

中国移动 自动驾驶网络白皮书

(2021)

面向流程定义场景化分级标准
分步迭代提升网络运维自治水平



目录

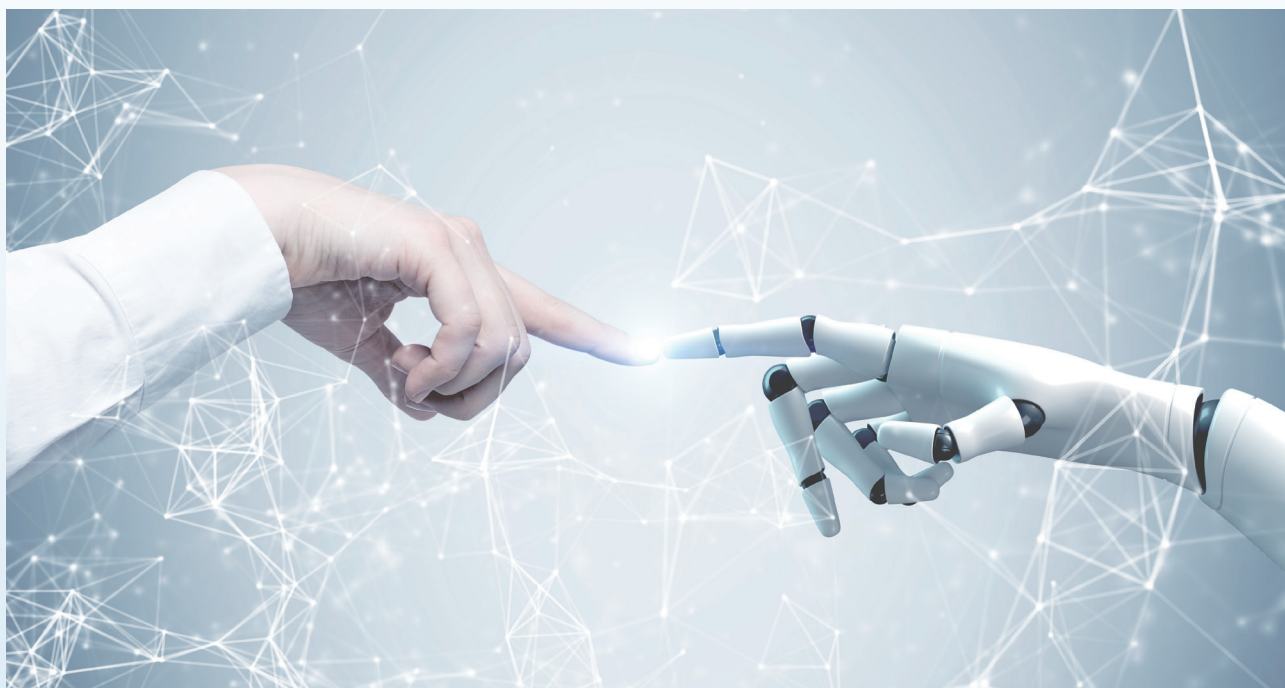
摘要	2
一、背景与驱动力	3
1.1 背景	3
1.2 驱动力	3
二、策略与方法	4
2.1 目标	4
2.2 思路与架构	4
2.2.1 分层构建数智化能力	5
2.2.2 量化评估驱动迭代闭环	6
2.3 方法	7
2.3.1 场景化评估对象	7
2.3.2 能力粒度分级特征	7
三、创新实践	8
3.1 能力短板识别	8
3.2 网元能力强化	8
3.3 网管平台筑基	8
3.4 AI能力跃升	10
3.5 典型应用案例	10
四、产业共创	12
五、未来展望	13
缩略语列表	14
参考文献	15

摘要

数字经济将持续高速增长,呈现“数字产业化、产业数字化、数字化治理和数据价值化”的发展趋势。中国移动顺时应势,勇担网络强国、数字中国、智慧社会主力军,确立了“推进数智化转型,实现高质量发展”的发展主线,在网络运维领域加速数智化转型升级,努力构建云网一体、高度自动化、智能化的网络体系,充分发挥运营商的核心优势,夯实各行各业数智化转型基石。

中国移动践行自动驾驶网络理念,设定2025年网络自动驾驶水平力争达到L4级的整体目标。加快网络运维数智化转型升级,赋能CHBN业务支撑、客户满意度提升、网络质量增强、运维效率提高、运营成本降低。中国移动以端到端业务支撑为目标,分层次构建能力;以能力评测为抓手,分阶段迭代优化。一方面,以网管系统规划牵引运维自动化能力建设,通过智能运维创新试点、规模推广,加速AI注智赋能;一方面,统筹规划网络设备的自动运维支撑功能技术规范,与网管系统协同推进能力提升。

为引导更多产业伙伴以网络自治为共同演进目标而凝聚共识、分享经验、携手创新,本文从需求背景、策略方法、分级评测等角度,介绍中国移动开展的思考、探索与总结,并结合公司后续规划,给出产业发展的协作建议和未来展望。



01 背景与驱动力

1.1 背景

工信部及信通院预计,到 2025 年,中国数字经济规模将增长到人民币 65 万亿元,信息服务业收入规模将增长到人民币 20.4 万亿元,数字经济将持续高速增长,呈现出“数字产业化、产业数字化、数字化治理和数据价值化”的发展趋势。5G、AI、云/边缘计算等前沿ICT技术更加成熟、融合创新,赋能千行百业深化数字化转型,政企客户聚焦于“泛在智能连接+上云用数赋智”,致力于实施端到端的整体方案,推动数字经济向更多领域、更深层次发展。

在此背景下,中国移动顺时应势,勇担网络强国、数字中国、智慧社会主力军,确立“推进数智化转型,实现高质量发展”的发展主线^[1],以及“五个数智化”转型的关键行动,一是创新数智化产品,二是夯实数智化网络,三是打造数智化中台,四是构建数智化组织,五是构筑数智化生态,形成以网络为基础、信息技术和数据要素为驱动的新增长模式,充分发挥通信运营商促进信息技术融合创新、信息技术与经济社会民生深度融合的“扁担作用”。

面对客户数量全球最多、业务最丰富、网络规模最大的通信网络,中国移动网络运维加速数智化转型升级,努力构建云网一体、高度自动化、智能化的网络体系,夯实各行各业数智化转型基础。

1.2 驱动力

网络运维的数智化转型是自动化和智能化技术与通信网络的硬件、软件、管理系统、运维流程等的深度融合,推进运维提质增效,牵引网络技术变革,使能业务敏捷创新。其需求驱动主要来源于以下三个方面:

业务快速发展:随着个人用户市场的饱和,垂直行业数字化和消费者生活数字化成为被寄予厚望的潜在增长点,对网络服务从连通性、带宽、延迟、可靠性等各方面均提出了更为严格的多样性需求。

网络技术演进:基础设施虚拟化和网络设备软件化在实现资源弹性分配、动态调度等新特性的同时,也给分层解耦的转型网络带来了更多的异厂商设备组合和管理层次,网络协同复杂度陡增,进一步加剧了网络运维管理难度。

运维管理提升:作为全球网络规模与用户规模最大的电信运营商之一,中国移动的网络专业多、代际多、层级多、地域多。现有业务开通、故障监控、质量优化等运维工作的流程协同、信息甄别和自动化执行效率均需要持续提升。

02 策略与方法

2.1 目标

TM Forum自动驾驶网络^[2]旨在面向消费者和垂直行业客户提供全自动、零等待、零接触、零故障的创新网络服务与ICT业务,打造自服务、自修复、自优化的通信网络,为通信网络运维数智化转型明晰了目标架构和实现路径^[3]。

自动驾驶网络分级框架将网络自治化能力划分为“L0人工运营维护、L1辅助运营维护、L2部分自动驾驶网络、L3有条件自动驾驶网络、L4高级自动驾驶网络、L5完全自动驾驶网络”六个级别。

中国移动参考自动驾驶网络理念,规划网络运维数智化转型,加大自动化、智能化能力建设,设定2025年网络运维自治水平达到L4的整体目标。

2.2 思路与架构

面向2025年目标,中国移动对通信网络自治能力建设进行了全方面的思考、适用性探索与阶段性应用实践。针对生产网络的复杂性和自动化能力的多样性,采取“分而治之”的方法,实现网络自治能力的“螺旋上升”。

2.2.1 分层构建数智化能力

中国移动参考TM Forum自动驾驶网络层次化架构^[4],结合生产实践,提出“四层三闭环”的内部实践目标框架,如图 1所示。

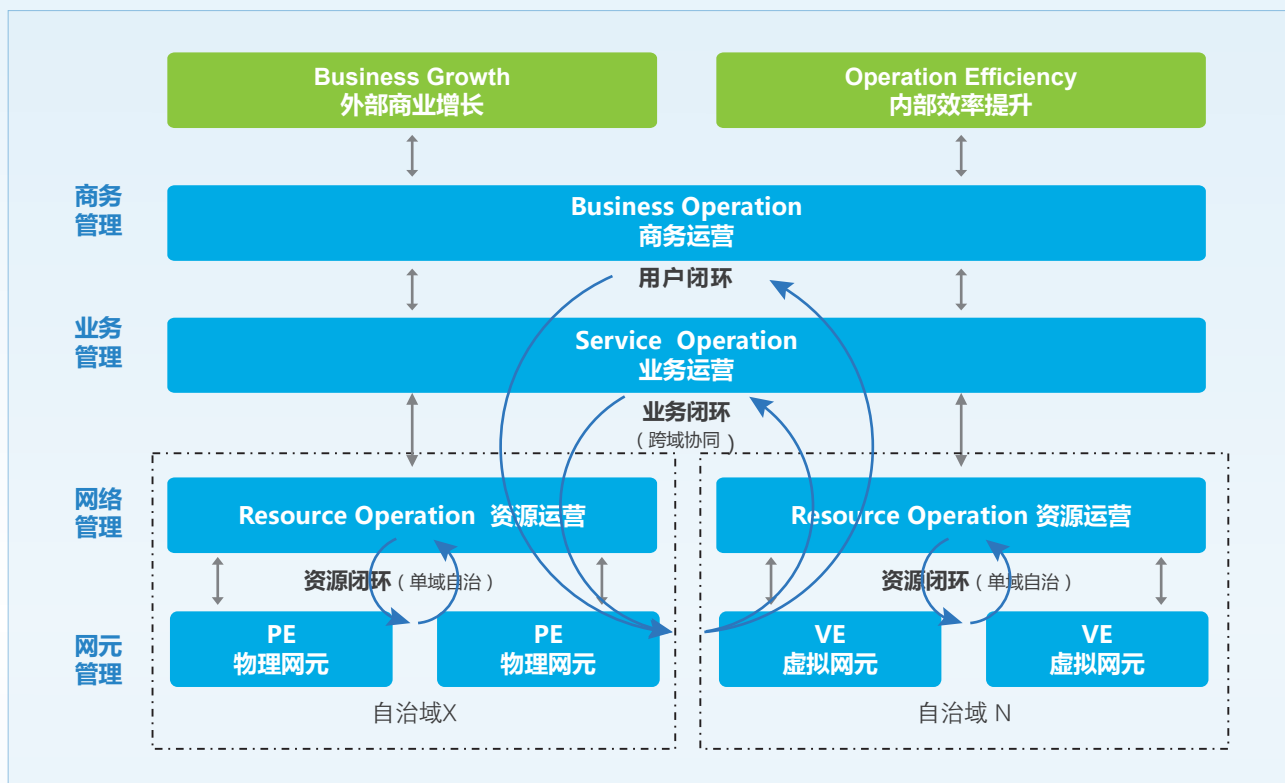


图 1 中国移动的自动驾驶网络目标框架

其中,4个层次是指

- **网元管理：**提供网元内置的自动化运维能力。
- **网络管理：**提供面向网络的单专业自动化运维能力。
- **业务管理：**提供面向网络 and 业务的跨专业自动化运维能力。
- **商务管理：**提供面向客户的自动化服务管理能力,统一提供客户触点。

3个闭环包含

- **资源闭环：**单专业资源管理,实现单域自治。
- **业务闭环：**面向业务的、跨专业的端到端管理,实现跨域协同。
- **用户闭环：**用户与商务管理,包括用户信息、营业、计费、客服等。

以此为参照,中国移动以提质、增效、降本为目标,分层次构建体系化能力,实现全场景网络自治。

2.2.2 量化评估驱动迭代闭环

针对各省级公司的客户规模、业务类型、运维流程、合作伙伴等方面的多重差异,中国移动建立统一的能力评估体系,以评促建,在全网31个省级公司全面开展自治能力量化评估。如图2所示,分三步驱动能力水平从当前状态到目标级别进行迭代提升。



图2 中国移动的自动驾驶网络迭代闭环

(1) 分级评估与短板识别:基于TM Forum分级框架的指导原则,中国移动提出面向运维流程的场景化自治能力分级细则。在全网31个省级公司推动能力等级评分,识别出共性问题和短板差异后,针对性制定提升举措和实施计划。

(2) 系统建设与规范引导:在网管系统层面,统一规划推动各省级公司加大加快新一代网管系统建设;在网络设备层面,基于全专业网络设备的通用能力框架,分别细化各专业网络设备的功能技术规范,统一引导网络设备供应商实现网络设备的自动化运维能力提升。

(3) 应用试点与复制推广:引导省级公司联合网络设备供应商和网管系统开发集成商,积极引入自动化和智能化技术。考虑各省级公司情况存在差异,先期选取部分省级公司,先行试点候选方案,现网验证可行性后,再作为标杆复制经验,逐步进行全国推广。

2.3 方法

2.3.1 场景化评估对象

结合生产网络实际运维管理组织体系,从“运维场景、网络专业、业务类别”三个维度正交梳理,形成自动驾驶网络-分级评估对象框架3D模型,具体包括:

重点运维场景:6个一级场景域,包括:规划、建设、维护、优化、运营、资源管理。11个二级核心场景,包括:网络规划、设计部署、监控排障、巡检、测试、网络分析、网络优化、业务开通、网络投诉、资源变更管理、资源数据管理。

重点网络专业:核心网、无线网、IP网、传输网、网络云。

重点业务类别:个人业务包括:移动上网、语音、短信。家庭业务包括:家宽上网、IPTV。政企业务包括:5G行业专网、APN专线、IMS专线、传输专线、互联网专线、云网专线、MPLS VPN专线。

应用上述方法,结合各个网络专业和业务类别的特点,将二级运维场景进一步分解为多组运维核心能力集,作为场景化评估对象。

2.3.2 能力粒度分级特征

基于TM Forum自动驾驶网络分级框架^[5]的指导原则,结合网络运维管理评估实际需求,从指导IT系统实现角度,定义如下分级代际特征:

级别0:线下人工实现;

级别1:人工实现,线上记录;

级别2:自动实现,程序固化专家规则;

级别3:自动实现,规则与功能解耦,可按需灵活配置;

级别4:自动实现,规则结合AI,可持续学习、快速迭代;

级别5:自动实现,规则顺应变化自动迭代。

将分级代际特征应用于核心能力集,细化得到每个核心能力集的场景化自治能力分级细则。提出基于“封顶就高”、“加权平均”等聚合原则的量化评估模型,从最细粒度的核心能力量化评估结果,可按需聚合得到各场景、各专业、各业务自动化水平的综合量化得分的层次化分级评估体系,为全面评估当前能力、多维度综合分析水平差异、精准识别共性能力短板,提供有力支撑。

03 创新实践

3.1 能力短板识别

中国移动总部组织各省级公司,采取单专业自评、多专业横向对比等形式,进行网络运维能力评级,摸底能力短板。针对选定的运营域、网络专业、业务类别,当前中国移动网络运维整体水平为L1-L2级,部分省级公司达到L2以上。

网络设备在集成部署、隐患预测、故障隔离与倒换、优化仿真、感知测试、数据上报粒度与实时性等方面,存在不同程度的能力短板。

网管系统在家庭与政企业务端到端开通、云网协同调度、业务端到端质量感知分析、现场人工作业支撑等方面,需要进一步加强自动化、智能化支撑能力。

3.2 网元能力强化

网元自身对运维自动化、智能化的支撑是实现自动驾驶网络的基础。各专业网络的网元管理层应实现的自动化运维能力要求包括:

- (1) 设备监测:加强多维、实时、细粒度网络数据自动感知能力,包含业务流、资源容量、拓扑结构、运行事件、设备能耗等。
- (2) 资源配置:在传输网、IP网等专业,加快构建动态路由计算、业务配置激活等能力。
- (3) 业务保障:实现网络故障的自动诊断、隔离、迁移、恢复等能力。
- (4) 业务优化:提升资源利用率优化、业务质量优化、能效优化能力。
- (5) 业务测试:在核心网、传输网等专业,补齐网元级、模块级、链路级的连接测试、业务测试能力。

3.3 网管平台筑基

中国移动在网络管理和业务管理层,提出了“2+5+N”的网管系统总体规划,体系化指导网管系统能力建设,如图 3所示。一方面构建2个核心平台和5个能力中心,拉通运维流程,补齐自动化

业务配置激活, 夯实数据底座, 强化端到端业务保障, 实现能力复用共享, 针对性完善能力短板; 另一方面加大人工智能、大数据、云原生、区块链等IT新技术应用。

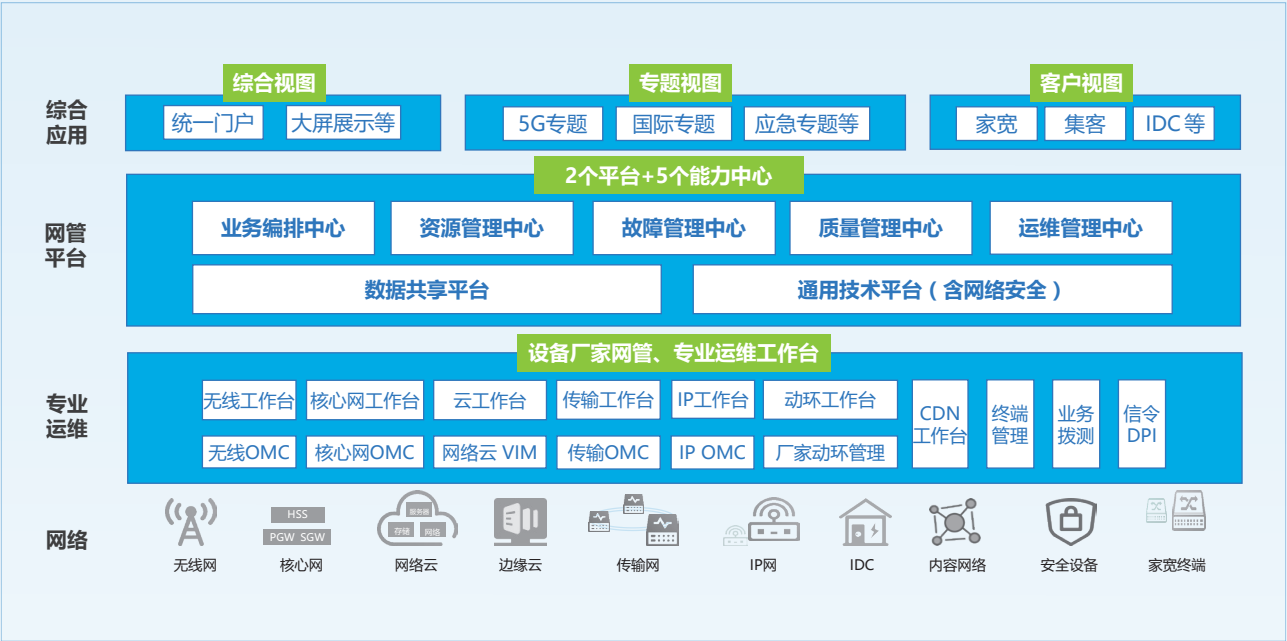


图 3 中国移动的“2+5+N”网管系统建设规划蓝图

(1) 2个共享平台

- **数据共享平台**: 网络管理领域各类数据的统一采集、存储、共享。
- **通用技术平台**: 为网络管理领域各类系统统一提供业务无关的通用平台能力与网络安全管理能力。

(2) 5个运维能力中心

- **业务编排中心**: 实现业务开通端到端高阶流程的设计与编排能力, 统筹调度跨专业子流程, 统一提供开通接口对接业务运营系统。
- **资源管理中心**: 实现全专业网络资源数据管理、资源入网管理、资源调度管理、端到端网络资源拓扑视图等应用, 提供各类资源服务。
- **故障管理中心**: 实现网络集中监控, 提供网络监控开放能力。
- **质量管理中心**: 实现网络与业务质量的端到端分析及各类主题分析应用。
- **运维管理中心**: 实现运维统一集中调度管理, 提供自动派单等服务。

(3) “N”专业运维系统: 实现专业内网络设备的自动操作维护和自动配置激活。

3.4 AI能力跃升

中国移动围绕智能感知、诊断、预测、控制4大类运维智能化应用场景，建立应用、算法、数据、算力在内的4层关系模型(如图4所示)，积极推动AI技术在图像识别、大数据分析、复杂计算等运维领域的创新试点和成果推广。

应用层：智能感知是通过AI技术对数据分析与评价，感知网络状态。智能诊断是对故障、投诉、质差定界定位，诊断网络问题。智能预测是判断业务和容量趋势，预测网络变化。智能控制是挖掘网络优化策略，控制调整网络参数。

算法层：网络运维智能化领域的常用AI算法，主要包括语音识别、图像处理、异常检测、关系分析、因果推断、时序预测、寻优分析等类别。

数据层：前端业务、网管系统、网络设备产生的每日PB级的结构化和非结构化网络数据。

算力层：部署混合算力集群，支持大规模异构并行计算。

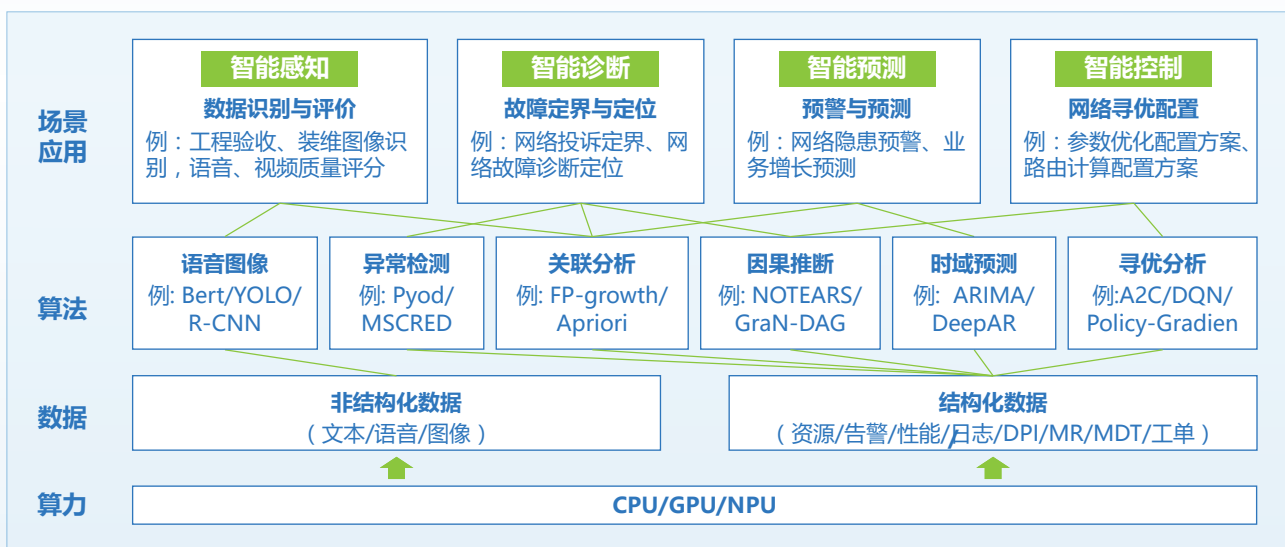


图4 中国移动的运维智能化AI应用体系

3.5 典型应用案例

中国移动采用“自研+合作”相结合的研发模式，联合产业合作伙伴，针对网络运维的规划、建设、维护、优化和运营全流程，积极开展应用创新试点^[6]，成熟一个、推广一个。其中部分典型应用包括：

5G基站“免上站”智能验收:传统的基站验收工作上站人次多,验收周期长,高度依赖人工经验,难以及时、准确发现问题。在5G建设高峰期,基站验收的效率和质量问题不可忽视。中国移动创新应用了AI智能“免上站”验收新模式,通过对无线设备安装工艺、设备连接情况、机房环境设施的各类图片进行智能识别,自动完成18项目标检测,AI检测精度达到95%。在浙江现网应用后,单站验收时长从7天缩减至1个小时。

云网专线“零等待”自动开通:传统云网专线业务开通主要依靠运维人员手工配置,涉及业务分析、资源勘查、指令编写、验证测试等多个环节,端到端开通时长需要数天。中国移动采用容器化、微服务架构建立自动化开通能力,基于SR-TE技术,实时感知网络状态,主动预测业务趋势,动态计算最优路径,自动配置网络设备。在全网应用后,从前端业务受理到后端云专网配置下发全程“零接触”完成,开通时长缩短至分钟级,大幅提升政企客户满意度。

5G故障“零接触”自动处理:随着5G网络规模快速增长,各省级公司日均网络告警超过1000万条,涉及网络专业多、协同链条长、依赖关系复杂。中国移动打造全面实时感知、告警关联压缩、异常自动诊断、跨域精准定位、智慧决策的故障管理框架,实现全程可视的网络质量监控能力、每秒2000条告警的大容量告警风暴处理能力、1000:1的告警压缩派单能力、300类故障场景的自动诊断能力、800个可灵活组合的原子化网络配置能力。在浙江现网应用后,实现重要故障30分钟内清零,平均处理效率提升40%,有力保障5G网络质量,为客户提供极致业务体验。

5G语音质量智能诊断:5G发展初期阶段,5G语音业务普遍回落4G方式,信令流程在4/5G之间多次交互,涉及网络设备类型10余类、数据接口50余个,5G语音质差问题难以准确诊断、快速处理。中国移动研发智能质差定位能力,横向拉通网络性能KPI、用户感知KQI等多维指标数据,深度抽取5G语音业务质量特征,基于时序预测模型主动预警5G语音质量劣化隐患,基于FP-growth关联分析模型,精确定位质差根因。在北京现网应用后,5G语音故障定位时间压降至分钟级,处理效率提升60%。

家宽上网质量智能诊断:当前家宽上网业务存在感知不灵敏、定位不准确、处理不及时的问题,非常影响用户体验。中国移动研发家宽端到端质量分析应用,采用Xgboost算法,实时分析视频、游戏等各类型流量的码流特征,精细识别不同流量类型,根据预设的差异化质差阈值,感知不同类型流量的质量问题;对于质差业务所在链路,采用谱聚类算法,分析光路电流、功率、误码率等性能特征,快速诊断端到端网络问题。在河南现网应用后,主动识别上网质差问题45万例、质差线路8000条、质差内容源150个,诊断准确率达到90%,先于客户投诉,提前修复网络问题,有效提升家宽业务满意度。

“一站一案”5G智能节电:5G每比特能耗比4G有所下降,但吞吐量大幅提升,导致总体能耗不降反升,为网络运营带来巨大的成本压力。传统的基站节能方法是基于专家经验,对空闲基站“一刀切”设置固定的夜间节电时间窗口。但是基站数量众多,各基站的无线环境和业务承载千差万别,相邻基站间互操作的耦合性高,牵一发动全身,依靠一套静态节电策略,难以达到精细化节能效果。中国移动研发“一站一案”4/5G智能节能技术,利用时序预测算法,根据历史业务量和用户分布的变化特性,主动预测用户业务趋势,实时计算最佳配置方案,自动控制小区节电参数。在江苏现网应用后,在传统节电效果8%基础上,进一步降低基站能耗3个百分点,有效节省网络运营成本。

数据中心“智冷”空调节能:大型数据中心节能降耗是中国移动实现低碳创新、降本增效的重要工作举措。通常采用升级空调设备、优化制冷架构等高成本的硬件节能优化方案。在软件方面,由于IDC空调系统存在1千多种参数组合,人工统计分析方法难以快速找出软件优化方案。中国移动研发“智冷”IDC空调控制系统,采用多指标时空序列预测和深度神经网络算法,根据室外温湿度、冷量需求、空调能耗等历史数据,主动预测后续运行工况与空调能耗,自动寻优计算最佳空调参数方案,实时动态优化运行参数。在安徽现网应用后,实现数据中心制冷能耗降低8%,每个数据中心月均节电14万度,大幅降低碳排放。

04 产业共创

中国移动自动驾驶网络建设相关实践虽已进入体系化部署阶段,但距离L4级能力目标,仍然存在挑战。只有合作共赢才能引领产业,中国移动提出4点合作倡议:

1、统一目标架构:自动驾驶网络高阶目标的实现,需要在统一架构指导下,在积极实践和验证的基础上,引导网络、网管的协同演进,并为业务规则、专家经验、AI模型等数字化知识资产建立完善的管理体系。引导产业各方建立面向全程全网自动化能力体系建设的跨组织协作平台^[7],推进网络设备与网管系统齐步快走,网络规建维优营全向发力。希望各产业标准组织,在自动驾驶网络目标框架、统一分级模型、技术路径等方面,加强沟通合作,促进成果互认、优势互补,共绘一张蓝图,共建一套标准。

2、强化业务牵引:建设自动驾驶网络的最终目标,是支撑运营商业务的发展与改善。在自动驾驶网络的建设中,要始终坚持强化以业务为牵引的网络与网管自动化能力演进,围绕C(移动市场)、H(家庭市场)、B(政企市场)、N(新兴市场)四大市场有序推进,实现融合融通协

同发展。在实践的过程中,希望各个网络设备供应商、网管系统开发集成商与中国移动紧密协作,实现CHBN各类业务支撑能力稳步提升,以优质和差异化保障促进价值经营,赋能业务发展、提升运维效率。

3、凝聚生态合力:持续提升网络自治水平,涉及到网络运维责任逐渐从人转移给网络设备、运维系统,系统决策依据从可解释的经验扩展到人工智能算法模型,并非单纯技术实现问题。作为自动驾驶网络的先行者,更要携手产业组织、网络设备供应商、网管系统开发集成商、科研院所等内外部创新研发力量,共同探索通信网络与AICDE等先进技术的深度融合、理论创新、工程实现,实现网络运维数智化转型的目标。希望“产、学、研、用”各个合作伙伴,立足各自专长领域,加强跨网络专业的多领域横向协同,促进跨网元网管的多层级纵向协同,共同打造“业务牵引、应用驱动、技术赋能、多方共赢”的开放创新平台。

4、共享行业增长:据Tractica/Ovum预测和研究,到2025年,全球电信业对AI的软件、硬件和服务的投资将达367亿美元,网络/IT运营监控和管理将成为电信业最大的AI应用,占据电信业AI支出的61%。中国移动作为客户数量全球最多、业务最丰富、网络规模最大的通信企业,希望充分发挥集团优势推进自动驾驶网络落地,为企业自身实现降本、增效、提质的规模效益,为通信行业数智化转型打样板、树典范,为自动驾驶网络标准体系提供实践支撑。

05 未来展望

中国移动早在2019年开始推动相关标准组织、开源社区和产业协同工作。2019年5月,作为主要作者贡献TM Forum自动驾驶网络白皮书^{[2][9]};2020年5月,担任Linux网络基金会董事会主席,主导发起面向网络与运维智能化的需求、策略与应用产业调研^[8];2021年2月起在TM Forum积极主导贡献自动驾驶网络的分级评测^[10]和跨组织标准协作^[7]。

面向未来,中国移动期待继续发挥在国际标准、开源社区和产业协作中的影响力,携手产业组织、网络设备供应商、网管系统开发集成商、第三方研发机构等产业伙伴达成共识、推动共建、凝聚合力,加速产品、方案和商业模式创新,加快打造自动驾驶网络能力,赋能社会数字化转型、赋能业务提质创收、赋能运维降本增效,助力数字经济建设和千行百业数智化转型。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AICDE	Artificial Intelligence、Internet of Things、Cloud Computing、Big Data、Edge Computing	人工智能、物联网、云计算、大数据、边缘计算
CHBN	Customer、Home、Business、New	移动市场、家庭市场、政企市场、新兴市场
FP-growth	Frequent Pattern Growth	频繁模式关联规则算法
ICT	Information and Communications Technology	信息与通信技术
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
KQI	Key Quality Indicator	关键质量指标
SR-TE	Segment Routing-Traffic Engineering	基于流量工程的分段路由技术
Xgboost	eXtreme Gradient Boosting	极限梯度提升算法