



# IP网络数字地图

白皮书



# 目录 / Contents

## 01 IP网络趋势与挑战 /01

1.1 数字化转型趋势 .....	01
1.2 数字化面临的挑战 .....	03
1.3 技术创新驱动原生问题解决 .....	04

## 02 数字地图目标架构与集成 /07

2.1 数字地图概述 .....	07
2.2 目标架构 .....	09
2.3 数据模型 .....	14
2.4 网络服务化 .....	15

## 03 数字地图典型应用场景与关键技术 /17

3.1 规划环节：网络配置验证 .....	17
3.2 建设环节：业务自动化 .....	20
3.3 维护环节 .....	23
3.3.1 BGP路由分析 .....	23
3.3.2 网络拥塞分析 .....	26
3.3.3 智能故障分析 .....	29
3.4 优化环节 .....	31
3.4.1 网络智能优化 .....	31
3.4.2 绿色节能 .....	35

## 04 产业建议与总结 /37

4.1 产业建议 .....	37
4.2 总结 .....	38

## 05 参考文献 /39

## 06 术语表 /40

# 1 IP网络趋势与挑战

## 1.1 数字化转型趋势

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新趋势，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 + 现实的社交娱乐将成为新常态。

网络联接作为数字化基础设施的底座，在推动行业数字化转型中发挥着越来越重要的作用。2030 年全球总联接数或将达到 2000 亿，网络从连接百亿人到连接千亿物，下一代人机交互（AR、VR、XR）、住行合一、工业互联网、卫星宽带互联、AI 算力等新业务对网络联接也提出新需求。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绿色网络是未来发展的方向。

在数字化转型的背景下，运营商在 5G to B、云网融合场景下迎来市场机遇，同时也承担了可持续发展（绿色、节能）的社会责任。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。

### 5G to B 场景对网络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 5G to B 市场将达到 6020 亿美元。但同时，5G to B 业务也对网络的连接密度、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，例如智慧城市需要 10-100 万设备 /km<sup>3</sup> 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 的端到端时延，工业互联网则需要 99.999% 的可靠性。此外，5G to B 业务对网络能力提出 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。





### 云网融合实现海量数据上云

根据 Gartner 的最新预测，2023 年全球终端用户在公有云服务上的支出预计将达到 5918 亿美元，相比 2022 年的 4903 亿美元增长 20.7%。过去两年，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，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动态，通过智能调度满足不同行业和企业便捷、质量、成本、安全等方面的差异化需求。



### 绿色经济要求网络节能减排

据欧盟估算，全球 ICT 行业的电力消耗占比 5%~9%，温室气体排放占比 2% 以上。节能减排已成为全球运营商降低成本和履行社会责任的重中之重。在节能方面，场景化节能策略自制定、参数自配置、全网协同节能是三个必不可少的能力。



## 1.2 数字化面临的挑战



### 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，主要存在三大挑战：

- 1、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，无法实现设备能耗的可视化，导致无法完成整网的绿色节能优化。
- 2、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。
- 3、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，例如某运营商的 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。例如加拿大 Rogers 的网络中断事故，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。网络极易产生局部拥塞，导致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。面对不断发展的业务需求，IP 网络的固有缺点变得突出，手工方式解决问题耗时长且效果不佳。

## 1.3 技术创新驱动原生问题解决

### 1.3.1 数字孪生网络

随着 5G、IoT 和云计算等新技术不断发展，网络规模及连接数量正在快速增长，网络负载也不断增加，使得网络运维变得越来越有挑战；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、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，把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) 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，都可以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。从而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只是静态的网络快照，不但可以根据网络状态实时更新；还可以与 AI 技术相结合，自我学习，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。

### 1.3.2 IPv6+

不同的垂直行业对 IP 网络连接在时延、带宽、业务可用性等方面呈现出定制化、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 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，简化切片部署、切片质量可视、无损扩缩容，支撑运营商使能切片服务化，实现商业变现。



IFIT

IFIT 是一种随流检测技术，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。IFIT 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。

### 1.3.3 AI+大数据

近年来，从 AlphaGo 到 ChatGPT，AI 技术取得了不少突破性的进展，人工智能正在与产业加速融合。不断增长的网络规模、新老交织的异构网络技术，以人工为中心的运维模式无以为继，都使得运营商负担也越来越重。在这个时间节点，AI 开始走进电信网络，加速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。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，数据复杂度和量级空前最高，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治，需具备全生命周期的自学习、自适应、自演进的闭环自治能力，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。

### 1.3.4 SDN

SDN (Software Defined Network, 软件定义网络) 从诞生之日起就热度不减，初期主要围绕以转控分离、集中控制、网络能力开放为特征的网络架构进行创新，在经历一阵发展热潮后，SDN 开始从实验室走向现网部署。不仅需要关注网络架构的创新，还要重塑网络运维流程，聚焦业务自动化、运维智能化，构建起意图驱动的自适应网络，支撑运营商实现网络云化和数字化运营转型。



自动化

使能自动驾驶网络 (ADN, Autonomous Driving Network), 实现全生命周期的网络部署和运维自动化。



智能化

实时采集、感知网络状态，基于大数据自动生成业务策略，实现主动维护和闭环优化。



自适应

通过人工智能和机器学习，构筑智能网络，支持自动生成动态策略，实现网络自治。



# 2 数字地图目标架构与集成

## 2.1 数字地图概述

数字化转型将是未来十年全球发展的重点，在行业数字化转型的推动下，千行百业上云加速。不同行业对业务 SLA 的要求不同，这就要求网络能够提供敏捷、差异化的 SLA 保障，以满足多样化的业务诉求。但是当前网络质量不可视，无法及时感知业务 SLA 变化；同时当前尽力而为转发的网络缺少对流量的差异化和自动化调度，难以满足行业业务的差异化保障诉求。为应对这些挑战，华为全新黑科技数据通信“网络数字地图”应运而生。



作为 IP 网络智能运维的数字化底座，华为 iMaster NCE-IP 提供的网络数字地图具备交通地图导航式体验，实现网络全息可视、业务敏捷发放、流量自动优化、智能故障分析、隐患预测、全生命周期智能运维，让业务 SLA 得到持续保障，提升业务体验。

- **网络全息可视：**传统网络性能测量主要依赖人工部署，准确率和效率始终是网络运维人员的痛点。IP 网络数字地图通过 BGP-LS ( Border Gateway Protocol-Link State, BGP 链路状态协议)、BMP ( BGP Monitoring Protocol ,BGP 控制协议) 等标准协议,实现多厂商网络设备物理资源、切片、隧道、路由、VPN 业务、应用等数据的实时采集；同时基于分布式网络性能采集框架，实时采集、呈现超大规模网络的时延、带宽、丢包、能耗等多维指标，帮助客户看清全网，识别业务绕行等问题。



多视图



- **网络物理视图：**基于物理网络连接关系绘制、自动按照 GIS 坐标布局网络节点位置，可以将网元、二层链路的状态和告警进行关联显示；支持多级拓扑放缩和自动拓扑布局。
- **网络切片视图：**为不同租户提供的差异化逻辑网络，可分为硬切片和软切片两种。既能展示网络分片的拓扑，又能将切片网络中网元、链路的状态关联显示出来。
- **网络隧道视图：**物理网络或切片网络上的 RSVP-TE/SR-TE/SR-Policy 视图；支持呈现端到端隧道的状态、路径；支持时延圈渲染、路径预计算、调优历史的回放。
- **网络路由视图：**支持呈现网络中 IGP（Interior Gateway Protocol，内部网关协议）路由、BGP（Border Gateway Protocol，边界网关协议）路由前缀及路由信息。
- **网络 VPN 业务视图：**端到端 VPN 业务视图，支持 VPN 基本信息、Peer 连接关系、转发路径的呈现。
- **网络应用视图：**关联网络流量、路由、能耗分析等上层应用，全网统一分析呈现，支持网络流量优化调度。



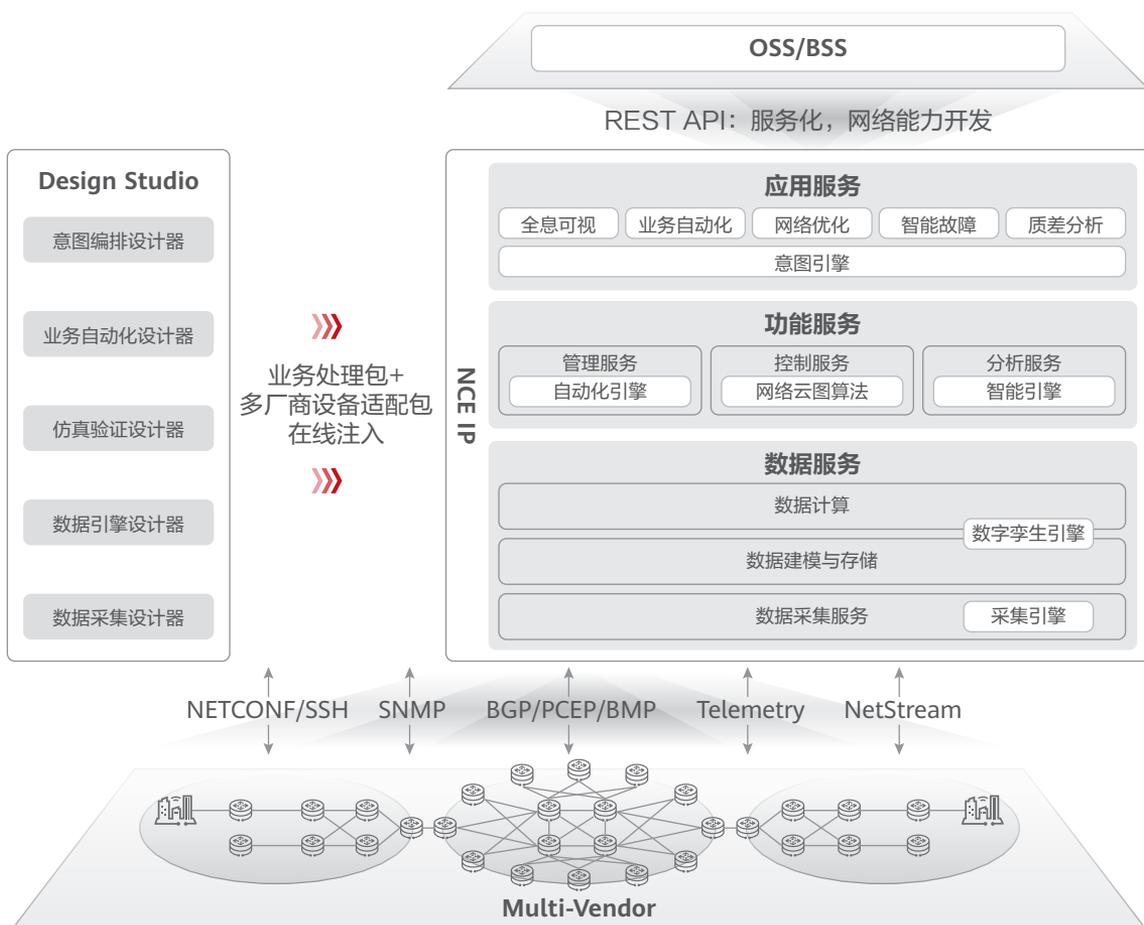
多维度

支持自定义呈现状态、带宽、时延、cost、丢包率、能耗、可用度数据。

- **状态数据：**网络出现故障时，设备 IGP 协议会立刻进行收敛，更新链路状态信息，泛洪后通过 BGP-LS 上报到控制器。控制器感知到链路故障后会将链路置为 down 状态。
- **带宽数据：**在拓扑链路上呈现链路的带宽利用率数据。且支持设置带宽利用率区间，并根据不同的带宽利用率区间对拓扑链路进行不同的着色。
- **时延数据：**在拓扑链路上呈现链路的时延数据。且支持设置时延区间，并根据不同的时延区间对拓扑链路进行不同的着色。
- **cost 数据：**在拓扑链路上呈现链路的 TE Metric 数据。且支持设置 TE Metric 区间，并根据不同的 TE Metric 区间对拓扑链路进行不同的着色。
- **丢包率数据：**呈现链路丢包率数据信息。
- **能耗数据：**呈现网元能效和实时功率。
- **可用度数据：**根据链路故障频率自动评估出来可用度，显示出网络链路的稳定性。

- **导航式路径计算：**基于业务意图匹配计算最优路径，智能云图算法可实现 20+ 因子秒级算路，秒级感知业务质差、分钟级定位根因、分钟级自动优化、满足差异化的业务 SLA 保障需求。
- **IP 流量调度：**目前，大多数 IP 网络行为是尽力转发，在遇到突发流量时极易产生拥塞，人工流量均衡平均花费 3 小时以上，用户体验差。网络数字地图可以实时感知 IP 网络拥塞，并通过 BGP FlowSpec 对流量路径进行自动优化和调整，实现分钟级的 SLA 闭环保障。
- **高稳 IP 网络：**网络数字地图构建了“意图验证”和“BGP 路由分析”能力，提前感知网络错误变更，拦截潜在的重大网络事故，助力服务商打造安全、可信的高稳 IP 网络。
- **绿色运营：**网络数字地图构筑了“绿色节能”能力，可实现全网能耗可视、可管、可优化。

## 2.2 目标架构



NCE-IP 作为网络的管控系统，同时也作为数字地图能力的核心载体，对北向 OSS/BSS 提供灵活开放的 Open API，对系统管理员和网络维护人员提供丰富、简洁、易用的 UI 界面，通过多种协议连接网络设备，管理和控制网络高效运行：

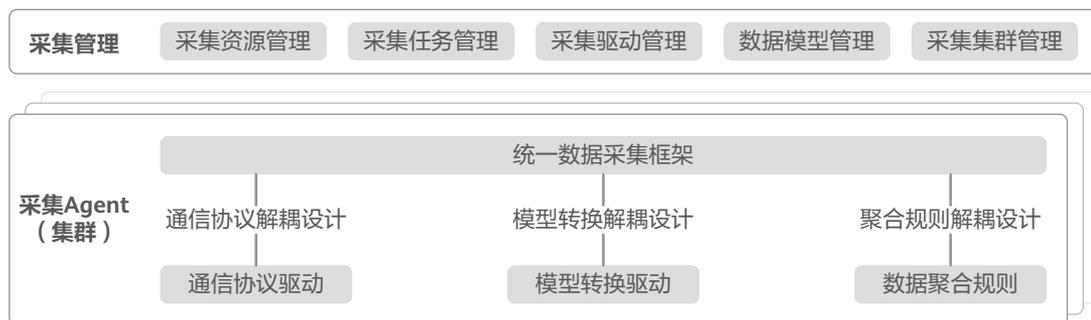
- 通过 Netconf/SSH/SNMP 等管理类协议通道，完成设备配置、状态查询、告警接收等功能；
- 通过 BGP/PCEP/BMP 等控制类协议通道，完成网络拓扑收集、路由状态收集，隧道路径控制等功能
- 通过 Telemetry/NetStream 性能和状态类协议通道，完成网络流量、时延等数据采集，实现网络状态分析能力。

IP 网络数字地图具备如下核心能力：

- **开放能力：**全栈支持业务自定义，通过在线加载业务驱动包的方式，实现自定义业务编排、开放接口、三方设备配置与数据采集、设备行为能力适配；
- **数字孪生：**以大数据平台的方式，形成网络业务、网元配置、状态、性能等各类应用的数字化副本，支持基于数据的分析、计算以及呈现能力；
- **多业务承载：**支持丰富的业务服务，覆盖网络规划、建设、维护、优化的全生命周期，提供完整的网络管理、控制和分析能力；

为了支撑核心能力的达成，在数据服务、功能服务、应用服务的全功能层次上，通过“功能引擎”+“业务定义”的方式，统一系统的开放性、扩展性、可靠性、安全性等质量属性，同时支持新特性的持续迭代和演进。

- **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，包括以大数据技术为中心的 OLTP（Online Transaction Processing）、OLAP（Online Analytical Processing）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。



<b>数字孪生设计器</b>	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。
<b>数字孪生引擎框架</b>	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

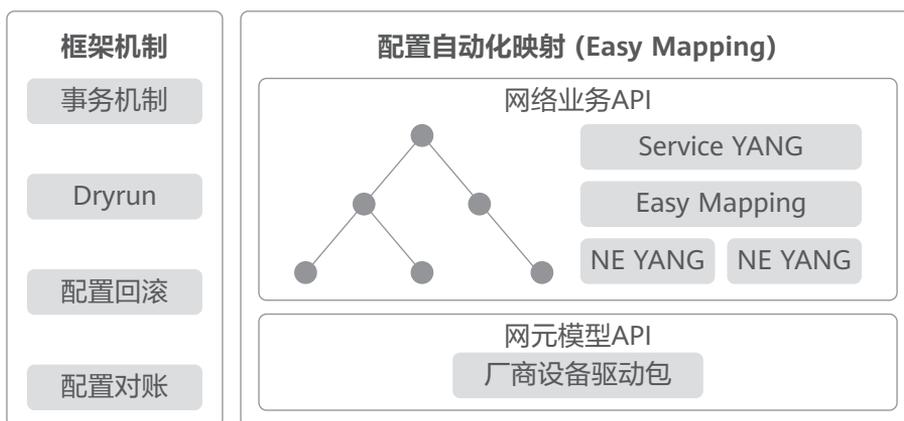
提供通用的数据服务能力。其中仿真服务提供统一的网元配置模型、网元存量模型、网元行为模型和网络模型，将网络数据映射到统一模型上。NCE-IP 数字地图不仅支持基于统一模型完成以设备为中心的设备协议仿真能力，还支持基于通用验证算法的自定义验证业务插件，快速定制仿真验证业务，并可基于物理网络的数字镜像，构建多个数字镜像分支，并基于每个分支验证变更影响。



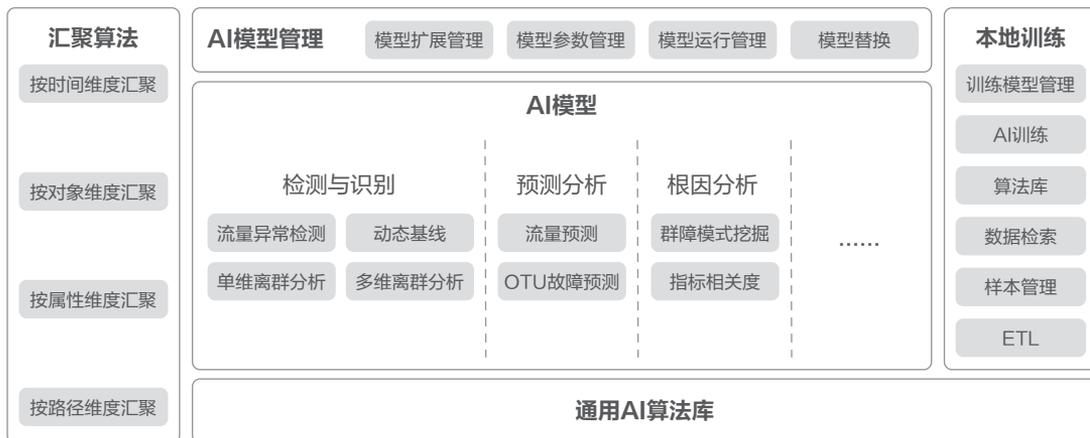
## 数字孪生 基础服务

通过 NetSearch 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。

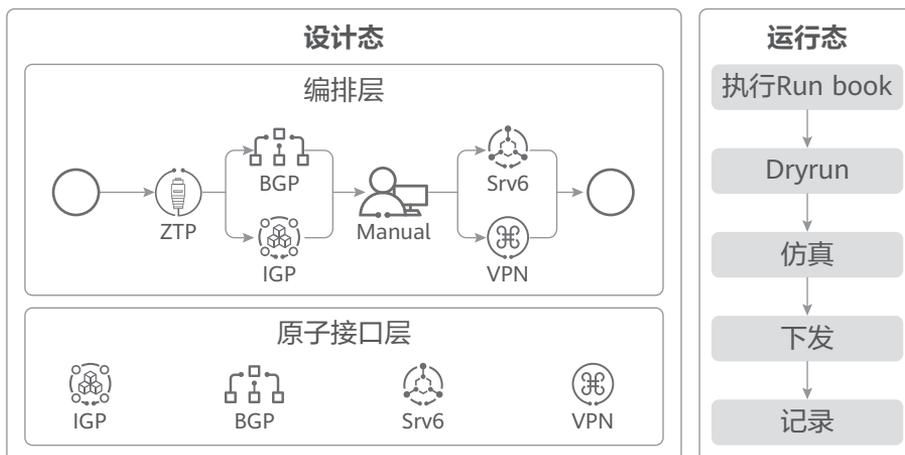
- **自动化引擎：**自动化引擎通过模型驱动的方式，在网络业务层通过 YANG 定义网络业务模型，在网元层通过 YANG 定义网元配置模型；通过 Easy Mapping 框架将网络模型自动转换为网元模型，并且提供了 Dryrun、配置对账、配置回滚，事务机制等可靠性的能力，达成业务配置自动化的目标。



- **智能引擎：**智能引擎提供通用 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；



- **意图引擎：**意图引擎提供意图定义、闭环和工作流编排能力，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

包含了 DSL 解释器、流程引擎、下发执行模块及流程实例管理模块。DSL 解释器按需从 Catalog 加载流程包及动作包，并解析成语法树。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。

数字地图的丰富业务应用，包括业务自动化，配置变更仿真，网络拓扑 / 隧道 / VPN 业务多维度呈现，BGP 路由分析，业务路径发现和还原，智能搜索等等，都可以基于这些核心引擎，完成业务快速开发，提供统一的体验和质量属性。

## 2.3 数据模型

传统网管系统存在大量孤立和冗余数据，导致不同网络功能单元之间的数据穿越需要进行大量的数据转换，比如，将存量系统的数据传输到性能分析系统时，需要基于各自模型做一次数据转换处理。然后，在未来的网络中，数字孪生将成为各层系统数据的唯一来源，因此需要大幅减少数据冗余和不一致性问题，并减少同一份数据在不同子系统中流转所带来的额外开销。为此，网络数据模型需要具备较好的兼容性和开放性，以支持多远数据接入，异构存储和实时呈现等能力。

网络孪生建模数据的分类如下：

- **静态类数据：**主要包括配置类的数据，如路由协议配置、业务配置；存量类数据，如网元，单板，物理端口，逻辑端口，时隙资源，VLAN 资源，IP 地址池等。
- **动态类数据：**网络运行期内生成的数据，如路由、隧道路径、协议状态等。
- **度量数据：**包括网络告警，性能指标类数据。

系统按照如下模式对上述数据进行建模：

- **MO ( ManagedObject, 管理对象 ):** 定义管理对象及其之间的关系。
- **Specification ( 规格 ):** 该概念来自于 TMF SID 中的 Specification 设计模式。Specification 数据用于描述某类对象中某种详细类型的不变特征。因为其不变，所以一条 Specification 数据可以被多个实例数据引用，以此来减少整体的存储空间。
- **Historical Facts ( 史实 ):** 记录系统中发生过的事件、性能、统计信息、告警日志、数据变更日志、操作日志。该类数据按照时间维度依次记录，是不可变更的既成事实，但可以对史实数据进行补充和标记等操作。由于史实数据的生命周期往往超过所引用的实体对象的生命周期，为了在实体对象被删除后仍能正确展示其史实数据，通常会将实体对象的一些关键属性（名称、地址等）建模到史实数据模型中。
- **Role Entity ( 角色实体 ):** 来自于 TMF SID 的 Role Entity 设计模式，该设计模式用于满足扩展性要求。

## 2.4 网络服务化

运营商正从战略咨询、业务规划、架构设计、运营管理和组织优化等方面着手，从上而下推进数字化转型。在这个过程中，其主要诉求已经从通讯转换为信息化，从连接 / 流量经营走向数据经营，网络开放是大趋势。传统的北向集成存在接口繁多，参数复杂，OSS 集成周期长，成本高等缺点，已经无法满足运营商快速开通业务，简化运维流程的诉求。客户对可编程，业务创新快速上线，API 能力开放运维自动化，缩短集成 TTM 存在强烈诉求。

网络服务化具备如下三大特征：



### 网络和业务分离

即网络服务与客户业务是解耦的，而不是为每项业务都设计一款网络服务，在充分理解业务场景和对网络的诉求后，提供与业务匹配的网络服务，从而实现一网多用，保持网络稳定性、灵活性、敏捷性的前提下，支撑业务的高速增长。



### 网络服务原子化

从技术的视角，网络是分层和分段的，不同的网络所采用的技术和方案各有不同，但从服务的视角，服务需要是模块化的，可以根据用户需要进行灵活的组合拼装，从而把不同的原子服务组合成用户所需的一站式端到端服务。



### 网络服务标准化

只有标准化的服务，才能够让用户随时、随地、随需地获取到一致性的服务，因此必须定义通用的标准，规范化地提供网络服务。

运营商可以通过 NCE-IP 数字地图提供的网络服务化接口实现网络资源集中管理，提高资源利用率和运维效率，还可以实现业务自动化、网络优化、运维排障全生命周期自动化运维：

- **资源管理**

子网、网元、端口、IGP 拓扑、L3VPN、L2VPN、Tunnel、切片资源等

- **业务自动化**

切片全生命周期管理：资源切片实例的初始化，资源切片实例变更修改，资源切片实例的监控

SR-TE、SR-MPLS TE Policy、SRv6 Policy、跨域 SRv6 Policy、RSVP-TE、L3VPN、L2VPN 等

业务路径预计算

云网套餐推荐

- **网络优化**

隧道路径调优

IP 流量调优

- **智能故障运维**

告警订阅、上报、同步、确认 / 反确认等

智能故障上报

# 3 数字地图典型应用场景与关键技术

## 3.1 规划环节：网络配置验证

### 3.1.1 场景介绍

IP 网络承载着大量跨地市、跨省、甚至跨国的数据业务，网络配置的变更必须极为谨慎。否则，可能会导致巨大的损失。TM Forum 报告“Network automation using AI and machine learning”显示，43% 运营商认为手工配置会严重影响其业务能力。由此可见，运营商普遍存在“配置焦虑”，亟需一种在线的配置验证工具，能事先评估验证网络配置影响和成功拦截错误网络配置。



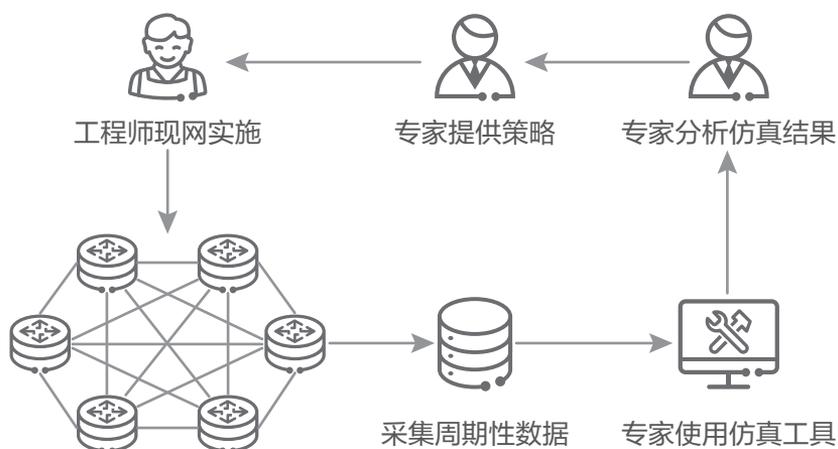
- **高精度仿真服务：**以网络设备的变更配置、互联路由与流量作为输入，模拟网络协议、流量的状态和行为，仿真网络设备的路由表与转发表项，为网络变更风险评估提供真实、客观的基础数据。
- **网络验证算法：**在设备的路由表、转发表及流量负载基础上，使用 CPV/DPV（Control Plane Verification，控制面的仿真验证 /Data Plane Verification，数据面的仿真验证）基于一定的规则，对网络风险进行评估。CPV（Control Plane Verification）可对控制面路由数量变化（路由数量突升、路由数量突降）、路由可达性、路由可靠性（路由黑洞、路由环路）进行形式化求解验证。DPV（Data Plane Verification）可对网络转发面路径的形式化求解验证。两项技术相辅相成，从而有效识别网络配置变更带来的变更风险，并能对错误配置进行有效地识别和拦截。

## 3.1.2 关键技术

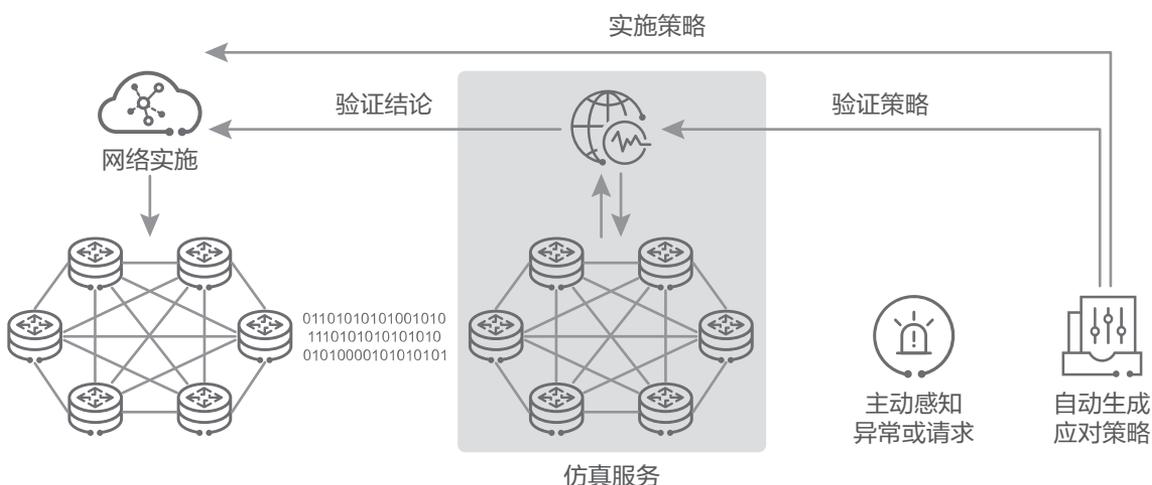
### 3.1.2.1 高精度网络协议仿真

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。



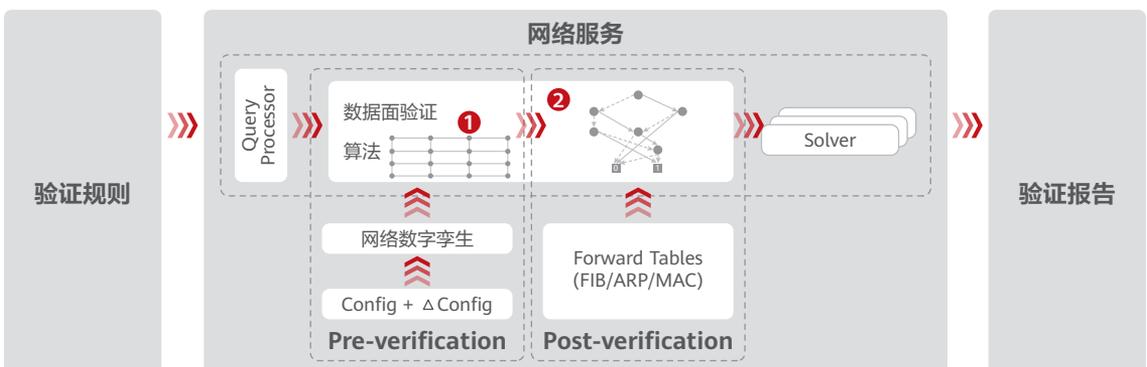
在线网络协议仿真系统的主要目的，是以网元配置数据为基础，模拟设备路由协议的行为，从而精准生成网元协议路由表，全局路由表，并在此基础上，以路由表项为基础，展开分析，最终完成对网络影响分析的验证。仿真服务需具备如下能力：

- **多厂商：**支持主流厂商（华为，思科等）联合仿真。
- **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。
- **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。
- **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。

### 3.1.2.2 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，然后在数字孪生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：

- **全网联通性验证：**包括二层 / 三层流量互通能力，二 / 三层流量路径。
- **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。
- **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。



关键技术

#### 高效图论验证算法

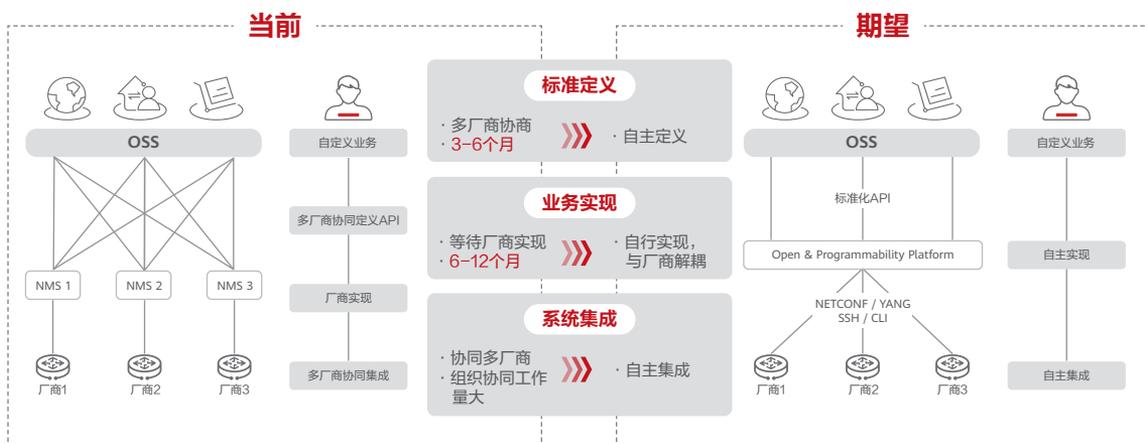
对每个相关等价类创建相关汇聚图，基于 DFS（Depth-first Search，深度优先查询）和 HSA（Header Space Analysis，数据包包头分析）的高效图论算法联合计算路径，验证路由可达性和环路。

## 3.2 建设环节：业务自动化

### 3.2.1 场景介绍

运营商和企业网络普遍存在多厂商设备共存的场景，快速适配多厂商设备和快速上线新业务是业务自动化的核心竞争力。但是新设备和新业务适配存在一些挑战。

- 新增设备的效率取决于厂商能力和响应速度，新设备集成速度较慢、自动化程度较低、并且开通周期较长，这些挑战成为了端到端业务交付的瓶颈。
- 新业务上线需要依靠 OSS 系统和厂商控制器版本更新，这可能导致 API 接口集成不足和定制成本过高等问题，最终造成新业务上线周期过长，难以满足业务场景的灵活变化。



IP 网络数字地图构建了一套高性能高可靠的自动化引擎，使能多厂商设备网络的快速业务开通，解决了业务自动化面临的挑战。新设备适配纳管周期缩短至天级，设备适配效率提升了 90%，同时，新业务上线时间由传统的 6~9 个月发布一个版本缩短至 1 个月敏捷按需发布，上线周期缩短了 80%。



### ① SSP (Specific Service Plugin)

- 通过定义业务YANG模型和业务
- 逻辑使能业务定义能力开放

### ② SND (Specific NE Driver)

- 以YANG模型方式抽象设备能力
- 屏蔽差异, 实现设备能力开放

### ③ NCE平台框架部分

- 自动生成北向RESTCONF、CLI和Web UI接口
- 实现北向人机 and 机机接口开放

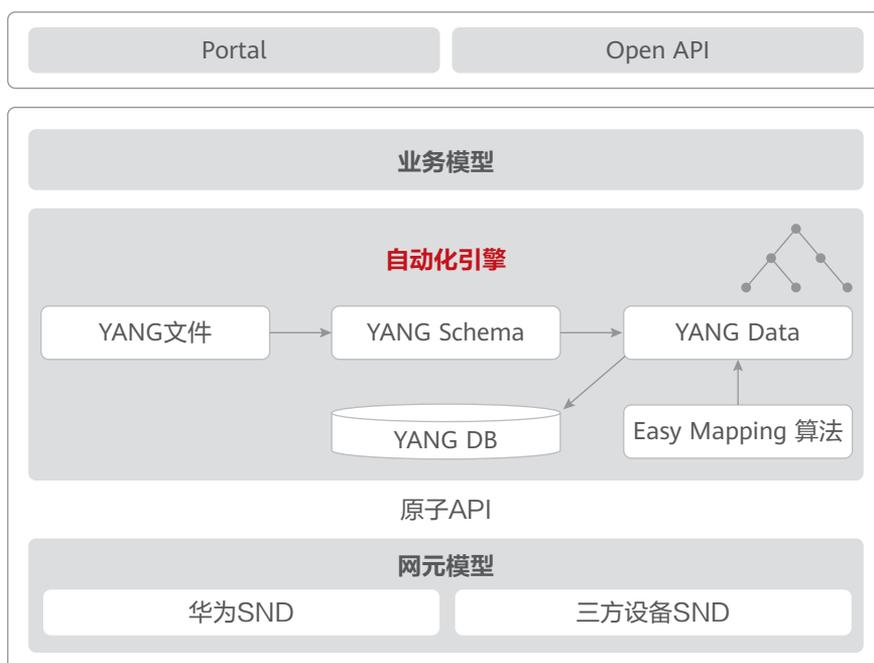
自动化引擎由设计态和运行态两部分组成。设计态是用于建立业务 YANG 模型和设备 YANG 模型之间的映射关系，运行态是基于设计态建立的映射关系完成业务发放。即：在设计态编写 SSP 包和 SND 包，在运行态加载软件包，实现新设备的快速纳管和新业务的快速构建。

- **SSP** ( Specific Service Plugin Pkg, 业务包): 定义了完成一套网络级业务配置对应的数据模型。
- **SND** ( Specific NE Driver Pkg, 网元驱动包): 提供与网络设备交互的数据模型。该数据模型通常包含用于定义设备的相关信息的文件，如设备类型、厂商、连接信息、描述相关特性的 YANG 文件。系统通过加载网元驱动包，可以和设备建立连接，进行数据查询和配置下发，实现设备纳管。



### 3.2.2 关键技术：模型驱动实现多厂商设备业务自动化

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 EasyMapping 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。

## 3.3 维护环节

### 3.3.1 BGP路由分析

#### 3.3.1.1 场景介绍

边界网关协议（Border Gateway Protocol，BGP）是核心的互联网域间路由系统，也是连通全球网络空间的技术基石，但近年来其安全问题频频发生。根据 RFC7908 定义的 BGP 路由安全问题有以下六类：

- **Type 1-Hairpin Turn with Full Prefix**，从上游 ISP 接收的路由泄漏给其他上游 ISP（Provider to Provider）
- **Type 2-Lateral ISP-ISP-ISP Leak**：从非转接 ISP 接收的路由泄漏给其他 ISP（Peer to Peer）
- **Type 3-Leak of Transit-Provider Prefixes to Peer**：从 Provider 接收的路由泄漏给非转接 ISP（Provider to Peer）
- **Type 4-Leak of Peer Prefixes to Transit Provider**：从非转接 ISP 接收的路由泄漏给 Provider（Peer to Provider）
- **Type 5-Prefix Re-origination with Data Path to Legitimate Origin**：更改路由来源重发布路由
- **Type 6-Accidental Leak of Internal Prefixes and More-Specific Prefixes**：内部 / 更具体前缀泄漏

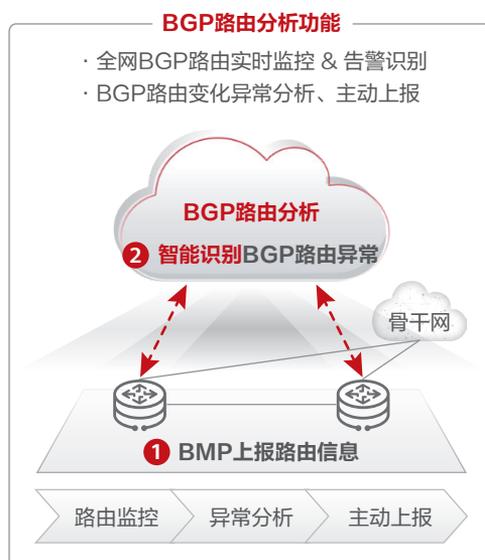
这 6 类路由安全问题实际可分为两大类：

- **路由泄漏**：收到的路由转发给了不该转发的 BGP Peer 邻居，典型案例如 2019.6.6 Safe Host 路由泄漏事件。
- **路由劫持**：篡改了学习路由的 AS 属性，并发布给其它 AS，或产生了属于其他运营商的更精细的路由，并发布给其它 AS。

据 MANRS 路由安全报告称，2021 年全球发生了大约 775 起路由劫持事故，830 起路由泄露事故。无论是意外的、还是恶意的路由劫持与路由泄露，都会严重影响互联网的性能和服务质量。因此，BGP 路由可视、BGP 路由安全分析，异常路由告警和隔离，以及 BGP 配置安全验证是运营商与企业构建 BGP 路由安全体系的核心诉求。



- **BGP 路由采集：**基于 BMP 协议实时获取 BGP Peer 邻居关系和状态，并针对 BGP 邻居采集 Adj-RIB-In, Adj-RIB-Out 和 Loc-RIB 路由，呈现 BGP 邻居及其路由的统计信息。
- **BGP 路由分析可视：**针对全量 BGP 路由和重保 BGP 路由进行监控。对每个 BGP Peer 上的路由变化（包含：路由前缀发布和撤销、路由 AS-Path 和源 AS 变化等）从时间和空间维度进行分析、统计和呈现，识别路由劫持、路由泄露等异常并触发告警。对于重点保障路由，实时监控路由可达性及时延等性能统计，路由路径变化可回放，及时感知并修复 BGP 路由异常。



### 微观— 重保路由可追溯

重保路由指运营商或用户拥有的 IP 地址段、知名 ISP 的 IP 地址段。在现有的 Internet 架构下，重保路由的源 AS、AS 路径及路由属性一般在较长时间内会保持稳定，不会发生剧烈变动。

对于重保路由，会实时监控其变更，一旦变化将发送告警。作为 IGW 或省干出口的设备，每天路由变化频繁，而且许多攻击是短暂的，由此引发的业务质量问题都难于回溯和定位。网络数字地图支持分钟级异常事件分析。异常路由定位迅速，可以极大提升网络边界的安全性。

对于重保路由，会更加详细记录变更过程。问题定位定界时可以通过历史回溯还原该路由前缀的生命周期历程。对重点时间、重点属性的过滤，可以高效确定异常变更的来源。方便后续执行通告、隔离、恢复等干预手段。

对于重保路由，其管理方式会更加丰富。网络数字地图支持以路由粒度监控异常事件，实现对重保路由的专项管理。支持按天、月导出历史路由信息，便于长期对网络变化进行跟踪和洞察。

## 宏观— 全局状态可感知

基于数字地图强大的可视化运维能力，我们能够精确绘制出用户视角下的全球 BGP 各 AS 域的连接关系。通过 AS topology 视图可以直观看到全球 Internet 路由在 AS 域间扩散到本地的方向和路径。

在数字地图拓扑中可以看到 BGP 路由 Peer、AS 发布路由、BGP 路由 Peer Down、AS 发布 Prefix 波动告警等信息，实时对全球网络质量进行评估，通过 AS 路径特征分析发现路由异常。

通过监测从邻接对等体中收到的变更通报，可以实现从全球维度分析并回放疑似 BGP 路由异常事件。

- **BGP 路由配置验证：**BGP 路由配置变更，通过配置验证，提前预判配置变化引发的路由变更，用于分析是否会引起路由泄露，减少人为异常配置引发的 BGP 安全事故。

### 3.3.1.2 关键技术：时空路由算法

#### 1. AS Link 知识库构建

AS Link 知识库的本质是要获取全球 AS 之间的连接，实现 AS 拓扑的推理，是进行路径劫持防护、检测的核心数据支撑，也是检测伪造路径的关键输入。

AS Link 知识库推理构建的关键技术包括活跃值计算方法以及链路活跃状态管理。网络数字地图通过空间维度（不同边缘路由器收集到的信息）与时间维度（记录在时间轴上的变化）的组合来设计知识库中的 AS Link 生命周期模型、可靠性标注及老化机制。进一步结合经验和实践选择调校参数，使得最终数据能真实反映路径劫持和正常 AS Link 更新。

AS Link 知识库通过空间活跃度和时间活跃度来标记链路活跃度。

#### 2. 空间活跃度计算

空间活跃度考察每一条 AS Link 被多少前缀使用，一条 AS Link 被越多的前缀使用，其空间活跃值越大。通常伪造链路存在于极少的非法前缀通告中，所以空间活跃值计算主要是针对少量的非法前缀通告产生的 AS Link。对于每条 AS Link 在某个时刻的统计值，如果低于设定的阈值，极有可能是伪造链路，可以给出疑似路径劫持的告警，但还需通过时间维度进一步判断。

### 3. 时间活跃度计算

由于数据源是按一定时间更新，因此每一次更新是一个独立的离散事件，整个过程是一个时间序列过程。对每条链路而言，每次离散事件的结果是该 AS Link 的空间活跃值，对于活跃状态无法确认的链路直接将活跃值计为 0。同时，还需要设置观察时间窗，将时间窗内的空间活跃值进一步累积，得到 AS Link 的时间活跃值。如果在一段时间内，Active 状态的链路活跃度平均值低于阈值，将其状态更新为 Uncertain 状态。如果一段时间内，Uncertain 状态的链路活跃度平均值低于阈值，则显示路径劫持告警；对于持续低于阈值的 Link，设置老化时间，实施清理；否则将其状态更新为 Active。

## 3.3.2 网络拥塞分析

### 3.3.2.1 场景介绍

移动承载网络丢包会影响到 TCP 的吞吐量，当丢包率超过一定阈值时，会导致 TCP 吞吐量出现剧烈下降，因此丢包率是衡量承载网的重要指标之一，对用户体验有重要影响。网络拥塞分析聚焦于基站压抑流量可视和排障两大场景，提供全网 E2E 的压抑流量可视、区域质差状态可视、快速故障定界定位的完整运维方案。网络拥塞分析采用如下两种检测技术：

- **TWAMP ( Two-Way Active Measurement Protocol , 双向主动测试协议 )**：作为业界标准的检测方案 ( RFC6038 )，兼容性好，现网中大部分路由器、基站都支持。通过部署 TWAMP 测试例，检测源端到目的端链路的丢包率、时延、抖动，实时监控网络业务质量和辅助故障定界。
- **IFIT ( in-situ Flow Information Telemetry , 随流检测技术 )**：是一种随流的被动检测技术，其基本原理与 IPFPM 类似，采用 RFC 8321 染色机制进行性能测量，直接对业务报文进行测量，从而得到 IP 网络的真实丢包率、时延、流速等性能指标的检测方式。

网络拥塞分析具备如下能力：

- **全网 E2E 的压抑流量可视**：通过热力图展示基站流量压抑分布，可视化识别网络拥塞点，优先分析高价值区域，逐层放大定位到压抑基站，精准指导扩容。  
基于 TWAMP/IFIT 技术检测基站的 SLA，从基站的丢包率和实际流量进行分析统计得到基站压抑流量并判定基站是否存在质差问题。基于基站压抑流量做全网 E2E 的压抑流量可视、区域压抑流量统计分析可视。
- **快速故障定界定位**：展示基站业务的丢包情况分布，对单个基站业务按照不同的时间节点进行逐跳路径还原，分析链路 SLA、链路带宽等对丢包的影响，实现精准的故障定界定位。

### 3.3.2.2 关键技术

#### 1. 路径还原算法

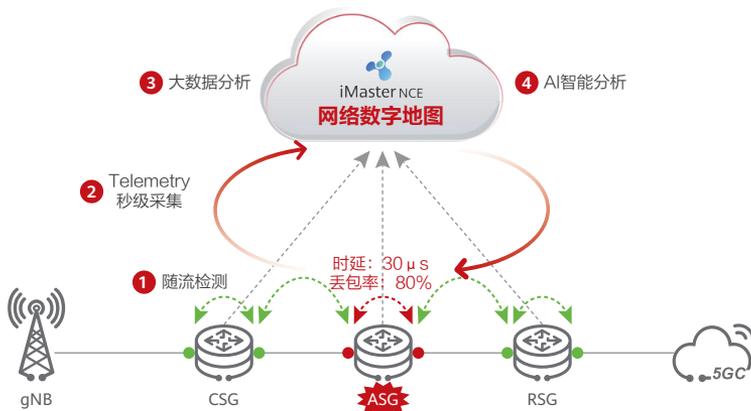
网络拥塞分析采用业界成熟的 TWAMP 检测方案进行拥塞定界，基于 LLDP（Link Layer Discovery Protocol，链路层发现协议）实现拓扑还原，通过还原出端到端的业务路径，基于数据分析及专家经验提供拥塞根因和优化建议。

- 利用 Traceroute 跟踪发送数据包经过的路由，获取网络中经过的网元入接口和出接口。
- 通过 SPFA（Shortest Path Fast Algorithm，最短路径快速算法）进行域内最短路径发现，当存在负载均衡时可还原出多条等价路径。
- 通过 IFIT 随流检测，自动完成精准路径还原，逐跳分析拥塞 / 质差位置和根因，提供优化建议。

#### 2. 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 / 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 二进制编解码，传输高效，IFIT 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 IFIT 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。

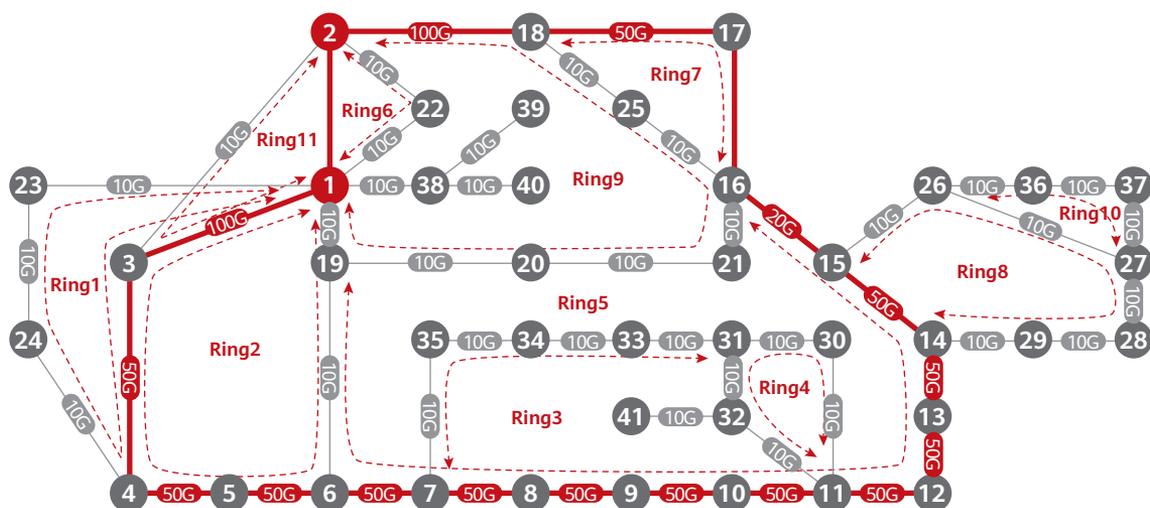


### 3. 环发现算法

在IPRAN的典型组网场景中，通过环概念将整体拓扑划分为接入环、汇聚环、核心环，相对于传统的根据端口及链路流量统计，基于环的流量统计能够准确定位网络瓶颈及拥塞路径，并为具体带宽值预测提供数据模型。现网由于频繁断电断纤，光纤资源匮乏，路由同缆等原因，使得网络中存在大量相切环，Mesh环，环套环等非标准组网情况，环发现难度大。

通过最大带宽优先环拓扑发现算法，使环发现算法更精准，有效识别相切环、Mesh环、环套环等非标准组网的环拓扑。

- **环链路算法：**采用深度遍历算法，通过物理连接关系自动识别环链路。
- **相切环算法：**采用大带宽优先算法，优先将相切链路的流量归属到大带宽环上，小带宽环作为二级环。
- **环层级算法：**采用基于标注的角色等级识别算法，自动识别环的层级关系。



### 4. 压抑流量算法

客户无线网络经过长期优化，在进行相同投入的情况，改造收益越来越少，网络瓶颈点已经从无线空口向承载网侧转移，如何对承载网进行评估改造并释放被压抑的流量，已成为客户的一大痛点，亟需一种评估和释放承载网压抑流量的方法。当前基于现网统计的基站速率压抑比，结合丢包率统计，对造成承载网丢包的原因进行分析，识别出KPI有问题的基站和链路，对故障点性能劣化的原因进行分析和判断。E2E评估网络质量，分析承载网对无线流量压抑的影响，支撑网络改造，提升客户收益。

- 压抑流量算法：通过流量压抑理论及现网采集数据，拟合压抑流量曲线。

$$\text{压抑流量} = \sum_{t=0}^n (\text{Volume}_t^{3G} * SR_t^{3G} + \text{Volume}_t^{4G} * SR_t^{4G})$$

SR: 基于丢包率计算的压抑率

Volume:  $t$  小时内的流量总和,  $t$ : 00:00~23:00

- 全网优化建议：根据压抑流量算法来诊断承载网问题，指导全网精准改造。

### 3.3.3 智能故障分析

#### 3.3.3.1 场景介绍

目前网络中存在的硬件类、转发类、配置类等异常问题缺乏有效的感知手段，并且故障发生后缺乏有效的定位方法，只能在海量告警数据中逐一排查，效率低下，导致业务受损时间长。面向 5G 承载、智能城域网等 IP 网络，网络数字地图基于“运维大数据 +AI+ 专家知识”构建传播模型并持续在线自学习，减少运维人员的处理成本，提升故障处理效率，降低对业务专家的依赖。



降低运维成本

通过对网络事件、告警进行聚类及关联分析，减少冗余告警，有效减少网络工单数量，降低运维成本。



提高故障解决效率

事件聚类通过事件间的时间、拓扑关联分析和聚合，将由同一条故障引起的多条告警、事件汇聚成一条故障，并自动识别根因事件，实现了一故障一工单，减少了重复派单的问题。



降低对业务专家的强依赖

事件聚类和根因识别基于海量运维数据，融合了丰富的专家知识 +AI 算法，在缺少专家指导的情况下，仍可自动、快速地定位故障，对于人工处理有困难的故障也能够较快识别出根因事件，帮助用户更加全面、快速地解决故障。

### 3.3.3.2 关键技术：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

提供数据服务、模型训练服务、模型生成服务、模型推理服务，可以迭代训练出事件聚类模型及故障传播图，增强模型的泛化性，越学越聪明。



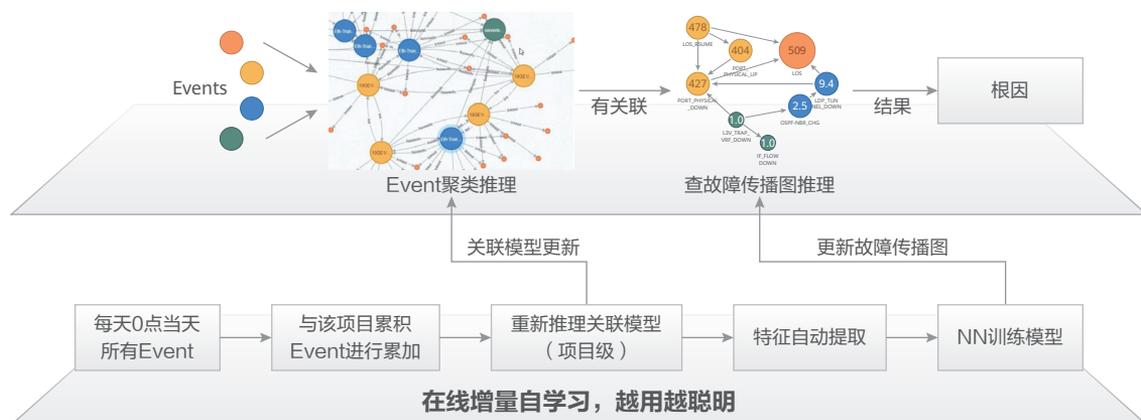
在线推理

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。



影响分析

结合专家经验关联分析，呈现此故障对业务的影响，帮助用户识别影响业务数量多的严重故障。



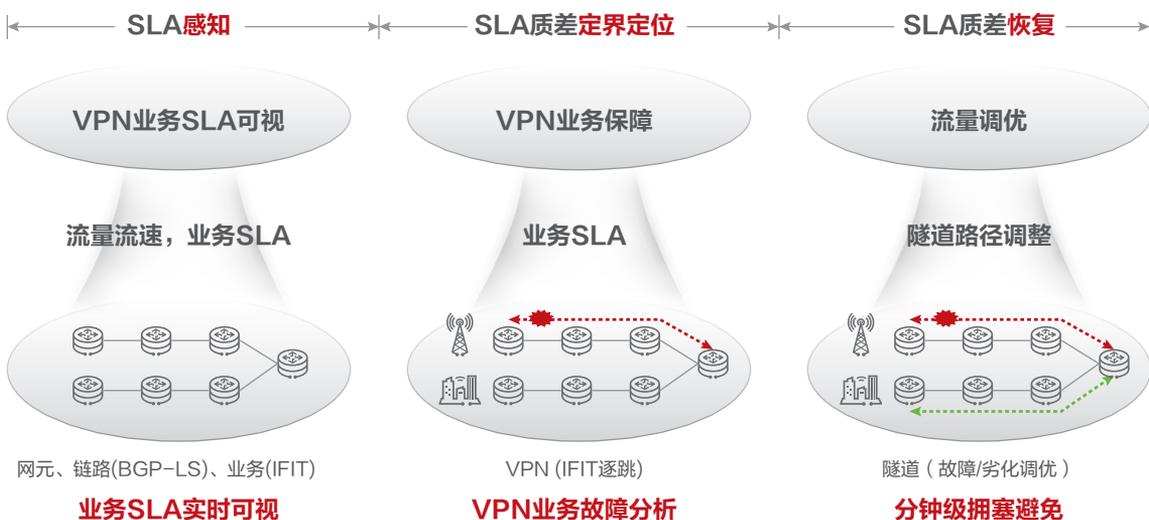
## 3.4 优化环节

### 3.4.1 网络智能优化

#### 3.4.1.1 场景介绍

##### 1. 隧道路径自动调整，避免网络拥塞

传统的电信网络为用户提供了无差异的连接服务，导致对网络质量要求不高的业务获得了过高的服务，造成资源浪费，而一些有特别质量要求的业务却难以保证。IPv6+ 网络应当为不同的业务需求提供差异化的网络服务，既节省资源，又保障质量；对业务差异化 SLA 的保障体现在为不同业务提供不同带宽、时延及可用度的网络连接服务。当网络业务运行一段时间后，网络会存在资源利用率不均的问题，部分链路流量过载，部分链路流量轻载。IP 网络数字地图可以精确感知业务质量变化，快速定位网络质量劣化点，并且能及时对业务进行流量调优，在对用户 SLA 承诺不变的情况下，均衡网络负载，提高网络吞吐量。



- **SLA 感知：**基于 BGP-LS 快速感知网络拓扑变化，包括节点、链路故障以及链路带宽、时延变化等；基于 IFIT 的业务随流检测，通过 Telemetry 秒级上报机制，精确感知业务 SLA，分层显示网络和业务质量。
- **SLA 质差定界定位：**业务质量劣化自动触发 IFIT 逐跳检测，基于业务转发路径发现质差点，并可与网络拓扑结合，直观可视定界定位结果。

- **SLA 质差恢复：**基于业务的 SLA 质差定界定位结果，使用多因子云图算法重新计算网络路径，结合 SR-TE、SR-Policy 等技术对网络路径进行重优化，引导流量避开质差点，持续保障业务 SLA。多因子云图算法可以大致分为三个层次：多因子单路径算法、多因子多路径算法、多因子多业务算法。

#### 多因子单路径 算法

指的是在满足多因子约束的前提下按照指定的算路策略计算最优路径。算路策略包括最小 TE metric、最小 IGP cost、最小时延、最优可用度、带宽均衡，不同的隧道可以采用不同的策略，从而使网络达到最优状态。算路因子包括带宽、时延、跳数、丢包率、误码率、可用度、切片、亲和属性（包括 exclude-any、include-any、include-all）、显式路径（包括显式包含、显式排除）、双向共路等。多因子可以任意组合，以满足各类差异化的业务诉求，并且支持退避计算，即算法优先计算满足所有约束的最优路径 若无最优路径，则智能地计算出约束尽量满足的路径。

#### 多因子多路径 算法

指的是在单路径的多约束因子的基础上叠加对路径之间的约束因子，包括主备路径分离算法、隧道路径分离算法、UCMP 多 list 算法。

#### 多因子多业务 路径算法

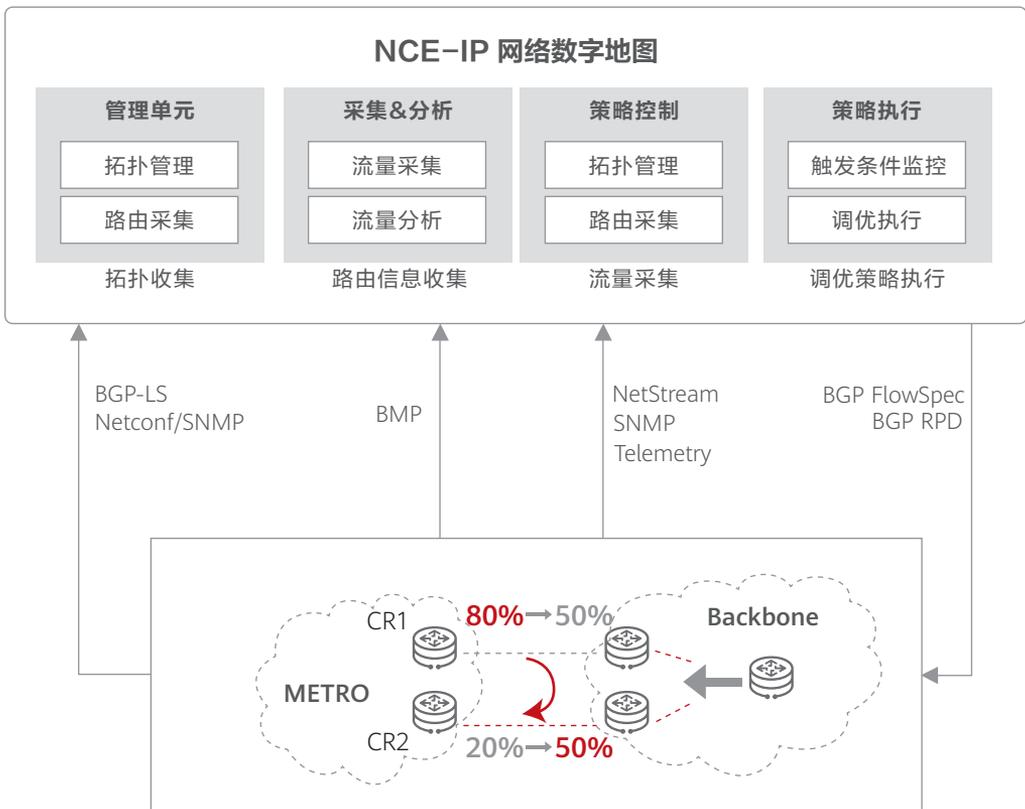
是指为了实现网络级的吞吐量、cost、时延等目标而针对多业务的路径调度算法，包括局部调优算法和全局调优算法。用户既可以选择特定的链路和隧道进行手动调优，也可以基于指定的带宽门限、时延约束、丢包率约束、误码率阈值等进行全局自动调优。

为了给不同的租户提供差异化 SLA 保障，需要做到一业务一隧道，隧道数量将百倍级增加。面对海量的隧道，要实现全网路径端到端控制，控制器需要支持大规模的隧道管理能力。网络数字地图可支持百万级隧道管理能力和全网分钟级的算路能力，满足未来超大规模网络管理要求，实现一张图管理全网，做到真正的端到端管理。

## 2. IP流量实时调度，保障SLA

运营商 IP 骨干网中大多运行 BGP 协议，依赖 BGP 协议指导流量转发。BGP 协议在选路时未考虑网络带宽利用率、成本等因素，当骨干网域内流量拥塞、IDC（Internet Data Center）出向流量不均衡、城域出口或 IGW 入向流量不均衡等情况存在时，将导致网络 SLA 体验下降。传统解决方案是网络维护工程师手工优化 IP 网络流量，对操作人员的技能要求高、极容易出错，且调整周期长，难以快速恢复网络质量。

IP 网络数字地图提供了智能 IP 流采集、分析和调度的能力。系统可实时采集网络拓扑、路由及流信息；针对采集到的网络流信息进行多维度的汇聚分析、统计和呈现，指导用户识别网络关键瓶颈、制定优化方案；通过 BGP FlowSpec 将指定 IP 流引入隧道进行流量调优，实现基于 IP 流的业务 SLA 保障。

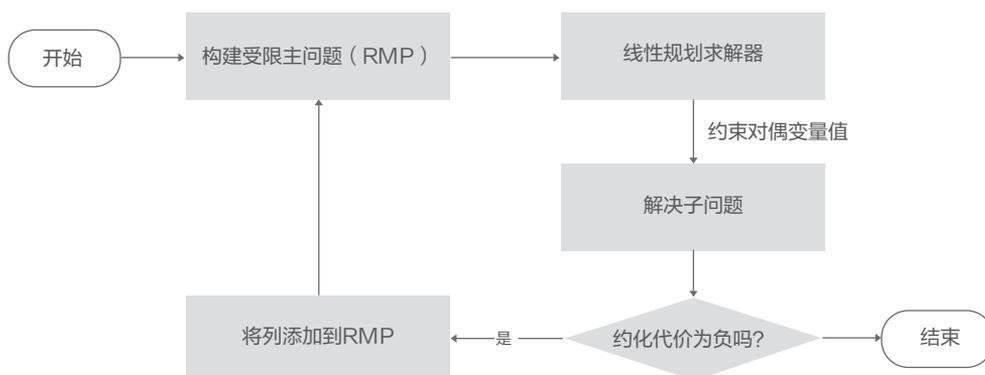


- **实时流采集：**通过 BGP-LS 实时采集网络的明细拓扑；通过 BMP 实时采集网络中的路由信息；通过 NetStream/SNMP 等协议动态采集网络各链路、各端口上的流量。
- **多维度流分析：**系统自动对采集到的网络流量进行分类、聚合分析，快速生成预定义报表；同时支持多种聚合方式生成 TopN 分析报告，如：源 IP 地址 + 目的 IP 地址、源 IP 地址 + 目的 Community、源 IP 地址 + 目的 AS、源 Community+ 目的 IP、源 IP 地址、源 Community、目的 IP 地址、目的 Community、目的 AS 等。
- **智能流调度：**基于多维度流分析结果，智能识别流量调整的关键瓶颈，推荐合理的优化方案；用户可以在线预览调优结果，评估优化收益；最终将流量调度策略转化成 BGP FlowSpec 路由下发给转发设备。

### 3.4.1.2 关键技术：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。线性规划的列生成框架如下：



1. 构建受限主问题 ( RMP ), 即用多因子路径算法为每一条网络流计算一条能够承载其带宽诉求的最短路径, 如无满足要求的路径, 则用一条代价无穷大的虚路径代替, 建立线性规划模型。
2. 利用线性规划求解器求解受限主问题, 得到所有约束的对偶变量值。
3. 计算新路, 根据对偶变量值对链路进行加权并求解子问题, 即基于加权后的链路权重用多因子路径算法为每一条网络流计算最短路径。
4. 刷新新路, 判断计算出来的新路中是否存在约化代价为负的, 如果有则将其加入到线性规划模型并继续步骤 2, 否则结束列生成迭代。

其中涉及到的关键技术包括:

- **多因子路径算法**

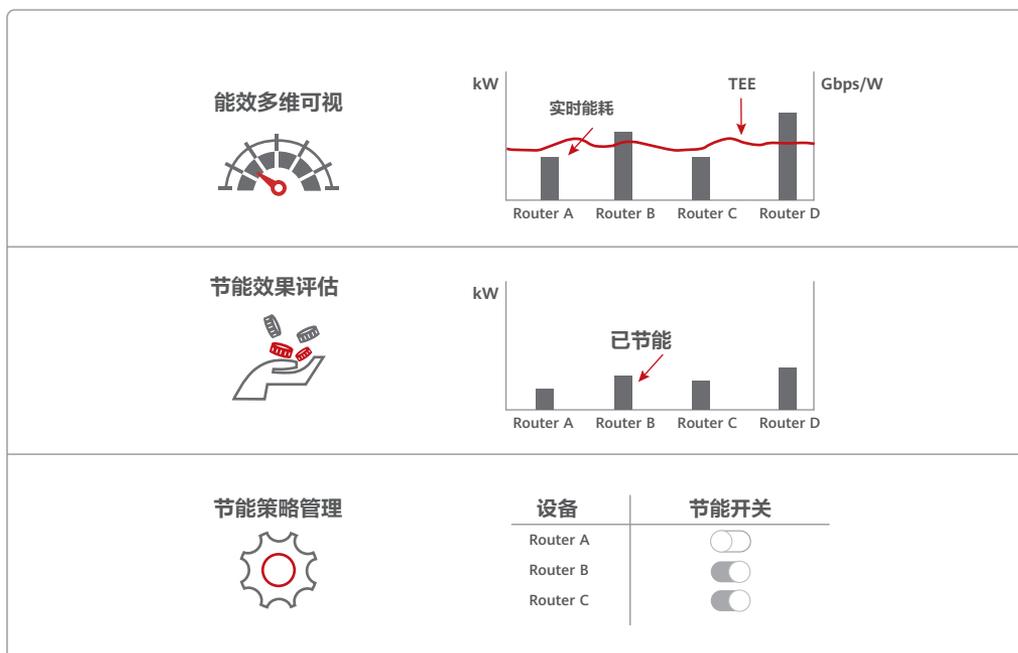
云图算法中的多因子路径算法由一系列解决特定问题的原子算法构成算法编排框架, 这些原子算法包括图论中的最大流最小割、图匹配、图搜索、旅行商等经典问题以及拉格朗日松弛、子梯度优化等经典优化方法。可以根据业务实际配置的约束因子将多个原子算法灵活组装成对应的多因子路径算法, 满足不同场景的业务诉求。约束因子分为单点约束因子和 E2E 约束因子, 单点约束因子指单个节点或链路的约束, 比如带宽、亲和属性、显式排除、丢包率、误码率等; E2E 约束因子指的是端到端路径的约束, 比如显式包含、时延、跳数等。多因子路径算法不仅解决了单点约束因子问题, 还解决了 E2E 约束因子的 NP 难问题。

- **高性能大规模线性规划求解器**

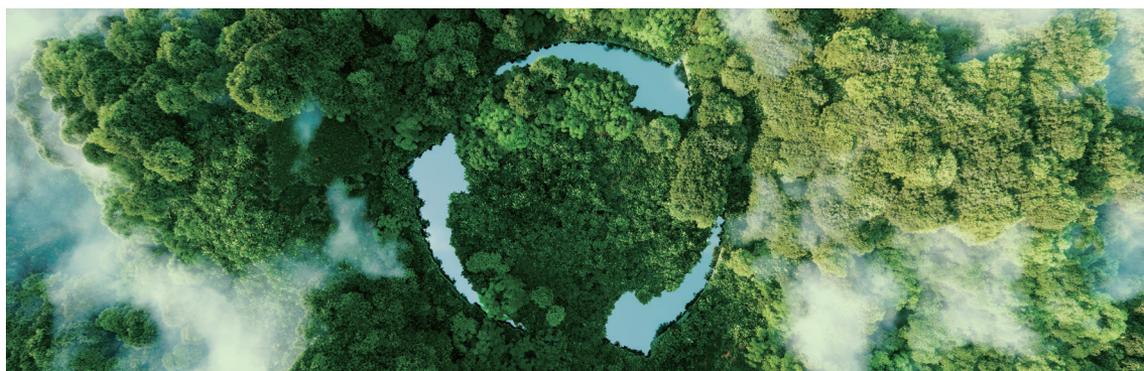
云图算法中的线性规划求解器是基于网络流优化问题典型特点进行设计开发的, 支持增量求解, 无需每次从头求解, 极大地提升了求解性能。

### 3.4.2 优化环节：绿色节能

全球能源危机下, 碳中和进程逐步加速, 29 家运营商已联合签署了节能减排目标, 承诺 2030 年碳排放量降低 45%; 当前 IP 承载网设备能耗约占整体通信网络能耗的 20%, 仅次于基站。传统网络管理系统以告警和性能监控为主, 对网络设备功耗监控与管理薄弱, 缺少功耗有效性分析, 更无法提供网络功耗的有效调度。运营商难以对全网实时有效监控和数据深度分析, 网络节能优化策略的制定和执行开展困难。IP 网络数字地图通过节能视图, 提供 IP 网络能耗的可视可管可优化能力, 不断提升网络节能减排, 支撑运营商实现“绿色站点 - 绿色网络 - 绿色运营”的目标。



- **能效多维可视**：提供了节能监控仪表盘，满足用户从网络级、网元级等多维进行功耗呈现。通过对多个不同维度功耗数据的组合分析，支撑网络部门完成功耗问题的定界定位；通过对网络中节能设备的节能收益预测，充分挖掘网络节能潜力，为制定节能策略提供可量化的评估依据。
- **节能效果评估**：通过采集网络设备实际节省的能耗信息，绘制设备节能收益曲线；支持历史对比分析，做到设备节能收益可评估，节能效果可量化。
- **节能策略管理**：实现了全网资源的节能状态实时可视，通过节能收益的预测，可快速找到收益最高的可节能的资源，从而提高用户的策略制定效率。同时实现了基于 Netconf/Yang 技术的网络级节能策略部署，支持多台设备的一键式节能，提供便捷、流畅的节能策略下发体验，并且实时刷新设备节能状态。



# 4 产业建议与总结

## 4.1 产业建议

随着新一代云、算力、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，这就对 IP 网络的运维提出了更高的要求。IP 网络数字地图作为基础平台，如果要全面实现 IP 网络的运维升级，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。

### 定义 IP 网络自动驾驶分级和评估标准，推动产业发展

IP 网络数字地图旨在构筑 IP 网络自动、自优、自愈的智能化运维，需要有可参照的标准和持续演进的路径。TMF 自动驾驶网络虽然定义了 L0~L5 的目标愿景，但 TMF 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 网络自动驾驶的分级标准与分级评估标准。具体来讲，需要在 TMF 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。



### 定义开放的目标架构和南北向接口标准，促进产业繁荣

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 数字地图开发的系统架构和南向接口标准来实现多厂商设备的融合共管。



- **定义开放的目标架构：**IP 网络数字地图具备一个开放的体系架构，在面对 Multi-vendor 场景时可以通过现场插件定制的模式来适配不同厂商的差异，无需通过软件升级来满足新业务上线的需求。
- **南向接口的标准化：**通过制定 IP 网络数字地图的南向标准，引导各个设备厂商遵循相同的接口标准，可以快速实现多设备厂商的融合共管，减少重复建设造成资源浪费。
- **网络服务化标准化：**网络服务化是大势所趋，但从逐步试点走向全面部署需要整个产业链从商业驱动、逐步演进方面形成共识并全力推进。IP 网络服务化需要经过需求建模、服务目录定义、服务设计等过程，将网络功能原子化、服务化，以屏蔽底层网络的复杂度，把网络能力通过“服务”方式开放出来供使用者选用，实现最佳用户体验、高效运营和商业可持续。

对于运营商来讲，可以像使用服务一样使用网络，方便快捷的与上层业务系统集成，为自动化和智能化提供基础支撑，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、统一的南北向标准来快速满足客户的需求，牵引 IP 为网络数字地图产品的设计和开发。

## 4.2 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 网络数字地图旨在构筑高度智能，闭环自治，绿色低碳的数字运维平台，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 服务转型，为整个社会新兴科技突破提供数字经济新动能。

# 5 参考文献

---

1. 《自动驾驶网络解决方案白皮书》，华为，2021.
2. IG1218 Autonomous Networks Business Requirements and Framework, TM Forum, 2021.
3. IG1230 Autonomous Networks Technical Architecture, TM Forum, 2021.
4. IG1251 Autonomous Networks – Reference Architecture, TM Forum, 2021.
5. IG1252 Autonomous Network Levels Evaluation Methodology, TM Forum, 2021.
6. 《广域网络服务化白皮书》，华为，2022.
7. 《智能云网解决方案白皮书》，华为，2022.
8. 《BGP Security in 2021》，MANRS，2022.



# 6 术语表

英文缩略语	英文全称	中文说明
SRv6	Segment Routing over IPv6	基于 IPv6 的段路由
IFIT	In-situ Flow Information Telemetry	随流检测
NaaS	Network as a Service	网络即服务
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
TMF	TeleManagement Forum	电信管理论坛
SID	Tshared Information Model	共享信息模型
ADN	Autonomous Driving Network	自动驾驶网络
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
OLTP	Online Transaction Processing	在线交易处理
OLAP	Online Analytical Processing	在线分析处理
MO	Managed Object	管理对象
IGP	Interior Gateway Protocol	内部网关协议
BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
CPV	Control Plane Verification	控制面的仿真验证
DPV	Data Plane Verification	数据面的仿真验证
DFS	Depth-first Search	深度优先查询
HSA	Header Space Analysis	数据包包头分析
SSP	Specific Service Plugin Pkg	业务包
SND	Specific NE Driver Pkg	网元驱动包
BGP-LS	Border Gateway Protocol-Link State	BGP 链路状态协议
BMP	BGP Monitoring Protocol	BGP 控制协议
NetConf	Network Configuration Protocol	网络配置协议
OSS	Operations Support System	运营支撑系统
EMS	Element Management System	网元管理系统
IP Native	Internet Protocol Native	互联网协议原生
DC	Data Center	数据中心
AI Native	Artificial Intelligence Native	人工智能原生
5G	5th-generation Mobile Communications Technology	第五代移动通信技术



## 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](http://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。