



网络智能,以“智”赋“动”

Network Intelligence: Artificial Intelligence Endows Network Automation

杜永生/DU Yongsheng¹

蒋新建/JIANG Xinjian^{1,2}

巫江涛/WU Jiangtao¹

(1.中兴通讯股份有限公司,广东 深圳 518057;

2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室,广东 深圳 518057)

(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;

2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518057, China)

摘要: 通过分析一种较为系统的思维模型,提出了在网络智能中“以智赋动”的观点。通过网络元及用户智能识别、网络资源智能调度、网络智能保障、网络业务智能编排 4 个主要智能能力,分别赋予网络自动化用户通信环境适应能力、自动化网络资源优化能力、自动化故障修复能力、自动化业务适应能力。介绍了当前系统节能、智能无线资源管理(RRM)、边缘智能、智能网规网优、智能运维保障、网络安全 6 个应用级子方案。最后提出了 MAPE-K、智能服务侧挂、模型驱动、三层共享等顶层设计思路,作为后续网络智能化架构设计的参照。

关键词: 网络智能;思维模型;智能 RRM

Abstract: Based on the systematic thinking model, “artificial intelligence endows network automation” is put forward. Through the intelligent identification of network elements and users, intelligent scheduling of network resources, intelligent guarantee of network resources and intelligent arrangement of network business, the network automation users are endowed with communication environment adaptability, automation network resource optimization capability, automatic fault repair capability, and automation business adaptability. Then six sub-schemes of system are proposed, including energy saving, intelligent radio resource management (RRM), edge intelligence, intelligent network regulation network excellence, intelligent operation and maintenance guarantee, and network security. Finally, the MAPE-K, intelligent service side-hanging, model-driven, three-tier sharing and other top-level design ideas are proposed as the reference for the following intelligent network architecture design.

Key words: network intelligence; thinking model; intelligent RRM

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902011

网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190408.0855.002.html>

网络出版日期: 2019-04-08

收稿日期: 2019-01-30

1 网络智能的业界解决思路

1.1 利用人工智能(AI)解决网络相关问题

如何利用 AI 解决网络相关问题,目前业界有 2 种做法:

一种是自上而下,即以技术驱动应用。尽量利用成熟的 AI 技术解决网络中的问题。如果能保证最终效果,甚至不惜重新定义网络中的业务问题来适配 AI 技术。例如某国的运营商通过无人机来寻找弱

覆盖区域^[1],如果这个做法在城市中能普及,将大幅颠覆原有的网优业务流程。

另外一种是自下而上,即业务驱动技术。先对现有网络生产、管理、运营流程的问题进行梳理,从这些问题出发估计可能使用哪些 AI 技术,然后研究相应的 AI 技术来解决当前流程中的问题。例如某国运营商提出从自组织网络(SON)或网络优化流程出发,通过将 AI 技术应用到 SON 中,提高现有算法的性能

和自适应能力,以及面对不同小区/用户的个性化适应能力。这种做法有针对性,但是算法如何设计、训练、应用,须要自行研究,而这个研究工作恰恰是整个网络智能化中最难的一环。

1.2 AI 技术在 IT 领域的进展

谷歌于 2016 年提出基于机器学习的 Zero Touch Network^[2]的概念,通过机器学习让网络层自适应运营业务的变化,达到自动扩容、自

动编排新业务。在Garter 2017年的关于智能运维(AIOps)^[3]的报告中,则把网络智能运维的关注点集中于智能检测、预测、根因分析3个维度。Cisco提出的意图网络^[4],就是通过语义理解技术将用户的意图转换为网络资源的自动部署和自动保障需求。

网络智能涉及问题的思考方向,从抽象的层次来看,分为3点:

(1)贯通整合。从空间角度来看,这是一个整体能力的体现,即利用人工智能善于获取各层数据并关联的能力以及较成熟的语义理解技术,整合贯通网络业务涉及到的各层次及各层次端到端的网元器件。例如Zero Touch、意图网络涉及到的都是端到端网络资源的整合。

(2)自适应和模糊逻辑。从空间维度上看,这些都是网络中每一个层次或个体的智能化体现。利用人工智能技术擅长的模式识别能力,对现有网络进行画像,并进行自适应调整,达到网络资源使用最优化;利用人工智能的数据关联能力替代逻辑,解决人力思考的时间成本,AIOps就属于这种范畴;利用数据监测控制耗能成本低的特点,针对网络中的最小个体(例如单个用户)进行监测控制并进行个性化的自适应调整,提升用户感知。

(3)预测。从时间维度上看,利用人工智能自优化学习和善于从历史数据预测未来的能力,在问题出现之前进行针对性部署,能够避免在问题造成既有损失后再设法弥补的情况。例如AIOps利用预测进行预维,理论上可以把故障降低为零;

SON领域的预测优化场景,可以避免损失出现。

2 网络智能化的问题分析

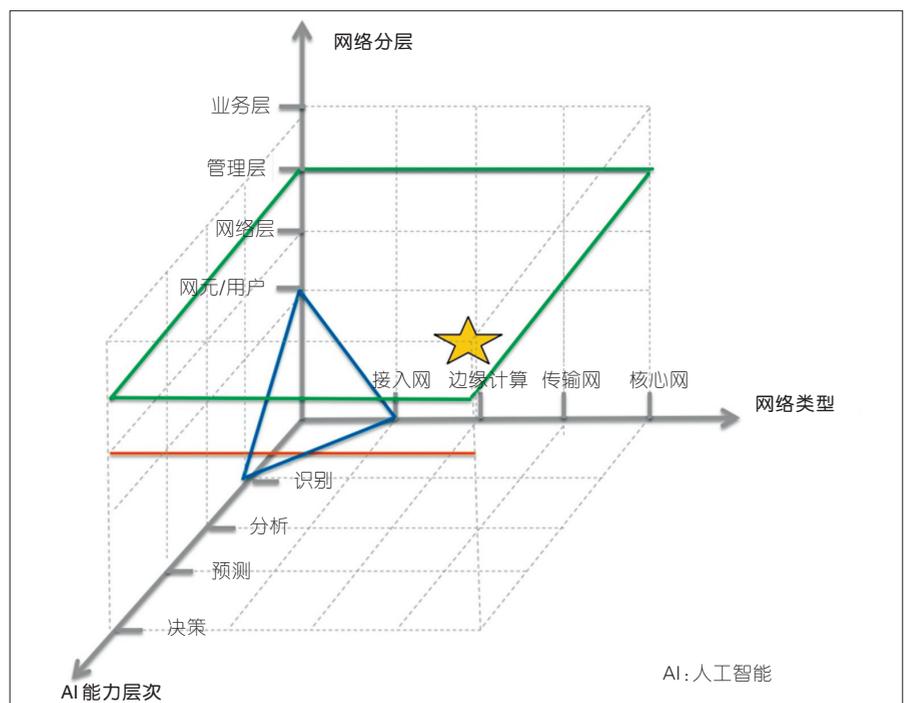
在通信领域,为了识别人工智能技术带来的价值,减少相关风险,我们尝试提出一种较为系统的思维模型,希望能对人工智能在无线通信领域带来的问题进行较为系统的分析,并对各种问题的关键特性、价值、难易程度进行简要说明。

这个系统的思维模型如图1所示,我们从AI能力简易分类、网络传统管理层次模型、网络类型3个维度对目前网络智能问题进行思考。网络类型按照数据流动的方向进行分类排列;网络分层参照电信管理网(TMN)分层模型,并针对网络智能化应用做了一些调整,将用户和网元合并为一个层次纳入进来;网络层是指管理网络资源优化、

均衡、调度业务的层次,管理层则是指保障网络正常运行的层次,业务层是面向运营商最终用户的服务的层次。AI能力分为识别、分析、预测、决策。识别是指从海量数据中学习和匹配复杂模式;分析是指从高维数据中寻找相关和因果关系;预测是指在时空维度学习数据分布规律预测未来事件;决策是指在高度复杂场景下多目标优化联合求解。从这3个维度出发,我们可以思考在某一种网络的某一个运作流程,能利用AI的什么能力来解决什么问题,通过这样的模型进行全方位、有条理的思考。下面我们将按照网络分层模型对各个层次逐一进行分析。

(1)网元/用户层次。

如图1所示,在这个层面出现了一个三角形区域。该区域由无线接入网络类型、网元和面向复杂的



▲图1 AI在通信网络应用的层次模型

信道模型和可移动的用户模型、AI识别能力构成。

- 选择无线接入网络类型是因为其数量大,并是目前4G和未来5G主要的接入方式,本身涉及到当前通信网络的核心竞争力。

- 该领域主要利用AI技术中的识别技术,通过对无线通信物理层和空口的各种场景进行识别,提高各种空口算法性能和准确率。该领域还能对于用户使用模型和个人通信环境的识别、网络通过自适应识别结果来大幅提高用户感受。例如利用AI对信道的学习识别自动适配各种参数的链路自适应技术,并通过射频指纹来识别用户的通信环境。

- 该领域主要的困难是数据采集和AI应用理论比较欠缺。从数据的角度看,网元的空口信道和用户的使用模型、数据收集和建模非常困难,且属于无线通信特有,是通信设备商的核心竞争力所在,无法从相邻领域借鉴。另外,业界公开的论文质量一般,我们必需脚踏实地自行研究。

尽管非常困难,但由于提升网元性能和用户感受是通信设备商的核心竞争力所在,因此我们须要作为长期项目跟踪研究。

(2)网络层面。

该层面涉及的范围是图1中的一条线,由决策技术、所有网络类型构成。资源优化本来就是所有网络的主要设计目标,涉及的主要AI技术是模糊决策技术,即并非一定需要找到逻辑明确的原因,只要能帮助改善网络资源利用效果的决策动

作即可。

- 网络层面进行资源优化设计的范围比较广泛,即应用比较广泛,例如大规模多输入多输出(MIMO)自适应调整、小区负荷均衡、流量均衡等。

- 网络层面引入AI在近期实现的可能性非常大。从数据的角度看,网络测量的数据本身就已经在搜集,存储非常规范;从技术的角度看,网络资源优化的相关学术论文较多,质量较高;从可借鉴的角度看,信息技术(IT)和通信技术(CT)问题域非常类似。另外,由于人工智能上线,导致算力提升,即使利用传统方法也可能解决部分问题。

- 由于存在规模效应,网络层面优化的绝对效果往往非常惊人,例如采用了大规模MIMO智能自适应的网络,初步实验中吞吐率上升10%,资源利用率上升20%,对于规模网络来说每一个百分点带来的绝对值效益非常惊人。

网络层优化相关技术较为成熟,且存在规模效应,绝对价值对运营商来说吸引力非常大;因此,应该属于新兴产业中所谓“低垂的果实”,是短期内需要重点突破和投入的方向。

(3)管理层。

如图1所示,这个层面涉及的范围一个四边形区域,由所有AI技术、所有网络类型构成。该区域的管理流程和基础数据类型和IT网络类似,所以基本可以借鉴AIOps的方法论。

- 管理层优化主要是解决运维方内部人力和网络质量问题。根据

Garter的AIOps的方法论,关键问题的方向是异常检测、根因定位、模式识别和预测。关键性能指标(KPI)异常检测和故障定界都是较为成熟的例子。

- 管理层的流程和基础数据类型基本和IT网络类似,且数据存储比较规范。从技术上看,此领域受众较网络层更为广泛,相关的论文数量多,IT业界智能化技术领先的公司也在进行研究,所以容易出现成果。

- 管理层优化的规模效应没有网络层资源调度明显,但因该领域向上连接业务层,向下连接资源层,根据IT领域的发展情况,是最有可能实现端到端场景的层次。

智能化技术领先的公司正在进行该领域的相关研究,成果比较多,技术、机制较为成熟,也容易出现新的观点和业务思路,且能提高运营商的运维效率,所以应是短期内业界主要保持研究跟进的方向。

(4)业务层。

如图1所示,这个层面是五角星的一个点。之所以是一个点,因为这个层次是3个维度整合的顶点即核心网、业务层、AI决策能力的整合。网络类型层面则是由接入网到核心网,最终构成一条完整的业务链条;识别、分析、预测和决策4种AI能力尽管能各自发展、独立应用,但大致上存在一个层层递进的关系,AI决策依赖识别、分析,而业务依赖管理层的网络质量保障和网络层的网络资源优化。

- 目前该领域主要的需求是在不同网络类型的端到端、网络分层

层面、用户业务到网络资源端到端;在 AI 层面,则是完全的自动化诉求,目前标准提案中的意图网络则体现该诉求,将用户意图翻译为端到端网络资源需求,然后自动激活、保障、优化,全过程能够通过 AI 自主决策。

- 这种意图网络的概念来源于 Cisco,在 IT 云网络中实施,CT 具备一定的借鉴性,但 CT 虚实结合的网络和 IT 基本完全的虚拟化和云化网络存在一定的区别。从数据的角度看,不仅仅是单个领域的数据存储、收集问题,而是多个领域的数据搜集、存储以及规范性问题;从技术上看,需要在基础数据建模和网络各领域元器件可驱动的行为建模达到一定的深度、广度和较高的规范性之后,业务层 AI 化需求才能变得鲜活起来。

- 业务层 AI 化来自运营商的渴求,具备大一统性,较为理想,但复杂度非常高。其难点在于该需求基本包含了 3 个维度的方方面面,因此要求所有方面都要遵循规范的建模。

目前该需求价值非常高,较为理想;但实现复杂度高,要求对现有网络和未来网络的所有方面进行整合。笔者认为这种需求规划要提前,并需要按部就班,对需求分割分别实现,并建议首先从数据规范化全领域建模开始。

3 网络智能分级及典型场景

在通信网络中,无论是网元/用户、网络、管理、业务任何一个层次,使用哪种智能运维技术,对应智能

运维技术领域中的成熟程度如何,其目的都是赋予网络更广、更快的自动化程度。如图 2 所示,从价值和技术成熟度出发,通过网络层资源的智能调度,赋予网络更强的资源自动化组织能力;通过网络智能保障,赋予通信网络更强的故障自动化修复能力;通过网络智能编排能力,赋予网络业务自动化适应能力;通过网元,用户智能识别能力,赋予网元对通信环境和用户个性化需求的自动化适应能力。每一种能力都能增加网络不同方面的自动化程度。尽管每一种能力的成熟程度存在差别,但总体来说,智能化技术和网络自动化总体上体现出以“智”(智能技术)赋予网络“动”(自动能力)的关系,且不同的智能化技术推动网络前进,不同技术的智能化的成熟度共同决定了网络的智能化程度,网络的智能化决定和定义了网络的自动化深度和广度,如图 2 所示。我们将网络智能化等级和自动化程度 2 个维度引入网络智能分

级,具体如图 3 所示。

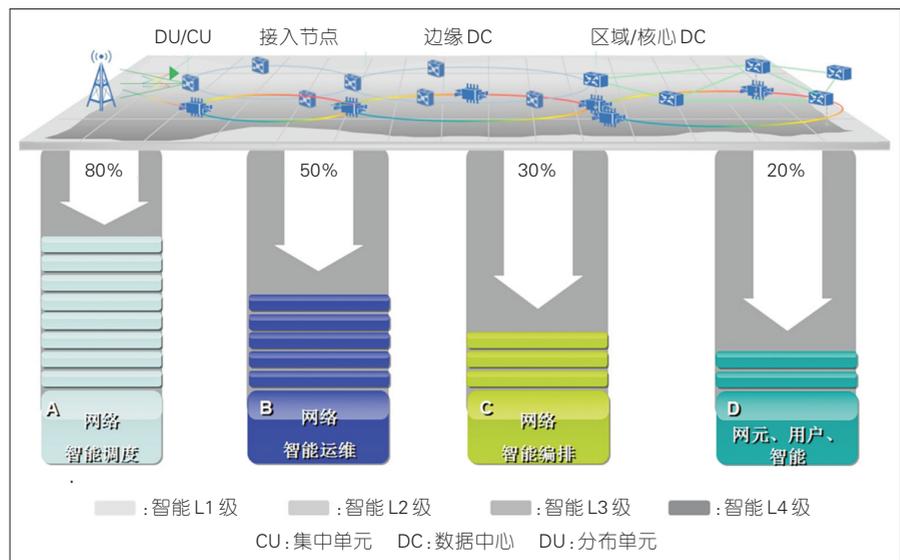
在网络自动化发展的过程,智能化技术参差不齐的发展速度如图 2,值得我们对此进行思考。

(1) 必须承认技术发展速度的差别,须要保持每一种能力都能自行迭代前进;在保持不同能力松耦合前进的基础上,也要注意不同能力融合衍生产生新价值的趋向。

(2) 网络自动化发展的过程,不仅仅依赖智能技术的发展,还包含各种数据采集的深度、广度以及相关建模的规范性发展,因为智能必须依赖足够的规范化数据。

(3) 网络智能化技术发展的过程须要防止颠覆性技术的出现,造成技术断代,形成难以弥补的差距。网元的算力、架构、空口模型的进展是一个值得重点关注的领域。

(4) 不同的智能化技术发展速度不一,导致往往初期出现的是一个点,无法独立形成一个完整的场景价值闭环(一般是原有网络各种场景闭环的补充);同时也会导致不



▲ 图 2 通信网络领域的可智能化、可自动化程度

等级/名称	关键特征	分级评估维度					
		执行	数据采集	分析	决策	需求映射	智能化场景
L0 人工运营网络	全人工操作	人工	人工	人工	人工	人工	无
L1 辅助运营网络	工具辅助数据采集 人工分析决策	系统为主	人工为主	人工	人工	人工	部分场景
L2 初级智能化网络	部分场景基于静态策略 自动分析 人工决策	系统	系统为主	人工为主	人工	人工	部分场景
L3 中级智能化网络	特定场景实现动态策略 自动分析 预先设计场景系统辅助 人工决策	系统	系统	系统为主	人工为主	人工	部分场景
L4 高级智能化网络	系统实现动态策略完整 闭环 预先设计场景系统自动 完成需求映射	系统	系统	系统	系统为主	人工为主	部分场景
L5 完全智能化网络	全部场景系统完成全部 闭环 系统自动完成需求映射	系统	系统	系统	系统	系统	全场景

▲图3 网络智能分级

同场景的自动化程度不同。

(5)在网络智能化过程中,初期会出现被称为低垂的果实的技术和需求,体现出技术好实现、用户价值高的特点。谁能抓住,谁就能迅速打开市场,依赖这个补充体力去摘取顶端的果实。

(6)在这个过程中,场景、价值

整合能力非常重要,即以点带面的能力。从一个智能技术点带动一个用户价值,形成对用户有利的场景。

中兴通讯无线网络智能化的场景规划、子方案整合如图4^[5]所示。

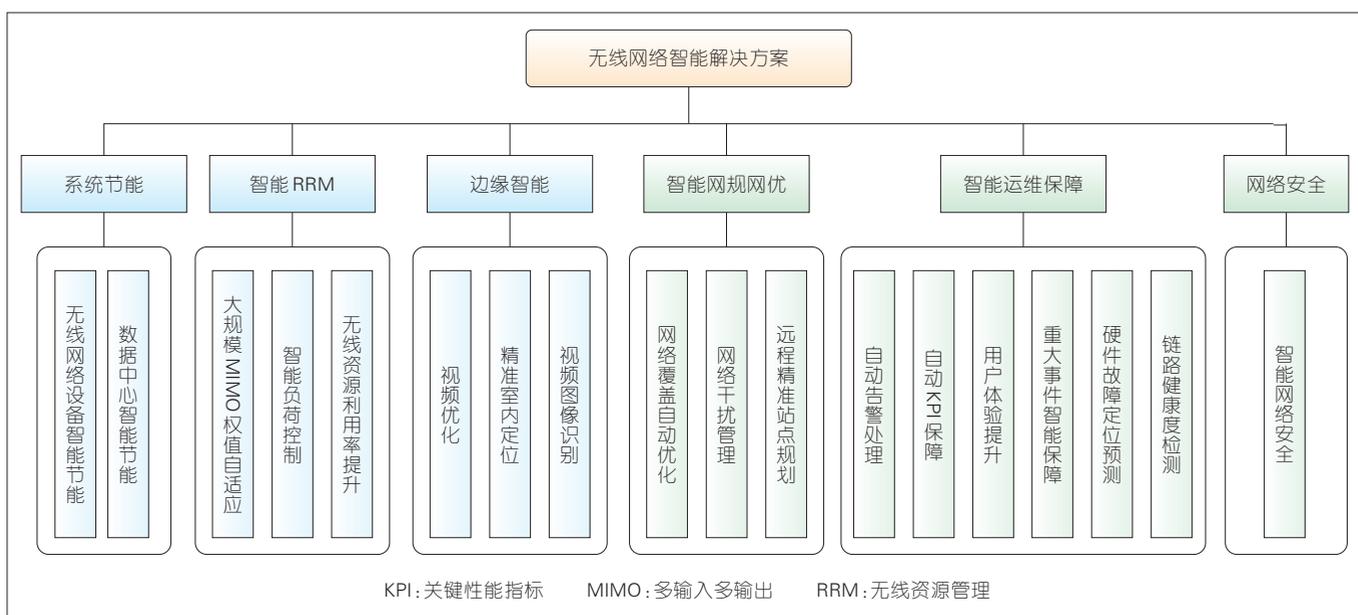
从智能网元、智能保障、智能业务等层次出发,以自下而上的方式,通过业务驱动技术,总结智能技术

涉及的业务点,中兴通讯提出了面向用户的解决方案。

(1)节能子方案中分为多个场景,对于其中的无线侧节能,初步估计能通过制式频段协同节能10%~15%;通过共覆盖识别可增加20%可休眠小区;通过在线调优可增加10%节能生效时间。

(2)智能RRM子方案中分为多个子场景,对于其中的大规模MIMO权值自适应,可通过特殊场景的大规模MIMO权值自适应和一般场景的大规模MIMO权值自适应。实验验证小区流量提升10%,场馆提升流量5%~20%;另外一个场景则通过跨站负荷控制(T-Robot)和基于无线指纹和负荷的载波聚合(CA)策略、基于射频指纹的负荷均衡(LB)、基于负荷预测的移动性负荷均衡(MLB)的应用,通过实验数据得到下行速率提升13%,上行速率提升17%的效果。

(3)边缘智能通过边缘网络对



▲图4中兴通讯无线网络智能化的场景规划、子方案整合方案

于用户的视频体验感受进行评估,以提升用户的视频感受,满足其他较大数据量业务的需求。

(4)智能网规网优主要能够对网络的规划部署、生命周期优化、智能保障能形成一个较好的智能业务闭环。其中,网络覆盖自动优化依托多维大数据,建立覆盖优化功率调整和倾角调整模型,自动输出优化方案,构建一个覆盖优化闭环反馈系统。

(5)智能运维过程中包含多个子场景,通过对其中KPI保障进行说明,以及KPI劣化检测、根因定位和TOP小区自优化、日志分析定位等技术缩短故障解决周期,日志分析定位可节省80%的时间,达到个性化调优,自适应潮汐变化。

(6)网络安全通过机器学习(ML)异常事件识别算法,支持分布式拒绝服务(DDOS)、蠕虫病毒攻击后流量模型识别,触发编排隔离物联网(IoT)设备,对异常的IoT设备进行隔离,保障网络服务(NS)切片业务正常。

4 智能运维的顶层设计

智能运维的总体解决方案基本是依据MAPE-K^[6]的架构特点进行构建,如图5^[7]所示。

M(Monitor)代表监测控制,主要是对生产环境中的实时数据进行智能监测控制,及时发现问题;A(Analyze)主要指对数据进行智能分析之后,通过分析模型,如通过根因分析输出某一个特殊事件的上下文,并通过这个上下文确定问题的根本原因等;P(Policy)为根据

分析输出的模型和本地运营网络的基本策略,编排各种原子服务处理分析结果,完成自动化运维,原文中是“Plan”(计划)的含义,即所处技术的发展,已经被策略(一种动态的计划)替代;E(Execute Service)为网络运维的各种原子服务,一方面能直接对网络节点生效,一方面为Policy提供编排的资源和网络原子服务。

除此之外,该架构还具备智能侧挂、模型驱动、三层共享等特点。

(1)智能服务侧挂。

MAPE-K架构和当前各层生产系统的关系体现在侧挂系统的设计中,如图6中左图所示。这个方式首先在Cognet^[8]中被提出,然后我们做了多层侧挂的衍生。智能技术为当前生产系统提供各种服务,在网元侧通过边缘计算提供智能计算服务,用于网元的实时推理;在管理侧提供外挂系统,给现有的网络管理服务提供智能服务,用于网元的非实时智能业务。这种架构的技术特点是如果撤除侧挂智能服务,现有生产系统也能照样运行,只是自动

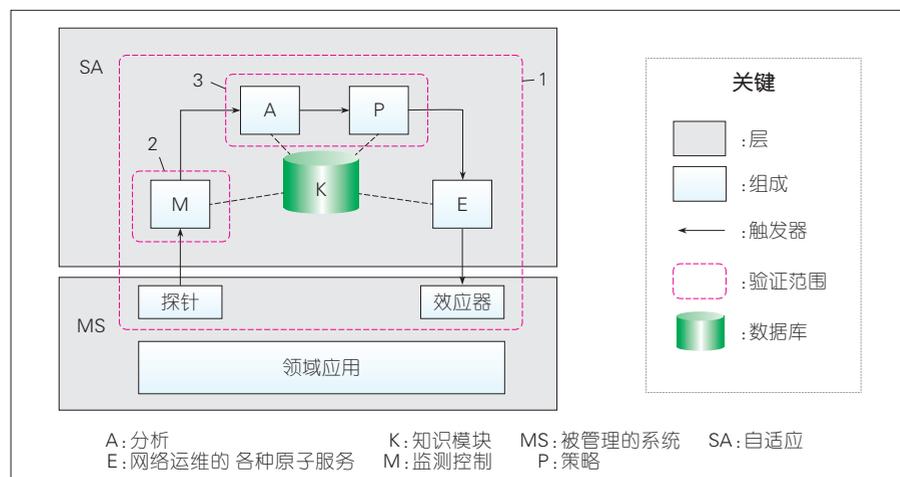
化程度降低而已。这种架构在智能化发展的初步阶段,能够保证现有网络的安全运行,一旦智能服务出现异常或不准确,就能被有效截断,避免影响现有生产系统;另外,也能为运营商现有的传统3G、4G网元设备提供智能化能力,有利于3G、4G、5G的相互协调优化。

但是,随着嵌入式芯片技术和节能技术的发展,以及设备的更新换代,智能应用的成熟,侧挂智能必然被融合智能替代,网元本身具备智能化能力,网络管理层面必然也被更先进的AIOps下一代智能运维系统替代,如图6所示。

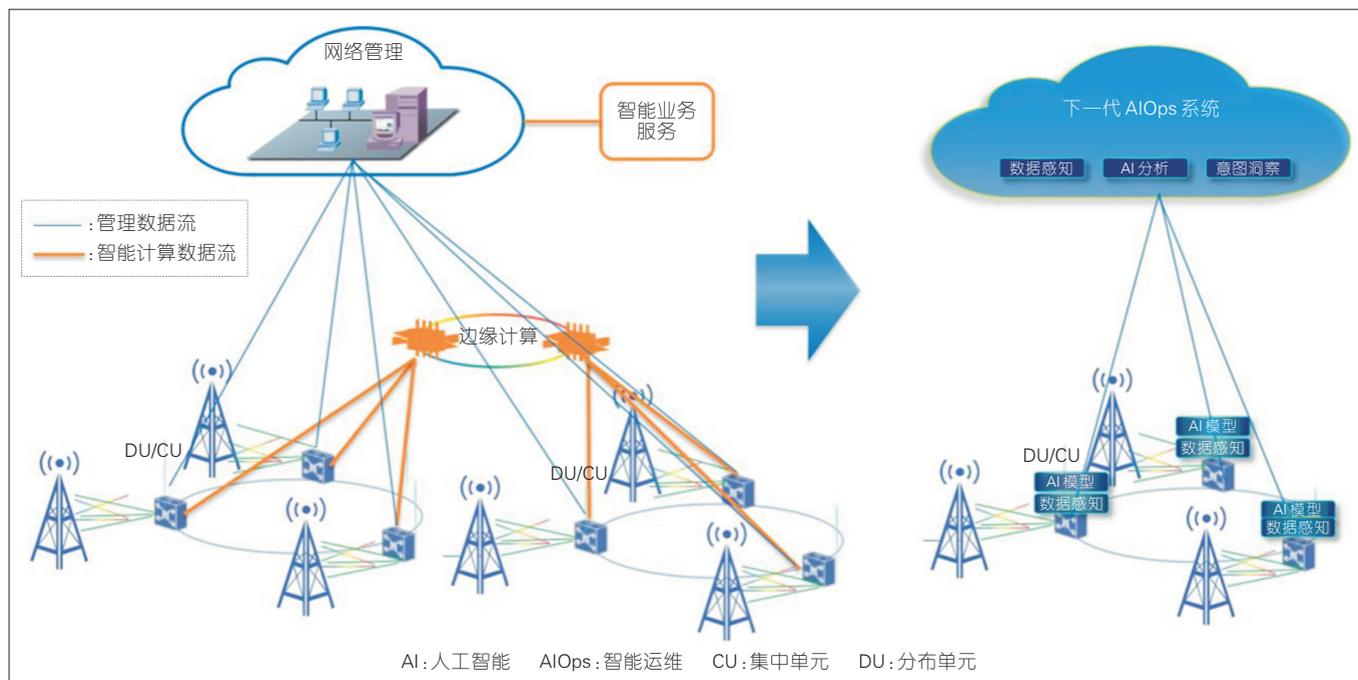
(2)模型驱动。

随着智能化技术的演进,模型驱动在整个网络中必然变得更加重要。模型的定义,从更深层次来讲,体现了网络资源的可驱动网络功能的数量、网络功能的驱动深度、网络资源关联能力。

众所周知,软件对于硬件资源的控制,是通过硬件建模之后的模型进行驱动来完成。智能服务作为一种软件服务,无论其自生智能能



▲图5 MAPE-K的架构特点



▲图6 下一代AIOps智能运维系统

力多大,其输入和输出严重受到网络功能建模和网络数据建模的限制。输入的网络数据建模质量差、各成一体、无法进行有效关联,算法则难以训练出有效模型;另外,即使智能服务训练出模型,如果没有网络功能的建模保证,同样无法驱动网络功能进行调整,达不到网络自动化闭环的效果。

当前网络中建模效果比较好的是配置、性能、告警等模型,未来如果需要提供对用户更加有效的服务,还须要对涉及的信令、日志、MR、地理模型、社交数据进行建模,和系统其他数据采取更加有利计算和联系的方式建模,例如采取维度建模、矢量化结构存储等,通过类似的方式为智能服务提供更加有效的建模数据,提高系统的自动化程度。

(3)三层共享。

目前通信网络一般由一层网络

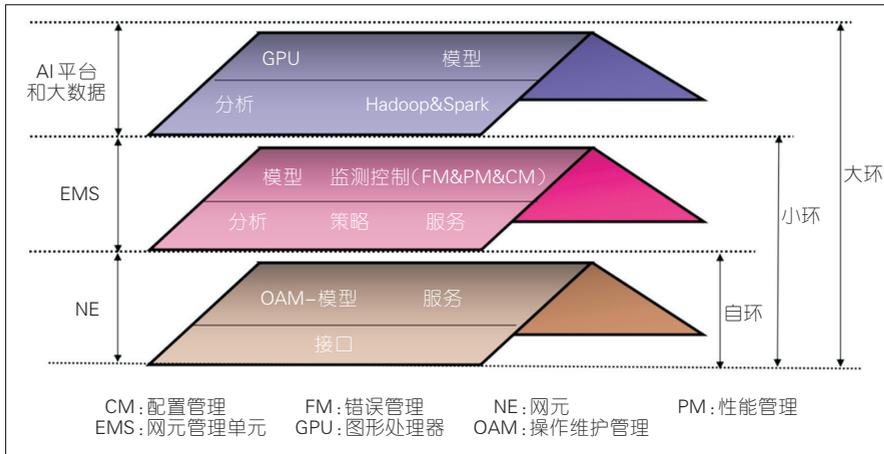
实体和两层管理系统构成。网元从算力成本和其所属的数据节点位置(只拥有自身节点数据)出发,一般情况下只增加一个通用推理功能,用于接收其他管理系统训练后的推理模型,在实际生产环境中接收实时数据后,依据推理模型进行实时推理,这种方式的特点是网络的反应具备实时性,这个称为自环。其次是在网元管理单元(EMS)中,对于本网络的数据进行训练分析,得到推理模型,然后在收到实时数据后进行推理,或者把模型推送给网元,这种方式称为小环,小环具备了以上架构中的所有元素,区别在于出于成本和职责的定位,其主要须要面对中小数据量、非实时的推理情况。最上层是大数据和AI平台层,架构元素则类似EMS,只不过其支持大数据量训练、集群计算、矩阵运算,其训练的推理模型可以在

图7中的3个层次进行共享,称之为大环。这种共享性首先体现在推理模型能在3个层级进行共享;其次业务专家在最上层平台业务探索生成的模型,能够跨越空间和时间,从实验室到运行环境进行模型共享;最后通过模型共享能够达到算力共享的目的,给网元赋予更大的智能范畴,解决现在云管端网络中端的算力问题。

5 机会和挑战

尽管网络智能有着很好的前景,但是不可否认,未来依然是机会和挑战共存。笔者认为,未来的挑战来自如下几个方面:

(1)算法的挑战。由于通信网络智能属于专业领域,人工智能近几年的发展和相应投入主要集中在计算机视觉、自然语言、语音等领域,在通信网络智能领域的学术研



▲图7 三层共享模型

究并不太多。网络智能的算法和应用须要从从业人员从基础算法的选择、超参寻找、参数调优等一系列探索开始。

(2)数据同源建模的挑战。不可否认目前在电信领域沉淀着非常多的数据,但这些数据来自不同厂商,存储类型也不同,那么数据相互关联访问成为一个非常大的挑战,但这恰恰就是价值所在。

(3)迁移学习的挑战。这是电信领域特有的问题,电信网络目前是生产和运营分离,对于不同运营商的网络,其所处地域、经济发展都不同,所以网络模型也会存在差异。这样一来,对于生产商做出来的基础算法模型,不同的运营商在

不同的地域都须要重新训练和调整,即迁移学习的问题。

尽管存在一些问题,但是基于机器学习的通信网络智能目前已经势不可挡。周边的生态环境已经发生变化,物联网、虚拟化网络的蓬勃发展,巨大数据量的喷发,都促使我们想方设法采取最好的技术来迎接网络智能的未来。

参考文献

- [1] LILLIAN B. AT&T Exploring Artificial Intelligence for UAV Tower Inspections [EB/OL]. (2018-1-10)[2019-01-15].<https://unmanned-aerial.com/att-exploring-artificial-intelligence-uav-tower-inspections>
- [2] KOLEY B. The Zero Touch Network. CNSM 2016 [EB/OL].(2018-01-10)[2019-01-15].<https://research.google.com/pubs/pub45687.html>
- [3] Gartner. Gartner Inc. 2017 Market Guide for AI/ops Platforms [EB/OL]. (2018-01-05)[2019-01-15].<https://www.moogsoft.com/resources/aiops/guide/gartner-2017-aiops-market-guide/>

- [4] Cisco. 2018 Intent-Based Networking Building the bridge between business and IT [EB/OL]. (2018-08-31)[2019-01-15].<https://securenetworkers.com/2018/08/31/intent-based-networking/>
- [5] ZTE. 人工智能前沿[R]. 2019
- [6] KEPHART J O, CHESS D M. The Vision of Autonomic Computing [J]. IEEE Computer, 36 (1):41-50, 2003
- [7] IGLESIA D G D L. MAPE-K Formal Templates for Self-Adaptive Systems: Specifications and Descriptions [R]. USA: ACM, 2015
- [8] Cognet . An NFV/SDN Based Architecture for Autonomic 5G Network Management using Machine Learning [EB/OL].(2018-01-10) [2019-01-15]. http://www.cognet.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/08/ETSI-CogNet-AO_Poster_final.pdf

作者简介



杜永生,中兴通讯股份有限公司无线网管架构师;主要研究方向为智能运维;发表4篇公开专利。



蒋新建,中兴通讯股份有限公司无线研究院LTE中心LTE系统部系统工程师;主要研究方向为无线网络智能化。



巫江涛,中兴通讯股份有限公司电信云及核心网产品团队MANO技术总工;主要从事虚拟化运维与智能化相关领域研究及产品规划工作。