

## 11.1 网络运维工具

5G 引入虚拟化技术实现无线网灵活可控、开放可定制目标，也契合运营商网络转型方向。通过分析 5G 无线网架构，研究虚拟化技术在无线网中的应用、运营商典型的无线网虚拟化方案，为组建面向业务、高度智能的 5G 网络提供借鉴。

未来 5G 网络因为频段和业务的需求，将呈现出密集、复杂的网络结构，基站数量和部署密度将远超现有 4G 网络。随着软件定义网络 / 网络功能虚拟化（Software Defined Network/Network Function Virtualization, SDN/NFV）技术的不断发展，移动网络核心侧设备的虚拟化技术已经逐渐成熟，随着软硬件技术和能力的不断增强，各大厂商和运营商也开始研究无线侧虚拟化。为了提供一个能够面向应用、开放灵活、低成本和易维护的网络，无线接入侧网络虚拟化研究成为了业界研究的热点。

### 11.1.1 5G无线网架构

3GPP 的 5G 新无线接入技术（New Radio, NR）架构如图 11-1 所示，gNB 基站为终端提供 NG 的用户面（U-plane, UP）和控制面（C-plane, CP），eLTE eNB（升级后的 LTE 基站）基站为终端提供演进的全球陆地无线接入（Evolved Universal Terrestrial Radio Access, E-UTRA）的用户面和控制面，在标准规范里会同时提供 NR 和 E-UTRA 的用户面和控制面。gNB（5G 基站，3GPP 只命名未给出定义）之间、eLTE eNB 之间、NR 与 eLTE eNB 之间通过 Xn 接口互连。基站与核心侧网关（NG-CP/UPGW）通过 NG 接口实现多对多连接。

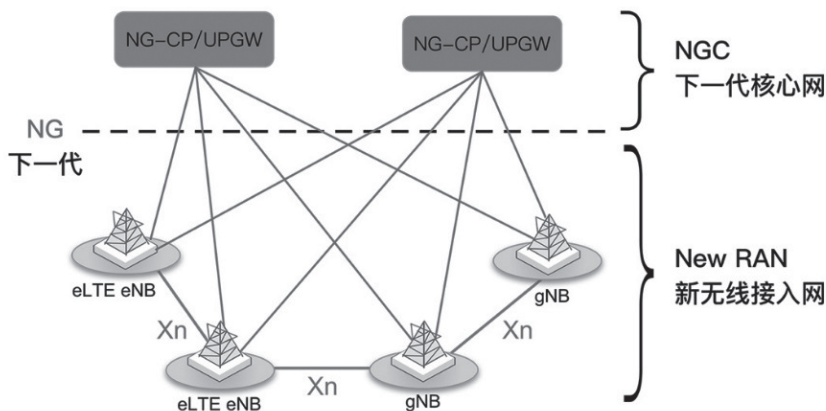


图 11-1

随着 5G 时代的到来，在“大带宽、超连接、低时延”的网络特征下，大量新技术和新业务场景不断涌现，区块链、边缘计算、网络切片、超密集组网、SDN/NFV、大规模天线等全新网络技术成为热词。相较于前几代移动网络，5G 网络能力得到了大幅度提升，5G 网络的上下行峰值数据速率可达到 10Gbps 以上，端到端的网络延迟亦可下降到 10ms 以内，并且具有高 QoS 保障的特性。借助 5G 超高移动网络带宽、低时延、高可靠、低功耗等网络能力优势，可以有效支撑 4K 高清无线视频监控摄像机 7×24 小时不间断实时、稳定地上传视频，以及支持手机 App 多屏幕实时播放监控视频。

网络用户出现切片及非终端用户的特征。

异构网络出现，用户在不同网络间的交互变得更加复杂。

### 1. CU/DU 切分

5G 将无线基站切分（split）成两个逻辑功能实体：集中单元（Centralized Unit, CU）与分布单元（Distributed Unit, DU）。

gNB 由一个 CU 和一个或者多个 DU 组成，DU 根据分离功能的设置，实现 gNB 的功能，其功能实现由 CU 进行控制。CU 与 DU 之间通过 F1 接口连接。CU 侧重于无线网功能中非实时性的部分（主要是无线高层协议，并承接部分核心侧的功能），便于实现云化和虚拟化；DU 负责除 CU 功能之外的所有的无线侧功能，侧重于物理层功能和实时性需求，目前尚不适用于功能的虚拟化，可采用专用硬件实现，如图 11-2 所示。

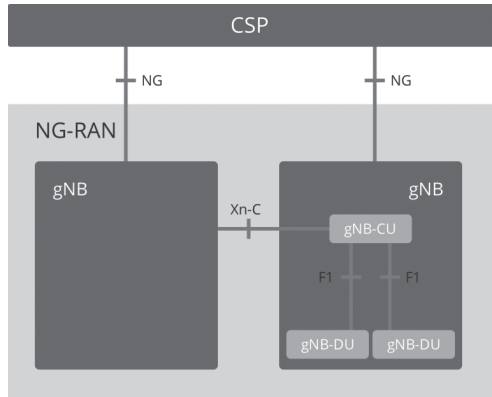


图 11-2

3GPP TR 定义了 8 种 CU/DU 切分方案 (option1 ~ option8)，逻辑位置分别在 RRC、PDCP、RLC (分两层)、MAC (分两层)、PHY (分两层) 之后，其中 option2 为高层切分方案，是标准化重点，DU 的部分物理层的功能可以上移至 RRU 完成。CU 可与移动边缘计算 (Mobile Edge Computing, MEC) 共同部署与之相应的 DC 机房，实现业务快速创新和快速上线，也节省了 DU 至远端射频单元 (Remote Radio Unit, RRU) 的传输资源。

CU/DU 分离的好处为：

- ✓ 有效降低前传的带宽需求 (DC 本地流量卸载/分流)。
- ✓ 提升协作能力、优化性能。
- ✓ 灵活的硬件部署降低成本，支持端到端的网络切片 (slice)。
- ✓ 部分核心侧功能下移。
- ✓ 降低系统时延。

## 2. UP-CP 分离

5G 需求对时延的要求非常高，需要将相关的网元下沉 (对应于运营商网络重构中的边缘 DC)，网元数量剧增，势必会造成网络的复杂度 (由类似 “树” 形结构变成 MESH 结构)，导致运营商投入巨大，信令的迂回也是很大问题。因此，5G 网络将控制面与用户面的分离以适应 SDN 架构的需求，支持网络可编程、可定制，将控制逻辑集中到控制面。

- ✓ 降低分散式部署带来的成本，解决信令迂回和接口压力的问题。

- ✓ 提升网络架构的灵活性，支撑网络切片。
- ✓ 便于控制与转发分离（LTE 实现控制与转发分离，但是不是完全的 UP-CP 分离），方便网络演进和升级。
- ✓ 支持多厂商设备的互操作。结合了 UP-CP 分离和 CU/DU 分离的 5G RAN 网络架构，如图 11-3 所示，CU/DU 切分采用 option2 方案。

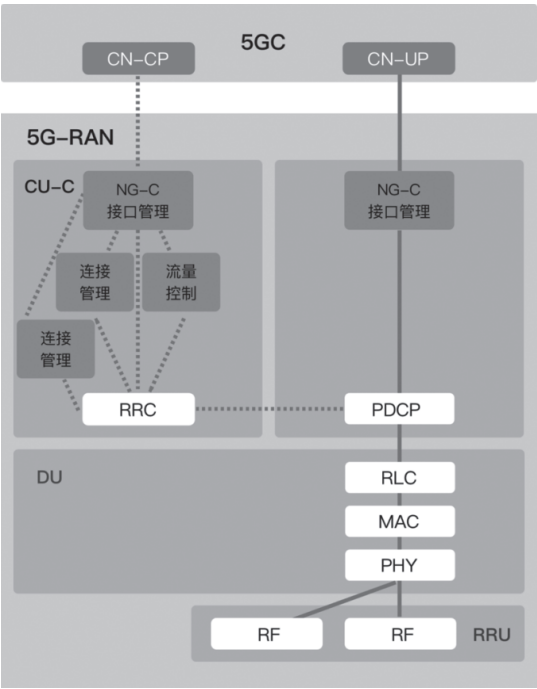


图 11-3

### 3. 无线网络虚拟化

无线网的虚拟化从两个方面分析，即网络资源虚拟化和网络功能虚拟化。网络资源虚拟化是对移动网无线侧的频谱资源、功率资源、空口（容量）资源进行虚拟化，网络资源虚拟化的结果是网络功能虚拟化的基础；网络功能虚拟化是对无线接入网的数据单元和控制单元以及部分核心侧的功能虚拟化。通过这两个方面的虚拟化，实现对无线网资源的有效调度和利用，从而提升资源使用效率并很好地支撑 5G 网络切片。无线网络虚拟化与承载 / 核心网络虚拟化相比，结构和特性更加复杂，不仅要考虑无线环境的不确定性、系统内外的干扰、

信令调度开销以及高速移动性等问题，还要考虑前传、中传和回传网络的容量和时延限制问题。

### 11.1.2 无线资源虚拟化

无线资源包括频域资源、时域资源、空域资源和功率资源等，以及传输带宽等资源。对无线资源的虚拟化，是通过 SDN/NFV 技术，将这些资源池化，通过映射等手段，使得对无线网资源的调度和配置与具体的网络资源无关，即调度和配置时对无线网络资源进行屏蔽，从而达到对无线网资源的最大化利用的目的。

如图 11-4 所示，虚拟网络控制器负责网络虚拟化，根据业务需求自动生成网络拓扑，并向虚拟资源控制器申请网络资源。节点链路控制器是根据网络可分配资源和不同业务申请所需资源的情况，进行底层网络资源与网络需求的合理分配。

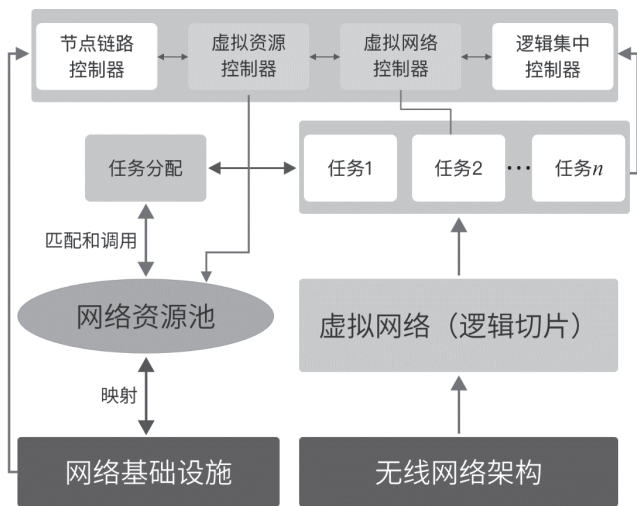


图 11-4

### 11.1.3 网络功能虚拟化

网络功能的虚拟化是通过 NFV 技术结合 SDN 技术的使用来实现，NFV 技

术（上层业务云化，底层硬件标准化）将网络功能转移到边缘云中的虚拟机（Virtual Machines, VMS）中，采用的是成熟商用的服务器（Commercial Off-The-Shell, COTS），这些 VMs 通过 SDN 技术实现与核心云 VMs 的互联互通。虚拟机可以较为容易地实现资源的分配与隔离，即软件功能与硬件功能的解耦，从而支撑 5G 网络的切片。为了满足不同的业务对时延等的不同需求，可以选择将网络功能设置在边缘 VMs 或是核心 VMs。

NFV 分层视图如图 11-5 所示，MANO（MANagement and Orchestration）包括三个层次或部分：①网络服务（NF）管理和编排，面向业务场景的网络服务与编排，网络服务的生命周期管理。②虚拟网元（VNF）管理与编排，虚拟网元的生命周期管理，虚拟网元相关的虚拟资源管理，虚拟网元的配置管理。③虚拟资源管理和编排，NFV 基础设施虚拟资源管理（计算能力、存储容量、网络功能）。

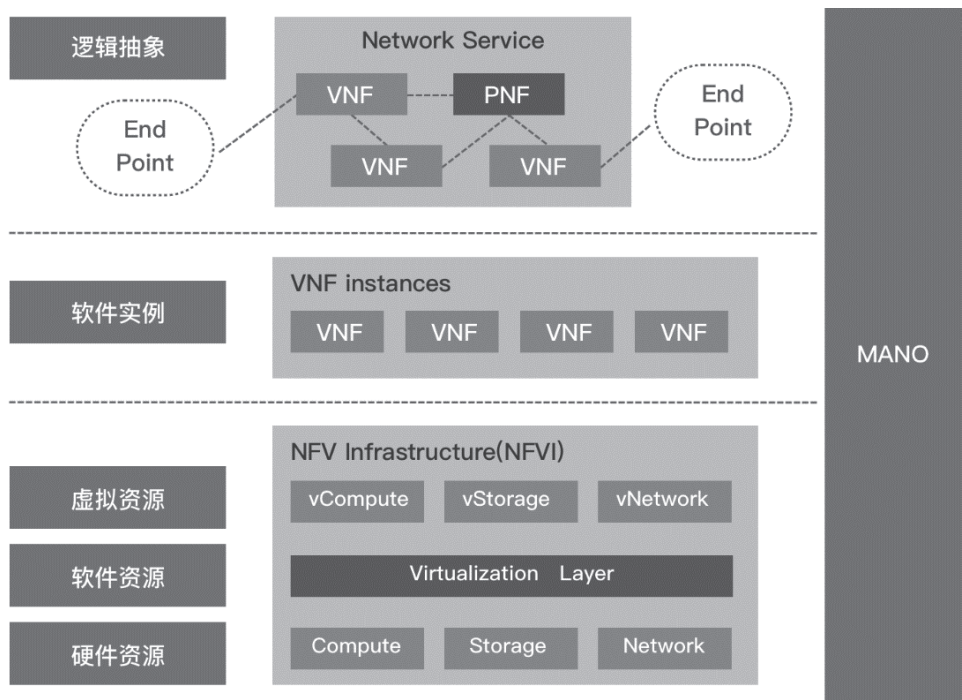


图 11-5

无线侧网络功能虚拟化，实现网络能力（承载）与覆盖需求的分离，使得网络节点能力的配置不受物理位置的限制，从而更好地为 5G 切片服务。

## 11.2 智能网络运维实战

“4G 改变生活，5G 改变社会”的万物互联互通理念正在逐步被社会各个领域所接受，进而为社会经济、生活带来革命性的影响。

AI 算法发展很快，学习对象从传统的静态数据收敛，逐步过渡到基于动态数据的持续学习，将原先突发性、不可预期性、不可重复性的无线网络众多数据变得有章可循。

尽管人工智能在智能规划中有着非常良好的应用前景，但至今业内仍然缺乏标杆式的案例及规模性的应用，AI 和通信网络的规划、建设、维护、优化等流程逐步有机组合起来，无线网络规划中 AI 的应用面临诸多挑战。

- ✓ 无线网络场景复杂多样、数据维度多、时变性强、信道变化随机性强，导致网络参数变动很大，传统的AI算法可能无法收敛或者效果比较差，难以准确建模，需要不断调整AI算法。
- ✓ 求解复杂度高，最优规划站点涉及MR弱覆盖、用户级别、异网竞对、聚类投诉等数据等多维度，求解非常复杂，而且在很多情况下难以求得最优解。
- ✓ 无法准确分类，无线网络存在诸多差别，难以找寻共性来准确表述。例如，在智能规划的互联网场景化问题中，通常表现出多样性和并发性，即使网优人员也难以辨别，运用人工智能的算法也许需要做大量的黑白名单标注工作。

高效的网络运营是成败的关键，网络规划需要考虑诸多的因素。

- ✓ 如何确定网络建设与资源投放的优先级？
- ✓ 话务热点在哪里？高价值用户在何处？
- ✓ 应该怎样确定网络高价值区域？
- ✓ 这个场景该用室分，新型室分，还是小站穿透覆盖？
- ✓ 如何保证VIP用户的最佳体验？
- ✓ 如何发现“流量受压抑”的区域，并释放网络潜力？
- ✓ 如何评估规划建设的效果或效能？



✓ 楼宇中的用户真实体验如何？

如图 11-6 所示，AI 在智能规划机器人的应用场景主要可以应用在无线网规建维优一体化智能管理的全流程中。

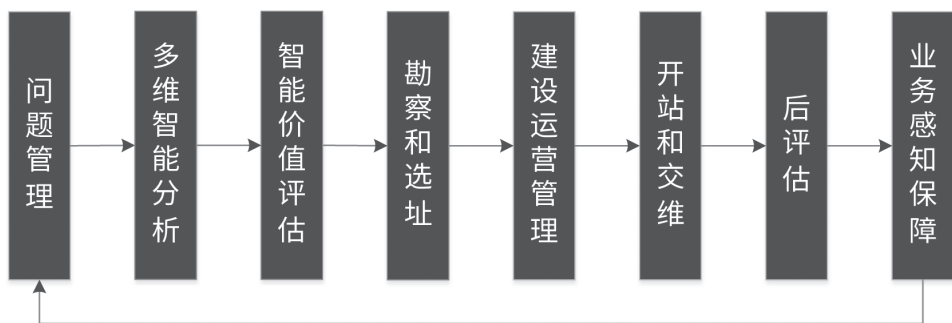


图 11-6

智能规划机器人需要采集的基础数据包括 OMS、VMOS、DT/CQT 测试数据、互联网 APP 数据。该解决方案通过使用指令适配、场景识别和 KQI-KPI 模型的匹配算法，实现无线网规建维优的四大核心能力（快速评估、敏感监控、自动优化、迭代规划）。

当前 AI 算法主要应用在中维智能分析和智能价值评估两个流程中。具体的算法包括基于神经网络的指纹库定位算法、基于神经网络的室内外用户区分和互联网化场景智能管理。

基于神经网络的指纹库定位，旨在通过引入 AI 这柄“利器”，依托人工智能的自学习、深度学习能力，在海量的网优数据（MR 弱覆盖 + 用户、竞对、投诉等数据）中抽取隐含的关联特征和规则，通过共性特征的提取总结，对未来网络演进进行预测。

具体就是利用包括 DPI 用户面数据、MR 数据、高精度楼宇地图、CAD 建筑文件、KPI 性能数据、投诉数据、口碑数据、套餐数据等数据，采用机器学习与神经网络、密度聚类、回归分析等算法，将细分场景、网络价值、流量压抑分析、高价值区域定位、流量潜力挖掘等按照指纹库形式呈现出来，如图 11-7 所示。



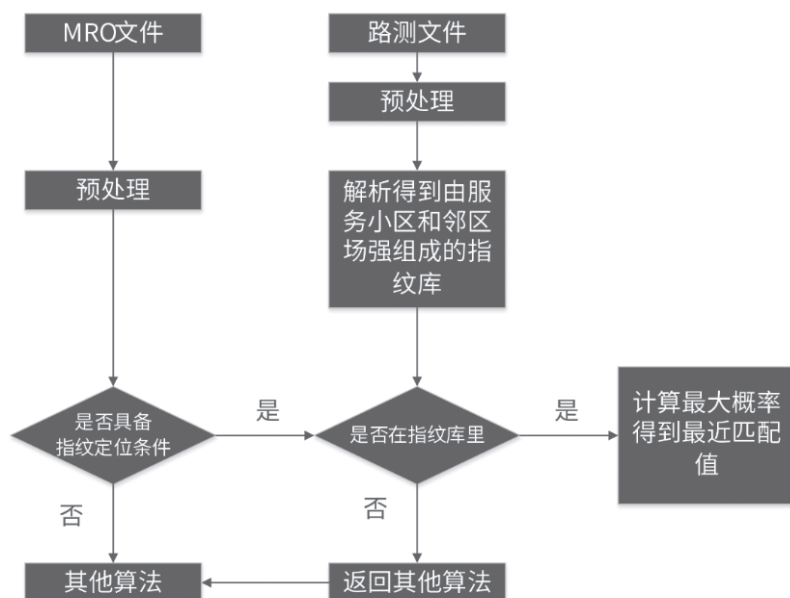


图 11-7

### 11.2.1 基于神经网络的室内外用户区分

随着 MR 定位技术的发展，定位精度的不断提升，同样促进了无线网规网优工作向更加精细化和智能化演进。

往往大部分用户和发生的业务位于室内，传统路测和不区分室内外的 MR 都无法反映室内网络质量；室内测试工作量巨大，测试范围和覆盖评估准确性都难以保证；室内外区分技术是解决 LTE 网络深度覆盖问题的关键技术，可快速、准确地对室外和室内楼宇的深度覆盖问题点分别进行评估，为网规网优提供更加精细化的数据依据。

基于神经网络的室内外用户区分算法原理如下。

- ✓ 对于服务小区为室分小区的场景，不考虑室分泄漏的情况，全部判断为室内用户。
- ✓ 对于服务小区为室外小区的场景，主要利用以下无线信号传播原理：对于位置相同或相近的室内和室外用户，主要区别在于建筑物的穿透损耗，室外用户 RSRP 比室内用户 RSRP 高 10~20dB，中值为 15dB 左右。

- ✓ 经过深度机器学习，对相同或者相近位置上的穿透损耗进行比对，获取大量的同小区同TA室内外用户路测RSRP的数据，同时在Wi-Fi的协助下，提高室内外用户定位的准确性。
- ✓ 加入时间和空间维度的考虑，提升定位的准确性。

### 11.2.2 无线网络智慧运营分析平台

互联网技术的飞速发展为人们的衣食住行带来了巨大的便利。电信运营商在给个人、政府、社会提供上网服务的同时，每时每刻都在产生大量的数据。其中，有些数据是由服务器或各种其他网络设备产生的，反映了服务器或网络的某些特性，符合一定的变化规律，挖掘这些数据背后的含义对监测网络安全具有重要意义。目前无线网络中存在着如下问题和挑战。

- ✓ 不同厂商、不同小区之间的网络数据质量层参差不齐。部分小区网络性能数据存在漏报、错报的情况，人工难以一一核查，对后期的网络优化造成隐患。
- ✓ 小区人数、周边网络环境变化对网络数据的影响实时变化，工作人员难以去现场核查并做出反应措施，对未来的网络流量变化不能做到提前预警。
- ✓ 室内、室外小区网络覆盖信号差别较大。随着无线环境、网络结构、用户行为以及用户分布的不断变化，需要对网络进行不断地优化和监视，能够很好地发现在网络中存在的一些问题，从而找出对网络质量有影响的因素，然后再通过对算法参数的调控、相关的技术手段使得网络能够达到一个最佳的运行状态，而且对于网络的增长趋势也能够有一定的了解，从而为以后的扩容提供一定的理论依据，最终使得网络的服务质量能够有所提高。通过对无线网络性能数据的研究，将无线性能指标历史数据的分布对比、异常诊断、趋势预测、扩容预测进行建模，且重点关注“五高一地”小区在这些领域的特征表现。紧密围绕智能自治网络运营战略，从实战层面加大提升运营商无线网络运营智慧化水平。
- ✓ 将人工智能运用到多方面的网络运营分析中，能够快速以及准确地找到网络异常点、提前判断网络趋势、给出准备的整改建议，大大提升

了网络管理运营效率，提高了智能化网络管理水平，对运营商整体的无线网络优化的集中化、智能化、自动化提供了支撑。

- ✓ 大数据的关键技术包括数据存储和数据挖掘，其中数据存储主要是依靠分布式数据库实现，数据挖掘是以大数据平台的搭建实现的，分布式数据挖掘技术就成为实现无线网络优化的核心技术之一。这一平台主要特点是利用不同节点上的自动部署来完成数据处理，这样能够对新数据实时更新，确保数据的稳定性和延续性。

从运营商无线网络运营的需求分析，针对现有无线网络系统中的需求，为运营商无线网络提供了一套无线网智慧运营分析解决方案。该方案主要有以下四个方面。

- ✓ 基于4G无线综合网管已有数据及功能，以大数据分析思路对网管数据在全网集中采集汇聚过程中的各层数据问题进行分析，其中数据源主要为：
  - 指标分布：对比同一设备网管，同一个指标在某个时间点前后的网管历史指标数据；对比不同设备网管，同一个指标相同时间段内网管历史数据。
  - 异常诊断：针对无线性能数据中的关键指标的取值，全国小区过去一周、一月的网管数据。
  - 趋势预测：同样针对无线性能数据中的关键指标的取值，全国小区未来一周、一月的网管数据。
  - 扩容预测：根据无线性能、感知和小区配置等多维网管数据。
- ✓ 建立数据完整性、合理性、稳定性等的诊断模型。梳理和对比目前异常值诊断领域的四分位差法、聚类分析、LOF等多种领先算法，最终选择一种最实用无线网络数据的算法：改进的LOF算法，实现 $T+1$ 时间反馈数据波动合理性诊断结果，夯实基础数据质量。
- ✓ 在对无线性能历史数据诊断结果的基础上，对比人工智能领域实用性较高的ARIMA、小波分析、LSTM等可用于时间序列分析的预测模型，同样选用一种最佳的预测模型：LSTM+DNN/GRU，对无线性能关键指标数据进行变化预测，从而在一定程度提前获知不同小区在关键指标上的变化趋势。

- ✓ 同时结合网管实际扩容情况、投诉等外部信息建立小区的关键标签，通过数据训练，建立小区负荷预警、隐患发现等模型，探讨机器学习在问题分析中的应用模式，建立综合网管的智能预警机制。

基于 AI 和大数据的无线网络智慧运营平台于 2018 年在福建电信试点运营，各功能的应用效果如下。

- ✓ 指标分布对比：本方案能直观展示不同网关设备在同一时期、同一网关设备在不同时期的分布差异性，针对厂商或省公司数据的异动能够有直观的展示，并且对比不同时期、不同网关设备的分布趋势，能够合理分配网络资源，提高网络利用率。
- ✓ 异常值诊断：结合深度学习的算法和无线网络性能数据，展示省、市、小区性能指标的异常情况，异常指标的变动情况，异常小区的分布情况等，结合地图网格，在地图上标注具有较高异常率的省、市、小区，针对异常地区集中做出整改方案。针对质差小区，该方案能够分析引起质差的关键指标，找到引起质差的根本原因，对症下药，及时阻断问题源头，防止网络事故进一步扩大，维护无线网络运行的质量。
- ✓ 趋势预测：依据历史性能指标数据趋势，结合时序的深度学习算法，对特定性能指标、特定小区未来一周或一个月的性能指标的变化趋势进行预测，准确率高于80%。对未来网络流量的分布能够做出一个准确的预判，针对关键的性能指标进行重点的监测，对未来网络中可能发生的故事进行及时的诊断和预防措施，降低网络事故率，提升网络连接质量。
- ✓ 扩容预测：该方案结合无线网络性能数据、感知数据和配置数据等，结合有监督的深度学习算法，对未来半年内的小区扩容情况进行预测，该算法的准确率高达99%。该方案能够每天实时更新各省份、各城市扩容小区的数量、扩容小区的分布、“五高一地”扩容的情况，使得管理人员能够根据预测结果，及时调整小区扩容方案，实施扩容措施，提高网络服务质量。

### 11.2.3 无线告警根因分析实战

随着 OMC 集中化以及 5G 建设，网络规模越来越大，越来越动态，告警

监控存在以下痛点。

- ✓ 大量现象告警淹没了原因告警。
- ✓ 网络庞大而复杂，告警压减和相关性分析规则的制定很困难。
- ✓ 各个局点的网络不同，统一的静态规则无法让告警压减最大化。

无线故障运维以小区退服和基站退服告警为高优先级，出现该类告警后，运维人员需要快速处理此类问题。

导致业务退服的原因有很多。特别是动环、传输等外部原因引发的单个或多个基站同时上报大量相同告警，此类告警由同一原因引起，但是人工进行故障位置和故障原因定位费时费力。

随着 5G 逐渐部署，网络结构更加复杂，跨层故障定位难，对快速定位退服根因提出了更大的挑战。

智能告警根因分析旨在根据现网存量告警进行自动学习分析，发现各种告警之间的关系，经过人工确认后，达到自动告警相关性分析和告警压缩归并的目的。

基于 AI 的智能故障诊断基于大数据分析和人工智能，根据系统中的网络拓扑，综合所有监控数据（包括告警、事件等）、操作日志以及故障解决历史记录，输出故障特征与故障原因的系列规则。在实际网络运维中，根据故障特征自动匹配诊断规则进行诊断，自动得出故障点及相关处理建议，如图 11-8 所示。

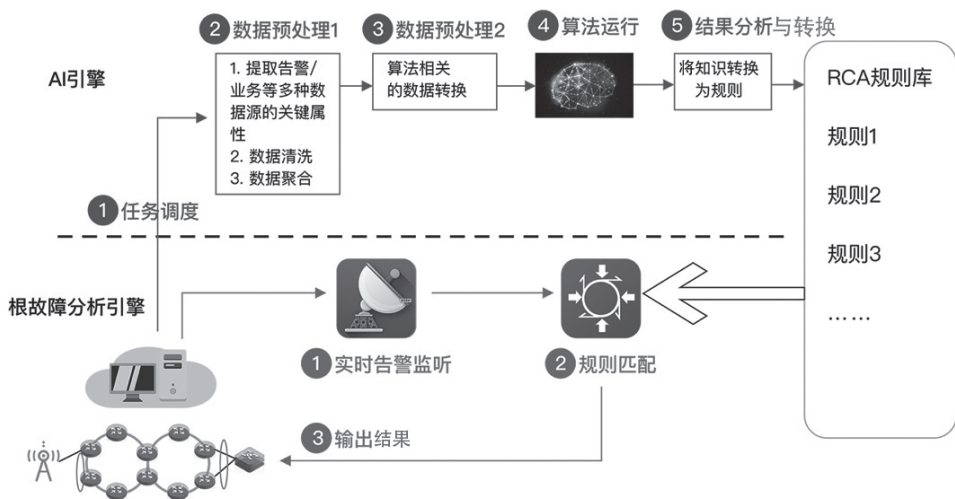


图 11-8

第一阶段：使用 AI 引擎进行规则识别。

①任务调度：根据项目的需要进行任务调度，既可以进行周期性任务调度，也可以手工触发调度。

②和③数据预处理：将数据从数据库抽取转换为算法需要的格式。

④算法运行：算法运行基于输入数据，并输出运行结果。

⑤结果分析与转换：将分析结果转换为业务规则。

第二阶段：使用根故障分析引擎进行故障处理。

①实时告警监听：监听生产系统的实时告警。

②规则匹配：将实时告警和部署的业务规则进行匹配并识别故障根因。

③输出结果：输出根告警和其他告警的关联关系，并识别故障根因。

适用算法：根因分析算法（频繁序列 / 项集、线性相关性算法）实现告警关联分析和根因分析；聚类算法实现基站网络拓扑分组。

接口：告警根因分析通过 FTP/RESTful 等接口定时采集告警数据。

数据：告警数据、配置数据、资源数据、操作日志、运维知识库。

经过在中国移动和中国电信 4G/5G 现网试用，退服告警压减率大于 45%。中国移动某局点现场管理 6000 多个 4G 站点，3 天共收集退服类告警 1108 条，具体数据对比如表 11-1 所示。

表 11-1

方法	告警自动分析率	告警压缩率
传统方法	0	0
基于 AI 的方法	77%	45%

11.2.4 人工智能技术在网络节能增效中的应用

随着运营商网络能耗的持续增长，主设备是节能的主攻方向。其中，无线站点主设备的能耗又成为重中之重。一个典型的运营商，其无线站点能耗大约占据 45%，而其主设备无线基站的能耗又占据了 50%。在无线基站能耗中，RRU（射频单元）占用了较大的比例，而在 RRU 中功放又占了较大的能耗比例。在实际网络中话务量在很多情况下具有明显的潮汐效应，当业务量很少时，基



站仍然处于运行状态，造成了极大的能源浪费。

减少无效能耗是节能的主要方向，但面临众多挑战。网络话务量忙时与闲时差异大，设备持续运行，能耗并未随话务高低动态调整，造成浪费，需要构建“Zero 比特，Zero 瓦特”的能力。但在一个典型的网络中，场景特性差异较大，如何自动识别各种不同场景，制定匹配的节能策略，成为节能的关键。

- ✓ 商业区：用户体验要求高，但有明显的潮汐效应，夜间话务量很低。
- ✓ 居民区：容量要求高，全天话务量大，话务波峰波谷不明显。
- ✓ 郊区：容量要求较低，话务量低，站点稀疏，站点覆盖范围大。

传统的节能方式，因为需要人工分析海量数据，包括公参数据、网络存量、特性适配、站点共覆盖、多频多制式网络识别等，所以往往采用人工设置统一关断参数。但因为参数无差异化，无法自动匹配不同场景，无法与个站话务强匹配，导致话务忙时，因参数设置不合理而业务受损，影响 KPI，而在业务闲时，因参数设置不合理，节能效果无法最大体现，如图 11-9 所示。

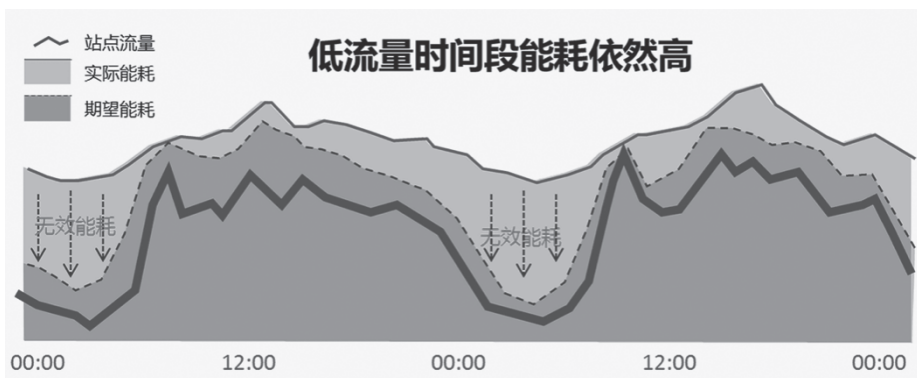


图 11-9

移动网络节能解决方案，可实现利用 AI 技术的智能节能，实现不同场景、不同站点、不同时间、多网协同节能。并可在保证 KPI 稳定的基础上，最大化网络节能效果，实现能耗与 KPI 的最佳平衡。

其整个方案分为评估设计、功能验证、节能实施及效果调优四个阶段。

在评估设计阶段，系统通过大数据分析，自动梳理现网主流场景，并根据业务模型和基站配置分析，进行节能场景分析，据此可进行不同特性组合，网



络环境及场景下的节能效果评估，自动预估节能效果并进行方案设计。

在功能验证和方案实施阶段，利用网络管理系统、可以对全场景的能耗进行自动监控和分析，提供精确的能耗报告，并根据自动节能策略和参数设计，完成开通及效果验证。实现一站一策，快速高效启动全网节能。

在效果调优阶段，根据全场景话务模型、节能效果和 KPI 趋势的大数据分析，系统会利用 AI 算法，自动依据不同的话务模型及网络变化优化门限参数，监控指标及能耗，进行自动参数调整，达到节能效果与 KPI 的最佳平衡。

在整个过程中，有三项关键技术起到了重要作用：小区共覆盖学习、自动化多模节能策略协同及 AI 载波关断门限寻优。

### 1. 小区共覆盖学习

传统的共覆盖识别方法主要根据公参，来选择经纬度方向角完全相同的容量及覆盖小区，对共覆盖小区辨别的准确度欠佳。智能节能系统具备共覆盖学习算法，针对容量小区用户，统计终端对异频的支持率，且主动发起异频测量，如果终端支持率和测量成功率均超过一定门限，则认为存在共覆盖关系，否则认为存在覆盖空洞。经过周期性刷新学习结果，系统自动建立站内和站间的频段共覆盖关系，可以将节能的生效场景提高 20% 左右。

通过分析海量测量报告信息和业务信息，智能节能系统能发现网络中的节能小区及其补偿小区，并预测业务变化趋势。当节能小区处于低业务负荷状态时，系统将把节能小区的业务迁移至补偿小区，并将节能小区休眠。同时，通过实时监控功能，系统能够在业务尖峰到来时及时唤醒休眠的节能小区，以保证网络质量，如图 11-10 所示。

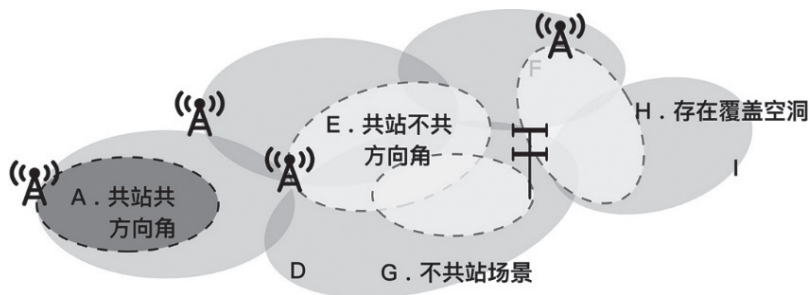


图 11-10

## 2. 自动化多模节能策略协同

传统的节能方式采用单制式独立节能，频段内跨制式未整体关断，RRU 无法整体休眠，节能收益小，节能参数手工配置，效率低，节能参数无差异化。智能节能系统采用自动化多模节能策略协同，可实现多制式多频段协同，频段内跨制式协同关断，频段间多载波关断，并可实现小区级自动化节能参数差异配置，无须人工参与。采用该技术后，可使多模站点节能 5% 以上。

## 3. AI 载波关断门限寻优

对于节能而言，进入关断门限越高，则节能效果越好。但传统的节能方案，由于全网场景的多样性，场景特性差异较大，无法自动识别各种不同场景，制定匹配的节能策略，故节能关断进入门限保守，节能效果受限。采用 AI 载波关断门限寻优技术，可以寻找负载门限与性能拐点，最大化节能。

系统会自动基于流量预测及强化学习，寻优关断门限，并在线迭代优化，在保证 KPI 无损的情况下，可实现关断时长增加 10% 以上。

通过对网络中大量小区的历史数据：时间、负荷信息、邻区关系，以及其他外部因素，如天气、特定事件等多维度的数据作为输入，以小区 / 小区簇 / 区域级别进行 AI 建模，从而预测出未来一段时间内小区 / 小区簇 / 区域负荷情况，同时结合不同的节能功能（载波关断、通道关断、符号关断等），从而确定该范围内小区中针对不同节能功能的最佳节能时间。

在预测建模中，还需要监测网络关键指标的 KPI，根据 KPI 的变化情况对当前使用的预测模型进行反馈，以进一步迭代预测模型，最终达到节能和系统性能的最优点，如图 11-11 所示。

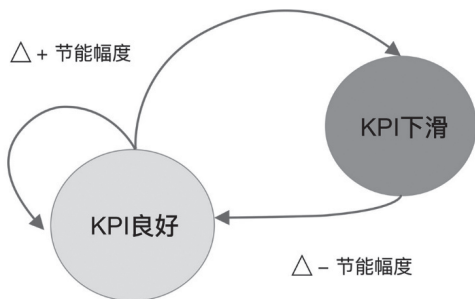


图 11-11

算法：基于时间序列类算法（如 ARIMA）或者回归类算法（如随机森林）或者神经网络算法，均可以实现对负荷的预测。

涉及数据集：主要涉及历史负荷数据、历史性能 KPI 数据、邻区关系及其他外部信息，如天气信息、事件信息（如特殊聚会活动）等。

如果 AI 可以精确地预测出未来一段时间的负荷变化情况，当负荷较低时，网络侧便会预判该时间段可实施的节能功能，并且预估该时间段启动节能的效果，从而有效地提高节能时间段的节能效率。通过 AI 方法可以准确地预测节能应用的有效时间段，从而减少人工配置中由于不合理的节能时间段配置造成的对性能 KPI 的影响。同时对于重点保障场景，可以通过预先设定的白名单，在该场景下不实施节能功能，以避免节能对这些场景的影响。

在典型网络配置下，能够降低基站能耗 10% ~ 15%，每千站一年节约 200 万千克的二氧化碳排放。智能节能已在国内 15 个省市进行部署应用，累计应用规模超过 50 万个小区，系统可实现每万小区年节电 40 万千瓦时。