



Net 5.5G时代

IP自动驾驶网络 白皮书

开启AN L4新征程



01 行业数字化与智能化转型趋势 /01

02 IP自动驾驶网络挑战与关键技术 /04

2.1 IP网络自动化挑战	04
2.2 新技术重塑网络运维	06

03 IP自动驾驶网络目标定义 /09

3.1 IP自动驾驶网络愿景	09
3.2 IP自动驾驶网络分级	11
3.3 IP自动驾驶网络关键能力特征	12

04 IP自动驾驶网络架构 /15

4.1 目标架构	15
4.2 智能网元	16
4.3 高清网络数字地图	18
4.4 网络智能体	24

05	IP自动驾驶网络应用场景 /26	
	5.1 网络建设	26
	5.2 网络维护	30
	5.2.1 网络变更场景与解决方案	30
	5.2.2 网络故障场景与解决方案	34
	5.3 网络优化	39
06	IP自动驾驶网络成功实践 /42	
	6.1 广东移动Net Master FME Copilot应用实践	42
	6.2 广东电信网络数字地图配置仿真验证实践	44
	6.3 联通研究院云网自智分级体验实践	46
07	IP自动驾驶网络产业行动建议 /48	
08	总结 /50	
09	术语表 /51	

1

行业数字化与智能化转型趋势

当今世界充满着变化和不确定性，以数字化应对不确定性是趋势，数字化发展已成全球共识。目前，全球已经有超过 170 个国家发布了国家数字战略。据麦肯锡统计，全球的数字化进程整体提前了 7 年，亚太地区更是提前了 10 年，运营商及企业业务数字化的速度比原先预想的快 20~25 倍。居家 + 公司的混合办公、线上 + 线下的远程教育、虚拟 + 现实的社交娱乐，这些新型模式正逐步成为新常态。

作为数字化基础设施的底座，网络联接在推动行业数字化转型中发挥着越来越重要的作用。预计到 2030 年，全球总联接数或将达到 2000 亿，实现从连接百亿人到连接千亿物的跨越。下一代人机交互（AR、VR、XR）、住行合一、工业互联、卫星宽带互联、AI 大模型分布式训练等新业务也对网络联接提出了新需求。一个原生智能、全息可视、确定性体验、安全高可靠以及具备融合感知自动化能力的网络是未来发展的方向。

在数字化转型的背景下，运营商在 5GtoB、云网融合、AI 算力建设与 AI 大模型商业化应用场景下迎来市场机遇，这些变化都对运营商的网络和运维能力提出了全新要求，进一步促进了运营商网络自动化的建设。

5GtoB 场景对网络确定性体验能力提出了更高诉求

Keystone Strategy 报告显示，2025 年运营商可参与的全球 5GtoB 市场将达到 6020 亿美元。但同时，5GtoB 业务也对网络的带宽、连接密度、速率、时延、可靠性、移动性、定位精度等多项网络性能有着更高的要求。例如，沉浸式体验视频将持续推高带宽需求，未来其所需带宽将是当前带宽的 10 倍；建设智慧城市需要每立方公里 10~100 万设备的连接密度；无人机需要 500~1000km/h 的移动性；自动驾驶需要亚米级的定位精度和不超过 5ms 的端到到延；工业互联网则需要 99.999% 的可靠性。此外，5GtoB 业务还对网络能力提出 3 大诉求：一张网满足千行百业百万级应用场景的高度差异化连接需求；在线一站式的按需、实时、灵活订购、开通及变更；端到端确定性 SLA 可承诺、可保障。



5G



云智时代，云网融合新业务提出海量数据差异化上云诉求

云网融合成为企业上云的重要选择，垂直行业对云网能力的要求有三点：利用全球化的专网或公网实现企业上云和海量数据极速上云，并确保数据安全；任何地方、任何业务均可实现一点入云、一点入多云，云网业务满足一体化提供、一体化运营和一体化服务的要求；能够实时感知和预测全局云网算力分布和改变，通过智能调度满足 XR 上云、云存储视频压缩、金融上云等不同行业和企业敏捷、质量、可靠性、效率等方面的差异化需求。



全球算力基础设施建设提速，要求算网协同保障应用差异化体验

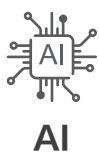
过去 20 年间，智能算力需求增长了百亿倍。算力指数平均每提高 1 个百分点，国家的数字经济和 GDP 将分别增长 3.5%和 1.8%，算力正成为影响国家综合实力的关键要素，算力基础设施建设成为国家数字经济高质量发展的战略举措。IDC 数据显示，全球企业在 AI 基础设施及服务的投资，有望到 2025 年突破 2000 亿，增幅远超企业数字化转型和国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）。在迎接 2030 年智能世界的挑战中，从个人生活到社会生产，云智新业务对带宽、时延、质量保障和管理服务等方面提出了新的要求，为此，端到端的网络必须加速实现全面数字化和智能化升级，以支持未来的发展需求。



Net5.5G

Net5.5G 网络架构的关键创新，夯实了 IP 网络智能体框架底座

在 2020 至 2025 年间，云计算、3GPP 无线 5G 数据、行业数字化时代的浪潮席卷而来。高速、低时延和确定性网络成为了核心竞争力的关键要素。云计算和企业数字化在这个时代诞生，开始了通用云计算和云应用的快速发展。而在 2025 至 2030 年，元宇宙、工业 4.0、成熟的 AI 和 3GPP 5G Advanced 将主导未来的网络发展，网络发展的历史使命将从物理世界互联互通转向 AI 赋能的垂直行业的数字化与智能化。在这个时代，智能、可靠且高效的网络成为了核心竞争力，Net5.5G 时代应运而生。Net5.5G 定义了泛在计算、5.5G 移动网络和全行业数字化时代下的网络基础设施发展方向。Net5.5G 以端到端 IPv6+ 技术为基础进行创新，通过端到端 SRv6 等新技术在数据面的端到端演进，确保了组网的灵活性和确定性。IPv6+ 网络可高效应对元宇宙时代的大流量负载，提供灵活弹性的超宽能力，提升用户体验和网络利用效率，实现智能按需访问。IPv6 和网络切片的组合有助于构建毛细血管型网络，确保工业互联网时代的效率和敏捷性。随着 Net5.5G 网络的演进，面向 2030 年的联接物理和数字空间的智能网络基础设施逐步完善，为 IP 自智网络奠定了坚实的基础。



AI发展跨越拐点，全球自动化与智能化应用前所未有的迫切，自智网络进入实质性部署阶段

随着AI技术的进步，全球对自动化和智能化应用的需求达到前所未有的高度。人类社会正从感知AI技术的应用阶段进入认知AI技术的应用阶段。AIGC（Artificial Intelligence Generated Content，AI生成内容）大模型正重塑产业格局，在2年内已在50%以上的行业核心场景得到应用，迎来应用奇点。OpenAI指出，未来将有50%的人类工作任务场景受到ChatGPT（Chat Generative Pre Trained Transformer，聊天生成预训练转换器）的影响。例如，运营商的信息交互助力类工作和依赖专家经验类的集中运维工作，都将在一定程度上被替代。为了应对这一趋势，各电信厂家纷纷基于大模型推出各种创新应用方案。第三方报告显示，91%的运营商已启动自动化数字化战略，通过布局算网基础设施和深度融合行业数据和应用，实现网络自动化与智能化，从而赋能员工，降低成本、提高效率，并提升业务体验。例如，使用虚拟数字人客服来使能客户服务体系；使用智慧教育、智能会议、智慧问诊等技术使能2B业务体系；通过对网络变更主动监控、质差预知等技术提前预防业务受损；通过网络排障自决策，网络优化自闭环等技术使能网络智慧运维。从当前研究和实践效果来看，相对于传统AI模型，大模型在意图理解、判断决策等方面表现优势明显，特别是基于海量数量构建的大模型具备出色的泛化能力，能够屏蔽局点差异实现AI的快速部署和应用；同时大模型在意图理解方面的优点，使得具备海量电信知识的大模型能够通过北向接口控制、使用、配置和管理网络设备，加速网络走向自智。



2 IP自动驾驶网络挑战与关键技术

2.1 IP网络自动化挑战



新业务创新慢，TTM 周期长

运营商在传统的2C、2H领域的收入增长正在随人口红利的消失而遇到瓶颈，因此2B业务成为业务增长的关键市场。企业数字化转型带来的云化服务对运营商传统的2B业务提出了新的要求，需要从连接型服务转为数字化平台服务，以便与OTT（Over The Top，通过互联网向用户提供各种应用服务）厂商形成差异化竞争。然而，传统的网络及IT系统难以支撑该战略的快速执行：

1. 缺乏网络服务化能力：传统的网络管理系统通常按照业务模型CLI（Command Line Interface，命令行视图）方式部署，需要人工规划分配资源，难以满足类OTT电商化的订购体验。
2. 新业务TTM（Time To Market，上市时间）长：传统BOSS（Business & Operation Support System，电信业务运营支撑系统）业务上线时，需先在O域业务部署过程中，将VPN、隧道、Qos、路由策略、IP地址等拆分成原子粒度，通常涉及数百个接口及参数，OSS（Operation Support System，运营支持系统）集成周期往往超过6个月，同OTT周级的产品迭代时间有较大差距。



多厂商组网，网络可视难

超过 80% 的 IP 网络采用多厂商设备，即使同一厂商的设备，也存在设备型号和版本差异。同时，网络设备上多种协议混合并存，IP 网络软件和硬件的复杂性带来网络可视化业界难题，主要存在三大难题：

难题一，可视完整性。当前无法实现从物理层、到协议层、切片层再到业务层的多层可视，每个层次也无法实现全面的可视化。例如，无法实现设备带宽的可视化，导致无法完成整网的网络容量优化。

难题二，可视实时性。目前的可视化水平仅限于分钟级别，无法满足快速感知网络故障并进行快速闭环处理的需求。当网络故障导致业务质量下降甚至中断时，往往需要几分钟才能发现和处理，这导致用户体验下降和离网率增加。

难题三，可视易用性。运营商需要部署多个系统，每个系统又有多个界面，碎片化和离散化的可视化方式大大降低了用户体验，影响了运维效率。例如，某运营商同时部署了 OMC 系统、综合网管系统、SDN 控制器、流量流向系统等多个离散系统，导致运维效率极低。



配置变更风险高，安全事故频发

IP 网承载业务众多，例如，某 IP 骨干网络有 2000 多个网元，承载了上亿用户的业务。网络中一个细小的路由配置错误可能会产生广泛的影响，对运营商造成巨大经济损失，中断的时间越长，运营商额外承担的成本就越高，严重时甚至可能影响社会正常运转，因此，运营商普遍存在配置焦虑。例如，在某国发生的某次网络中断事故，全网业务中断了 37 个小时，影响了 3000 多万客户，直接经济损失超过 1.9 亿美元，事故的原因是一条错误的路由策略导致骨干网设备的路由激增和内存耗尽。

尽力而为转发，业务体验难保障

IP 网络的一个核心特征就是统计复用和尽力而为转发。路由协议基于可达性进行计算，设备在转发时基于单设备逐跳转发，缺乏对整个网络的全局视角，这种局限性导致网络极易产生局部拥塞，引发时延变大和丢包率上升。对于时延敏感的游戏和直播类业务，需要网络提供毫秒级稳定时延，而对于视频和大数据传输类业务，则需要网络提供大带宽路径。随着业务需求的不断演进，IP 网络的某些固有限制性愈发凸显，例如，网络时延的测绘往往需要人工操作，网络优化方案的制定也往往依赖于专家的经验，且需要多次迭代规划以满足用户需求。更为棘手的是，这种基于传统方式的优化很难彻底消除拥塞问题。



IP 网络业务复杂，排障耗时耗力

IP 网络以其灵活的网络转发能力著称，但这种灵活性同时也伴随着运维的复杂性。尤其是在转发面，高达 90% 的丢包故障静默无告警，且故障根因多种多样，如器件故障、协议异常、传输链路误码等，由于缺乏有效的故障定位手段，处理故障时通常需要复现问题，并需要多个部门的工程师协同工作，包括 NOC 中心工程师远程监控、外线工程师上站处理等。因此，这类静默故障的解决往往耗时较长，MTTR（Mean Time To Repair，平均故障恢复时间）超过 8 小时，而 15% 的静默故障往往会耗费 80% 的运维人力资源。



2.2 新技术重塑网络运维

IPv6+

不同的垂直行业对 IP 网络在时延、带宽、业务可用性等方面的要求呈现出定制化、多样化的趋势。IP 网络一方面加速向 IPv6 演进，以满足海量基础连接的诉求；另一方面，在面对差异化质量保障、安全隔离、可编程、可感知、业务精细化、智能化管理等更高服务等级挑战时，IP 网络通过切片、SRv6、IFIT、集中管控、智能分析等一系列解决方案和能力，实现网络即服务（Network as a Service, NaaS）。



SRv6

作为 IPv6+ 的核心技术之一，SRv6 的网络可编程属性，与集中管控相结合，提供基于带宽、时延、Metric 等多因子算路和故障快速重优化及 SLA 劣化重优化的能力，面向不同业务提供差异化服务保障，为运营商网络提供了创新平台，满足在 5G 和云时代的业务诉求。



切片

网络切片为业务提供资源隔离、确定性、差异化质量保障。FlexE（Flexible Ethernet，灵活以太）切片技术和 Flex-channel 小颗粒切片技术的融合，既可以实现一网多用，快速建专网，也可以满足随用随切、以租户粒度提供高品质专线的诉求。通过切片的全生命周期端到端管理实现切片敏捷部署、切片质量可视、切片无损扩缩容，支撑运营商使能切片服务化，实现商业变现。



随流检测

随流检测技术与传统的探测技术不同，其逐包、随流的检测方式，极大提升了业务 SLA 检测精度。随流检测与智能分析相结合，在端到端 SLA 检测的同时，支持业务劣化自动逐跳检测，精准定位质量劣化链路，使业务精细化运营成为可能。

IPv6+ 技术的出现，为网络服务化提供了更佳的技术选择。IPv6+ 帮助网络服务化将网络的数据和能力开放出来，嵌入到运营商的业务系统与业务流程之中，真正实现自动化部署和智能化运维。

数字孪生

随着 5G、IoT 和云计算等新技术的不断发展，网络规模及连接数量正在快速增长，随之而来的网络负载也不断增加，这无疑为网络运维带来了前所未有的挑战。同时，由于行业用户对运营商网络有着极高的可靠性要求，创新试错成本高昂，因此，网络运营和创新正面临着成本和效率的双重挑战。为解决这些挑战和问题，产业界提出将数字孪生技术应用到网络，将网络数字孪生体作为网络的基础运维平台来实现低成本试错、加快创新迭代、提高网络智能运维水平。

数字孪生网络 (Digital Twin Network, DTW) 是以数字方式构建物理网络实体的虚拟孪生体，且可与物理网络进行实时交互映射。网络的数字孪生体作为物理网络设施的数字镜像，与物理网络具有几乎相同的网络拓扑、业务及流量数据模型，是真实物理网络全生命周期、多维度的精细化副本，可以为网络运维提供真实网络的数字化验证环境。

有了数字孪生网络这个平台，现网实施的调整、维护、优化等变更操作，均可先在数字孪生网络中进行充分的试验和验证，并通过其反馈来不断的评估、修正、优化操作方案，最大限度降低对真实网络带来的冲击。同时，数字孪生网络还会实时记录数字孪生体的状态和行为，支持对历史的追溯和回放，确保能在不影响网络运营的情况下完成预验证，极大地降低试错成本。

相比传统的仿真技术，网络数字孪生网络不再只是静态的网络快照，而是可以根据网络状态实时更新，更能与 AI 技术相结合，实现自我学习，并使数字孪生网络根据反馈结果自我演进，具备更高的真实性和可靠性。

AI与大数据

随着 5G 与云技术的发展，IP 网络规模在不断增长，异构网络技术也呈现出新老交织的场面，以人工为中心的运维模式已难以应对，这无疑加重了运营商的负担。AI 进入电信网络后，加速了电信运营的人机协作模式，并在电信网络规、建、维、优的各个阶段发挥积极作用。AI 技术在通信网络的应用范围广泛，既包括对既有信息的理解，如智能感知确定性的网络参数，还包括对网络基础知识的理解，如针对网络形态的业务 SLA 智能预测，同时也包括开放式的、复杂关键场景的智能决策，典型场景如网络隐患预测、网络流量预测、智能故障根因分析、用户套餐推荐等。

未来网络环境复杂多变，突发事件不可预测，数据的复杂度和数据量空前最高，业务场景涉及云/网/边、横跨多个自治域、跨行业、跨领域、任务种类繁多，决定性因子和噪声干扰多。IP网络要真正实现全面自智，需具备全生命周期的自学习、自适应、自演进的闭环自智能能力，这些能力必将赋予机器更多的自主分析、自主决策、自主干预网络的权利。那么可自学习、持续演进的AI将成为更多权力移交给机器的关键。

AI模型的持续演进离不开大数据，大数据技术是运营商打造智能化运维体系，提升网络建设能力和运维效益的重要手段。通过AI+大数据技术，运营商可以对全网资源高效实时全息感知、在线优化、网络故障精确快速定位，并实现自动化、智能化的网络端到端管理、设计和运营；同时网络运维大数据持续注入运营系统、网图和网元中，及时优化分析模型，使网络运维能够进行智能的迭代升级，变得越来越聪明。例如：某运营商建立IP网络资源利用率分析模型，以AI+大数据技术为基础，不断优化网络资源利用率并进行预测性分析，实现在不同区域、不同时间段内网络资源的智能化调度，有效保障了最终用户体验、提升了网络运维效率、降低了运维成本。

通信大模型

通信大模型可以学习和理解百亿级的IP数据通信领域知识，精准理解用户意图，通过智能语言交互提升交互效率，使得IP网络业务知识回答准确率显著提升。通过大模型智能分解复杂任务，提升网络运维效率数十倍。通信大模型的自适应学习能力使其能够根据网络环境的变化不断调整和优化，进一步增强了网络的智能化水平。基于通信大模型整体提高IP网络的稳定性和可靠性，还能极大地降低运维成本，提高运维效率。

通信大模型的核心优势在于其提供的两类应用能力，一类是基于角色的Copilots，一类是基于场景的AI Agents。Copilots专注于帮助运营商赋能员工，提升员工的知识水平和工作效率。通过智能语言交互能力，能够理解复杂的技术问题，并给运维人员提供准确的解决方案，帮助运维人员快速闭环网络问题。除此以外，Copilots能够自动化执行重复性高、耗时长任务，如配置管理、性能监控等，释放运维人员的时间。AI Agents则针对不同的运维场景，提供不同场景自闭环能力。例如，通过实时监控网络与业务SLA指标，AI Agents能够预测并优化网络，保证用户体验，确保服务的连续性和稳定性；通过数据分析技术，能够预测潜在的网络故障并提前采取措施，在故障发生时快速定位问题根源，缩短恢复时间。在需要跨多个组件的复杂运维场景中，AI Agents相互配合协调不同资源，通过分析拆解复杂流程和编排操作方案，确保运维活动的高效执行和用户体验满意度。

3 IP自动驾驶网络目标定义

3.1 IP自动驾驶网络愿景

自 2019 年 TM Form 发布业界首个自动驾驶网络白皮书之后，3GPP、GSMA、CCSA、ETSI 等标准或产业组织也开展了 AN (Autonomous Networks, 自智网络) 分级的研究，整体通信行业对于 AN 愿景、架构形成广泛共识，全球 10+ 运营商把 AN 纳入集团战略并开展实践。IP 自动驾驶网络以三层四闭环为基础架构，以 Self-X 自服务为基础能力，再结合 IP 领域的网络特点，以创新技术引领产业，解决 IP 网络配置复杂、网络易拥塞、MTTR 时间长等典型难题。作为 Net 5.5G 的关键使能力量，IP 自动驾驶网络旨在通过自动化、智能化手段逐步减少和消除人工操作，打造面向客户的零等待、零故障、零接触的极致体验，实现业务体验提升，缩短业务 TTM；打造面向网络运维的自配置、自修复、自优化的高稳网络，使能运维降本增效，提升维优营自动化率，节省运维人力，降低 MTTR。

零等待

IP 自动驾驶网络可以显著缩短客户等待时间，确保客户的网络业务诉求能在极短时间内得到有效响应和处理。当客户提出网络业务诉求后，IP 自动驾驶网络能够迅速提供可用服务。例如，租户级 VPN 业务可以实现秒级开通，即开即用，极大地提升客户的服务体验。

零接触

IP 自动驾驶网络能有效优化客户获取网络业务及保障的方式，传统的营业厅、客服及上门运维工程师的依赖被大大降低，取而代之的是电商化的自助服务体验。无论企业用户还是个人用户，均可以通过电商化的自助方式获取“订购 / 变更 / 维护 / 优化”等各种 IP 网络服务，满足客户随时按需的服务诉求。例如，企业上云业务客户可以自助申请业务开通，而 IP 自动驾驶网络能够提供业务路径智能推荐、业务 SLA 质量实时监控及优化、带宽扩容实时调整，极大地满足了客户随时按需的服务诉求。

零故障

IP 自动驾驶网络能有效提升对客户业务的保障，通过精确的网络监测和预测机制，有效避免业务出现故障或劣化，使客户对网络故障和网络质量问题几乎无感知或感知不明显。例如，在网络出现故障前，IP 自动驾驶网络就能监测到网络劣化趋势，并能准确推测出网络可能出现的故障及对客户业务的影响，优先采取预防措施。当出现网络侧故障和质量问题快速自动修复，保障客户业务持续稳定运行。

自配置

IP 自动驾驶网络在业务端到端部署、变更、升级过程中，提供了全方位的自动化支撑，大大地减少了人工配置。通过智能算法将业务意图直接转化为网络配置，不仅显著减少了网络配置的工作量和难度，也减少了人为失误带来的故障，从而极大地提升了业务开通和调整的效率。例如，针对业务配置进行事前仿真评估对 IP 网络与业务的影响，事后验证配置合理性如路由可达性、业务 SLA 质量等。

自修复

IP 自动驾驶网络能在业务保障过程中进行自动化故障处理，实现故障预测预防和故障快速修复，保障业务高可靠运行。网络运维人员不再时刻监控网络故障情况，只需要提前做好各类故障的原则性策略，后期可以由 IP 自动驾驶网络自动完成对故障的监控、预防、修复等动作。IP 自动驾驶网络通过网络数字孪生实现对网络状态、变化的实时感知；通过持续的网络行为学习，主动识别网络风险与异常；通过根因溯源实现故障根因智能分析；结合故障发生位置、时间、业务影响等因素给出异常修复建议，最终实现风险主动规避、故障自动闭环的自维护系统以提升业务连续性与体验。

自优化

IP 自动驾驶网络从业务质量角度进行持续的自动化优化过程，通过感知整体 IP 网的业务质量情况，识别出最优路径、调整网络参数，最终满足网络优化的策略，使网络效能得到最大发挥。通过网络性能指标的实时监控，分析指标的变化趋势，结合网络质量问题出现的规律和相关运维知识，可以预测出网络即将出现质量劣化的风险，通过仿真确定可行的调优方案，自动启动优化任务，确保网络始终处于最优状态。

3.2 IP自动驾驶网络分级

TM Forum 定义了自智网络等级来指导网络和服务的自动化和智能化程度，评估自智网络服务的价值和优势。当然，要实现 IP 网络完全的自动驾驶，必然是一个长期的过程，无法一蹴而就，为了更准确地描述和规划这一进程，可以将 IP 自动驾驶网络定义为五个等级：

L0人工运维

系统提供辅助监控能力，所有操作全部通过人工执行，包括配置下发，状态查询均通过命令行完成，这是网络运维的最初始阶段。

L1辅助运维

针对网络运维中已知重复性任务，根据人工定义的规则通过工具或脚本批量操作（如批处理工具），通常是针对一个或多个网元进行批量操作，帮助用户提高网络运维管理工作的执行效率和感知效率。

L2部分自智网络

系统根据人工定义的策略帮助用户（决策仍由用户人工实现）实现部分网络运营管理工作流程的闭环，大部分用户和厂商都处于这个阶段。

L3条件自智网络

系统自动感知网络状态与资源信息，推荐 VPN 业务的最佳参数组合、提供配置事前评估、事后自动验收、发现问题后自动定位等能力。系统具备智能化分析能力，根据人工定义的闭环自动化策略来实现闭环自动化，可实现部分场景的闭环管理。

L4高度自智网络

相比 L3 阶段，网络智能化程度更高，系统自动感知网元网络状态，并根据趋势提前预测和分析潜在风险，并主动进行优化调整，保证网络持续满足业务要求；针对网络突发问题，系统有主动识别、纠偏的能力。

L5完全自智网络

这是 IP 网络发展的终极目标，系统具备在任意场景中跨业务、跨领域的全生命周期的闭环自愈能力，真正实现无人驾驶网络。

自智网络等级	L0: 人工运维	L1: 辅助运维	L2: 部分自智网络	L3: 条件自智网络	L4: 高度自智网络	L5: 完全自智网络	
执行	P	P/S	S	S	S	S	
感知	P	P/S	P/S	S	S	S	
分析	P	P	P/S	P/S	S	S	
决策	P	P	P	P/S	S	S	
意图/体验	P	P	P	P	P/S	S	
适用性	N/A	选择场景				所有场景	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> [P] 人(手工) [S] 系统(自主) </div>							

3.3 IP自动驾驶网络关键能力特征

IP网络从业务全流程上划分为“规-建-维-优”四个阶段，同时包括“规划设计、业务发放、网络变更、网络排障、网络优化”子环节。每个环节在自动驾驶的每个等级上都应具备关键能力特征。针对IP自动驾驶网络分级标准，定义了IP网络的等级代际与关键能力。客户可根据此能力特征评估自身IP网络现状，并结合实际制定出相应的发展目标。

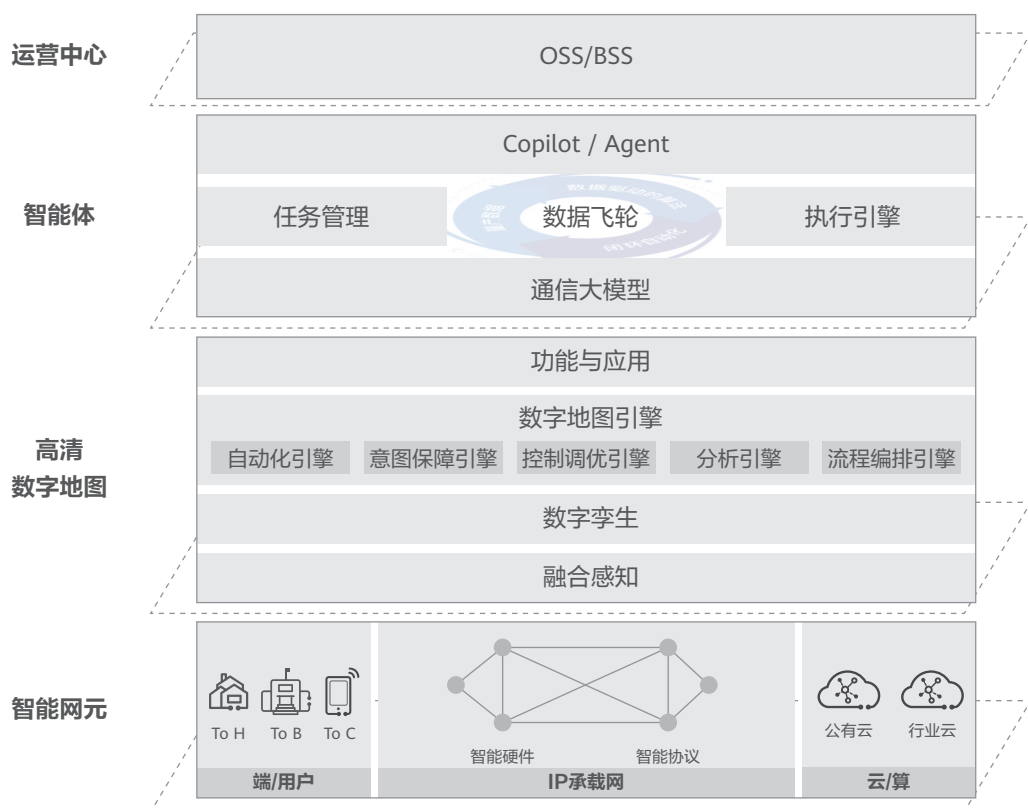
IP网络全生命周期		L2 关键能力	L3 关键能力	L4 关键能力
规划	规划设计 Day0	<ul style="list-style-type: none"> 规划设计工具 人工会议评审 	<ul style="list-style-type: none"> 识别规划意图，比如新建接入设备 依据规模、可靠性等，自动推荐建设方案 系统生成仿真网络镜像，进行规划仿真评估 	<ul style="list-style-type: none"> 自感知自还原存量网络规划，包括协议部署、资源规划，自生成存量网络规划全景，并自动给出新建方案，结合存量网络规划全景偏好，推荐新建区域的最匹配规划方案

IP网络全生命周期		L2 关键能力	L3 关键能力	L4 关键能力
建设	业务发放 Day1	<ul style="list-style-type: none"> • 基于命令行模板或配置工具 • 人工设计方案，专家评审 	<ul style="list-style-type: none"> • 基于业务意图，比如业务源与宿、业务的带宽、时延等SLA要求，并支持意图自定义自动推荐方案 • 实现自动业务资源占用并自动业务部署，部署完毕后自动验收，给出业务连通性、吞吐量等验收报告 • 意图驱动监控，基于业务的能力，自动创建监控任务，持续监控 	<ul style="list-style-type: none"> • 基于自然语言对话识别业务意图，灵活意图定义理解业务意图 • 自动学习网络状态变化并更新知识，更好的推荐业务开通路径 • 基于业务SLA要求结合网络状态进行仿真验证，仿真无误后实现业务自动化部署 • 持续监控业务SLA，对业务SLA进行预测，并智能化分析业务影响，提前优化调整
维护	网络排障 Day2	<ul style="list-style-type: none"> • 系统基于人制定的巡检策略进行排查 • 人工识别隐患 • 人工修复故障 	<ul style="list-style-type: none"> • 系统持续监控，实时识别网络故障与异常，1分钟发现问题 • 系统自动分析故障根因 • 推荐最佳修复方案，用户确认后，执行故障自动修复流程 	<ul style="list-style-type: none"> • 故障自感知与预测：与智能网元一起自动感知光模块、单板等硬件、协议与路径、应用流等软件故障，实现IP网络信息全息感知、全流分析，并结合趋势变化预测网络故障与隐患 • 故障根因定位：基于AI学习网络、业务等故障关联，并进行故障的根因定位 • 故障自愈：系统结合大模型实现网络故障修复建议步骤推荐，并执行修复步骤实现故障自愈

IP网络全生命周期		L2 关键能力	L3 关键能力	L4 关键能力
维护	网络变更 Day2	<ul style="list-style-type: none"> 人工设计变更方案 配置工具或控制器下发 工具备份整网的配置文件，变更失败后导入、恢复 	<ul style="list-style-type: none"> 基于网络变更场景比如接入设备上线、VPN接入配置、破坏加减点、网络扩容，基于场景化自动生成相关配置脚本 网络拓扑以及IP网元配置脚本进行仿真评估，给出风险评估结果，保证变更无错误 用户人工评估风险后，执行配置变化脚本，配置出错能快速回滚 	<ul style="list-style-type: none"> 基于大模型学习网络组网信息与配置参数，结合网络变更意图可自动进行网络设计，自动生成拓扑变更与配置脚本 针对生成的拓扑变更与配置脚本自动进行仿真与验证，自动评估网络变更影响 自动生成并执行网络变更详细操作步骤，包括原业务重新算路，变更配置下发、配置出错回溯等流程，实现网络变更自动化
优化	网络优化 DayN	<ul style="list-style-type: none"> 突发丢包：尽力而为 巡检工具：依据checklist发现网络隐患 基于人工经验的优化 	<ul style="list-style-type: none"> 自动感知网络时延、流量、丢包等SLA信息，链路路与隧道中断与SLA劣化时自动进行网络调优 	<ul style="list-style-type: none"> SLA劣化预测：建立网络与业务质量的动态基线，可提前预测 主动优化业务：依据业务劣化预测，提前优化调整，保证网络持续满足要求 自主学习网络SLA基线，精准发现网络瓶颈点，自动给出网络扩容建议

4 IP自动驾驶网络架构

4.1 目标架构



为实现高阶自动驾驶网络，重塑全生命周期的运维流程，需要清晰定义运维系统的目标架构，并攻克目标架构演进过程中的关键技术难题，最终达成“零等待、零接触、零故障”的全自动极致运维体验的目标。白皮书定义的目标架构分为四层，分别是：智能网元、高清数字地图、网络运维智能体和运营中心。它们各自的职责定义如下：

智能网元

智能网元既是 IP 网络基本组成部分，也是 IP 自动驾驶网络的基本管控单元。智能网元需要精准采集现网数据并上报给高清数字地图，使得高清数字地图能够实时感知网络的拓扑、业务、流量、状态和质量等相关数据；同时还要支持 IPv6+ 等智能协议，可以实时响应高清数字地图的管理、控制指令，实现网络的最优化调度和闭环控制。

高清数字地图

作为 IP 自动驾驶网络的关键组件，高清数字地图可以构建物理网络实体的虚拟孪生体，并通过多种协议连接网络设备完成 IP 网络资源、业务和流量的采集、管理、分析和闭环控制；为系统管理员和网络维护人员提供丰富、简洁、易用的 UI 界面，同时也给网络运维智能体提供灵活开放的 API，供智能体编排和调用。

智能体

作为IP网络智能运维的核心部件，Net Master通过离线学习高质量的语料（如：IP网络运维手册、专家经验、高清数字地图提供的API等）构建强大的通信大模型；Net Master使用大模型提供在线推理能力，能够自动识别用户意图、自动分解并生成网络运维任务，实现网络运维的自动化和无人化。同时，通信大模型还具备在线重训练的能力，能持续学习现网案例、丰富知识库，实现知识的持续优化和进化。

4.2 智能网元

要实现 IP 网络的少人化、无人化运维，达成高阶自动驾驶网络的目标，传统的网管系统需要向更加智能的数字地图和智能体演进。网元作为执行网络指令、转发网络流量的最基础单元，同样需要向原生智能的方向演进。智能网元通过内置的 AI 技术，不但能够通过大量在线样本的学习来丰富自身知识库，实现本地推理和自智能力，还能与远端的高清数字地图和智能体协同，实现预防性的维护和预测性的优化。通过本地 AI 与远端 AI 的协同机制，实现多设备协同、跨区域协同、全网协同的闭环自智。



智能硬件

嵌入式的智能硬件包括 AI 主控板、AI 线卡和 AI 专用算力卡三大 AI 部件，是实现流特征识别、实时感知、攻击防范和最优化调度的基础。智能硬件通过“本地 AI+ 远端 AI”的协同方式持续更新模型、不断更新本地知识库，优化本地决策的准确性和实时性，还能支撑智能管控系统（高清数字地图 + 智能体）实现网络级的最优化调度。例如：智能硬件能够通过精确感知本地流特征，对异常攻击流实施自动阻断；对高价值流的拥塞和 SLA 实时检测并上报给智能管控系统进行主动优化，持续保持高价值流的 SLA 不劣化。

智能协议

智能协议是智能网元与智能管控系统（高清数字地图 + 智能体）之间协同的桥梁。可编程的 SRv6 协议为 IP 网络智能调度提供了基础支撑，与智能管控系统云图算法协同，通过多目标组合优化实现网络流量的最优化调度。高精度 OAM 协议（如：随流检测）可以感知到流级别的 SLA，能更精确地定位到 SLA 劣化的网络链路、节点、甚至端口，为故障的快速定界定位和收敛提供了有力支持。要实现 IP 网络业务 SLA 的持续保障，高实时性和高精度的采集协议不可或缺，特别是在智能管控系统参与远端决策时，其重要性尤为凸显。例如，智能网元使用 BGP-LS 来上报网络拓扑的变化情况，使用 Telemetry 来上报网络质量变化情况，使用 NetStream 来上报流的变化情况，使用 BMP 协议来上报路由变化情况等。

智能应用

智能网元与智能管控系统（高清数字地图 + 智能体）协同，可以在节能、业务体验保障、局部拥塞消除和安全防护等场景中构筑竞争力，实现网络运营更低的能耗、更优的业务体验、更大的网络吞吐和更高的网络安全，支撑网络运维向网络自动驾驶演进。

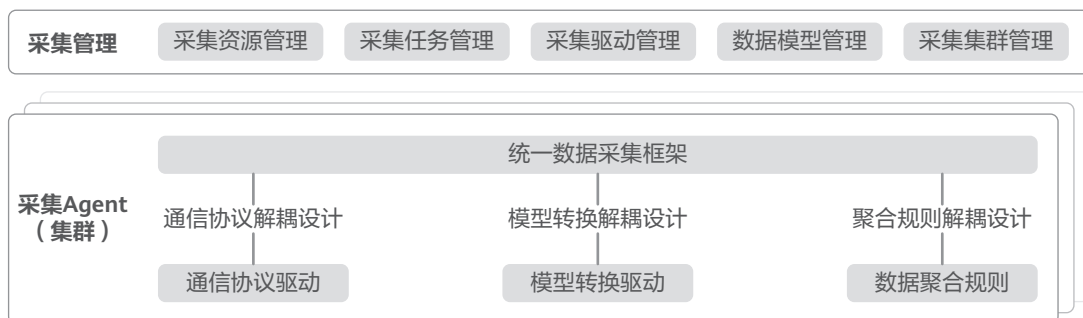


4.3 高清网络数字地图



高清网络数字地图是 IP 网络的下一代运维中心。高清数字地图使用南向协议实时采集 IP 网络资源、拓扑、业务、SLA、状态数据，进行统一的模型抽象并精准分析这些数据之间的关系，形成一张网图，同时依托高精度的仿真协议来预测网络状态及流量趋势。当数字地图成功构建起可以刻画网络过去、现在和未来时态的多层多维的高清数字孪生镜像后，它将为网络的“规划 - 建设 - 维护 - 优化”全生命周期提供不同的功能与应用，例如网络全息可视、网络业务自动、业务拥塞分析、业务隐患分析、网络路径导航等。同时，高清数字地图把这些能力开放给智能体，智能体可以自动调用这些能力实现网络自动配置、自动优化、自动故障排除等，实现真正的无人值守和自适应网络运营，即 L4 级的高阶自动驾驶网络。

- 数据采集引擎：**数据采集引擎负责把物理网络的数据投射进数字世界，通过包括 NETCONF、SSH、Telemetry、BMP、NetStream 等多种数据采集协议，采集网络原始数据，并且提供分布式的数据采集框架，完成大规模网络的并发数据采集；同时对采集后的数据做聚合和基础格式转换，把数据写入到数字孪生引擎，支持后续的数据分析和呈现。



- **数字孪生引擎**：数字孪生引擎作为物理网络转换成数字世界的载体，提供核心的数据服务，包括 OLTP（Online Transaction Processing，在线交易处理）、OLAP（Online Analytical Processing，在线分析处理）多数据类型存储服务、多种数据类型的汇聚和计算服务、数据逻辑模型到存储模型的映射和管理、数据对象时间序列处理、数据关联关系管理等多种能力。并且对外提供包括数据查询，数据灵活搜索，数据编排等数据业务。数字孪生引擎目标架构主要分为四大块：数字孪生设计器、数字孪生引擎框架、数字孪生数字底座、数字孪生基础服务。



数字孪生设计器	参考业界建模理论，提供简单、易扩展的维度、关系、事实表建模体系，打造统一原模型管理、统一设计工具，简化产品开发，实现网络数据建模可视化。
数字孪生引擎框架	提供实时、可信的网络数据，最优的数据处理 / 存储 / 查询能力。

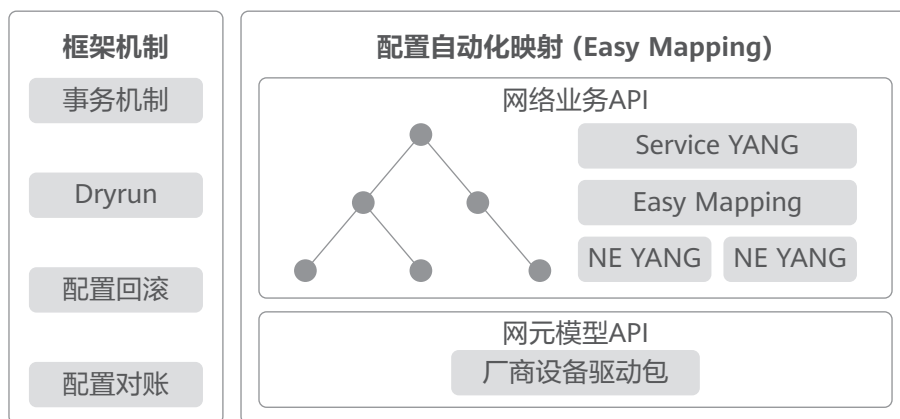
数字孪生 数字底座

提供通用的数据服务能力。其中仿真服务提供统一的网元配置模型、网元存量模型、网元行为模型和网络模型，将网络数据映射到统一模型上。支持基于统一模型完成以设备为中心的设备协议仿真能力，支持基于通用验证算法的自定义验证业务插件，快速定制仿真验证业务，并可基于物理网络的数字镜像，构建多个数字镜像分支，并基于每个分支验证变更影响。

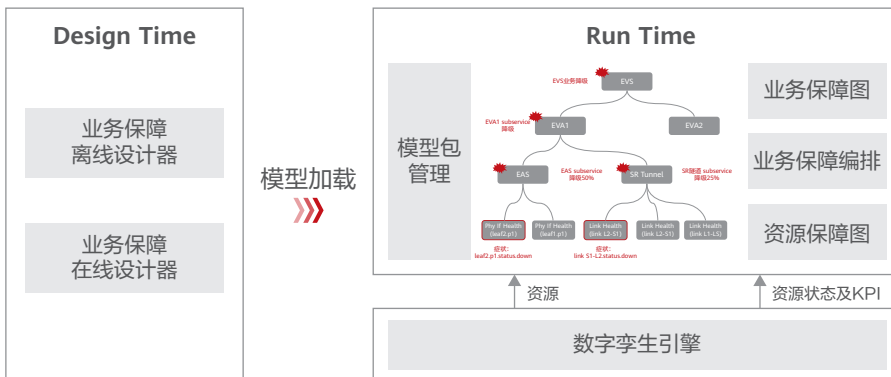
数字孪生 基础服务

基于语义或意图的智能搜索与关联信息推荐、动态地图高保真 GIS 分段拓扑，支撑网络故障快速诊断，提升运维效率。

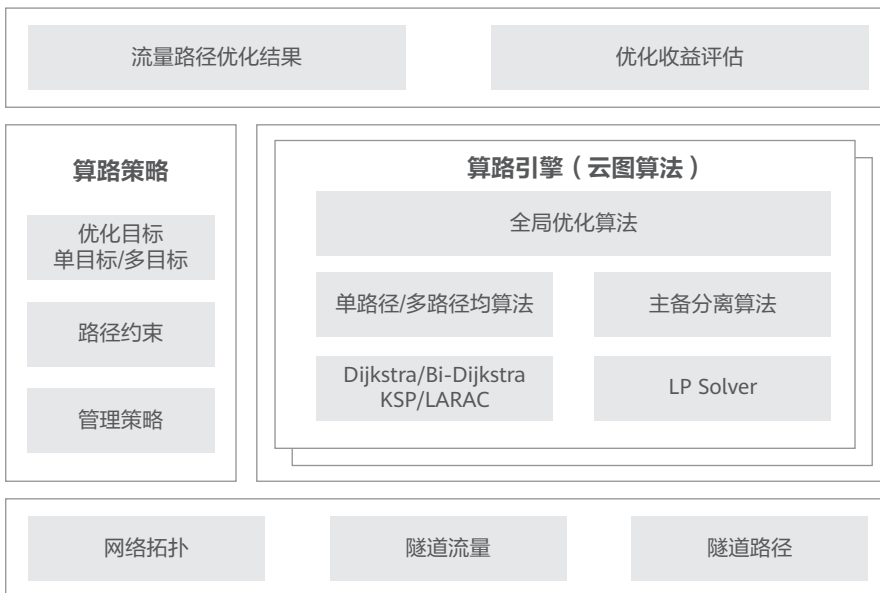
- **自动化引擎：**自动化引擎通过模型驱动的方式，在网络业务层通过 YANG 定义网络业务模型，在网元层通过 YANG 定义网元配置模型；通过 Easy Mapping 框架将网络模型自动转换为网元模型，并且提供了 Dryrun、配置对账、配置回滚，事务机制等可靠性的能力，达成业务配置自动化的目标。



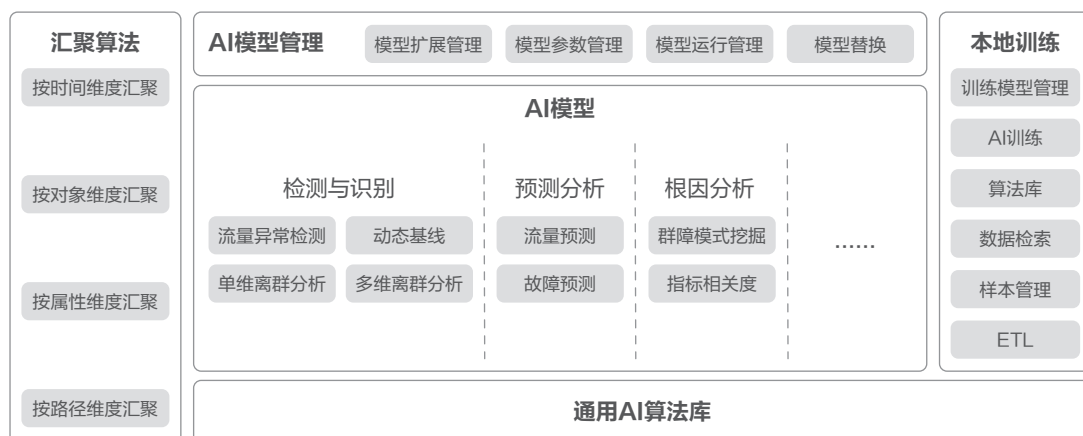
- **意图保障引擎：**SAIN (Service Assurance Intent-based Networking, 基于意图网络的业务保障) 动态加载模型包，生成业务的保障意图；同时从网络数字孪生引擎中实时获得资源、业务、状态及 KPI 等信息，在线计算各原子资源的健康度并与对应的症状关联。通过逐层汇聚，自动计算出顶层业务的整体健康状态（如：正常，保护降级、部分中断、完全中断等）。意图保障引擎生成的业务保障图可直观呈现业务的健康状况，还可以从顶层逐层展开并追溯到叶子节点（即：故障根因），有助于网络运维工程师快速完成业务影响分析和故障定界定位。



- 控制调优引擎：**控制调优引擎是网络流量最优化调度的计算引擎，它同时运行多个算路实例，可以并发响应多个算路请求。当网络拓扑发生变更、链路流量越限、业务的SLA发生劣化或者周期性优化任务开始时，控制调优引擎就需要及时响应优化请求。算路引擎会基于优化目标和约束，对网络流量重新布局，生成网络控制指令；同时会提交给优化收益评估模块进行收益评估，系统根据反馈自动优化算路策略。



- 分析引擎：**分析引擎提供通用 AI 基础算法库，支持包括流量异常检测与识别、流量预测、群障根因识别等智能应用，完成业务计算；支持多应用算法模型的加载和管理，支持多种计算应用；提供本地训练平台，针对现网数据可以快速开发新算法，并导入系统。



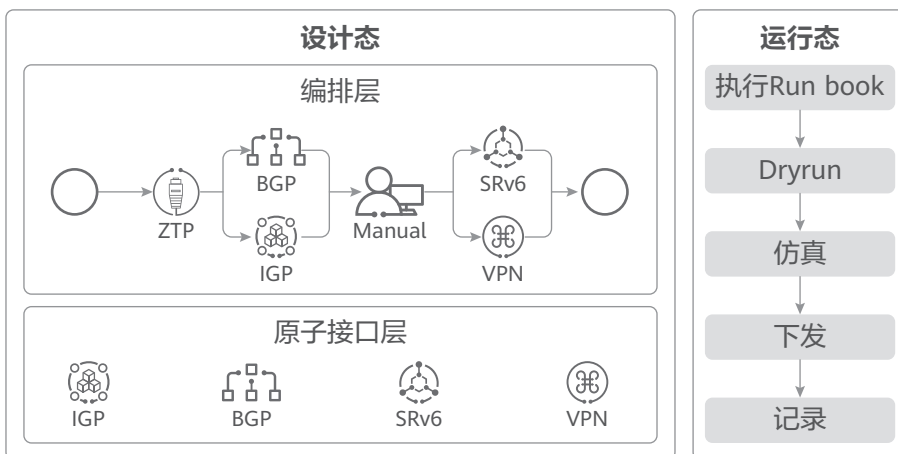
- 流程编排引擎:** 通过 Low-Code 的方式提供图形化设计编排能力，拖、拉、拽编排网络原子接口，实现各类业务逻辑、工作流程、参数传递的在线可视化编排，自动生成 UI 界面及 API 接口。支持参数映射式（北向接口下发）及事件触发式（网络事件触发）两种工作流，匹配业务自动下发场景及运维自动化场景。例如：业务自动开通的流程一般是配置下发前检查网络状态、执行资源冲突检测，配置下发后执行业务连通性检测、告警核查等任务；而有的场景需要在业务下发成功后开启自动检测任务、定期巡检任务等。

设计态

运维工作流的设计环境，将原子 API 组装起来，满足特定运维场景下的一个闭环操作；同时提供了新建工作流的调测环境，方便用户在线跟踪、调试、修改，加速工作流的开发与上线效率。

运行态

流程引擎是一套工作流执行框架，负责流程调度、流程状态管理、动作执行调度等。下发执行模块是按流程引擎给的指令，实际履行动作的下发执行。流程实例管理模块用于管理已经生成的流程实例，便于查询并可针对指定实例进行重试和回滚。



4.4 网络智能体

- **网络智能体整体框架：**网络智能体由网络大模型、执行引擎、任务管理和数据飞轮组成，架构如下图所示。



- **任务唤醒：**网络智能体深植于网络运维系统，可提供人机交互与机机交互两大接口。
 - 在人机交互中，自然语言对话成为最自然的沟通桥梁，用户通过对话的方式提出问题，由AI Agent调用大模型进行意图理解和回复。同时，IP高清网络数字地图中存在多种网络数据，AI Agent能够主动推送和呈现网络问题，针对不同的对象和场景，还可以自动推荐相关的操作，用户可根据需要进行交互，交互信息还会通过AI Agent传给大模型，由大模型来决策和编排执行。
 - 机机交互则侧重于网络中的告警事件，这些事件会自动触发大模型交互，通过内置流程或告警事件传入AI Agent。通过在外部增加触发器和意图识别模块，让系统能够通过告警日志和周期性检查规则主动发现问题、动态生成解决方案并执行完成闭环。

- **任务管理：**是网络智能体的核心层，支持多产品注入各自的场景描述，配置，从而实现多产品场景扩展。随着智慧体功能的增多，调用的工具数量也在不断增加，任务更加复杂，需要通过任务管理框架实现对复杂任务的拆解与编排，实现感知、理解、任务分解、反思、工具执行自闭环，大幅提升网络大模型在复杂场景的能力上限。
- **执行引擎：**是网络智能体的基础组件，能够为主动式运维提供核心能力，支持一次性任务与周期性任务的执行，提供立即执行与延时执行选项。执行引擎上午高并发、高可靠与横向扩容能力能够确保任务执行的流畅与高效。任务执行前后，引擎还负责业务参数校验、后置处理唤醒、智慧通知与异常告警，全方位保障客户的使用体验。
- **网络大模型：**学习和理解了百亿级的IP数据通信领域知识后，大模型能够精准理解用户意图，通过智能语言交互提升交互效率，使得IP网络业务知识回答准确率显著提升。运维人员还可以通过大模型智能分解复杂任务，提升网络运维效率数十倍。通信大模型的自适应学习能力使其能够根据网络环境的变化不断调整和优化，进一步增强了网络的智能化水平。基于通信大模型整体提高IP网络的稳定性和可靠性，还能极大地降低运维成本，提高运维效率。
- **数据飞轮：**是一个自我强化的循环过程，在获得客户授权情况下，通过数据的积累和利用，不断推动业务和运营的改进。问题与答案经过回收和人工核查后，转化为用于微调训练的SFT数据，网络大模型经过SFT优化后，通过打分模型进行自动评测，确保优化后的模型能够迅速部署到系统中，形成持续的优化闭环。



5 IP自动驾驶网络应用场景

5.1 网络建设

场景与解决方案

随着企业数字化转型进程提速，产品创新的迭代周期显著缩短，应用上线和投产、变更越来越频繁。企业数字化转型带来的云化服务，对运营商提供传统 2B 业务连接也提出了新的要求，从简单的连接型服务转为更复杂的数字化平台服务，以在与 OTT 的竞争中形成差异化优势。然而，传统的网络及 IT 系统架构往往面临诸多挑战，难以迅速适应这种转变。为了解决这一问题，引入网络业务自动化 AI Agent 成为了一个切实可行的解决方案。



网络业务自动化 AI Agent 能够实现业务开通工单的自动对接，自动理解网络业务发放意图，自动分解网络对象与参数，实现业务仿真验证与业务发放，提供一体化端到端的业务自动发放能力。

业务开通 意图管理

运维用户可以通过自然语言向大模型智能体描述业务开通的具体诉求，包括源宿网元、带宽时延等 SLA 约束、业务主备保护等可靠性要求。而业务意图管理模块能够自动理解业务开通诉求，并将其转成统一业务模型，确保后续操作的准确性和一致性。

数字地图全息 可视与业务参 数智能分解

基于网络数字地图的数字孪生体信息，AI Agent 自动分解与分配业务涉及的 VPN、隧道、Qos 策略、路由策略、VLAN、IP 地址等网络资源参数，以及提供业务路径规划推荐算法，输出跨区域、跨异厂商的路径导航规划，并自动推荐配置方案。

业务开通 仿真

基于分解的参数生成的配置执行仿真验证，自动分析业务开通后对网络流量、网络影响等评估，确保业务稳定性。

业务自动化 开通

基于分解的业务模型与参数，AI Agent 能够调用高性能高可靠的自动化引擎，实现多厂商设备网络的业务开通。

业务自动 保障

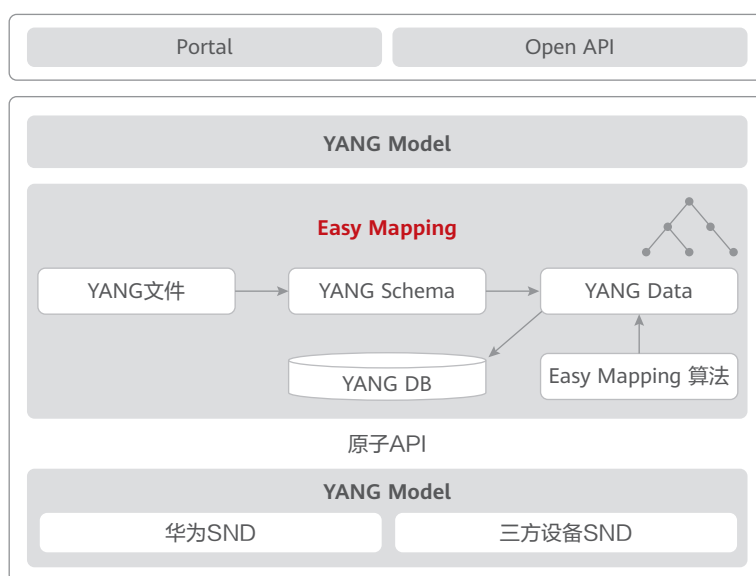
业务开通后，AI Agent 会自动创建业务保障模型，持续监控业务与 SLA 质量。当网络发生故障或承载业务的链路质差时，它能够实时定界定位到影响的业务，并自动优化以保障业务的 SLA。

网络业务自动化 AI Agent 以业务为中心，解决了业务自动化面临的挑战。通过大模型理解业务开通的自然语言，实现对话式运维，极大方便了用户的理解和使用，实现业务开通意图自动理解，网络参数自动分解，业务开通自动化，业务保障智能化，应对客户任意的意图开通诉求，实现业务 TTM 周期缩短至天级，上线周期缩短了 80%。

关键技术

技术一：模型驱动的业务自动化引擎

自动化引擎是一个模型驱动的可编程框架，具有良好的可扩展性，是实现多厂商业务自动化的关键部件。它支持快速完成设备纳管后配置的自动获取，并生成网元级别的原子 API；同时支持基于 YANG 自定义业务模型，并生成网络业务 API。自动化引擎中的 Easy Mapping 框架可通过内置的分解、编排、计算、回溯算法，自动将网络业务分解成网元配置，最终映射到网元级别的原子 API。

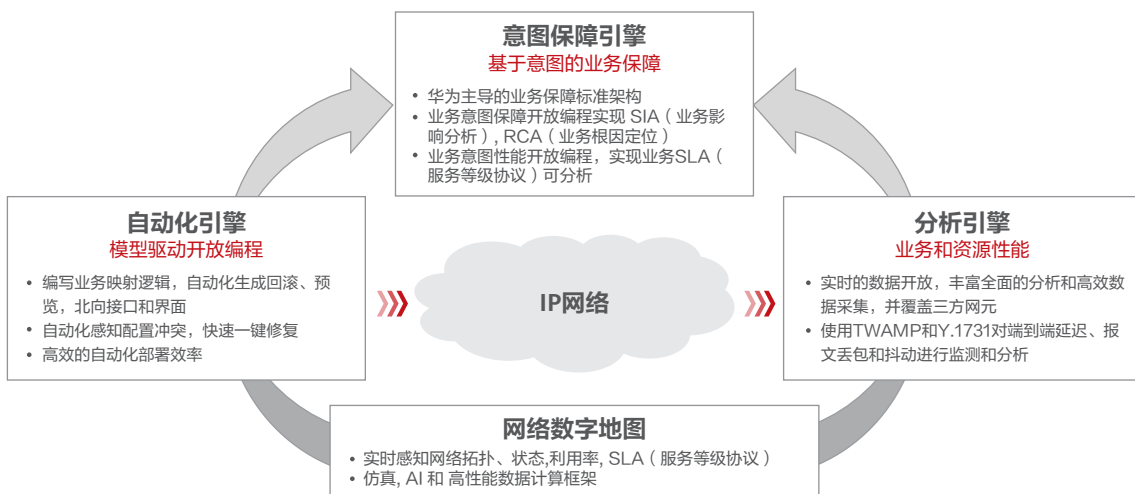


自动化引擎具备如下能力：

- 系统可以根据加载的软件包中定义的业务模型和设备模型自动生成北向接口，其中北向接口包括 CLI、Restconf、WEB UI；还可以根据软件包中定义的设备模型自动生成南向协议报文，包括 NetConf 协议报文；同时也支持模型驱动的数据库，根据 YANG 模型自动生成数据库表项。
- 业务管理可以根据业务 YANG 模型自动生成业务创建界面，配合其与设备 YANG 模型之间的映射关系实现业务的 CRUD 操作。
- 设备管理可以根据设备 YANG 模型自动生成网元管理界面，实现差异对比、数据同步、配置对帐等网元资源的 CRUD 操作。
- 北向接口可以根据业务 YANG 模型和设备 YANG 模型自动生成北向 Restconf 接口，配合两个模型间的映射关系实现业务和网元资源的 CRUD 操作。
- 高可靠性机制：具备配置事务、配置校验、配置回滚等能力，可有效保障配置正确性。

技术二：业务自闭环保障

意图闭环遵循 IETF 标准 SAIN (Service Assurance for Intent-based Networking Architecture)架构，提供端到端的意图保障解决方案架构，SAIN 是其中的意图引擎部件，还包括自动化引擎、分析引擎、网络数字地图。



解决方案包括四个部件：

- 意图保障引擎：负责意图监控和保障，支持意图的健康度监控和闭环
- 自动化引擎：负责意图的自动化，支持模型驱动开放能力，多厂商自动化能力
- 分析引擎：负责意图的业务和网元指标计算，多厂商性能指标采集能力
- 高清网络数字地图：负责构建网络数字孪生能力，其中的数据包括北向用户的意图数据和从设备上同步的现实网络数据

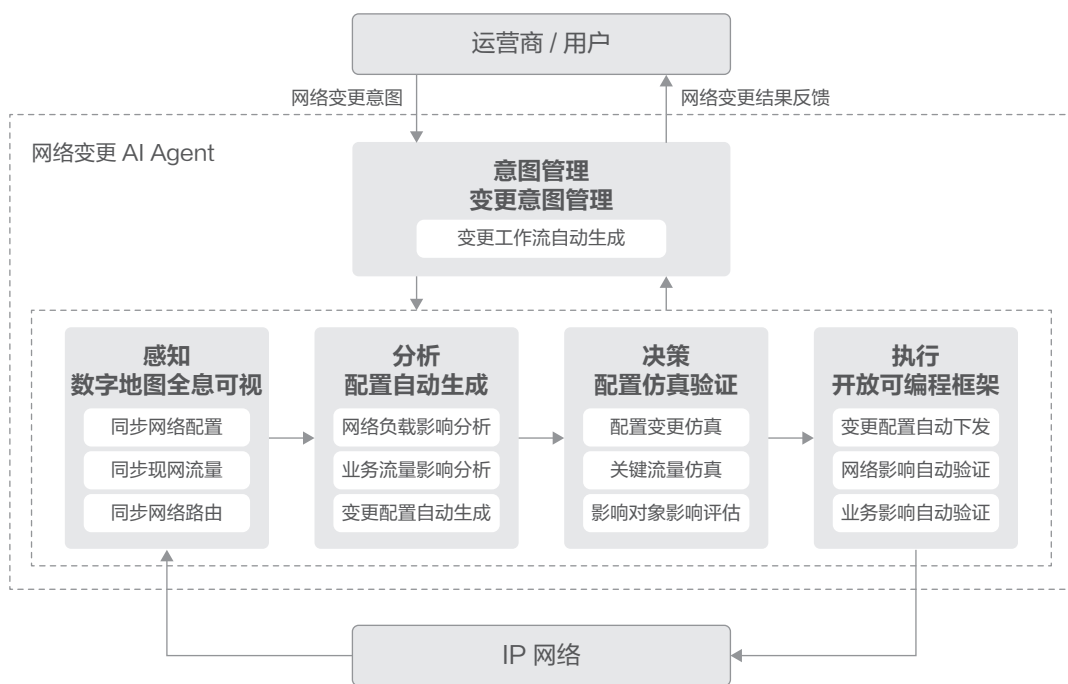
用户基于自动化引擎执行业务意图，通过网络数字地图引擎持续感知物理世界的状态，通过分析引擎采集和分析网络关键性能指标，通过意图保障引擎持续感知业务 SLA 健康情况，并分析决策执行闭环处理，调度自动化引擎执行闭环动作。基于以上闭环流程，最终满足用户的业务意图 SLA 可持续保障闭环。

意图保障引擎的核心目标是确保业务意图按照预期运行，并在出现问题时迅速定位根因。该方案在运行时会通过构筑业务保障树，将复杂的业务意图分解为多个子业务实例，进而细化为可独立监控的子业务单元。当服务降级时，意图保障引擎将为每个服务实例关联来自特定子服务的症状列表，从而定位问题所在。意图保障引擎不仅可以帮助将服务降级与网络根本原因 / 症状相关联，还可以推断受组件降级 / 故障影响的服务实例列表，指导操作团队关注重点。

5.2 网络维护

5.2.1 网络变更场景与解决方案

80% 以上的 IP 网络为多厂商设备插花组网，即便是同厂商设备，也存在设备型号和版本差异的问题。此外，网络设备上多种协议混合并存。这种软硬件的复杂性带来了网络可视化这一业界难题，不仅如此，网络中一个细小的路由配置错误都可能存在很广的波及面，对运营商造成巨大的经济损失，中断时间越长，运营商承担的额外成本就越高。IP 网络变更经常因为断点多、耗时长、人为配置错误等问题而导致事故频发。网络变更 AI Agent 引入大模型和仿真技术来重塑网络变更模式，通过变更配置自动生成、配置自动核查、事前仿真验证、变更配置下发和网络验证自动化等手段实现网络变更的自闭环。



网络变更 意图管理

基于自然语言交互，通过语言大模型识别用户网络变更意图，基于网络变更专家知识库学习自动生成网络操作工作流。

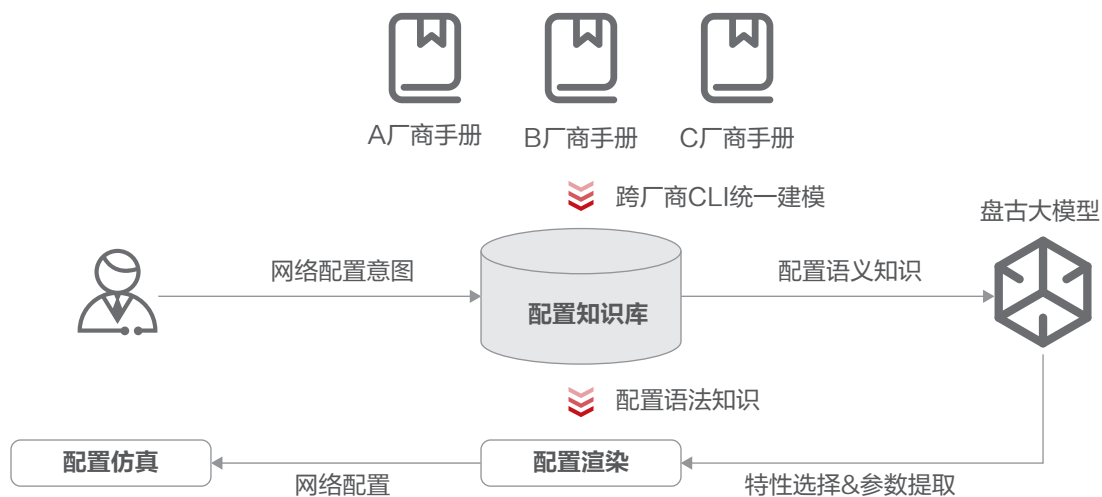
<p>数字地图 全息可视</p>	<p>数字地图作为 IP 网络和业务数据智能孪生体，自动同步网络配置、现网流量、网络路由，自动将网络拓扑 -> 分片 -> 路由 -> 隧道 -> VPN-> 应用各个层次数据深度融合，实现任意层次关联可视。</p>
<p>配置自动 生成</p>	<p>基于通信大模型，对变更业务场景涉及的 IP 通信知识、配置知识库、业务配置脚本模板库、典型变更配置操作指导进行训练和微调，自适应生成配置脚本。</p>
<p>配置仿真 验证</p>	<p>基于网络变更配置自动生成新的镜像网络，自动化对比变更前后的镜像网络，自动生成路由、隧道路径、流量负载的变更影响性评估报告，基于数据飞轮增强大模型进行配置校验，提前识别错误配置，输出配置错误根因分析。</p>
<p>开放可编程 框架</p>	<p>支持多层次的在线可编程能力，为客户提供低码可编程、持续在线、多厂商的工作流编排引擎，支持业务流程的自定义编排，为客户提供自定义网络变更配置下发和业务验证流程编排能力。</p>

关键技术

技术一：网络意图理解与配置自生成

基于网络配置意图，生成配置/变更脚本，其涉及以下关键技术：

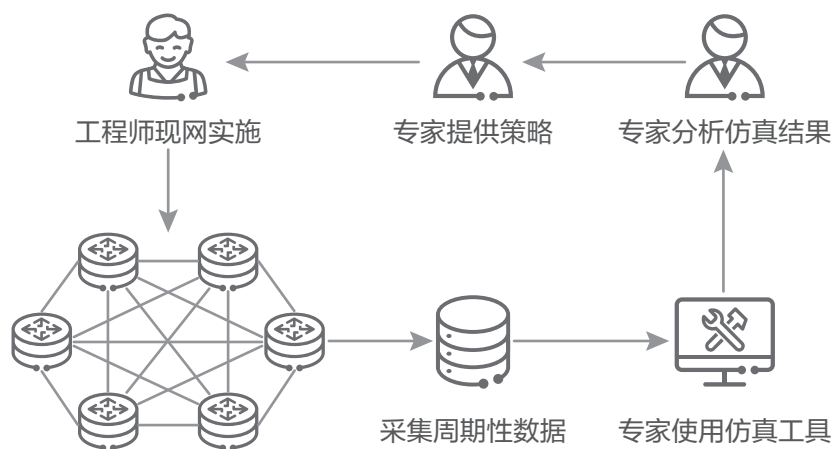
1. **通信大模型与配置语法模型协同配置生成：**如果直接让通信大模型生成配置，那么会难以掌握多厂商、不同设备款型和版本差异。因此，需要将设备款型粒度的知识精细地存储在配置知识库中，以便于实现配置知识的款型隔离与横向扩展。而通信大模型则负责掌握网络配置领域的通用知识，根据运维工程师输入的网络配置意图，以及从配置知识库中检索到的设备款型粒度的配置知识，完成配置的特性选择与参数提取，生成结构化数据，最后由配置语法模型生成最终配置。
2. **配置知识检索：**基于网络配置意图，检索出关联度最高的配置知识，作为通信大模型的输入。
3. **配置统一建模：**定义IP网络统一配置模型，包含配置模板（配置语法、视图、参数约束等）和语义（功能描述、配置样例、典型使用场景说明等）信息。将不同厂商的配置模型都映射至此，通信大模型与配置语法模型可以统一使用配置知识。



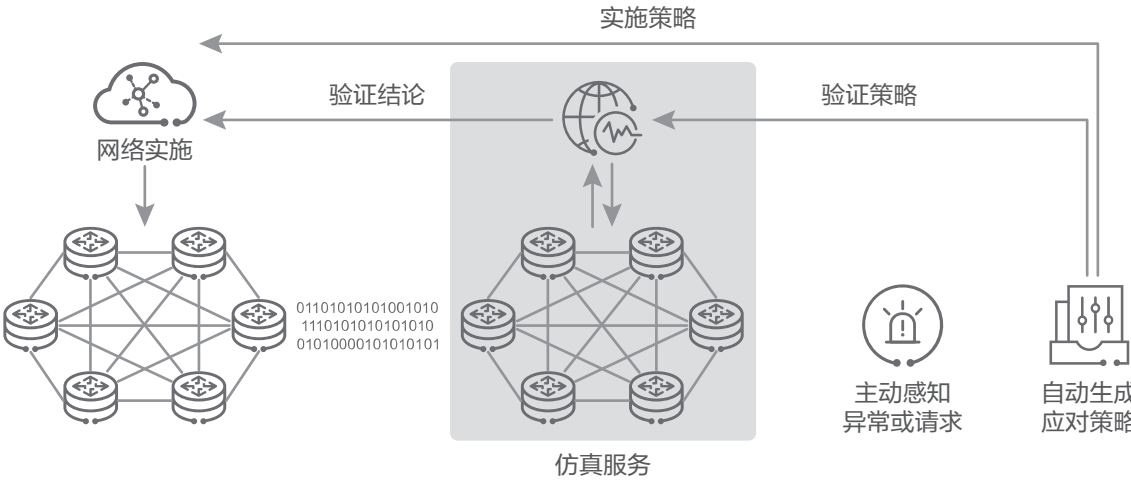
技术二：高精度在线仿真算法

网络仿真按照场景分为两大类：非实时的离线仿真和实时在线仿真。

离线仿真主要应用于长周期的网络活动，例如网络规划、网络优化和网络预防等；使用离线仿真工具可以辅助专家验证策略有效性，减少现网实施风险。这类仿真的特点是频次较低，对实时性的要求不高。



在线仿真主要应用于网络故障处理、网络应急恢复以及实时性要求较高的网络变更。随着网络自动化程度的提高，诸如故障处理等业务的闭环周期需要实现分钟甚至秒级的要求，实时在线仿真模型能够有效解决这一问题。



在线网络协议仿真系统的主要目的，是以网元配置数据为基础，模拟设备路由协议的行为，从而精准生成网元协议路由表，全局路由表，并在此基础上，以路由表项为基础，展开分析，最终完成对网络影响分析的验证。仿真服务需具备如下能力：

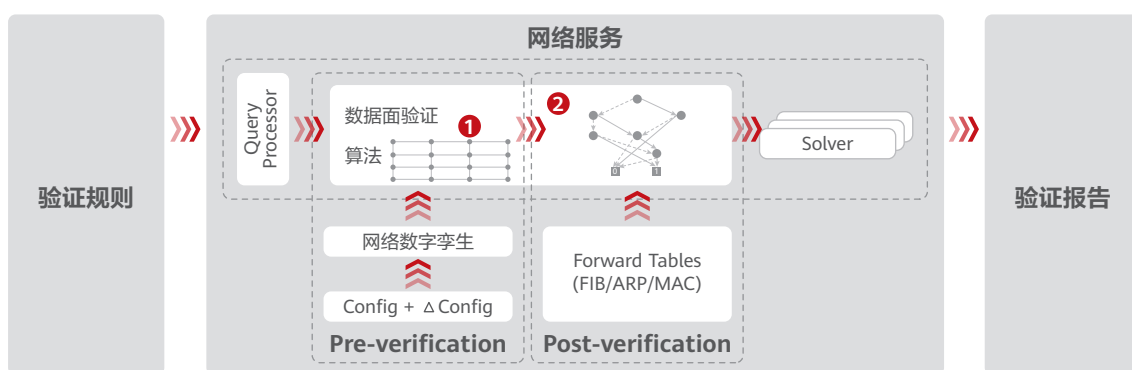
1. **多厂商：**支持主流厂商联合仿真。
2. **增量：**基于增量配置（如：配置命令行片段）仿真，提前识别配置变更后对路由，流量路径，链路负载等的影响。
3. **路由协议仿真：**模拟路由控制面协议行为，仿真生成各网元各协议的邻居状态、协议路由表、全局路由表 / 标签表 / Tunnel 表等详细信息；支持 20+ 主流路由协议仿真。
4. **流量仿真：**基于路由表、标签表，模拟设备转发面行为建模，完成业务流的端到端路径计算；然后基于路径计算结果将流分摊到物理链路上，形成仿真后的全网负载地图。



技术三：网络验证算法

在网络验证阶段，运维人员首先定义网络验证意图和规则，然后在系统对网络进行严格的意图验证和闭环，高效校验网络问题，输出验证报告。网络验证规则如下：

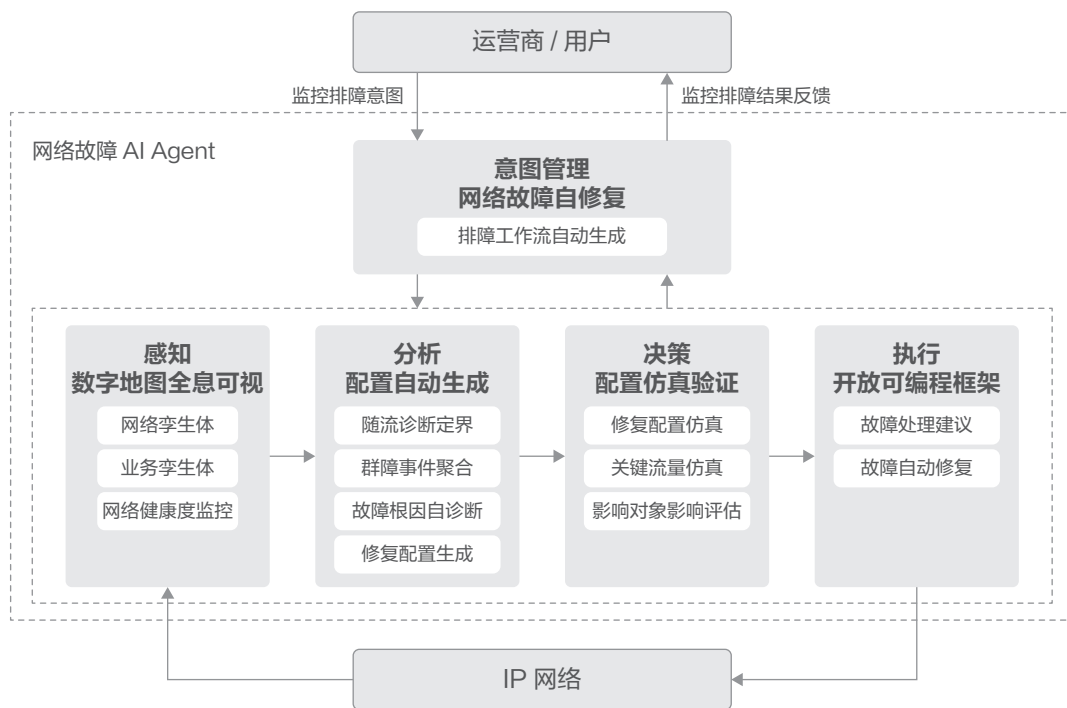
1. 全网联通性验证：可以验证二层 / 三层流量互通能力和二 / 三层流量路径连通性。
2. 全网环路验证：从一个端口进入 / 离开这个设备的报文，经过网络转发再次由这个端口进入 / 离开设备，则该报文所途径的端口序列存在路由环路。
3. 全网黑洞验证：路由黑洞指当前网元从其他网元收到但在本网元没有转发出去的路由。



5.2.2 网络故障场景与解决方案

传统 IP 网络的故障感知主要依靠告警、流量、路由等信息，感知手段有限，无法覆盖所有的故障场景。针对硬件类、转发类、协议类等异常问题亦缺乏有效的感知手段，无法主动预防，大部分隐患问题错过前期的排查时间，直到业务受损，收到客户投诉后才感知故障。以静默故障为例，故障发生时没有显式的告警通知，系统无法感知故障并进行相应的故障保护动作，比如转发表项无效、芯片软失效、硬件 I/O 接口故障或者软件缺陷导致的转发丢包等。此类故障发生后，传统运维模式无法进行相应的快速干预。同时，IP 网络复杂，业务层次丰富，经常出现一个故障就可以引起上层众多业务故障，从而引发告警风暴发生，运维人员很难从海量告警中，分辨出要处理的故障根因，严重影响了故障处理的效率。

面向 IP 网更复杂的网络、更广泛的连接、更高的运维诉求，运维人员希望在故障发生、资源超限前，对网络存在的风险提前感知、主动预防，故障发生后能快速、精准地定位到故障位置和根因，及时排除网络隐患，降低业务受损影响。网络故障 AI Agent 通过引入通信大模型自动学习网络故障经验案例和专家经验集，打造故障自闭环数字“专家”，实现故障自诊断自闭环。



数字地图 全息可视	数字地图作为 IP 网络和业务数据智能孪生体，同步网络和业务数据，生成网络镜像，叠加 IP 网络静默故障检测的健康度数据，自动识别质差业务和故障对象。
故障根因 分析	对故障产生的告警基于 AI 智能分析各个故障的内在联系，生成故障传播图并智能定位出根因故障。针对静默故障主动监控网络健康度数据（表项信息、SLA 性能数据、状态变更），感知故障并基于 AI 智能分析根因。对质差类故障基于高精度 SLA 检测技术，随流诊断定位到质差的根因。针对根因故障，基于通信大模型学习的故障排障经验知识库生成根因故障的自然语言式排障思维链，并基于排障步骤自动生成故障修复的工作流，包括故障对象识别、故障根因诊断、修复配置生成、配置下发和网络验证。
配置自动 生成	基于通信大模型，对常见故障修复配置 API、故障修复配置 CLI 模板、典型故障维护宝典进行训练和微调，基于数据飞轮增强大模型实现配置校验，自动生成修复配置（故障修复原子 API、故障修复 CLI）。
配置仿真 验证	基于修复配置信息自动生成新的镜像网络，自动化对比配置下发前后镜像网络，自动生成路由、隧道路径、流量负载的变更影响性评估报告。

开放可编程 框架

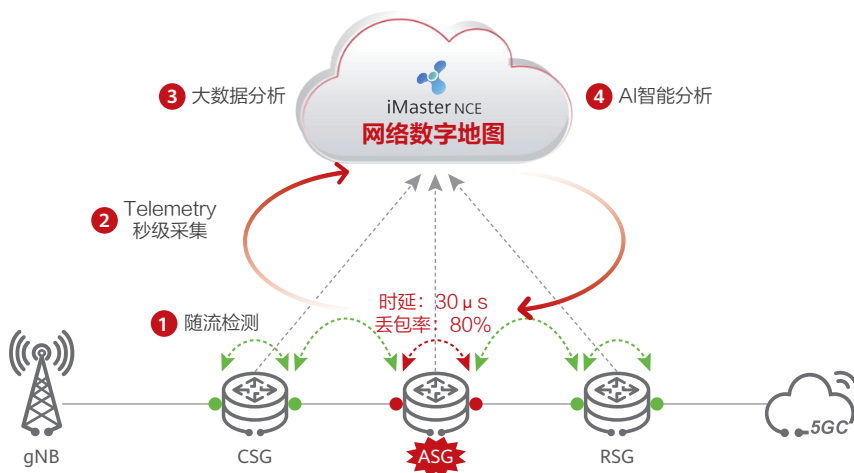
支持多层次的在线可编程能力，为客户提供低码可编程、持续在线、多厂商的工作流编排框架，支持业务流程的自定义编排，为客户提供自定义故障修复配置下发和业务验证流程编排能力。

关键技术

技术一：高精度SLA检测技术

网络数字地图采用随流、逐包检测达到高精度和高准确率丢包检测，采用 Telemetry 逐跳实时上报实现微秒级时延检测精度，采用大数据分析及 AI 算法高效聚类网络群障，提升业务感知。

- **随流检测**：直接检测报文，真实反映路径及时延信息。支持多种维度的业务检测，如：自识别流，自定义流（五 / 二元组），VPN 业务。
- **逐包检测**：对每个报文逐个检测，精确捕获海量数据中的细微丢包。
- **逐跳诊断**：自动触发质差流逐跳诊断，可回放历史路径，逐跳 SLA 检测，关键 KPI 关联分析。
- **Telemetry 秒级数据采集**：一次订阅，持续数据推送，并采用 GPB（Google Protocol Buffers，谷歌混合语言数据标准）二进制编解码，传输高效，随流检测使用 Telemetry 协议秒级采集上报给 NCE 汇聚计算，在确保数据实时性的同时，可以支撑海量数据的采集处理。
- **大数据分析**：基于数据分析平台秒级查询，高效处理随流检测逐包逐跳海量数据。
- **AI 智能分析**：使用聚类算法将质差事件聚类为网络群障，识别准确率高。



技术二：基于AI的故障根因分析算法

在自研的流式框架中引入 AI 算法，将告警进行时间、拓扑维度的实时聚类 and 根因事件识别，计算各个故障的内在联系，生成故障传播图并智能定位出根因故障，减少运维人员对无效事件和衍生事件的处理，提升故障处理效率。



数据获取和处理

获取网络告警，根据告警数据的时间、空间等维度挖掘统计特征，得到一份基于告警的高维数据集。



在线训练

支持在线增量训练能力，每天凌晨对前一天的告警进行迭代训练，优化聚类模型，增强模型的泛化性，并可识别未知故障，越学越聪明。



在线推理

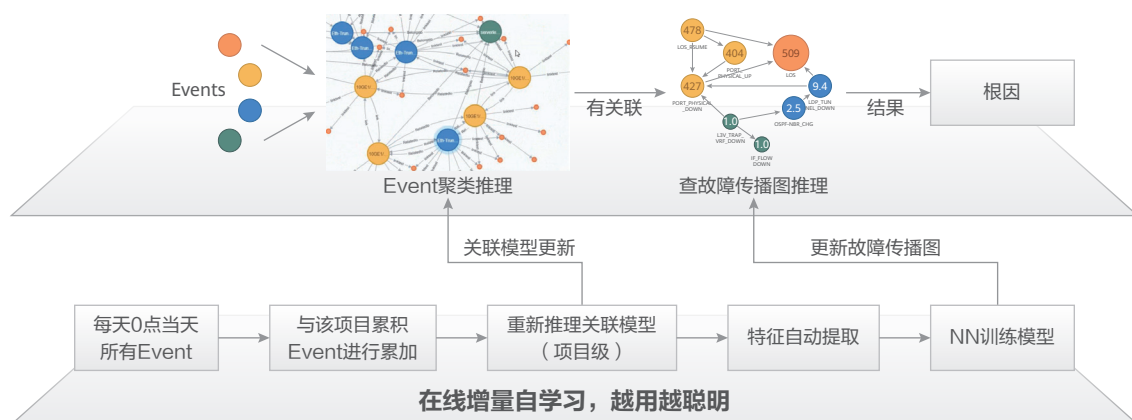
实时进行告警聚类 and 故障根因识别，根据簇距离将分散的告警聚合成多组不同故障，并压缩闪断、重复故障。

- NCE 采用流式聚类框架，对实时告警进行聚类推理、根因告警识别。基于模型中学习到的告警传播关系、故障成熟时间，并结合实时的网元间的拓扑关系，实现将有相关性的告警聚合成一个故障，并根据预置的专家知识和智能算法找出根因告警，达到成熟时间后输出最终故障，支撑精准派单、故障修复。
- 将有相同故障名称、发生对象、原因、状态的故障合并呈现（即将相同故障位置在不同时间发生的相同故障进行归并），以减少重复故障的影响。



故障诊断

故障生成后自动启动诊断，或手工启动重新诊断后，提供故障根因识别的详细过程和排查建议。



技术三：基于通信大模型故障自诊断

作为人工智能领域的一项突破性技术，LLM（Large Language Models，大语言模型）为 IP 通信领域带来了新的故障解决方案。基于大量故障诊断案例，训练通信大模型具备故障大脑能力，完成自诊断闭环。



知识注入

通信大模型结合领域知识理解网络故障排障流程的自然语言描述，使能通信大模型对诊断流程和逻辑分支建模；



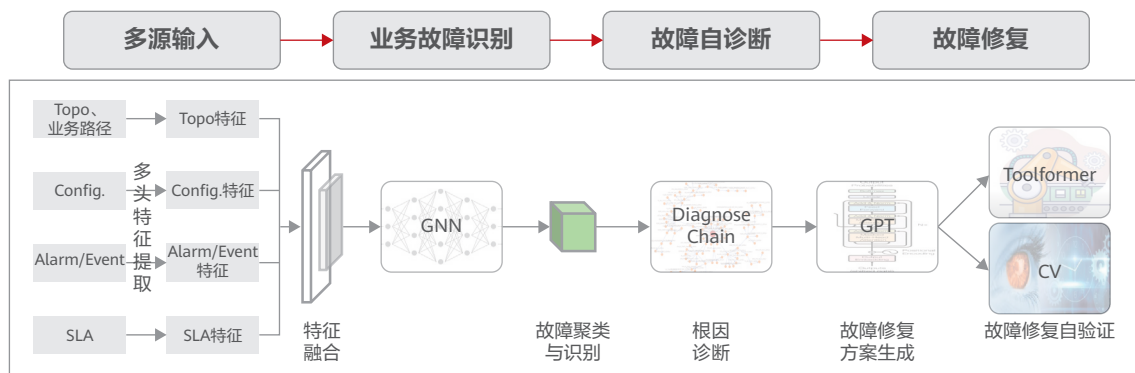
API 识别

通信大模型将诊断步骤和条件判断抽取成原子能力和逻辑分支，并完成对阶段的可行性校验；



思维链生成

通过通信大模型的反思优化节点间的关联，按 COT 的方式组装故障思维链，并自主融合、补全、完善；

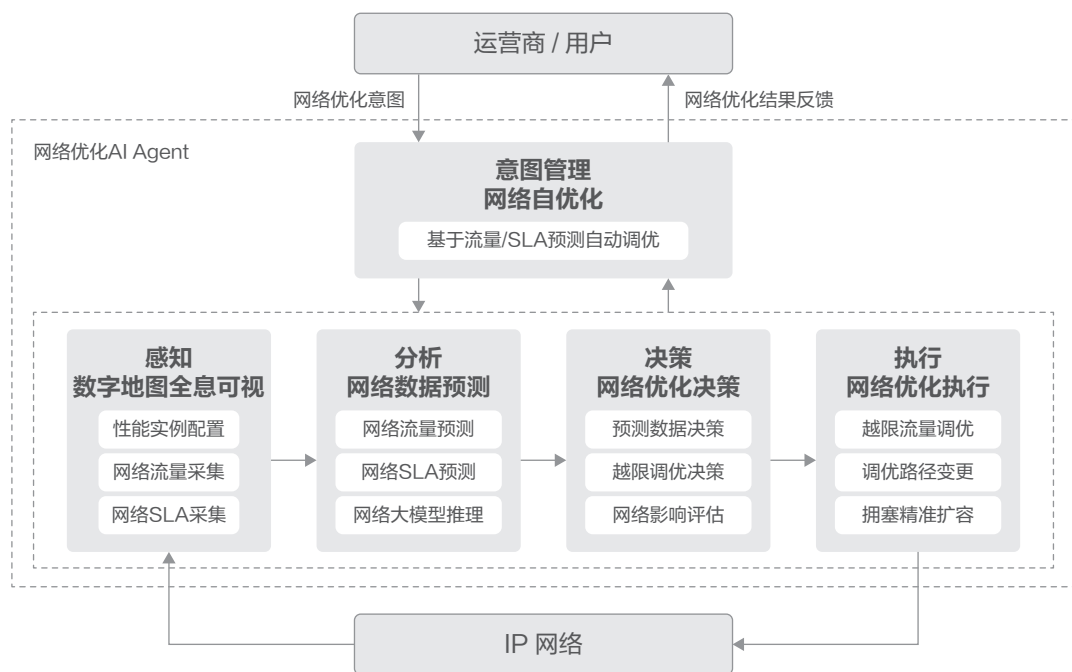


5.3 网络优化

场景解决方案

运营商网络环境复杂，网络中经常存在链路流量拥塞导致用户业务体验差，从而导致运营商的用户频繁投诉、用户离网率升高问题。企业网络每天的流量模型中流量波峰呈现规则性，期望提前进行调优以避免丢包。IP 自动驾驶网络要帮忙运营商与企业解决网络拥塞，实现网络流量趋势预测，基于预测进行流量调优自动疏导，并能主动给出网络扩容建议，提升运营商与企业的业务高质量体验。

IP 网络优化 AI Agent 通过采集网络中流量与时延等 SLA，利用大模型进行趋势预测，实现全自动化预测式流量调优，确保网络永不拥塞，业务零丢包，及时疏导流量，精准扩容，以极致体验保障。



数字地图 全息可视

数字地图作为 IP 网络和业务数据智能孪生体，同步网络路由和业务数据，采集网络流量、SLA 性能数据，生成网络实时和历史镜像数据，作为网络预测数据输入。

网络数据 预测

基于对业务场景涉及的通信知识、网络流量 /SLA 历史数据进行训练、AI 学习和微调，精准预测整网链路、业务未来的流量 /SLA 数据。

网络优化 决策

基于时空图周期预测未来时刻的数据，结合网络链路的越限阈值自动决策是否需要
进行网络优化，自动生成调优策略以及优化对网络性能数据影响性评估。

网络优化 执行

结合云图智能调优的全自动调优功能，系统会根据自动生成的调优策略执行流量预
先疏导，以实现全网流量最优。如果流量拥塞无法疏导，网络优化意图通过在线生
成高精度的镜像网络，结合预测流量流速的调整，自动生成链路扩容建议以及评估
意图变更的影响。网络规划部门从而可以更准确地评估链路的扩容需求。

关键技术

技术一：多因子云图算法

网络数字地图的多因子云图算法通过 BGP-LS 协议获取整网的拓扑和带宽资源，对整网的隧道进行统筹管
理和路径计算。可以为高优先级的隧道计算最优的路径，低优先级的隧道计算合适的路径，满足不同隧道不
同优先级不同 SLA 的诉求，做到整网带宽利用率最优。

网络数字地图基于图论和运筹优化理论构建云图算法，其中图论主要用于解决多因子路径计算问题，运筹优
化理论主要用于解决网络流调度问题。网络流调度问题可以建模成线性规划问题进行求解，但由于不可能把
网络中两点之间的所有可行路径都穷举出来进行建模，因此采用列生成方法来增量地计算可行路径。

其中涉及到的关键技术包括：

- **多因子路径算法**

云图算法中的多因子路径算法由一系列解决特定问题的原子算法构成算法编排框架，这些原子算法包括
图论中的最大流最小割、图匹配、图搜索、旅行商等经典问题以及拉格朗日松弛、子梯度优化等经典优
化方法。可以根据业务实际配置的约束因子将多个原子算法灵活组装成对应的多因子路径算法，满足不
同场景的业务诉求。约束因子分为单点约束因子和 E2E 约束因子，单点约束因子指单个节点或链路的
约束，比如带宽、亲和属性、显式排除、丢包率、误码率等；E2E 约束因子指的是端到端路径的约束，
比如显式包含、时延、跳数等。多因子路径算法不仅解决了单点约束因子问题，还解决了 E2E 约束因
子的 NP 难问题。

- **高性能大规模线性规划求解器**

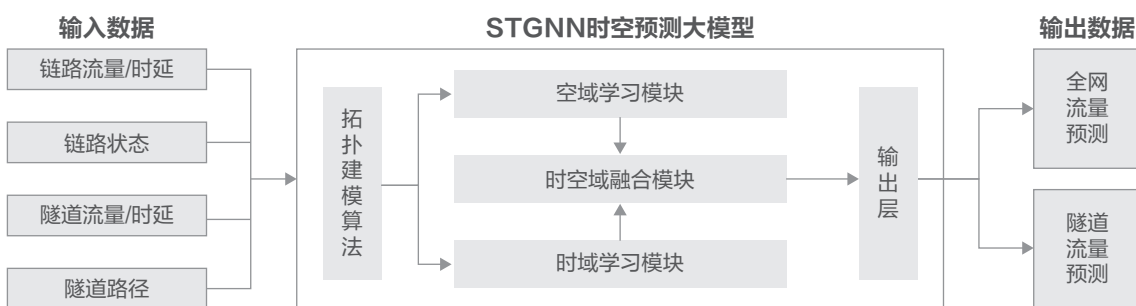
云图算法中的线性规划求解器是基于网络流优化问题典型特点进行设计开发的，支持增量求解，无需每
次从头求解，极大地提升了求解性能。

技术二：流量与SLA趋势预测

流量和 SLA 预测包含两类预测，一类是长周期预测，给出流量和 SLA 未来 1 个月到半年的变化趋势，主要用于网络规划；一类是短周期预测，给出流量和 SLA 未来几个小时到一天的变化趋势，主要用于网络调优。

基于流量和 SLA 预测的网络优化，能够解决实时调优的调优滞后性问题，可以在指标劣化之前就能及时得到避免。实时调优的滞后性问题是：当流量出现了拥塞才会进行调优，实时调优为了避免流量拥塞造成业务受损，通常会设置一个调优门限，以此来避免数据采集到调优这段时间流量变化不会突破链路物理限制，但是这样就会造成链路带宽不能得到充分利用。有了预测调优之后，这个限制就不会存在了。

为了符合预测调优的诉求，要求流量预测的准确度必须达到 90% 以上，需要在 2 个小时完成整网 1 天的小颗粒度量数据预测。因此引入了基于时空的预测大模型，其流程框架如下：



1. **输入数据**：包括过去一周的链路流量、时延、状态，隧道的流量、时延、路径等信息。
2. **STGNN 时空预测大模型**：主要步骤有数据特征提取，空域依赖学习，时域依赖学习，时空依赖融合，最后通过解码系统预测数据输出；
3. **输出数据**：包括未来一天的链路流量、时延、状态，隧道的流量、时延、路径等信息。

6 IP自动驾驶网络成功实践

6.1 广东移动Net Master FME Copilot应用实践

业务挑战

SPN 移动承载网络 5 万多的庞大规模，加之复杂的协议体系，网络运维难度呈指数级增长，运维成本居高不下。截止 2023 年底，广东公司不仅拥有全国最多的移动用户数量，还管理着复杂度最高的一张网络。目前，其移动用户数量超过 1.4 亿，基站数量超过 50 万，每天告警量超 100 万。面对着跨域、跨厂家的故障协同处理，耗时长，往往需要多专家联合处理，且处理过程高度依赖专家技能和历史经验。然后，故障诊断流程中存在诸多断点，故障修复过程中的上站核查环节存在大量重复性工作，导致运维成本居高不下。如何减少网络故障对终端用户体验的负面影响，实现网络故障的自动化闭环，减少对专家经验的依赖，并减少运维人员面向多系统数据和多现场工程师的复杂交互，从传统运维到自智运维发展，提效降本是当前广东移动网络运维面临最大的挑战。

解决方案

广东移动联合华为，共同启动了基于 Net Master 打造的 SPN 移动承载网络运维数字专家的创新实践。华为 Net Master 基于网络数字地图丰富的 API，构筑了“一图一脑”的整体方案架构。并基于华为盘古大模型进行增量训练，依托智能网络的融合感知能力提供丰富的网络 KPI 数据。该方案颠覆了网络运维模式，贯穿了资源核查、业务使能、故障识别、诊断分析、修复闭环的网络运维全流程。



- **大模型内置专家经验，在线推理解决网络运维的疑难问题：**在处理复杂网络问题时，传统运维方式往往高度依赖专家经验，NOC 专家一般是基于系统 GUI 进行操作，但复杂问题往往涉及到成百上千的图形用户界面，专家的学习门槛高，操作复杂性高。Net Master 可以系统理解用户意图，利用大量的网络专业知识和海量的网络数据，结合华为特有的网络隐患排查、故障处理等运维经验，训练出适用于 SPN 移动承载网络的大模型。这一模型能够通过意图化 API 自动调用或生成，结合在线主动推理复杂故障根因及知识问答，快速定位网络疑难问题，并提供准确的修复建议。
- **对话式运维，飞跃式提升作业效率：**E2E 的故障处理流程中，传统方式存在大量的流程断点和外线作业人员与 NOC 中心的沟通交互，业务处理自动化程度低。而 Net Master 这一数字专家可以打通流程断点，实现人机的 7*24 小时实时交互，大幅提升故障处理的自动化水平，并提升外线作业人员的全新交互体验。

方案价值

- **赋能企业员工，增强员工效率：**从传统的工单 / 系统界面流转和专家经验会诊，到智能生成终极答案，Net Master 为每座城市创造了 130+ 数字员工，日常维护资源核查效率也从 15 分钟提升至 10 秒，极大地提升了员工的工作效率。
- **E2E 工作流大闭环，运维效率 & 客满双提升：**协同上站工程师闭环“故障修复最后一公里”，实现 NOC 和站点工程师的资源自闭环，降低了 NOC 及站点工程师的重复性工作。极大提升了 FCR (First Contact Resolution Rate, 首次呼叫解决率)，MTTR (Mean Time To Repair, 平均修复时间) 从 2 小时缩短到 20 分钟。Net Master 能够精准理解业务开通意图，实现资源核查、接入站点推荐、业务配置自动化的闭环，将 TTM (Time To Market, 业务开通时间) 从周缩短至小时级，极大地提升了运维效率和客户满意度。



6.2 广东电信网络数字地图配置仿真验证实践

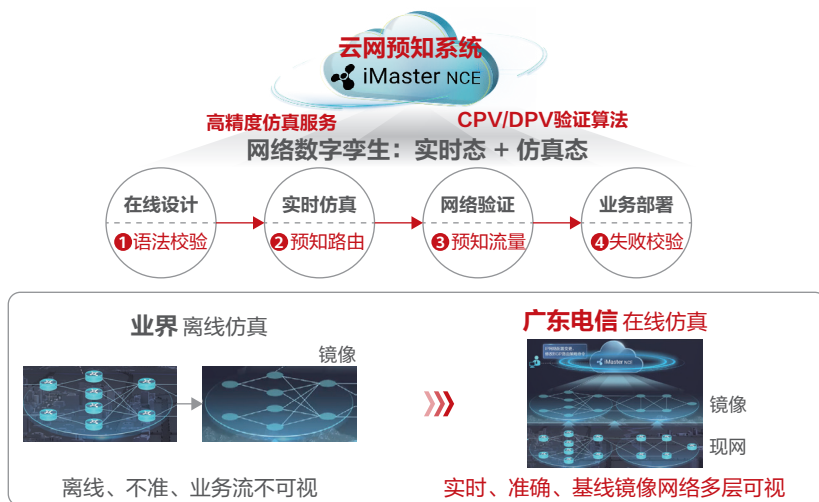
业务挑战

IP 网络承载大量的跨地市，跨省甚至跨国的语音和数据业务，哪怕单台设备上一个微小的配置失误，都可能在网络中引发“蝴蝶效应”，造成成千上万用户的业务故障。由于 IP 协议的复杂性以及网络规模的庞大，管理起来异常困难。在执行配置操作前，我们往往难以全面预测其对业务的影响。尽管网络割接前会依赖人工经验核查脚本，但最多只能发现 90% 的配置问题。在复杂的网络场景下，配置错误几乎无法完全避免。因此，我们需要更加智能和高效的方法来管理和配置 IP 网络，以减少潜在的风险和损失。

解决方案

针对上述挑战，广东电信联合华为，基于华为 iMaster NCE-IP 网络数字地图，首创云网预知系统，这是业界唯一的高精度、轻量化在线仿真平台。该系统故障预防准确率超 90%，有效实现错误不入网，为网络的稳定运行提供坚实保障。

业界首创云网预知系统，实现事前仿真、事后验证，消除人为差错



- **高精度：**相比于传统的离线配置仿真工具，该平台依托华为新一代 CMOS 仿真算法，基于网络数字孪生技术，实时网络配置、流量以及路由等信息的同步，精准生成每台设备明细路由表，构建覆盖全部 IP 协议的网络级模型，实现 1:1 的高精度仿真。
- **轻量化：**轻量化的设计使得 6000 网元级规模仅需一台虚拟机，相比业界其他方案，资源消耗降低 1000 倍。

方案价值

云网预知仿真系统上线后，成功完成 10+ 次现网的高风险操作仿真，提前识别路由环路、流量不通、绕路等隐患，现网操作后的结果与仿真结果完全一致，为网络的安全可靠运行提供了坚实保障。在全国运营商市场，每年有大量变更操作，使用云网预知系统可以潜在预防 10 亿级的经济损失，提升 90% 的网络运维效率。同时，该方案具备普适性，后续可在全国范围推广复制，在保障电信网络安全运营的同时对运营商迈向高阶自智网络起到强有力推进作用。



6.3 联通研究院云网自智分级体验实践

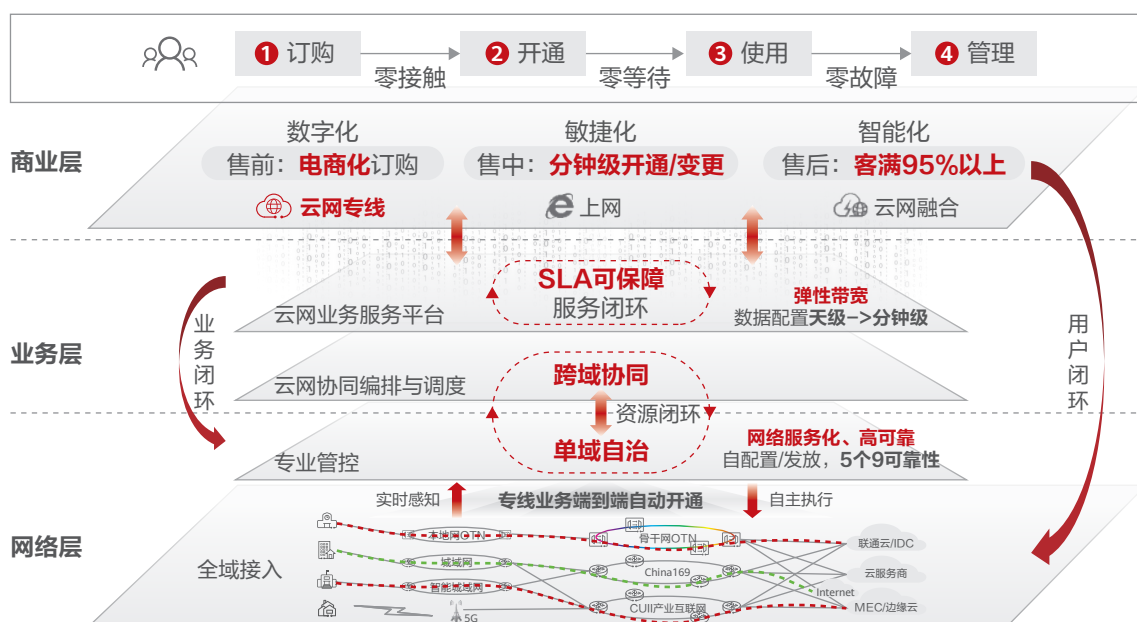
业务挑战

针对云网场景，传统运维面临着诸多挑战：依赖人工流转协调云和网的端到端工作流，不仅存在流程断点多的问题，更导致了业务开通周期长，故障优化过程繁琐复杂，以及一次性解决问题的效率低下等问题，使得业务的服务体验保障成本极高。

解决方案

中国联通选取云联网的典型场景，率先开展现网能力试点，对进网络服务体验进行了全面的测评，从云网业务的订购、开通、到业务使能后的优化管理，中国联通对全业务运维生命周期闭环的服务体验能力进行了详尽的评估。在解决方案中，中国联通采用华为网络数字地图作为管控层，向下管理和控制网络，实现对IP网络资源的统一管理和调度。同时，集成自有云网协同编排与调度平台和云网业务服务平台，进一步实现了云和网之间的协同工作，优化了业务流程，提升了服务质量。

第一步，定义目标架构：中国联通研究院基于集团AN整体架构，结合网络能力，将服务体验能力从云网专线的订购、开通、使用、管理四个环节，定义了AN服务体验分级指标，牵引中国联通为企业上云、行业数字化转型提供高品质的上云专线，打造Zero-X（零等待、零接触、零故障）的极致体验。



第二步，标准制定：由中国联通研究院和中国信通院联合牵头，联合华为等产业伙伴，将云网专线服务体验从订购、开通、使用、管理四个环节，定义了 15 项分级评估指标和 A-AAAAA 的五个分级评估标准。

第三步，现网评测：面向中国联通云联网（云网专线）业务场景，试点了业界首个自智网络服务体验解决方案分级测评，从订购、开通、使用、管理四个环节开展了全面评估。CCSA TC610 自智网络总体组对于中国联通在云联网和政企精品网场景中的实践给予了高度评价，认为该实践具有首创性，从测试评估到创新改进，都展现出了卓越的创新推动能力。

第四步，测试结果：试点评估结果全面达到 4A+，充分证明了中国联通云联网解决方案在提升服务体验、优化业务流程、降低运维成本等方面的显著成效。

方案价值

本次实践牵引中国联通专线产品迈向自智网络高阶能力，为企业上云、行业数字化转型提供高品质的上云专线，向零等待、零接触、零故障的极致体验迈进了一大步，为中国联通在自智网络领域的发展奠定了坚实基础，其对中国联通各省市结合自身的商业场景，开展自智网络试点推广具有非常典型的案例参考价值。通过提取现网试点评估经验，中国联通不仅有效提升了自智网络标准 / 规范的准确性，还加速了分级测评标准的制定和落地各商业场景，这在整个产业中都具有非常突出的指导意义。



7 IP自动驾驶网络产业行动建议

数字经济正在推动一场前所未有的网络变革，企业、垂直行业和消费者都对未来十年寄予厚望。工业数字化转型赋能商业，需要敏捷、高效和灵活的 ICT 网络解决方案，来实现深入的人机交互。面向未来万物互联、万物智能的智能时代，新一代云网融合、算力、AI 大模型应用、Net5.5G 目标网络不断的发展演进，电信运营商将为智慧城市、能源、公共事业、AR/VR、车联网等行业应用提供无处不在的网络服务，促进数据在不同云、不同行业以及个人之间流动。IP 网络作为支撑数据流通的基础设施，不仅需要提供大带宽、确定性时延、安全可靠的智能连接，还需要实时响应算力调度需求，保证总体资源利用最优，业务无损。IP 自动驾驶网络急需系统性引入人工智能，颠覆式网络运维升级，最终达成 L4/L5 级的自动驾驶网络的目标就要结合自身业务与技术的特征，与产业伙伴一起推动自动驾驶分级标准、多厂商融合共管的目标架构及南向标准、北向服务化接口规范等，加速产业的升级转型。在此我们倡议：

加速产业代际定义，定义 IP 网络自动驾驶 L4 目标，牵引产业发展方向

TM Form 自动驾驶网络虽然定义了 L0~L5 的目标愿景，赋能 IP 自动驾驶网络发展路线，但 TM Form 定义的是一个通用标准，还需要结合 IP 网络的业务、网络及技术特征进行细化，定义 IP 网络自动驾驶的 L4 代际特征和成效指标，明确分级评估标准。具体来讲，需要在 TM Form 分级框架的基础上定义 IP 网络“规、建、维、优”全生命周期的运维场景、根据运维场景分解运维流程和运维任务，细化每个运维任务的人机分工要求，形成适合 IP 网络的分级标准。在 IP 自动驾驶网络的分级标准的基础上明确可操作的评估方法，这样就可以基于分级标准实施等级评估。

对运营商来讲，IP 网络的分级与评估标准不仅有助于牵引 IP 网络自动驾驶代际的演进，也可以促进各方力量的凝聚。通过分级评估体系的牵引，可以评估网络现网，帮助制定网络运维升级的策略和规划，促进商业表现。

对供应商来讲，在充分理解客户需求的基础上，为 IP 网络数字地图的能力规划、技术选型提供决策依据，促进产品的持续演进。





加速产业标准制定，定义统一的目标架构和南北向接口标准

IP 网络从诞生之日起就具备开放的基因，很多运营商的 IP 网络都由不同厂商的设备共同组网而成。由于不同厂商的设备提供的接口存在差异，导致很多运营商要定义企业标准，但这种私有标准从规范定义、产品开发、准入测试到网络部署往往要经历数月甚至数年的时间，严重制约了网络的数字化进程。因此有必要通过定义 IP 自动驾驶网络开放的系统架构和南向接口标准，以及高阶智能服务标准化接口，来实现多厂商设备的融合共管，促进产业高效协同。



共建网络智能化产业联盟，加速产业技术突破和创新实践

在迈向高阶自智网络的道路上，需要标准和产业组织、运营商、供应商、科研院所、行业管理部门等全产业链共同努力，共同探索，协同推动融合感知、数字孪生、AI 大模型、智能决策等自智网络核心技术突破，驱动产业技术升级；联合探索 AN L4 商业应用场景，聚焦价值创造，实践全流程创新，加速产业价值闭环。

未来的高阶自动驾驶网络，对于运营商来讲，IP 网络代际的演进，也可以促进各方力量的凝聚。通过分级评估体系的牵引，可以评估网络现网，帮助制定网络运维升级的策略和规划，促进商业表现。使能运营商使用网络的体验像人驾驶智能汽车一样，方便快捷的与上层业务系统集成，为自动化和智能化商业应用提供基础支撑，大幅提升网络服务质量和运营运维效率。对供应商来讲，通过开放的系统架构、统一的南北向标准、技术突破来快速满足客户的需求，为 IP 自动驾驶网络的能力规划、技术选型提供决策依据，促进产品的持续演进，牵引 IP 自动驾驶网络产业繁荣发展，释放网络潜力。



8 总结

IP 网络是数字化发展的基石，向下联接万物，向上联接应用，起到承上启下的重要作用。面向千行百业数字化转型，IP 网络面临着海量物联、超大带宽、确定性服务及安全可信等诸多新的需求。面对这些新需求，IP 自动驾驶网络旨在构筑高度智能，闭环自智的数字运维平台，成为千行百业数字化发展的数字底座，助力运营商从传统的 ICT 服务向未来 DICT（ICT+DT，信息通信加大数据技术）服务转型，为整个社会新兴科技突破提供数字经济新动能。



9 术语表

英文缩略语	英文全称	中文说明
AIGC	Artificial Intelligence Generated Content	AI 生成内容
AN	Autonomous Networks	自智网络
BOSS	Business & Operation Support System	电信业务运营支撑系统
CLI	Command Line Interface	命令行视图
ChatGPT	Chat Generative Pre Trained Transformer	聊天生成预训练转换器
COT	Chain-of-thought	思维链
DFS	Depth-first Search	深度优先查询
DTW	Digital Twin Network	数字孪生网络
DICT	ICT (Information and Communications Technology) + DT (Data Technology)	信息通信加大数据技术
DSL	Domain Specific Language	领域专用语言
FCR	First Contact Resolution Rate	首次呼叫解决率
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
GPB	Google Protocol Buffers	谷歌混合语言数据标准
HSA	Header Space Analysis	数据包包头分析
LLM	Large Language Models	大语言模型
MTTR	Mean Time To Repair	平均故障恢复时间
NaaS	Network as a Service	网络即服务
OTT	Over The Top	通过互联网向用户提供各种应用服务
OLTP	Online Transaction Processing	在线交易处理
OLAP	Online Analytical Processing	在线分析处理
OSS	Operation Support System	运营支撑系统
SAIN	Service Assurance Intent-based Networking	基于意图网络的业务保障
SSP	Specific Service Plugin Pkg	业务包
SND	Specific NE Driver Pkg	网元驱动包
TTM	Time To Market	上市时间

华为技术有限公司



深圳市龙岗区坂田华为基地

电话：(0755) 28780808

邮编：518129

www.huawei.com

商标声明

 HUAWEI, HUAWAI,  是华为技术有限公司的商标或者注册商标，在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 2024。保留一切权利。

非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。