



综述

智简 5G 无线网络技术初探

黄宇红, 孙奇, 贾民丽, 段然, 陈卓

(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 5G 是当前信息通信业发展焦点, 正在逐步部署和商用。5G 网络将涵盖 toC 到 toB, 瞄准万物互联, 复杂度和挑战也前所未有的。为满足多场景需求, 5G 网络技术复杂、设计灵活, 传统管理运营方式难度大、成本高, 同时, 行业应用需求差异大且指标要求高, 需要云网一体化、网业协同等整体方案。针对上述问题和需求, 提出了智简 5G 无线网络技术, 用创新的思维和技术发展无线网络, 将 5G 与人工智能、云计算、大数据、边缘计算等新科技融合创新, 持续提升 5G 技术创新支撑能力、促进 DOICT 融合发展。对智简 5G 无线网络技术的整个架构及所涉及的平台和各应用进行了详细介绍。最后提出了构建绿色智简、高效运营、支撑万物互联的 5G 新网络、新生态的技术展望。

关键词: 5G; 智简 5G 无线网络; 绿色节能

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021099

An intelligent and simplified 5G wireless network technology

HUANG Yuhong, SUN Qi, JIA Minli, DUAN Ran, CHEN Zhuo

China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: 5G is the current focus of the development of the information and communication industry, and is gradually being deployed and commercialized. The 5G network will cover toC to toB, aiming at the interconnection of everything, so the complexity and challenges are unprecedented. In order to meet the needs of multiple scenarios, 5G network technology is complex and flexible in design, and the traditional management and operation methods are difficult and costly. At the same time, industry application requirements are very different and demanding. All of these require integrated solutions such as cloud-network integration and network industry collaboration. In response to the above-mentioned problems and needs, an intelligent and simplified 5G wireless network technology framework was proposed. Through innovative thinking and technology development of wireless networks, 5G and artificial intelligence, cloud computing, big data, edge computing and other new technologies were integrated and innovated to continuously improve 5G capabilities and promote the deep convergence of 5G and DOICT. A detailed introduction to the entire framework, platforms and applications in the above technology system were given. Finally, a technical outlook was proposed for shaping a new 5G ecology that supported green, smart, efficient operation, and the internet of everything.

Key words: 5G, intelligent and simplified 5G wireless network, green power saving



1 引言

我国的信息通信业发展正处在重要战略机遇期,5G作为“新基建”之首,重要性日益提高。作为承载我国经济社会转型升级的新型基础设施,5G“超大带宽、超广连接、超低时延”的三大新型特性和网络切片、边缘计算两大特色能力共同推动移动通信技术从消费侧向生产侧全面渗透,5G将成为社会信息流动的主动脉、产业转型升级的加速器、数字社会建设的新基石。目前,5G已经开始商用部署,但推进5G发展是一个极为复杂的系统工程,远不止建设几十万个基站。5G如何承载众多业务需求,如何真正走向商业成功还面临很多挑战,比如5G基站仍然存在功耗大、成本高问题,5G的高度灵活导致其运维优化难度大到无法用传统方式实施,更重要的是,5G成功的关键是要服务千行百业,而行业应用需求多样、差异大、场景复杂,如何能够快速有效满足各种需求?解决这些困难,仅靠传统的通信思维是无法实现的,需要云网一体化、网业协同等整体方案。但当前5G和人工智能(AI)、大数据、云计算等新兴技术在应用上仍处于“单兵作战”模式,“组合拳”效益发挥不足,必须加强科技协同,开展融合创新,拥抱新技术,创造新理念,才能打造强大的、有生命力的5G网络。

针对以上问题,本文以5G无线网络为基础,用创新的思维和技术发展无线网络,将5G与AI、云计算、大数据、边缘计算等新科技融合创新,意在持续提升5G技术创新支撑能力、促进DOICT(data, operation, information, communications technology)融合发展。在此考虑上,本文提出了智简5G无线网络技术,以融合为手段,以简化为原则,对5G无线网络进行完善和增强,从而解决上述5G实现复杂度高、基站功耗高、网络优化难度和成本高、垂直行业新需求多等问题。

2 智简5G无线网络技术

智简5G无线网络技术以无线网络为基础,以融合为手段,以简化为原则,通过构建DT(数据技术)、OT(运营技术)、IT(信息技术)、CT(通信技术)四者融合创新的理论和产业基础,形成DOICT深度融合的一体化技术,实现“加性能”“加能力”“减成本”“减复杂度”,助力运营商降本增效,不断满足千行百业、大众客户的业务发展需求,消除数字鸿沟,促进数字经济发展。

- “加性能”:通过技术演进提供极致时延/可靠性/确定性能,智能多天线提升覆盖/速率性能,智能多频多网协同提升速率/容量,智能网业协同提升端到端业务体验。
- “加能力”:引入无线智控平台,促进DOICT融合,提升行业深度服务能力和服务保障水平,泛无线技术融合提升综合服务能力,开放生态提升服务能力丰富性。
- “减成本”:智慧绿色节能降低运营成本,能力定制降低成本,行业本地服务降低组网成本。
- “减复杂度”:智慧自组织网络和资源调度降低运维、管理和优化复杂度。

从技术架构上,智简5G无线网络包括基础设施层、平台层和应用层,如图1所示,其中基础设施层由5G无线网络构成,是智简5G无线网络的基础,为平台层和应用层提供5G通信和连接能力支撑、设备数据、网络数据和业务数据等数据支撑和软硬件基础设施支撑。平台层基于基础设施的云化/虚拟化环境,引入无线数据+AI能力的开放平台:无线智控平台^[1]。平台层是云网融合的关键要素,基于云资源、网络和业务的多维智能感知,使能云、网络和业务深度融合和协同。应用层主要包括CT增强应用,例如i-RRM(智慧资源调度)、i-Green(绿色节能)、i-SON(智慧自组织网络)和本地服务应用(通过网络功能下沉和增强,实现敏捷的云

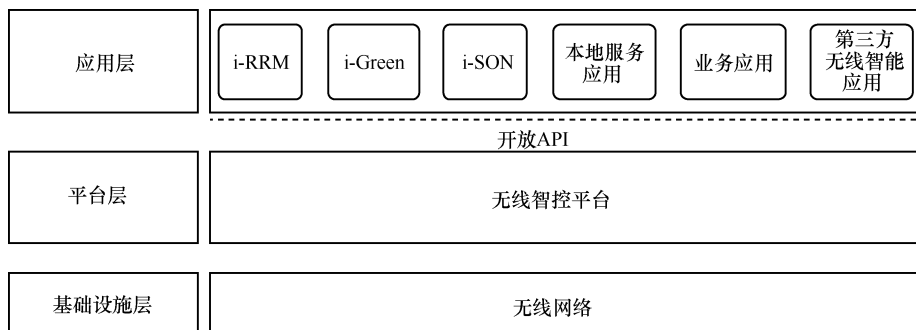


图 1 智简 5G 无线网络技术架构

网业协同), 还可进一步扩展支持各种个人和行业业务应用。无线智控平台和上层应用将基于基础设施层的数据和通信机制, 利用 AI 和数据分析等技术, 提升网络资源和能量利用效率, 并面向行业的多样化需求, 灵活地提供定制化的网络能力, 保障用户体验。智简 5G 无线网络技术为 5G 复杂度高、基站功耗高、网络优化难度和成本高、垂直行业新需求多等问题提供系统性解决方案。

3 智简 5G 基础设施层-无线网络

智简 5G 无线网络技术架构中的基础设施层主要包含 5G 无线网络基础设备及其产生的海量网络数据。5G 无线网络基础设备主要包括由多频段 (如 700 MHz、2.6 GHz、4.9 GHz)、多站型 5G 基站 (如宏基站、微基站、皮基站) 所组成的无线网络, 后期可能还会引入毫米波基站、卫星空域网等, 组成泛在的通信基础设施, 并逐步向云化演进。5G 网络提供增强型移动宽带 (eMBB)、超可靠低时延通信 (uRLLC) 和大连接物联网 (mMTC) 等通信与连接能力, 满足不同应用的差异化业务需求。在此基础上, 5G 无线网络还将产生丰富的高价值无线网络大数据, 为大数据分析和 AI 等能力提供了丰富的生产资料。随着 5G 网络的云化演进发展, 也为引入无线智控平台和无线智能应用的敏捷部署和拓展提供了通用便捷基础。

4 智简 5G 平台层: 无线智控平台

无线智控平台基于无线云网融合架构, 通过

引入无线大数据分析、AI 等技术, 进一步使能云网、业务的深度协同, 增强无线网络实时数据分析能力, 支持无线网络服务能力灵活拓展, 实现面向业务差异化需求的无线能力定制、用户体验优化和无线网络资源效率提升。平台作为一个开放的无线智能中心, 可按需获取近实时无线数据和业务需求和特征, 支持近实时控制优化, 基于 DOICT 的深度融合, 不仅赋能网络优化的智能化演进, 更将进一步提升网络面向垂直行业的服务能力。无线智控平台还可为业务应用提供软件平台 (platform as a service, PaaS)。

针对云化/虚拟化基站, 基站也可与无线智控平台、移动边缘计算 (MEC) 共平台部署, 一方面实现基础设施的池化增益, 另一方面也支持边缘业务应用与无线智控平台的网络增强应用和本地服务应用的直接互动, 实现网络业务的实时跨层协同优化。例如, 无线智控平台的无线智能应用可实时预测无线网络能力, 通过无线能力开放接口开放给业务应用, 实现业务应用优化。

4.1 平台架构及功能设计

无线智控平台旨在提供不同无线智能应用所需的公共平台功能, 如图 2 所示。基本功能包括冲突解决、订阅管理、共享数据层/无线数据库、消息基础设施、管理服务、安全和管理接口处理、E2 接口处理功能^[2]。无线数据库包含存储无线智控平台所需的无线资源数据和其他数据, 可分为半静态参数和动态数据两类。半静态参数主要是网管提供的配置参数, 以及基站/用户的状态参



数, 动态数据主要是基站/用户的测量数据。共享数据层的作用是为不同类型数据库提供一致的访问接口。

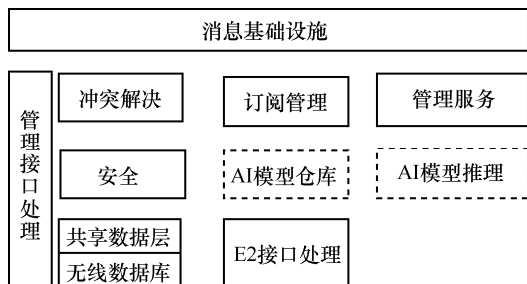


图2 无线智控平台架构

4.2 定制化数据采集与控制

传统无线接入网络的数据采集主要指面向网络管理提供告警、配置和性能管理等数据, 主要特点之一是全网统一数据集。现网中兼顾对无线基站设备资源要求和数据传输带宽, 网管数据的时间颗粒度通常在分钟及以上, 并且以小区级性能参数为主。无线智控平台则采用基于用例的数据订阅方式, 通过触发条件和数据项两个方面的信息向基站订阅数据。同时, 无线智控平台所支持的数据订阅项不仅包括小区级的信息, 还包括用户级的信息。这在数据订阅方面不仅能够按需满足用例更小时间颗粒度的数据获取需求, 而且能够大幅度降低基站设备处理资源开销和数据传输带宽要求。前期试点验证显示, 对于 71 项 1 ms~1 s 的小区级和用户级数据采集项, 以 14 000 个小区、每个小区 100 个用户为例, 传统网络方式采集 1 天的数据量为 14 PB。采用无线智控平台基于用例的数据订阅方式, 通过触发条件、数据项、小区和用户的定制, 可将数据采集情况精准表述为某小区某个用户的 1 个 1 ms 的 UE 级数据项, 采集时间区间为 9:00—10:00 的信息, 那么对应的数据量将降至 0.413 GB。因此, 无线智控平台的基于用例的定制化数据采集以更加灵活和更低开销的方式获取无线资源数据, 是按需开放无线能力、支持用户无线空口差异化服务以及实现网络和业务

协同优化的基础。

4.3 平台数据分析和 AI 能力

随着无线智能应用的丰富, 无线智控平台可扩展提供数据分析、AI 模型仓库和 AI 模型推理能力。AI 模型仓库旨在提供多种无线智能应用所需的公共 AI 模型。AI 模型推理旨在提供上述公共 AI 模型的推理服务, 根据平台资源为无线智能应用提供优化的 AI 模型推理服务, 缩短 AI 模型推理时间。平台数据分析和 AI 模型推理服务可包括如业务体验 QoS/QoE 评估、用户无线测量预测等基础无线预测能力。

4.4 无线能力微服务化和平台开放接口

面对高度差异化和不断新增的业务需求, 无线智控平台的微服务化架构为无线智能应用的按需定制、持续开发和快速部署提供了原生支持。在统一的服务框架下, 首先, 基站的底层技术机制(如双连接、预调度、小区切换等)被从基站实现中解耦为不同的微服务, 由无线智控平台的基础平台功能向无线智能应用提供, 从而屏蔽了异厂商设备的互操作性差异; 在此基础上, 无线智能应用生成的无线能力同样封装为独立的微服务, 对其他无线智能应用或授权外部应用提供通用的微服务接口, 屏蔽了内部算法实现, 便于升级和维护; 此外, 服务管理框架对新能力的定义和引入提供了较好的可扩展性。

此外, 无线智控平台的微服务化架构提供了开放 API, 允许网络所有者复用通用的基础平台功能, 定制和组合无线智能应用, 实现无线智控平台功能的灵活扩展和裁剪。未来, 借助开放 API, 无线智能应用还可由运营商、基站设备提供商之外的第三方提供, 为丰富无线智能应用生态提供了必要基础。

5 智简 5G 应用层: 典型应用

智简 5G 无线网络技术架构的应用层承载各类无线智能应用, 例如智慧资源调度(i-RRM)、

绿色节能 (i-Green)、智慧自组织网络 (i-SON) 等典型应用。未来, 随着该技术架构的进一步发展和需求驱动, 智简 5G 无线网络可支撑更多 CT 增强应用、DOICT 融合应用, 并逐步扩展个人和行业业务应用。下面对上述典型应用进行详细介绍。

5.1 智慧资源调度 (i-RRM)

无线资源调度是无线网络核心功能, 旨在高效利用宝贵的空口资源, 为用户提供有质量保障的服务。随着 5G 大规模 MIMO、端到端切片等复杂技术的引入, 同时用户业务从纯消费类业务到消费和行业混合业务的转变, 以及多系统、多频段组网的出现, 无线资源的调度更加复杂, 要求更高。

i-RRM 是基于无线智控平台的 AI、数据采集等能力, 利用深度学习等新技术手段高效解决传统 RRM 的难点问题。以下以多频段组网下的负载均衡过程为例。

随着运营商网络部署的逐渐深化, 多频段组网成为网络中主要的组网方式。相应地, 多频段负载均衡也成为保障用户体验和运营商投资效益的重要手段。

传统算法主要存在两方面挑战。一是现有的负载均衡机制流程较长, 影响均衡效率。由于涉及多频测量和切换, 当异频点较多时将带来较大的测量反馈开销和时延, 负载均衡速度慢, 用户体验差。另外, 下发的异频测量具有盲目性, 处于异频差点的用户无法反馈测量结果。二是参数量大。多个频点之间的测量/重选/切换参数量达百余个, 同时负载均衡算法参数 20 余个 (如小区负载相对/绝对门限, 测量配置用户数, 均衡周期等), 采用人工调整耗费时间较多, 而且参数互相影响, 难以优化。

引入 i-RRM 功能进行智能化负载均衡可有效解决上述问题。图 3 为传统负载均衡和智能优化的负载均衡流程对比。在 i-RRM 的异频测量环节

可以应用基于 AI 监督学习的无线指纹方案, 将同频测量结果与异频信息进行关联, 减少或免去异频测量, 加快负载均衡速度, 提升用户体验^[3]。在参数调整环节, 可以利用强化学习算法, 将网络状态和奖惩判断 (如负载差、关键绩效指标 (key performance indicator, KPI) 等) 告知强化学习大脑, 由算法自动寻找最合适的行为 (对特定参数进行调整), 达到高效、高质量的网络参数优化, 确保网络各项指标保持稳定, 大大降低了复杂网络场景下的参数优化复杂度, 并有效提升用户体验速率。

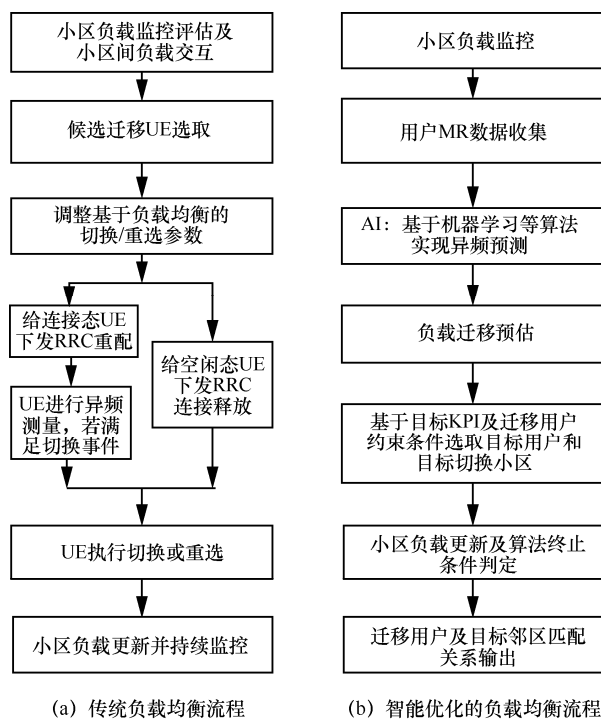


图3 传统负载均衡和智能优化的负载均衡流程对比

后续还将基于 i-RRM 的思路, 探索更多智能化资源调度应用场景, 不断提高网络资源利用效率和网络运营优化效率。

5.2 绿色节能 (i-Green)

在移动通信网络中, 大约 80% 的能耗来自广泛分布的基站。越密集的基站意味着能耗越高, 这是 5G 网络面临的一大成本挑战。据统计预测, 5G 基站功耗将是 4G 基站的 3~4 倍, 5G



在给产业带来众多机会的时候也带来了巨大的能耗挑战。

传统节能方案大多针对不同网络场景，人工选择节能方案，消耗大量人力，方案选择不恰当甚至影响网络性能与用户体验。此外，在特定时间点开启/关闭软件功能实现节电的方法策略相对保守，无法自适应匹配网络情况最大程度发挥节能效果。

i-Green 技术基于无线智控平台从网络级、精细化运营的角度来解决 5G 网络的能耗问题，主要技术理念如下。

一方面，基于无线侧的大数据采集，对现网多频多模的小区覆盖情况深度分析，通过 AI 算法对小区负荷或资源（如业务量、资源利用率等时序信息）进行精准预测，实现对小区能耗、性能的实时掌握，然后可以有序地将目标小区（节能小区）用户引导到低负荷低能耗小区（补偿小区），如图 4 所示，从而关闭目标小区，实现网络更加高效的节能。

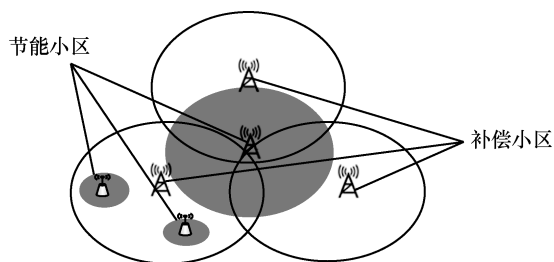


图 4 节能小区与补偿小区示意图

另一方面，基于业务、用户、用电负荷在时间、空间的分布和变化趋势特征分析，采用非监督学习方法实现小区时空场景划分和识别，针对同类时空场景利用强化学习等技术迭代更新寻优模型，实现节能参数配置的动态调整和迭代优化，从而为不同时空场景生成个性化的节能参数配置建议，如图 5 所示。此外，借助深度学习算法对各参数量化关系的深层挖掘，可进一步实现对网络能耗相关参数、功能、模块、设备开关等进行不同颗粒度的动态自适应控制，在保证用户体验和网络正常运行的前提下提高能源利用率，降低网络能耗，从而实现“一站一策，一时一策，动态灵活”，进一步深度挖掘网络的节能潜力，降低网络运营成本。

5.3 智慧自组织网络（i-SON）

5G 网络支持更高的频率、灵活的组网方式以及多样化的基站类型，使得网络拓扑更加复杂、协议设计更加灵活，带来网络运营的复杂度和运营成本的显著提高。研究表明，一个成熟的商用移动网络在其生命周期内，由运营和维护产生的成本占 30% 以上。运营商急需自动化手段降低网络部署和操作管理的复杂度，降低运营维护成本，提升性能指标和用户体验。在此背景和需求下，SON（自组织网络）已经成为 3GPP 5G 网络优化的关键技术。

SON 技术包括自配置、自优化和自治愈 3 项主要功能，旨在使网络能够自动、自主地进行相关

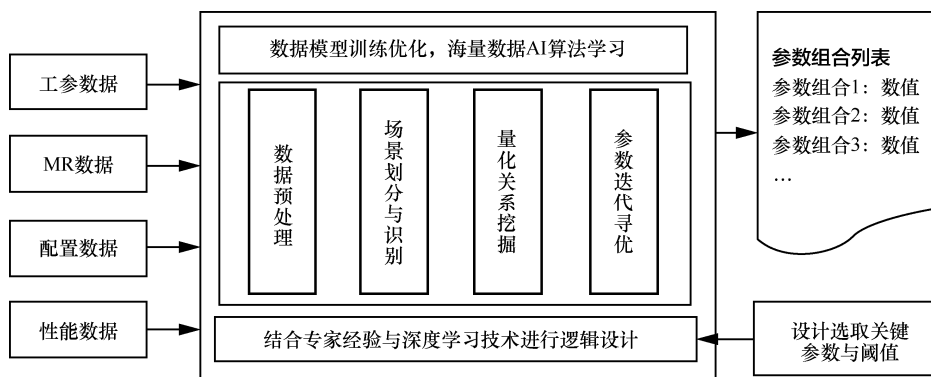


图 5 节能参数门限自适应调整系统流程

操作,最小化对网络的人工操作,尽量节约运营维护成本。具体的功能点如图6所示,包括基站自启动、PCI自配置自优化、自动邻区关系(automatic neighbor relation, ANR)、移动负载均衡(mobility load balance, MLB)、节能、移动鲁棒性优化(mobility robust optimization, MRO)、RACH优化、自愈愈等功能^[4-5]。

智简5G无线网络技术中,i-SON功能以传统的SON体系为基础,分阶段、分功能点不断创新和优化。首先,i-SON功能的第一阶段是先考虑将SON技术在5G网络运营发展的不同阶段加以引入,以适应不同网络运营维护阶段的需要。例如,按照网络生命周期考虑,在5G建网初期,可以考虑引入基站自启动、PCI自配置自优化和ANR等功能,解决新建站带来的PCI规划、邻区错配漏配等问题,提升网络的切换率,降低掉线率等性能;在网络发展中期可以考虑引入MRO、

自愈愈等问题;在网络成熟期可以考虑引入MLB、RACH优化等技术。另外,在SON部署的过程中,需要进行充分的先期验证,以确保引入的SON技术能有效降低网络运行维护成本,提高网络质量。以4G某省开启存量站点数17687个为例,开启ANR功能后,自动优化配置LTE邻区195178条,根据自动配置各环节工时成本核算,开启ANR站点合计节约约2500工时。当然,在现网中也发现一些不足,例如超远邻区的错误添加等,需对这些问题进行总结和解决,迭代优化后进行现网推广和规模应用。其次,在i-SON的第二阶段,考虑结合新兴的AI方法(例如机器学习、云计算、神经网络等),对现有流程和算法进一步改革创新和优化,例如基于无线智控平台,考虑将MLB、MRO参数调整更智能化,进一步减少人工参与等。i-SON功能可以使得5G网络更智能、更高效、更低成本。

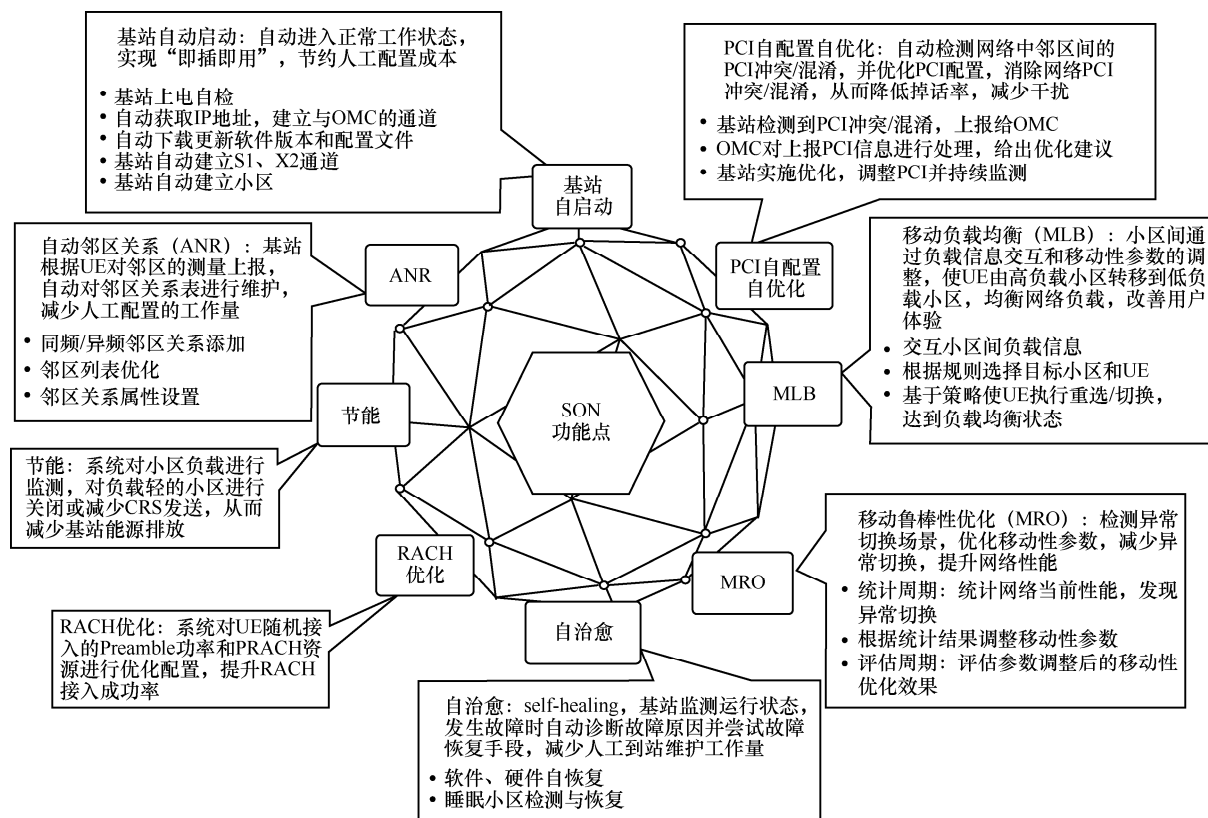


图6 传统SON体系功能点



6 结束语

目前,作为新基建之首,5G 正处在重要战略机遇期。5G 牌照发放后,在政府的领导和大力支持下,在产业链全力以赴的努力下,5G 发展速度超过以往任何一代,同时 5G 面临的复杂度和挑战也前所未有的,因此 5G 与 DOICT 的技术融合成为必然趋势。智简 5G 无线网络技术正是探索 5G 与 DOICT 融合的一种新思维、新技术、新模式。本文详细阐述了智简 5G 无线网络技术的技术理念以及架构,并对架构中无线智控平台和 3 种典型应用——i-RRM、i-Green、i-SON 进行了详细介绍,后续将通过对智简 5G 无线网络技术新发展理念的进一步完善和现网验证与部署,夯实 5G 网络基础,深化 DOICT 融合应用,力争打造绿色智简、高效运营、支撑万物互联的 5G 新网络、新生态!

参考文献:

- [1] 欧阳晔,王立磊,杨爱东,等.通信人工智能的下一个十年[J].电信科学,2021,37(3):1-36.
OUYANG Y, WANG L L, YANG A D, et al. Next decade of telecommunications artificial intelligence[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(3): 1-36.
- [2] O-RAN-WG3. O-RAN working group 3, near-real-time RAN intelligent controller, near-RT RIC architecture[R]. 2020.
- [3] SUN Q, CHIH-LIN I, DUAN R, et al. Data driven smart load balancing in wireless networks[C]//Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). Piscataway: IEEE Press, 2020: 1-7.
- [4] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); overall description; Stage 2: TS 36.300[R]. 2020.
- [5] 3GPP. NR; NR and NG-RAN overall description; Stage 2: TS 38.300[R]. 2020.

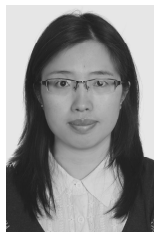
[作者简介]



黄宇红(1970-),女,中国移动通信有限公司研究院副院长、教授级高级工程师,主要研究方向为信息与通信工程等。



孙奇(1987-),女,博士,中国移动通信有限公司研究院高级研究员、高级工程师,主要研究方向为无线大数据、人工智能技术在无线接入网中的应用。



贾民丽(1981-),女,博士,中国移动通信有限公司研究院高级工程师,主要研究方向为 4G 和 5G 网络自优化、干扰、容量等。



段然(1980-),男,中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所副所长、高级工程师,主要研究方向为无线网络云化、无线网络智能化等。



陈卓(1978-),男,中国移动通信有限公司研究院主任研究员、高级工程师,主要研究方向为 5G 技术研发、试验验证等。