂多样应用场景的适应性和可落地性。即 6G 无线网络不仅提供更加高质量的通信服务，还需要深度适配千行百业的应用，提供灵活的按需服务能力，助力各行业数字化转型。

6G 发展前期，不仅是关键技术的研究窗口期，也是 6G 与各个行业应用达成共识的磨合期。磨合期必然有波动，甚至有对抗，这都是正常的。要实现 6G 对社会各方面深度变革的助力，产业仍需坚定的从内部找降成本的技术手段，从全行业找应用模式，继续不遗余力的细分应用场景，推动 6G 涌现新需求，尽早迈过规模临界点，才能有机会实现应用带动网络的因果反转。可以确定的一个趋势即未来 6G 网络、终端、应用等必将会更加复杂和多样。为应对这些挑战，我们必须在 6G 无线网络的设计理念方面提前布局研究，在应用场景上足够细化基础上，让网络有足够灵活性实现按需服务。

6G 能在海陆空天体系发挥好多种能力融合的核心价值，必须要继往开来，强化优势。一方面，通过 5G 延续至今的内生降成本新技术，继续推进 6G 成本预期与全行业达成统一共识；另一方面，通过继续强化 6G 安全与多种网络能力体系的优势，推进 6G 在未来行业应用中的迅速规模化，持续摊低成本，让各个行业买的便宜、建的便宜、用的便宜、改的便宜，通过 6G 技术助力，实现行业高质量发展，形成优质的良性循环。

为了实现对千行百业的深度融合，不仅需要在技术方案上有足够的多样性与灵活性，同时在网络形态、产品形态、技术实现方式上也应当有更加多样和灵活的尝试，而基于云化技术的开放无线网络是实现这一目标的重要方式。只有基于云化技术和开放理念从多个层面与维度对无线网络进行深刻重构，才能承载足够多样的技术方案与能力体系，以匹配全球不同区域，不同行业的需求，从多样的通用硬件中找出市场落地、规模应用的确定性。

1.2 技术与产业发展的驱动

● 无线网络开放的主要驱动因素：

网络智能化的需求：随着人工智能技术的发展，网络智能化成为了未来网络发展的必然趋势，特别是在 6G 网络中，人工智能技术将会融入网络架构，实现智慧内生。人工智能技术对 6G 网络的赋能需要基于各类数据完成模型训练等工作，而现有网络所采用的软硬件紧耦合设计受限于技术、产业等因素，难以实现对各类数据的实时、海量、按需、统一获取。虽然以 O-RAN 为代表的标准组织在数据的开放方面做出了诸多有益探索，但是要满足 6G 网络对海量数据的获取与共享的需求，网络还需要从协议、接口、数据等多个方面进一步贯彻开放的设计理念，从而实现对网络数据的高效率的获取与高质量的共享。

网络灵活性的需求：6G 技术将面向千行百业的各类应用各类场景，复杂化的场景和差异化的需求必然要求网络具有足够灵活性，例如对于 toB 市场，灵活快速的部署能力是核

心竞争力之一。而传统相对封闭的无线网络形态难以适应日益多样化的市场需求，在按需定制的要求下往往需要大量的人力和物力进行长期反复的开发与测试。因此，开放的无线网络架构是 6G 必然的趋势。基于更加开放的设计理念，无线网络将基于更多的通用硬件与 IT 化的协议模块，从而通过软件定义的基站能力实现更加快速的迭代与个性化可能。

产业生态发展的需求：随着无线网络功能的日益复杂，相关产业门槛也日益提高。研发完整的无线网络设备，往往需要大量的人力与物力，企业在元器件、硬件系统、软件系统、通信算法等多个领域均需要大量且持久的投入，对于很多中小企业形成了巨大负担，行业集中度日趋增高。过高的行业门槛制约了产业的繁荣与协同。而通过对网络进行开放化改造，从硬件架构、软件架构、协议、接口、数据等多个层面的进行开放化设计，可以大大降低行业的槛，有利于引入更多的公司参与 6G 产业，优势互补，各取所长，从而实现跨行业的资源整合，提升行业的整体价值，构筑繁荣健壮生态。

- **无线网络云化的主要驱动因素：**

现网架构演进的需求：随着基站部署成本的增高与集中化管理运维的需求，集中化部署的 C-RAN 将成为无线网络的主要部署形式。预计到 2025 年，中国移动新建基站 C-RAN 的部署比例可达到 90%以上。大量集中化部署的基站构成了基站资源池，然而，目前网络的基站由于主要采用专用软硬件系统，主要通过系统内部的调用实现资源优化，还无法真正实现池化增益，资源利用率仍有巨大优化空间。而云化技术可以将大量物理资源抽象为虚拟资源，实现资源的按需分配，从而大大提高资源利用率。大量集中化的基站设备可以为无线网络平台云化提供了良好基础，也为未来无线网络承载更加丰富的业务与功能创造了可能。

无线资源管理的需求：随着频谱资源的日益紧张与通信基础理论的逐渐成熟，通过单一频段单一制式的接入网技术已难以满足 6G 多样化的应用场景。6G 网络必然基于多维度组网技术，采用多种制式、多个频段、多种架构，根据具体应用场景选择最为合理的方案，这必然带来无线资源管理的日益复杂，以及相应软件、硬件多个维度的需求变化。这一趋势要求网络能够更加动态灵活，实现动态调度资源，满足多维度组网所需软硬件资源的按需分配。而云化技术通过对将底层硬件的虚拟化以及相应的通信协议体系设计，实现云原生基础上的 6G 无线网络，从而快速实现定制化资源配置，动态扩缩容，通信协议版本迭代更新等系列新需求。。

多种能力融合的需求：6G 无线网络将深入融合通信、计算、感知、AI 等新能力，实现 DOICT 技术的一体化。然而，从目前的产业格局来看，相关能力以及应用仍然基于不同体系与平台来构建。从技术需求来看，不同能力与应用对资源的需求也存在内在差异。例如通信物理层主要采用流水线式的处理实现加速，而人工智能处理往往需要并行多核处理完成图像识别等应用，在摩尔定律日益放缓的背景下，面向具体领域的 DSA 芯片在未来会更加广泛应用。6G 云化无线网络可以实现各类资源在同一架构下的融合，将多种业务与实际物理资源解耦，从而可以承载更加丰富的 6G 无线网络能力体系，提高用户体验，促进业务创新。

综上，可以看出，构建 6G 开放云化的无线网络既是我国经济与社会发展的时代要求，也是 6G 自身内在的产业与技术驱动因素的需求，而基于以上理念打造的 6G 开放云化无线网络将进一步帮助 6G 实现“数字孪生，智慧泛在”的愿景，为通信、计算、大数据、感知、AI、安全一体融合的新型 6G 移动信息网络提供基础载体。

2 发展历程与演进理念

构建 6G 开放云化无线网络并非一蹴而就的简单构想，而是无线网络发展演进的必然内在趋势。

下面从早期的无线网络架构开始到 5G 网络架构，简要介绍无线网络的主体，即无线接入网（RAN）的演进历程[1]：

(1) 传统基站（BBU+RRU+天线）

最初的基站采用一体化方案，即基站设备的主体均被放在一个机房或者一个机柜。

随后，基站架构逐步演进为了分布式基站，即基站分为几个主要功能单元，通常包括 BBU（主要负责信号调制）、RRU（主要负责射频处理）、馈线（连接 RRU 和天线）和天线（负责线缆上导行波和空气中空间波之间的转换）。其中，RRU 被放到天线身边，所谓 RRU 拉近。而 RAN 也逐渐演变成了 D-RAN（Distributed RAN），即接入网分布式，这样大大缩短了 RRU 和天线之间馈线的长度，可以减少信号损耗，也可以降低馈线的成本；RRU 加天线体积较小，让网络规划更加灵活。如下图所示：



图 2.1 D-RAN 示意图

在 D-RAN 的架构下，运营商仍然要承担非常巨大的成本，因为为了摆放 BBU 和相关的配套设备（电源、空调等），运营商还是需要租赁和建设很多的室内机房或方舱。

(2) Centralized RAN（集中化无线接入网）

4G 时代开始，集中化无线接入网成为了重要的部署形式。除了把 RRU 拉远，还可以把 BBU 集中起来，BBU 变成 BBU 基带池[1]。分散的 BBU 变成 BBU 基带池之后，更强大，可以统一管理和调度，资源调配更加灵活，这种集中化方式的优点有：

极大减少基站机房数量，减少配套设备（特别是空调）的能耗，降低运营费用；

拉远之后的 RRU 搭配天线，可以安装在离用户更近距离的位置，距离近了，发射功率就低了，低的发射功率意味着用户终端电池寿命的延长和无线接入网络功耗的降低。

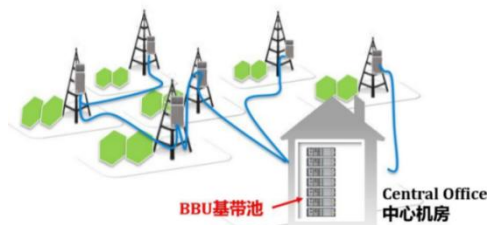


图 2.2 C-RAN 示意图



图 2.3 D-RAN 到 C-RAN 的演变示意图

(3) 5G 接入网 (CU+DU+AAU)

在 5G 网络中，接入网不再是由 BBU、RRU、天线组成，而是被重构为 3 个功能实体：CU(Centralized Unit,集中单元)、DU(Distribute Unit,分布单元)、AAU(Active Antenna Unit,有源天线单元)。

CU：原 BBU 的非实时部分将分割出来，重新定义为 CU，负责处理非实时协议和服务。

DU：BBU 的剩余功能重新定义为 DU，负责处理物理层协议和实时服务。

AAU：BBU 的部分物理层处理功能 (PHY_LOW) 与原 RRU 及无源天线合并为 AAU。

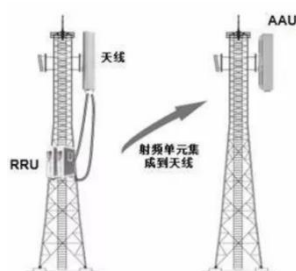


图 2.4 5G 基站示意图

其中，CU 和 DU，以处理内容的实时性进行区分，AAU 就是 PHY_LOW + RRU + 天线。

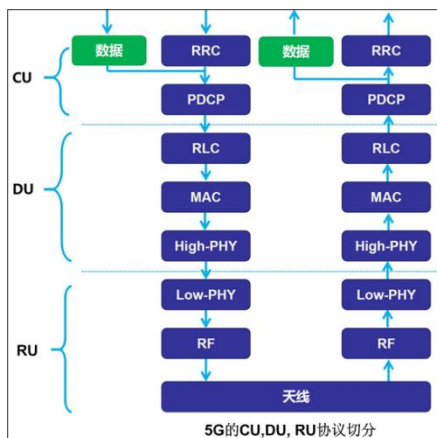


图 2.5 5G 基站协议栈结构示意图

5G 接入网可以实现灵活的 RAN 网元部署方式，如下图所示：

与传统 4G 宏站一致，CU 与 DU 共硬件部署，构成 BBU 单元。

DU 部署在 4G BBU 机房，CU 集中部署。

DU 集中部署，CU 更高层次集中。

CU 与 DU 共站集中部署，类似 4G 的 C-RAN 方式。

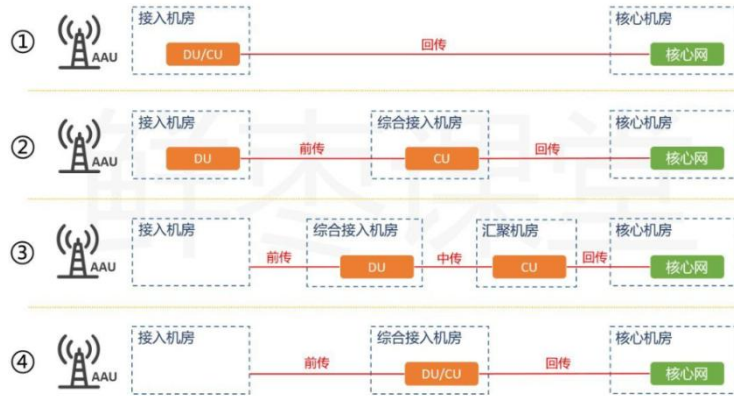


图 2.6 5G 接入网部署方式示意图

(4) O-RAN

O-RAN 组织及其相关标准在已有的协议与各个网元接口基础之上对无线网络进行了扩展,以支持无线接入网新的开放性、灵活性和智能化的要求。以 5G 为例,如下图所示为 O-RAN 的逻辑架构:

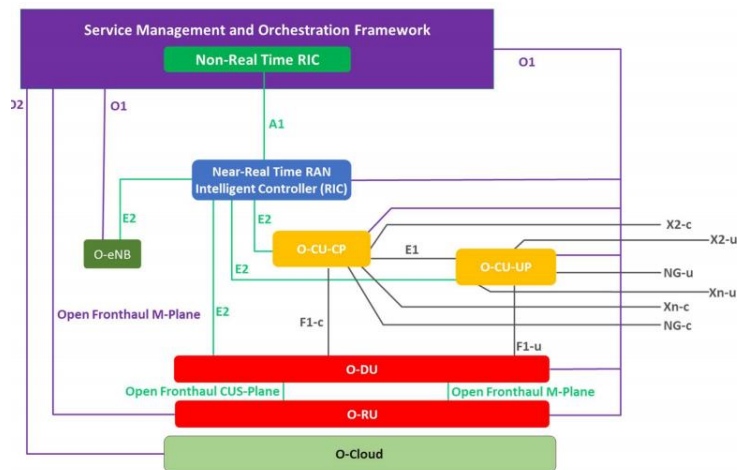


图 2.7 O-RAN 逻辑架构示意图

5G O-RAN 逻辑架构包括以下核心组件:

O-RAN 无线单元 (O-RU), 用于处理较低部分的物理层;

O-RAN 分布式单元 (O-DU), 用于基带处理、调度、无线链路控制、媒体接入控制和较高部分的物理层;

O-RAN 中央单元（O-CU），用于分组数据聚合协议

O-RAN 智能控制器（O-RIC），用于收集网络信息并执行必要的优化任务；

O-RAN 开放的云基础设施平台（O-Cloud），用于完成云化编排工作。

O-RAN 体系结构通过创建采用标准接口的分散和云化网络来解决传统 RAN 挑战，具有四大优势：

转型：赋能实现更加开放和完全可互操作的无线接入网；

创新：不受厂商的限制考察各种产品、服务和特色选件，从中选出最新、最佳的 5G RAN 组件，通过采用支持 4G、5G 乃至 6G 的体系结构，为未来做好准备；

敏捷性：灵活地混合搭配来自多家厂商的 RAN 组件，构建合适的 5G 网络；在多家专业化厂商的帮助下，更快部署和升级 5G 网络；

节省资本开支：借助富有竞争力的供应商生态系统，降低 5G 网络部署成本。

(5) 6G 开放云化无线网络

从 2G~5G 接入网演进历程可知，无线网络架构正从复杂实体网络架构，逐步演变成开放的云化网络架构。6G 时代，无线网络的演进趋势并非是对以往路径的简单颠覆，而是在对以往经验的继承与发展基础上，进一步向开放与云化方向演进。

6G 时代，随着移动通信应用的拓展，业务和应用场景向着多元化和差异化的方向发展，对网络能力的要求也朝着更多维度的角度发展，通信和计算、AI、大数据、感知、安全等的融合已成为重要趋势，移动通信网络作为调度各种资源满足差异化客户需要的平台，必将继续朝着开放和云化的方向发展。通过构建开放的网络体系，可以实现接口、数据、产业等多个层面的开放共享，从而使能更多网络能力的升级，推动应用生态的繁荣。通过云化，将适合通信、计算、AI 和感知等能力支撑的不同硬件资源进行统一调度和管理[2]，灵活组合形成按需的能力配置，实现网络能力和容量的弹性扩缩容，充分提升底层硬件资源的利用效率，降低网络的综合部署成本，还可以实现上层协议软件和底层硬件的解耦，降低通信产品研发的门槛，实现快速的功能迭代。

6G 无线网络的具体演进策略需要与 6G 自身的无线网络总体架构设想相适配，从无线网络总体架构设想来看，6G 无线网络将遵循敏捷、弹性、绿色、低成本、高度自治、降低干扰等基本设计原则，通过数字孪生网络、通信-计算-感知-AI 多维能力协同、端到端服务化等关键技术理念，实现无线网络向云化开放的新型基础设施平台演进。

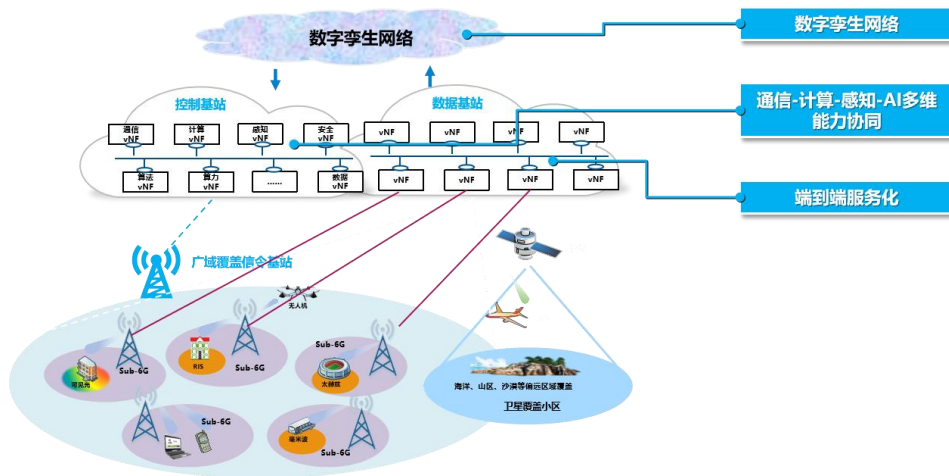


图 2.8 6G 无线网络总体架构设想

其中，最为关键的通信-计算-感知-AI 多维能力协同体系面向全新的需求，重构了 6G 无线网络体系。从纵向看，无线网络可以分为通信面、数据面、计算面、智能面、安全面、管理面，分别帮助 6G 无线网络应对不同用户的差异化需求。从横向看，无线网络将分为资源层、网络功能层、应用与服务层三大层次，通过不同层次提供不同形式的资源与能力，实现高效协同。

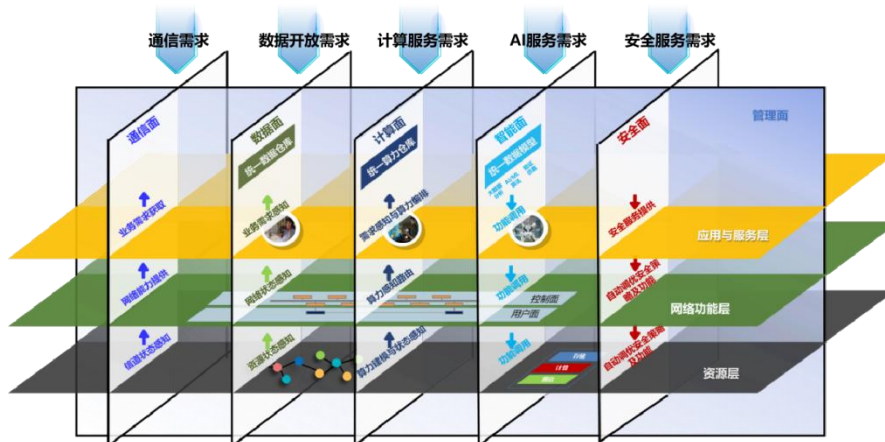


图 2.9 通信与大数据、计算、AI 和安全的一体融合的 6G 无线网络体系

6G 无线网络体系不仅是对网络能力的发展增强，更是从根本设计思想的层面重塑了无线网络。而为了有效适配 6G 无线网络体系，6G 无线网络的开放云化技术不能仅仅机械照搬传统云计算领域的技术方案，而是要根据无线网络自身的特定，从底层硬件、虚拟化技术、云平台设计、协议设计理念等诸多方面进行创新。如图 2.10 所示，为承载 6G 无线网络体系，6G 开放云化无线网络的具体设计是与之对应的，6G 无线网络的开放云化技术将在主要在以下方面演进：

- **无线网络形态：**6G 无线接入网的基带单元将进一步向更大规模的集中化方向发展，通过大量集中部署的基带单元，实现池化效应，为平台云化提供必要基础，构建开放云化无线网络。而传统的射频单元由于多维度组网的新趋势，将会根据具体场景与需求，覆盖从低到高的多个频段，并涵盖从通信到感知的多个功能，构成多频段收发单元。
- **异构硬件虚拟化：**硬件虚拟化是云计算技术的基础，也是无线网络实现云化的关键技术。无线网络的底层硬件，尤其是承担主要处理功能的基带单元，将进一步向异构方向发展，即通过通用硬件与专用硬件的结合，融合不同架构、不同功能、不同定位的各类异构硬件，从而满足多种多样功能对底层硬件资源的多样化需求。此外，各类异构硬件还将进一步基于虚拟化技术，实现资源的深度封装抽象，从而向上层应用提供的资源统一管理与按需分配，达到软件与硬件的协同。
- **无线云平台强化：**不同于传统以 CPU 为核心的云平台设计，6G 无线网络的云平台将采用面向异构硬件的设计理念，采用更加扁平化的方式为多种异构硬件提供资源的统一管理、调度，并面向上层多种能力与应用，提供运维、应用等维度的管理功能。此外，低时延、严时序要求下的确定性处理能力也是 6G 无线云平台不同于传统云平台的强化重点。
- **云原生无线协议：**6G 无线网络各层协议将探索逐步打破原有的分层、分信道架构，采用云原生理念，融合微服务等设计思想，对无线协议进行深度重构，从而进一步将接入网络协议向软件化、IT 化演进，实现上层协议/应用与底层云平台的内在融合。
- **接口开放：**相比于现有的关键接口的开放，6G 无线网络将更加彻底的贯彻开放的思想，通过对无线网络软件、硬件各关键模块的重构，建立统一标准的软硬件接口体系与标准，并针对 6G 新增的各类应用增加相应接口，从而实现不同领域、不同厂商、不同应用的无缝衔接，从技术标准制定之初便推进软硬件解耦与以厂商互联互通。
- **数据共享：**随着 AI 技术和各类丰富应用逐步融合于无线网络，网络运行所产生的各类数据成为了网络性能优化与提升用户体验的关键一环。6G 开放云化无线网络将通过接口开放与设计数据共享相关新架构的方式，致力于实现随时、随地、按需获取网络各类数据，保证各类应用可以实时、海量获得高质量数据，从而实现数据的共享，让无线网络“活”起来。

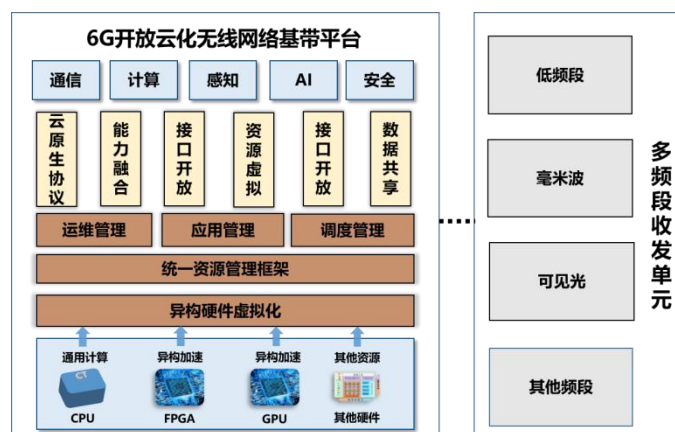


图 2.10 6G 开放云化无线网络平台设计方案示意图

构建 6G 开放云化无线网络是 6G 技术与标准演进的关键环节。只有基于 6G 开放云化无线网络，才可以彻底实现通信、计算、大数据、感知、AI、安全一体融合，令 6G 无线网络从传统的移动通信网络转变为 6G 移动信息网络，从而有效解决无线网络面临的高成本、高功耗、操作和维护难等主要问题，在无需人工参与的情况下支持网络的自生成、自修复、自演进和自免疫[3][4]。

3 关键技术

3.1 异构硬件虚拟化

云化系统使用通用服务器硬件，以降低网络设备成本。软硬件解耦及功能抽象，使网络设备功能不再依赖于专用硬件，资源可以充分灵活共享，实现新业务的快速开发和部署，并基于实际业务需求进行自动部署、弹性伸缩、故障隔离和自愈等。

但是，通用 CPU 提供计算资源通用性的同时，却也丧失了专用性，即不擅长特定任务处理，比如处理编解码转换、报文转发、加解密等并行处理任务。此时，就需要使用物理加速卡进行协助。加速卡的使用解决了传统专用电信设备向通用服务器迁移中遇到特定场景运算不足的问题，但在向动态灵活、按需调度的云化部署转变时，却成了一个必须解决的问题，因此 6G 无线网络向开放云化演进的过程中，必须重新审视其他硬件架构与种类。[5]

GPU 采用的是 SIMD/SIMT 架构，虽然本质上还是冯诺依曼架构，但减少了取值、译码开销，GPU 同样具有很强的通用性，以 NVIDIA 为代表的 GPU 厂商，培养了非常好的 GPU 生态系统，为用户提供了非常方便的开发环境，所以 GPU 在高性能计算、图像处理和 AI 领域都有非常广泛的应用。

FPGA 为现场可编程门电路，可以认为是细粒度可重构芯片，FPGA 非常适合数据流驱动的计算架构，具有高空间并发和低时延的特点，理论上 FPGA 可以实现任意功能，但 FPGA 开发周期比较长，同时对开发人员的专业技能要求也比较高，这些都影响了 FPGA 的应用场景。

ASIC 是一种专用芯片，与传统的通用芯片有一定的差异，是为了某种特定的需求而专门定制的芯片。ASIC 芯片的计算能力和计算效率都可以根据算法需要进行定制，所以 ASIC 与通用芯片相比，具有以下几个方面的优越性：体积小、功耗低、计算性能高、计算效率高、芯片出货量越大成本越低。但是缺点也很明显，只能针对特定的某个或某几个应用场景，一旦算法和流程变更可能导致 ASIC 无法满足业务需求。

在摩尔定律和登纳德缩放定律的共同作用下，引领芯片行业 30 年的飞速发展，随着摩尔定律放缓，登纳德缩放定律失效，通用 CPU 的算力提升已经无法满足当前对算力增长的需求。基于领域定制（DSA）的异构计算，采用各种加速器来完成对特点业务的加速，从而达到提升系统算力和降低成本的目的，最典型的的就是深度学习加速器，不管是采用 GPU、FPGA 还是各类 NPU，相对于单纯 CPU 的解决方案，可以将系统的算力提升数倍。

除了硬件平台逐渐向异构方向发展之外，更为主要的是对各类硬件资源的虚拟化。

以 BBU 系统的构成为例，其需要的资源一般包括：CPU、内存、存储、网卡、加解密加速卡、物理层加速卡等。若将 BBU 改造为云化形式，即虚拟 BBU，按照按需使用的原则，在创建虚拟 BBU 时，动态向系统申请以上各资源，删除虚拟 BBU 时释放该资源。进一步，虚拟 BBU 规格也可根据业务量动态调整的，相应的其申请的资源也是动态可变的。若实现这个目的，我们需要能将资源划分成较小的颗粒，以便应用能较精细的按需申请使用量，提高资源利用率。同时，由于硬件型号繁多，接口和部署方式也各存差异，为了使应用调用资源接口统一，一般在虚拟化时需要增加一个中间层，屏蔽底层差异，以一个通用资源接口供业务应用使用。组网架构如图 3.1，硬件资源池为云平台物理硬件，虚拟资源池为在硬件资源基础上虚拟出来供业务直接调用的资源。

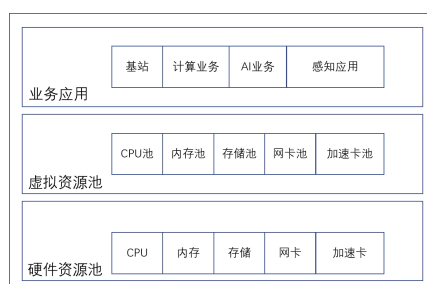


图 3.1 资源虚拟化

其中 CPU、内存、存储等在云平台上已有成熟的方案进，这里不在累述。

对网卡、加解密加速卡、物理层加速卡、AI 加速卡等外围 ASIC/FPGA 等异构硬件，从 CPU 角度可以统一视为 IO 虚拟化技术。一般而言，有软件模拟、基于 VirtIO 的半虚拟化和设备直通（硬件辅助）三种方式，见图 3.2。

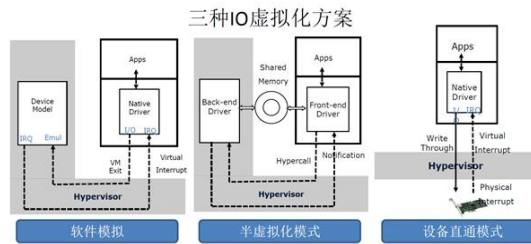


图 3.2 IO 虚拟化方案

硬件辅助的 IO 虚拟化主要包括英特尔 VT-d，AMD 的 IOMMU(AMD-Vi)和 PCI-SIG 的 SR-IOV。前两种属于 DirectedI/O。物理设备直接分配给虚拟机使用，通过硬件芯片完成 GPA 到 HPA 的翻译。SR-IOV 通过在硬件设备中增加一个 PCIe 设备，用于呈现一个 PF 或多个 VF，从而可以将每个 VF 单独分配给不同的虚机使用，虚拟机之间高效共享 PCIe 设备，并且它是在硬件中实现的，可以获得能够与裸机性能媲美的 I/O 性能。

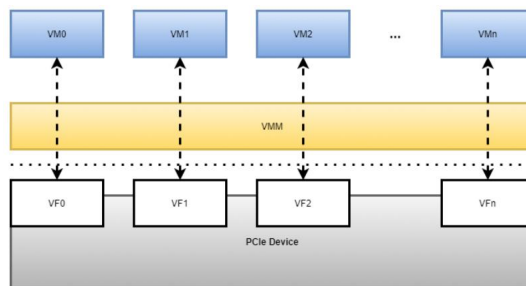


图 3.3 SR-IOV 虚拟化

目前，SR-IOV 在虚拟化中的应用较为成熟，被广泛应用于对性能、传输速度要求高的场景中。网卡、加解密加速卡、物理层加速卡都使用 SR-IOV 技术进行了虚拟化。但 SR-IOV 技术也并非完美，由于其基于硬件实现，硬件能支持的虚拟数量在硬件设计时已经确定，并不能如软件方案那样灵活可配。当前很多 SR-IOV 设备只能支持 16 个 VF，对于少量虚拟的场景没有问题，但如云游戏等需要对 GPU 做大量虚拟化的场景可能就不太适合。一个可能的选择是结合 SR-IOV 和软件虚拟化，达到既能够满足高性能要求又能够满足虚拟数量的要求。

硬件虚拟化后就形成可以使用的虚拟化资源，但若云化系统中这类资源较多，资源的管

理将会存在很大难度。为解决这个难题，在 OpenStack 和 K8S 方案中都有类似的资源管理机制，以期降低维护难度。

Operator/Device plugin 是 Kubernetes 提供的管理资源的框架。Device plugin 机制使得设备商无需修改 K8S 核心代码就可以让自己的设备被 K8S 调用，Operator 机制进一步提供了设备自动发现、初始化、运行监控等虚拟机可以直接使用 VF 设备。随着容器技术的成熟，设备厂商也提供了对应 SRIOV 容器组件。平台厂家，图 3.4 为 Redhat 在 OpenShift 中集成了开源的 sriov-network-operator，能够自动完成网卡的虚拟化及配置，极大简化了虚拟化设备的使用。Intel 最新的 SE-O PWEK 方案，也集成了 FEC/NIC Operator 等多种硬件配置软件，其中的 Node Feature Discovery Operator 可以完成节点级硬件信息的发现和配置。

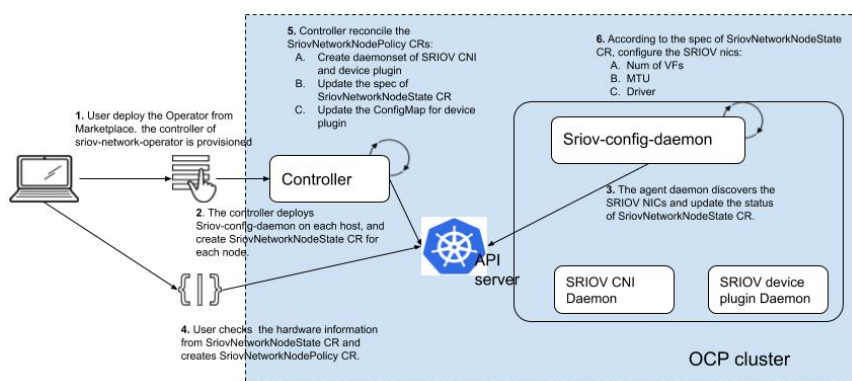


图 3.4 sriov-network-operator 流程

cyborg 是 OpenStack 用于管理硬件和软件加速资源框架，可以通过 cyborg 列出、识别和发现加速器，挂载、卸载加速器实例。cyborg 的主要功能包括硬件资源的发现、资源上报、资源的管理等。对于一些特殊硬件的特殊功能或配置(如：FPGA 的编程等)也由 cyborg 来完成。

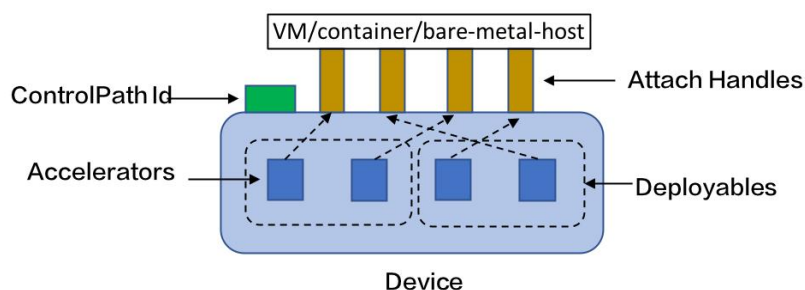


图 3.5 cyborg 加速器模型

综上，对于系统中 CPU、内存、硬盘及速率要求不高的外设，可以采用已经成熟的虚拟

化方案。对于运算要求较高的加速设备，采用拥有高性能、低时延、易扩展的 SR-IOV 等硬件辅助虚拟化技术，可以更好实现相应虚拟化方案，而如何针对不同硬件，针对性对虚拟化方案进行优化，并形成统一的资源管理调度体系，实现弹性算力的提供，是 6G 无线网络成功实现开放云化的关键。

3.2 多维能力编排调度

6G 开放无线网络将融合通信、计算、感知、智能等多种能力。而各类能力对平台的需求差异化特征明显。因此，多维能力的编排调度是实现各类能力深度融合的关键环节。按照不同层次，编排调度可以通过应用层、服务层、基础设施层讨论。

应用层的编排调度是最为关键，同时也是最为复杂多样的。由于各类应用自身内在差异，对编排调度的要求也差异较大。例如通信应用，往往要求严格的时序、超高的可靠性、超低的时延，而互联网应用往往对于并发量等关键指标关注较多。对于应用层，难以建立一套统一的编排调度方案，更加合理的方案是根据具体应用，建立针对性的编排调度体系，从而通过“因地制宜”的方式，提供定制化的编排调度方案。

服务层是连接应用层与基础设施层的桥梁，其主要为应用提供的通用性功能模块，与具体部署场景与具体应用关联性较高。例如服务层的检测监控组件可以有效抓取各被监控组件状态，提供监测报警等功能，这些组件为上层应用提供基础服务，并且需要具有高可靠和分布式的特点，所以其编排和调度也是直接影响总体系统性能的关键之一。

基础设施层提供了承载系统的基础计算、网络、存储等资源。由于云计算本身就是分布式计算和虚拟化技术发展综合的产物,在基础设施层,用户共享作为基础设施的云数据中心所提供的各类服务,在这种多用户分配有限资源的情况下,资源调度算法则显得尤为重要。例如容器技术是操作系统提供的一种可以限制、记录、隔离进程组的物理资源机制。容器可以将某个软件运行所需的所有资源打包到容器中,这样软件运行不需要依赖于特定的完整操作系统的文件系统,只需要软件工作所需的库资源和设置。这个软件的运行因此而变得高效轻量并保证部署在任何环境中的该软件都能始终如一地运行。容器没有自己的内核,而且也没有进行硬件虚拟。因此容器要比传统虚拟机更为轻便,实时性更好。其中虚拟化资源管理基于 Kubernetes 开源软件进行商用增强,关键接口选用社区标准,并根据业务和管理需求进行合理定制。虚拟化基于符合 OCI 标准开源软件进行商用增强,所提供全部虚拟设备(虚拟端口、虚拟 CPU、虚拟内存等),并能够通过 kubevirt 对虚拟机资源进行调度。

一种可能的调度架构设计如下图所示：

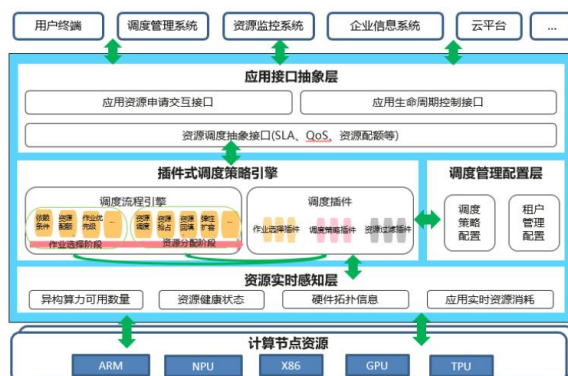


图 3.6 一种多维能力编排调度示意图

基础设施的编排调度主要面向异构计算节点资源实现统一的资源实时感知，并且对上层提供资源抽象和应用调度抽象，以满足上层多场景需求的使用，具体如下：

应用接口抽象层：该层衔接应用业务对资源的需求与系统资源的统一调度，以用户友好的应用资源需求表示方式和交互界面屏蔽异构算力的资源调度复杂性，实现调度器使用者与统一调度系统之间对作业的联动控制和实时反馈。

插件式调度策略引擎：该引擎根据应用的资源需求匹配最佳的异构算力资源分配，作业调度流程和策略具有高度模块化、灵活组合、可插件式扩展等能力。一方面满足调度器管理者对系统资源分配目标的统一控制，如控制不同场景任务的资源分配额度、优化系统特定维度资源的使用效率等；另一方面满足调度器使用者的应用个性化资源和业务模型需求，如控制多个应用间的运行依赖行为、资源竞争关系等。应用获取可使用资源的调度过程主要分为作业排队和资源分配两个阶段，其中作业排队用于决定当前优先获得调度资格的作业序列顺序，影响作业调度顺序的因素多种多样，如当前用户或所在组织的资源配额限制、作业之间的启动依赖关系、作业所在排队序列的资源分配策略及可调度份额等。作业排队阶段选择待调度作业后，由资源分配阶段决定最终作业的最佳运行节点及其异构算力资源分配。资源分配的复杂度受系统的可选择节点数量、异构算力的资源维度、作业的资源需求复杂度等多种因素影响。资源分配的决策等待时间直接影响到作业启动速度，进而影响系统的整体资源利用率。调度策略层应具有过滤策略的插件式定制能力，以降低作业匹配最佳资源的计算开销，提升统一调度框架的决策实时性。

调度策略配置层：提供对插件式调度策略的控制面管理能力，根据调度器系统所服务的应用场景配置作业调度各阶段的策略启用行为，满足目标应用的异构算力资源调度需求；提供对租户面的资源配额、运行限制等多维度层次化管理配置能力。

资源实时感知层：该层实时收集系统内各节点的异构算力资源数量，感知硬件拓扑及运行健康变化，反馈到调度引擎用于匹配作业的资源需求。资源信息感知的反馈及时性对调度引擎的决策实时性和准确性至关重要。

3.3 开放化体系

开放与共享是互联网的核心精神，并促进了互联网不断繁荣发展；另一方面，比较而言，移动通信网络在 4G 以前，几乎都采用的是专有的技术，生态相对封闭，一定程度上限制了其自身发展。

进入 5G 时代，为了赋能各行各业数字化转型，移动网络必须以更加开放的态度推动 CT 与 IT 融合，以催生丰富的行业创新应用，促进生态繁荣。正如我们今天所看到的，5G 与云计算、边缘计算和 AI 技术融合，已孵化出 AI 质检、5G 远程控制等大量行业应用。领先运营商和供应商已经开始打造开放、灵活的 MEC 边缘云平台，可通过 API 开放网络能力、IT 能力、工具和应用组件等，让第三方开发者和行业伙伴可根据自己的业务需求快速定制开发、部署和上线新应用。

同时，无线网络白盒化、开放化已经成为焦点，包括德国电信、沃达丰、西班牙电信、意大利电信、AT&T 在内的欧美运营商均已宣布将大规模部署基于开放架构的移动通信网络。6G 将会使通信技术变得更加开放，具体包括网络架构、网络能力、接口等方面进一步的开放，这有利于在 6G 时代实现网络功能按需扩展、算法快速重构和性能迭代优化。可以预见 6G 网络的硬件将更为集成化、模块化和白盒化，软件将更为本地化、个性柔性化和开源化，未来网络基础设施建设和优化升级将主要依托云存储资源和软件升级，充分挖掘各类软件与系统对 6G 网络控制作用。面对未来垂直应用的需求，垂直应用的场景强调的是服务提供快速、架构灵活可变、网络能力完全开放、网络与服务定制化等，白盒化/软硬解耦的解决方案将成为重要趋势。

在接口层面，6G 网络预期将在以下五个方面发生新的变化，以提高网络部署和成本效率：
①网络中需要引入数字孪生技术；②需要考虑多方数据和资源的协同管理；③支持云原生和基于微服务的网络架构；④需要简化协议栈；⑤需要进一步解耦信令和数据。

基于如上考虑，未来可能的 6G 网络的功能架构接口：

- 数据采集面接口：包括全局的数据采集与处理以及本地的数据采集与处理两种处理模式，在未来的很多场景中，用户数据并不一定会被上传到网络中，而是在本地被处理和存储。因此，需要集中式和分布式的数据处理和存储。
- 灵活的 AI 模块接口：从整体角度来看，集中式 AI 和分布式 AI 都是需要的。集中式 AI 平台利用外部和内部数据进行全局处理，并根据具体用例的需求调用 AI 能力，然后将结果分发到特定执行域的 AI 平台。基于此，网络将具备泛在 AI 能力。此外，网络还应该能够将感知功能作为服务提供给用户。根据用户的要求，帮助终端调度相应的 AI 算法和模型，便于用户更好地使用网络的 AI 能力。
- 智能安全系统接口：主要由智能策略引擎、安全能力库和智能安全运维三部分组成。智能策略引擎根据 AI 学习模型、智能调整网元和安全设备的策略，构建安全能力库。安全能力库根据应用和业务的安全需求，或者网络功能的网络安全需求，精准部署安全功能，实现主动、纵深的安全防御。智能安全运维功能将实现基于 AI 和大数据的安全运维自动化。
- 共享与协作功能接口：6G 系统将从外部引入 AI 能力或数据到网络中，以提供新服务和新能力，或进一步提高数据处理效率。与此同时，网络内的 AI 能力和分析的数据也将开放给第三方，以向其提供服务和支持。除了 AI 能力和数据信息开放之外，安全能力、资源、应用与服务需求以及网络功能也将引入到 6G 网络中或实现对外开放。

3.4 确定性服务

服务化架构给网络带来弹性，各个 RAN 处理单元将其对外接口以服务化形式进行封装，支持基于业务需求的灵活编排，这往往需要对多个服务进行组装，但随着服务数目及服务间交互的增加，系统的不确定性也将随之升高，导致用户的业务体验难以保障。例如一个典型空口数据发送过程，需要经过应用层数据接收与缓存，数据包压缩与分片，信道编码，空口资源映射，射频调制及发送等多个步骤，一般进行业务处理的时间流水设计时，不同模块间的时延在毫米级甚至纳秒级，模块间数据传输带宽可达数十到上百 Gbps，在传统的网络架构中，这些功能的部署较为集中，各功能模块间的传输时延和接口带宽较易保障，但若将这些功能模块全部服务化，甚至在物理位置的部署上也分布较远，这就可能会导致处理时延过

大或接口带宽不足的问题，从而使业务体验不可预测。网络如何在弹性网络架构下提供具有 SLA 保障的服务，将面临较大挑战。

如果我们能确定每个服务的处理能力，并获取服务间进行交互的能力，就有可能进行更具针对性的资源编排，从而使得业务的体验得到保障。可能的技术方向包括时间协同体系，传输自适应机制，定时包处理驱动机制等，各个技术方向概述如下：

- 时间协同体系

在传统 RAN 架构中，各个功能单元间的时间同步是设备的内部行为，可以基于私有中断，内部定时器等方式实现，但在服务化架构中，需要一种全新的方法，每一个网络服务模块 (VNF/CNF，这里采用 VNF 为例) 都需具备时间同步功能，并能标识其处理时延，每个服务在进行注册时，发布的能力信息中需包括处理时延及时间同步的能力。可将服务模块划分为非实时服务，近实时服务，实时服务三大类：

- 非实时服务(Non-RT service)，其处理时延可在数百毫秒到数秒，时间同步精度在毫秒级。
- 近实时服务(Near-RT service)，其处理时延可在数毫秒，时间同步精度在微秒级。
- 实时服务(RT service)，其处理时延在几十到数百微秒，时间同步精度在纳秒级。

一个部署的示例如下图所示：

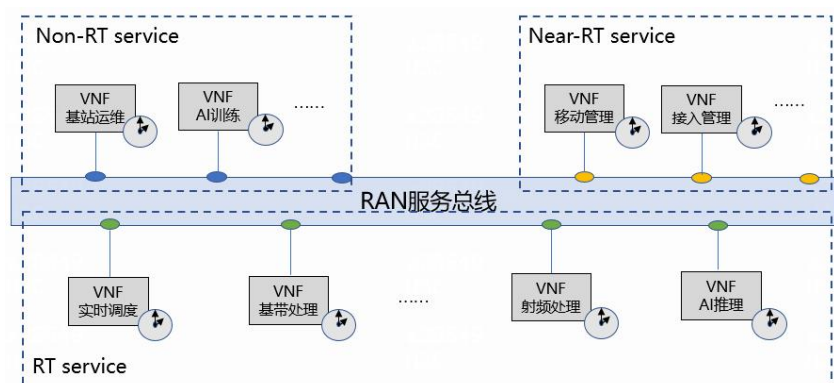


图 3.7 不同类型服务的时间协同示意图

图中的各个 VNF 可根据业务需要，实现不同程度的时间同步，具体的实现方案可基于网络同步，GNSS 同步等技术进行演进。同时，各 VNF 需提供典型服务的处理时延上界，如 VNF 基带处理单元定义处理 8 条流，400MHz 带宽的一个时隙最大需要 50 微秒。

基于统一的时间，智能编排调度可以对各服务的处理流水进行控制，基于 VNF 的处理时延能力，智能编排调度可以根据业务需求选择最匹配的 VNF。

● 传输自适应机制

为完成一个业务需求，往往要对多个服务进行组装，各个服务之间需要进行交互，此时接口能力将直接影响业务体验，例如基带处理 VNF 与射频处理 VNF 间的前传接口，其物理形态上一般采用光纤，随着光通信技术的发展，其传输能力发展到数百 Gbps 或 Tbps 级别，多个 VNF 可共享一个前传链路，而基带处理 MIMO 流数和工作带宽的变化，对前传接口的速率要求也有很大差异，因此在选择 VNF 的同时，还需考虑各 VNF 间的接口能力，选择匹配的 VNF 和交互接口。

传输自适应包括接口能力感知，接口资源分配，接口路由配置等方面。接口能力可包括时延上界，传输速率，缓存大小等。接口能力感知方面需定义统一的机制，不论底层的物理形态如何，各服务模块均需支持该协商机制，包括接口协商报文格式，接口协商流程等方面，接口协商的触发流程可包括周期上报，事件触发，随流检测等。接口资源分配和接口路由配置需要和智能编排调度技术结合，根据业务需求实现较优的接口资源和路由配置。

● 定时包处理驱动机制

RAN 侧在对各 VNF 和接口进行编排之后，就可以对各种控制，业务，管理数据包进行传输，但由于各 VNF 的处理时延和接口传输时延不可避免地发生抖动，为保障空口在准确的时间点进行信号发送和接收，需要设计相应的机制来消除抖动，保障各 VNF 的处理流水能高效衔接。一种方法是在每级 VNF 间传输的数据包中携带期望处理的时间点，接收端 VNF 先将数据包进行缓存，在对应时刻将匹配的数据包取出进行处理。相应机制如下图所示：

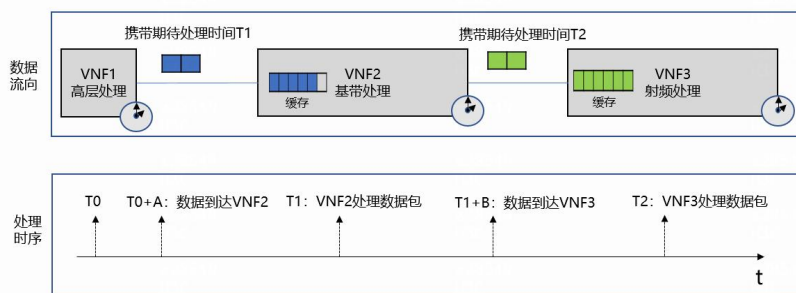


图 3.8 定时包处理示例

示例中 VNF1 在 T_0 发出 MAC 层数据包，并携带要求下级服务的处理时间 T_1 ，数据包在 T_1 之前的某个时刻 T_0+A 到达 VNF2，VNF2 先将数据包进行缓存，在 T_1 时刻取出 MAC 包，

进行调制编码，资源映射等处理后发送给 VNF3，并根据需在空口发送的时间设置要求 VNF3 处理的时间 T2， VNF3 先缓存数据包，并在 T2 时刻进行变频放大等操作后在空口发出。其中 T0, T1, T2 可以采用相对时间、帧号/子帧号/符号组合、新定义格式等。

通过选择实现满足不同时延要求的 VNF 服务和接口组合，并基于定时包处理的方法驱动各服务单元在指定的时间点对数据包进行处理，可在服务化 RAN 架构下实现确定性的业务体验保障。

3.5 服务化 RAN

服务化架构可将无线网络功能划分为若干个“服务”，从而促进网络高效化、软件化、开放化。随着无线网络演进，底层硬件逐步从专用硬件向通用异构硬件演进，而基于通用异构硬件的云平台可以实现资源按需分配与调度，从而更好满足服务化架构下，不同“服务”对实时性与服务间交互的要求，实现控制面、用户面服务的按需调用。因此，基于云化技术打造的底层软硬件平台可以满足基于上层服务化架构设计的协议栈对灵活性和开放性的要求，二者设计理念是适配的。但是，虽然无线接入网的云化提供了基础平台，无线接入网协议如何向服务化演进还需要进行充分论证与试验，从而保证无线网络的基础性能。

3GPP 自 2018 年逐步引入服务化架构，现已在核心网控制面、计费系统中实现了服务化。服务化架构所带来的优势正在逐步展现，因此在 6G 网络中将有更多的网元实现服务化设计，从而通过基于云原生理念设计的协议，实现无线网络的底层开放云化平台与上层网元的深度融合。

目前基站云化的探索工作中，多以集中单元(Centralized Unit, CU)和分布单元(Distributed Unit, DU)作为基本设计考量，其颗粒度较大，依然不能满足特定新功能快速上线、灵活部署的需求；从接口角度，基站内部、基站之间、基站与核心网之间依然使用点对点专用接口互连，每当基站或相关核心网网络功能发生改变时，都需要在相关接口上进行调整，标准化工作量大、运维管理复杂度高。为了敏捷响应未来更加多样化的业务功能需求、服务质量(Quality of Service, QoS)需求、管理策略需求、部署需求、开放需求，使网络具备更强的前向兼容性，下一代无线接入网需要从服务能力角度着手发力，将无线网络控制面功能与用户面功能深度解耦，并重构为功能更细粒度的服务化 RAN。[6]

RAN 的控制面功能通过服务化重构为多个服务，大致可以包括如下几种类型：无线承载管理服务(Radio Bearer management Service, RBS)、连接与移动性管理服务(Connection

Mobility management Service, CMS)、本地定位服务 (Local Location Service, LLS)、多播广播服务 (Multicast Broadcast Service, MBS)、数据采集服务 (Data Collection Service, DCS)、信令传输服务 (Signaling Transmission Service, STS)、接入网开放服务 (RAN Exposure Service, RES) 等。RAN 控制面服务化可以与核心网的服务直接互访, 减少网络中不必要的连接与移动性管理功能转发。此外, RAN 的控制面服务与其他服务 (包括核心网服务、其他 RAN 控制面服务) 之间的交互可从串行交互转为多方并行交互, 由此可优化控制面流程。

RAN 的用户面功能通过服务化重构为多个 RAN 用户面服务, 并在需要时按需灵活组合, 以更好满足多种业务需求。本质上, 用户面服务化旨在突破传统分层协议设计理念, 使功能与功能之间的调用关系不再受限于上下层协议关系, 功能模块之间可以灵活调用。

3.6 智能控制器

5G“以用户为中心”的服务模式能高效地为相似位置或应用场景中的典型用户提供良好性能的服务, 但 5G 网络架构和协议中没有预先定义数据收集接口, 基于实现的数据收集服务器/设备, 如深度包检测、数据探针等, 无法及时提供高效的数据, 数据有效性也面临挑战。这些因素导致了 API 接口 APP 的效率和性能远落后于预期。

6G 的目标是根据不同用户业务的综合、动态、多维的服务要求, 提供“以每个用户为中心”的定制化服务, 应对不同应用场景和网络条件, 采用自适应调度算法为用户提供灵活可靠的端到端服务编排。因此除了需要向 5G RIC 一样开放的 API 接口进行 AI 能力众筹外, 还需要增加数据收集模块儿对数据采集、清理、处理和存储, 并向其他接口提供数据订阅和更新服务, 这些模块儿是集中式的, 也可以是分布式的, 可以分布在网元和终端上。

在数字世界里, 先进的物联网技术和人工智能算法将帮助我们加速向 6G 的服务目标演进, 从而在业务层面实现最精细的服务颗粒度, 保障每个用户的个性化服务体验。

4 挑战与展望

6G 的目标是从根本上改变传统无线网络的能力与定位, 从单纯以通信为中心逐步扩展到通信、计算、感知等多种能力融合。通过计算、数据、通信、感知、AI 等多种能力之间更加紧密的集成, 有望实现 DOICT 多个领域技术的融合, 将 6G 无线网络将从传统的移动通信网络转变为 6G 移动信息网络, 从而构筑技术创新基座, 服务千行百业。

6G 开放云化无线网络是实现这一远大目标的重要途径。传统软硬件紧耦合的“黑盒子”模式难以适应 6G 的新定位之下对灵活性和开放性的新要求，而基于云化技术与开放理念，6G 无线网络将逐步拥抱 DOICT 融合的大趋势，从更深层次和更广维度拓展移动通信网络的作用范畴，从而创造更加丰富的应用和市场机会，帮助更多企业参与到 6G 产业中，构建更加开放繁荣的 6G 生态圈。

同时，实现 6G 开放云化无线网络同样面临大量挑战：

- **如何设计合理的软硬件架构：**随着云计算技术的发展与摩尔定律的放缓，云平台越来越向着软硬件融合的方向发展。一方面，越来越多的任务通过卸载和硬件加速的方式提高性能，另一方面，业务与管理的分离、异构计算理念日益融合进入系统中。该理念在更加强调时序、时延、可靠性等指标的云化无线网络中更加重要，此外，还需要考虑到系统开放的情况下如何保证性能与灵活性的平衡。因此，如何清晰定义软硬件边界，划分系统层次，实现灵活部署的系统架构，将是未来 6G 开放云化无线网络研究的重点。
- **如何承载多种 6G 系统能力：**6G 多维度组网必然带来更加复杂的系统软件栈与功能，而计算、感知、AI 等新功能的加入，更加提升了系统的复杂度。一方面，底层硬件需要更加多样化与灵活化，从而适应不同能力的需求。另一方面，上层系统软件同样在设计之初即充分考虑复杂度、灵活性、性能等因素。此外，还需要一定的适配层，从而拉通上下层软硬件功能。特别的，对于通信，多个频带多个功能的拉远单元也必将带来前传网络复杂度的增加，这同样反应在无线网络平台的设计中。
- **如何构建数据管理体系：**6G 开放云化无线网络的重要特征之一即数据的开放共享。然而，从实现角度，数据的开放必然带来大量的流量与存储需求，这与强调传统强调流式处理的通信应用对资源的需求差异巨大。因此，对于云化无线网络，如何在最小的系统代价之下，对数据的获取、存储、管理等体系进行精巧设计，从而更好服务于内生 AI 等应用也是重要课题之一。
- **如何解决安全问题：**更加开放的无线网络必然带来更多样化的安全问题。虽然软硬件解耦的体系可以带来各类应用的统一管理，在一定程度上减少了系统碎片化的问题。但是，IT 化改造后的无线网络必然会面临更加复杂多样的安全漏洞问题。在网络安全日益严峻的背景下，安全问题是最为重要的研究课题之一。
- **如何实现服务质量保障：**5G 网络切片进行 SLA 保障的技术和 6G 服务化 RAN 技术可以融合，可以通过不同类型的微服务组装来实现相应的网络切片，用于支持数据通信，算

力传递，电磁感知等功能，这种服务化架构将能够灵活适应“空天地一体化”的网络拓扑，也能满足“人机物多元交互”的各类业务，当然由于网络功能的重定义，各类服务的物理和逻辑部署形态也将发生较大变化，服务间交互方式也需重新定义，如何在这种弹性网络下实现确定性的服务，面临很大挑战，主要的技术方向可能包括：高精度高可靠的服务间同步机制、算法、低成本硬件等；服务间接口能力协商机制、高速接口、确定性路由等；具有处理时间保证的数据流驱动机制、数据缓存排队策略、高效时间戳设置及解析方法；基于 SLA 保障的智能服务编排调度技术、随流 SLA 感知等。

- **如何带动产业协同：**6G 开放云化无线网络的背后，是 DOICT 融合的必然趋势。多个行业多个领域的交叉，必然带来更加复杂的协同问题。一方面，6G 开放云化无线网络需要各个领域各展所长，提供最为先进的技术方案；另一方面，6G 开放云化无线网络同样需要融合各个领域的顶层设计，从而实现各类技术的有机融合。这样的工作很难由一家或者几家企业完成，因此，更加有必要在 6G 开放云化无线网络的研发中，探索新机制、新思路，从而更高效融合产学研用。

6G 开放云化无线网络的实现需要跨行业、学术界、开源社区和标准组织不同参与者的共同努力。6G 开放云化无线网络也必将融合革命性的技术、商业模式和应用，为用户带来简化和便利以及令人难以置信的新体验。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
AI	Artificial Intelligence	人工智能
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	专用集成电路
BBU	Baseband Unit	基带处理单元
CMS	Connection Mobility management Service	连接与移动性管理服务
CU	Centralized Unit	集中单元
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
C-RAN	Centralized RAN	集中化无线接入网
DCS	Data Collection Service	数据采集服务
D-RAN	Distributed RAN	分布式无线接入网
DU	Distributed Unit	分布单元
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程逻辑阵列
LLS	Local Location Service	本地定位服务
MBS	Multicast Broadcast Service	多播广播服务
QoS	Quality of Service	服务质量
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RBS	Radio Bearer management Service	无线承载管理服务
RES	RAN Exposure Service	接入网开放服务
RIC	RAN Intelligent Controller	无线接入网智能控制器
RRU	Remote Radio Unit	远端射频单元
STS	Signaling Transmission Service	信令传输服务
SIMD	Single Instruction Multiple Data	单指令多数据流
VNF	Virtualised Network Function	虚拟化的网络功能模块

参考文献

- [1] From C-RAN TO O-RAN, 中国移动研究院。
- [2] 6G Distributed Cloud and Communications System, Next G Alliance(Aug 2022).
- [3] 刘光毅.《6G 移动网络架构 SOLIDS——驱动力、特征及功能拓扑》2022 第一期.Engineer。
- [4] 中国移动 6G 网络架构技术白皮书, 中国移动研究院。
- [5] 基于云网融合的 6G 关键技术白皮书,中国电信股份有限公司研究院、网络通信与安全紫金山实验室。
- [6] 6G 服务化 RAN 白皮书, 中国移动研究院。

致 谢

衷心感谢以下单位对本白皮书撰写的宝贵贡献:

中关村泛联移动通信技术创新应用研究院: 徐飞、张鑫

中国移动研究院: 韩伯骁

北京佰才邦技术股份有限公司: 周明宇、宋斌、孙占东

京信网络系统股份有限公司: 林敏, 李刚, 陈林, 刘震, 方绍湖

联想移动通信科技有限公司: 李学成、崔先锋、张慧敏